

A geotermikus energiahasznosítás nemzetközi és hazai helyzete, jövőbeni lehetőségei Magyarországon

Ajánlások a hasznosítást előmozdító kormányzati lépésekre és
háttér tanulmány

Megbízó: Magyar Tudományos Akadémia
Elnöki Titkárság

Témafelelős:

Mádlné Dr. Szőnyi Judit PhD, egyetemi docens ELTE, FFI, AAF

Felkért közreműködők:

Dr. Rybach László geotermikus, professzor, az MTA külső tagja, az ELTE díszdoktora, a Nemzetközi Geotermikus Szövetség elnöke, ügyvezető igazgató, Geowatt AG, Svájc

Dr. Lenkey László PhD, tudományos főmunkatárs, MTA-ELTE Geológiai, Geofizikai és Űrtudományi Kutatócsoport

Dr. Hámor Tamás PhD, főosztályvezető, Magyar Bányászati és Földtani Hivatal

Zsemle Ferenc egyetemi tanársegéd, ELTE, FFI, AAF

Budapest, 2008. március 31.

A jelentés elkészítésében, a források összegyűjtésében
az ELTE TTK alábbi hallgatói közreműködtek

Pulay Eszter

Mátrahalmi Tibor

Striczki István

Lengyel Tibor

Csernóczki Zsuzsa

Zahorán Ádám

A jelentés MTA-n történt 2008. március 14-i megvitatását követően az anyag véglegesítésében
tanácsaikkal segítségünkre voltak:

Dr. Pápay József, akadémikus

Dr. Alföldi László, az MTA doktora

Köszönet munkájukért!

Ajánlások a hasznosítást előmozdító kormányzati lépésekre

A Magyar Tudományos Akadémia Elnöki titkársága felkérésére, a geotermikus energia kihasználásával kapcsolatos kormányzati stratégia kialakításához készített háttéranyag alapján, az alábbi **megállapítások és javaslatok** tehetők.

1. Megállapítások

1.1. Adottságaink

Magyarország, bár nem aktív vulkáni területen található, geotermikus adottságai mégis európai, de nemzetközi viszonylatban is kiemelkedőek. Magas a hőmérséklet mélységgel történő emelkedése, ~ 45 °C/km, szemben az átlagos 20-30 °C/km értékkel. Így 500 m mélységben az átlaghőmérséklet már 35-40 °C, 1000 m-ben 55-60 °C, 2000 m mélységben pedig 100-110 °C, a melegebb területeken akár 120-130 °C lehet. A felszín alatt több km mélyséig megtalálható törmelékes üledékekből (homok, homokkő) vagy repedezett mészkőből, dolomitből az ország területének több mint 70%-án minimum 30 °C-os termálvíz feltárható. **Magyarországon a geotermikus potenciál alulról közelítő becslések szerint is legalább ~60 PJ/év.**

1.2. A geotermikus energia felhasználása

A geotermikus energia kinyeréséhez – a hőszivattyúk kivételével – vizet vagy gőzt kell kitermelni. A geotermikus energia felhasználásának módjai:

- a) hőszivattyúval segített hőhasznosítás,
- b) közvetlen hőellátás,
- c) kapcsolt villamosenergia és hőtermelés

a) A hőszivattyús rendszerekhez nincs feltétlenül szükség a felszín alól történő vízkivételre. A hőt szolgáltató közeg lehet felszíni vízfolyás, talajvíz, néhány méteres mélységben a talajhő és a földhő 150-300 méteres mélységig. A hőszivattyús rendszert télen fűtésre, nyáron hűtésre lehet alkalmazni. A hőszivattyúval segített hőellátás legnagyobb előnye, hogy gyakorlatilag mindenütt, családi házas és tanyasi szórt elhelyezkedésű lakóépületeknél is alkalmazható. A hőszivattyúk másik alkalmazási módja, mikor „hulladékhőt”, vagyis olyan hőt, amely különben a környezetbe távozna, hasznosítunk. Ez a hő lehet akár lehűlt 30-40 °C-os termálvíz, de ipari folyamatoknál keletkező meleg víz vagy levegő formájában jelentkező hulladékhő is.

b) Geotermikus energiavagyonunk döntő részét jó hatásfokkal és nagy mennyiségben közvetlenül hőellátásra (lakóépület fűtés, használati melegvíz előállítás, üvegház fűtés, terményszárítás, stb.) tudjuk felhasználni, mert kitermelhető termálvizeink hőmérséklete 100 °C-nál alacsonyabb.

c) A villamosenergia-termeléshez a jelenlegi technológia mellett – kielégítő hatásfok eléréséhez – legalább 120 °C-os vízre van szükség. Ilyen hőmérsékletű víz elegendő mennyiségben 2500-3000 m mélységben és korlátozott kiterjedésű víztárolókban áll rendelkezésre az országban. Az áramtermelési potenciált nem ismerjük pontosan. Ha az első geotermikus erőművek megépülnek, és ezzel párhuzamosan a földtani és technológiai tapasztalataink bővülnek, a potenciál jobban becsülhető lesz. Jelenlegi ismereteink alapján 10-100 MW elektromos potenciál becsülhető. A rendelkezésre álló áramtermelési potenciált is érdemes kiaknázni, mert a villamosenergia-termeléshez közvetlen hőhasznosítás társítható, amellyel kb. 10-szer annyi hő hasznosítható, mint a megtermelt elektromos áram. Példaként szolgálhatnak számunkra az ausztriai és németországi geotermikus erőművek, melyek kapcsolt villamosáram-termelő és hőellátó üzemmódban működnek.

1.3. A geotermikus energia felhasználásának előnyei

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

A földhő „fenntartható” módon használható. A kitermeléssel kivett hő a termelés befejezése után kb. ugyanannyi idő alatt pótlódik 95%-os szinten, mint a kitermelés ideje volt. A geotermikus energia felhasználásával CO₂ kibocsátást lehet megtakarítani.

1.4. Jogi, közgazdasági környezet

A földhőre 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, joghézagokkal, szakmai pontatlanságokkal, és ismétlésekkel terhelt.

Komoly akadályt jelent a földhő, mint fenntartható termelés esetén megújuló természeti erőforrás feletti megosztott állami felügyelet és hatósági engedélyezési fórum: GKM/MBFH; továbbá ELGI és MÁFI vs. KvVM”zöld hatóság” és VITUKI, VKKI. A közigazgatás egymással versengő (kompetitív), és csak részben egymást kiegészítő (komplementer) vízügyi és bányászati szabályozást hozott létre.

Vitatható, és mindenképpen hátrányos egyazon természeti erőforrás többszörös, sőt esetenként negatívan megkülönböztető állami járuléki adóztatása: vízkészlet-gazdálkodási járulék, bányajáradék; az igazgatási szolgáltatási és felügyeleti díjak mértéke. Felülvizsgálatra szorulnak a környezetvédelmi szennyezési határértékek a kapcsolódó bírságok pedig korszerűsítendőek.

1.5. Jelenlegi felhasználás és lehetséges perspektívák

A rendelkezésre álló minimum 60 PJ/év hőmennyiségből jelenleg mindössze 3,6 PJ/év (2006) hőt hasznosítunk energetikai céllal. Kizárólag a felszín alatti vizekkel 26-38 PJ/év (2003) hőt termelünk ki, melynek csupán kevesebb, mint 10%-át használjuk fel energetikai célra, a többi a vízzel elfolyik. A balneológiai hasznosítás előtt vagy után – a hőmérséklettől függően – a vizet lehűtik, többnyire hőenergiájának hasznosítása nélkül. Ez a helyzet a Szeged városát ivóvízzel ellátó termálvíz esetén. De a budapesti 22-55°C-os langyos- és termálforrások is természetes úton, hőenergiájuk hasznosítása nélkül kerülnek a Dunába.

A Gazdasági és Közlekedési Minisztérium által közzétett „Megújuló energia stratégiába” (2007) is mindössze 12 PJ/év kiaknázható potenciálérték került, ami gyakorlatilag bárminemű kormányzati stratégiai lépés nélkül is elérhető. Ugyanakkor ez a célérték a lehetőségekhez mérten alulbecsült. Jelen javaslatunk szerint **a 2008-tól megindítható lépésekkel elérhetjük a legalább 30 PJ/év hasznosítást.**

A 2005-ös adatok alapján a geotermikus energia energiamérlegben való aránya Magyarországon 0,29%, az Unióban 5,5%. Az összes megújuló energiafajta között mindössze 6,6%-kal szerepel a geotermikus energia. Leszögezhető, hogy Magyarország a kiemelkedően jó természeti – földtani, geofizikai, hidrogeológiai – adottságok ellenére, a kinyerés és hasznosítás terén mind relatív, **mind abszolút értelemben az elmaradottak közé tartozik. Lehetőségeink jobb kihasználásával a geotermikus energia az ország energia-mérlegében legalább 5%-kal részesedhetne, mint megújuló, környezetbarát és hazai energiaforrás.**

1.6. Felhasználás növelésének reális lehetőségei

- a) a hatékonyság növelése hőszivattyúkkal,
- b) a termelő-visszasajtoló kútpárok számának növelésével,
- c) a jogi, szabályozási környezet javításával

a) Ha csak a talaj mindenütt jelen lévő hőjét hasznosítjuk hőszivattyúk segítségével, akkor a jelenlegi trend alapján – a hőszivattyúk számának növekedésével – az így kinyert energia 2020-ra elérheti a 2 PJ/év-et. A hőszivattyúkkal hasznosítható az a hőmennyiség is, amelyik a felszín alatti vizek és termálvizek kitermelésével, továbbá forrásokon keresztül kerül a felszínre, de jelenleg hagyjuk elfolyni. A termálvizek hőjének, a talajhőnek és az egyéb ipari és mezőgazdasági hulladékhőnek az együttes kiaknázásával 2020-ra 10 PJ/év energia nyerhető ki hőszivattyúkkal.

b) A termálvizekben bővelkedő területeinken, több hő kinyeréséhez több termálvizet kell kitermelni. A termálvíz-rezervoárjaink vízkészletei viszont végesek. A termelést csak úgy lehet fokozni, ha a lehűlt vizet a rezervoárba visszasajtoljuk. A mélyben a víz felmelegszik és újra kitermelhető. Az intenzív hőkinyerésnek erre a módjára számos példa ismert nemzetközileg, Magyarországon is működik már néhány rendszer. A visszasajtolás jelenleg is felvet bizonyos technikai kérdéseket és hatása az egymással közlekedő rezervoárookban szintén vizsgálandó. Ha lényegesen, egy nagyságrenddel, 30 PJ/évre kívánjuk növelni a geotermikus energia közvetlen hasznosítását – melyre egyébként lehetőségeink adottak – akkor az ilyen irányú kutatást-fejlesztést támogatni kell.

c) Szükséges a jogi és szabályozási környezet felülvizsgálata, egyszerűbbé tétele, a kapcsolódó költségek újragondolása valamint az állami szerepvállalás, támogatás számottevő növelése.

2. Javaslatok prioritási sorrendben

2.1. Energiapolitikai lépések

1. A megújuló energiákról várható új Európai Uniósi irányelv nyomán javasolható egy energia törvény megalkotása és azon belül a megújuló energiák szabályozása. A törvénynek – az összes megújuló energiára vonatkozó szabályozás mellett – **a hazai adottságokat tekintve specifikus földhő-kihasználás helyét, szerepét és hasznosítási módjait is szabályozni kell.**
2. A törvény megalkotásáig sem halasztható egy, a szétszórt „hévízgazdálkodási” rendelkezéseket javítottan egyesítő és a Bányatörvény geotermikus védőidom jogintézményét műszaki-tudományos megalapozottsággal, részletesen szabályozó, a befektetői jogbiztonságot szavatoló, a bánya-felügyeleti és vízügyi szakhatósági jogkört egyesítő új, **a geotermikus energiára vonatkozó Kormányrendelet elkészítése.**
3. **Szükséges a halmozottan hátrányos megkülönböztetést jelentő közgazdasági szabályozó eszközök és esetenként ellentmondásos állami támogatások átvilágítása és haladéktalan módosítása.** Különösen villamos áram és kapcsolt energiatermelés esetén a kísérleti-projekteknek biztosítani kell az állami támogatást, ehhez módosítani kell bizonyos pénzügyi alapok – KEOP, ROP prioritások, az NKTH által kezelt K&F alapok – tematikáját.

2.2. A hőszivattyúk használatának elterjesztése

A legkisebb ráfordítást és számottevő környezetvédelmi (szén-dioxid emisszió megtakarítás) hasznot ígérő lépés a geotermikus energia és a talajhő **hőszivattyúkkal történő kihasználásának elősegítése.**

1. Rendelkezésben célszerű rögzíteni a hőszivattyús fűtési-hűtési technológia fontosságát.
2. Ki kell dolgozni a hőszivattyús rendszerek telepítésének, támogatásának jelenleginél hatékonyabb módozatait, az energia-hatékonysági, -takarékosági, fenntarthatósági és munkaerőpiaci előnyök tükrében. Mindezt azért, hogy jelenlegi szerény mutatóinkat mielőbb felzárkóztathassunk a világon lejátszódó "robbanásszerű fejlődéshez.
3. A hőszivattyúk nagyobb arányú elterjesztésénél törekedni kell a hazai technológia fejlesztés és gyártás felfuttatására. A földgáz üzemű hőszivattyúk kifejlesztésével alkalmazkodni lehet a hazai energia-struktúrához, és így saját piacunkra tudunk termelni. A berendezés azonban működtethető biogázzal és egyéb környezetbarát hajtóanyaggal is.

2.3. Termálvízkincsünk (< 100 °C) hőjének fenntartható kiaknázásának szorgalmazása

1. Ez a lehetőség az ország területének 70%-án elvben megoldható, kiépítése már számottevőbb tőkebefektetést igényel, de kimagasló környezetvédelmi eredményeket hoz a földgáz kiváltása révén.
2. A kihasználás decentralizáltan, településenként – az intézményi és egyéni fogyasztók csökkenő hőigény szerinti összekapcsolásával – oldható meg, termálvíz kitermelő és visszasajtoló kutak alkalmazásával.
3. **A komplex rendszerű energetikai hasznosítást a wellness turizmussal (balneológia) összekapcsolva kell szorgalmazni.**
4. Javasolt az üzemszerű hévíz-visszasajtolás bizonyos technológiai és hidraulikai kérdéseinek kutatása, **a „geotermikus kút-párok” kutatás-fejlesztési, műszaki kérdéseinek megoldására irányuló minta-projektek kiemelt támogatásával.**
5. A Magyar Tudományos Akadémián és az egyetemeken kiemelten támogatandó téma legyen ezeknek a kérdéseknek az **alaptudományi és alkalmazott tudományi kérdéseinek megválaszolása.**
6. A technológia a kutatás-fejlesztési fázist követően rutinszerűen, országos szinten bevezethető, ami **a geotermikus energia mainál legalább egy nagyságrenddel nagyobb kiaknázásához vezet.**

2.4. A termálvizek hőjének mainál intenzívebb kiaknázása

1. Elengedhetetlen a termálvíz készlet mennyiségének, utánpótlódásának 5-600 millió HUF ráfordítású **kormányprogram keretében történő országos állapotfelmérése.**
2. Az állapotfelmérés eredményeinek felhasználásával szükséges dinamikus szemléletű készletbecslési és döntés megalapozó (termelés, visszasajtolás) számítógépes modellek (országos, regionális) megalkotása.

3. Az ivóvíz és termálvíz készleteink hidrodinamikailag összefüggő tároló rendszerekből származnak. Ivóvizeink és termálvizeink védelme érdekében elengedhetetlen a rezervoárok működésének, készleteinek ismeretének pontosítása, a kitermelésre és visszasajtolásra adott válaszok beépítése a regionális és országos modellekbe, a lokális modellekből visszacsatolva.
4. Ennek érdekében a termálvíz kitermelőket hitelesített adatszolgáltatásra kell kötelezni, a tárolt és szisztematikusan gyűjtött adatokkal a modellek folyamatosan frissítendők.
5. A dinamikus vízkészlet modellek képezhetik alapját a **fenntartható hévízgazdálkodásnak**, döntési háttéréül szolgálhatnak a termálvizek **visszasajtolásának jelenlegi kötelezettségét oldó**, egyéni elbíráláson alapuló rendszer törvényi bevezetéséhez.

2.5. Érdekérvényesítés, kockázatkezelés

Létre kell hozni a **geotermiában érdekeltek konzultatív fórumát** az állam, a potenciális befektetők, a szakmai szervezetek, alapítványok és a tudomány képviselőinek (MTA, egyetemek) bevonásával. Szükséges egy **állam által is támogatott kockázati tőkealap** létrehozása a termálvizek feltárásakor felmerülő geológiai kockázatok kezelése céljából.

2.6. Kommunikációs javaslatok

Az alap-, közép- és felsőfokú **oktatásban az eddiginél nagyobb hangsúlyt kell fektetni az energiahatékonyságra, a megújuló energiákra és ezen belül a geotermiára**. Médiatámogatást szükséges adni a megújuló energiák alkalmazásához, a környezettudatos energetikai döntésekhez, a különböző technológiák széleskörű megismertetéséhez.

Háttér tanulmány

Tartalomjegyzék

1.	Bevezetés.....	5
1.1.	Célkitűzések.....	5
1.2.	Történeti bevezető.....	5
1.3.	A geotermiában használatos fogalmak rövid ismertetése.....	6
2.	Nemzetközi kitekintés.....	13
2.1.	Geotermikus lehetőségek.....	13
2.2.	Összehasonlítás a többi megújuló energia felhasználásával.....	15
2.3.	Geotermikus áramfejlesztés.....	15
2.4.	Közvetlen hőhasznosítás, különös tekintettel a földhőszivattyúkra.....	17
2.5.	A „jövő zenéje”: az EGS-rendszer.....	20
2.6.	A geotermikus energia fenntartható használatának kérdései.....	20
2.7.	Környezetvédelmi és gazdaságossági szempontok.....	20
2.7.1.	Környezetvédelem.....	20
2.7.1.1.	Geotermikus erőművek.....	21
2.7.1.2.	Közvetlen hőkihasználás (földhőszivattyúk nélkül).....	21
2.7.1.3.	Földhőszivattyúk.....	22
2.7.2.	Gazdaságossági szempontok.....	23
2.7.2.1.	Geotermikus erőművek.....	23
2.7.2.2.	Közvetlen hasznosítás (földhőszivattyúk nélkül).....	24
2.7.2.3.	Földhőszivattyúk.....	24
2.7.2.4.	EGS-rendszer.....	24
2.8.	Nemzetközi trendek.....	24
2.8.1.	Svédország.....	26
2.8.2.	Németország.....	27
2.8.3.	Ausztrália.....	28
3.	Magyarország geotermikus adottságai.....	30
3.1.	Hőmérsékleti viszonyok és hőáram.....	30
3.1.1.	A hőáramsűrűség területi eloszlása.....	32
3.1.2.	A hőmérséklet-eloszlás.....	32
3.2.	Geotermikus rezervoárok.....	34
3.2.1.	Neogén rezervoár.....	34

3.2.2.	Karbonátos rezervoárok.....	36
3.2.3.	EGS-lehetőségek Magyarországon.....	37
3.3.	Geotermikus energiakészletünk.....	39
3.3.1.	A geotermikus energiavagyon statikus rendszerű becslése.....	39
3.3.1.1	Statikus készletbecslés Magyarországra.....	40
3.3.1.2	Összevetés a németországi készletbecslésekkel.....	42
3.3.2.	A geotermikus energiavagyon dinamikus rendszerű becslése.....	42
3.3.2.1	A dinamikus készletbecslés jelentősége.....	42
3.3.2.2	Svájci példa a dinamikus készletbecslésre, a módszer jelentősége Magyarországon.....	43
4.	A geotermikus energia európai uniós és hazai jogszabályi háttere.....	44
4.1.	Európai uniós szabályozás.....	44
4.1.1.	Energetika.....	44
4.1.2.	Környezetvédelem.....	45
4.1.3.	Új közösségi politikák, jogalkotási tervek, tagállami helyzetkép.....	46
4.2.	A geotermikus energiahasznosítás hazai szabályozása.....	47
4.2.1.	Bányászat.....	47
4.2.2.	Energetika.....	49
4.2.3.	Környezetvédelem és vízgazdálkodás.....	51
5.	A geotermikus energia kiaknázásának helyzete Magyarországon.....	56
5.1.	Áramfejlesztés.....	56
5.2.	Közvetlen hőhasznosítás, földhőszivattyúk nélkül.....	58
5.2.1.	Belső terek geotermikus energiával történő fűtése és hűtése.....	58
5.2.2.	Mezőgazdasági felhasználás.....	61
5.2.3.	Balneológiai hasznosítás.....	64
5.2.4.	A pannóniai homokkőbe történő visszasajtolás kérdése.....	65
5.3.	Földhőszivattyús hasznosítás.....	67
5.3.1.	A magyarországi fejlődés főbb lépései.....	67
5.3.2.	A hőszivattyúk magyarországi elterjesztésének lehetőségei.....	68
5.3.3.	A jelenlegi hőszivattyús hazai piac jellemzői és a földhőhasznosítást befolyásoló tényezők.....	69
6.	Helyzetelemzés és jövőkép.....	72
6.1.	A geotermia általános erősségei.....	72
6.1.1.	A geotermia általános korlátai.....	72

6.1.2.	A geotermikus energiafelhasználás várható növekedése.....	73
6.2.	Kiaknázható geotermikus energia Magyarországon.....	73
6.2.1.	Geotermikus erőművek létesítése.....	74
6.2.2.	Közvetlen hasznosítás.....	74
6.2.3.	Hőszivattyús hasznosítás.....	76
6.3.	Energiapolitikai helyzet.....	77
6.3.1.	Gazdaságosság, pályázati helyzet.....	77
6.3.2.	Jogi környezet értékelése.....	78
7.	Ajánlások, javaslatok.....	80
7.1.	Energiapolitikai javaslatok.....	80
7.1.1.	Az Európai Unió fórumain képviselendő javaslatok.....	80
7.1.2.	A hazai döntéshozóknak szóló javaslatok.....	80
7.2.	Kutatási-fejlesztési feladatok.....	81
8.	Irodalomjegyzék.....	83
9.	Ábrajegyzék.....	91
10.	Táblázatjegyzék.....	93
11.	A földhővel kapcsolatos és a felhasznált hazai jogszabályok.....	94
12.	A földhővel kapcsolatos és a felhasznált európai uniós jogszabályok.....	96

1. Bevezetés

1.1. Célkitűzések

A tanulmány célja – a Magyar Tudományos Akadémia Elnöki Titkárságának felkérésére – egy független, szakértői összegző tanulmány készítése a geotermikus energiáról, annak nemzetközi és hazai helyzetéről. A dolgozat feladata a geotermikus energia, – mint a felhasználható megújuló energiák között egy sajátos „hungaricum” – jövőbeni jobb kihasználási lehetőségeinek vázolása és ajánlások megfogalmazása a Kormányzat számára az elvégzendő stratégiai feladatokra vonatkozóan.

1.2. Történeti bevezető

A föld belső hője által felmelegített termálforrások vizét több mint kétezer éve használják világszerte. A Római Birodalomban kiemelkedő fürdőkultúra épült e vizek gyógyító erejére.

A magyarok – nemzetközi megítélés szerint (McFarland, 2002) – élen jártak abban, hogy ne csak a forrásokon kilépő vizeket hasznosítsák, hanem azokat mélyfúrású kutakkal is felszínre hozzák. Közülük is Zsigmondy Vilmos neve emelhető ki, aki 1868 és 1878 között mélyítette városligeti kútját, amely 970 m mélységből 74 C°-os termálvizet szolgáltat kialakítása óta.

Az 1900-as évek elejére a termálvizet termelő kutak fúrása általános gyakorlattá vált világszerte. Ekkor a japánok már üvegházakban használták a melegvizek hőjét. A század 20-as, 30-as éveiben Budapesten is épületeket fűtöttek az artézi kutakkal feltárt melegvízzel a Szent István Parkban, a Szabolcs utcai Kórházban és az Állatkertben.

A geotermikus adottságok áramfejlesztési célú hasznosítása mindössze száz éves múltra tekinthet vissza. Toscanában, Larderellóban, 1904-ben tettek elsőként kísérletet arra, hogy geotermikus gőzből elektromos áramot fejlesszenek. Japán 1919-ben, az USA 1921-ben kezdett geotermikus célú kutak fúrásába.

A Föld belső hőjéből származó energia felhasználása iránti érdeklődés világszerte a második világháborút követően élénkült meg. A példát 1959-ben Mexikó, 1960-ban az USA, és a későbbiekben számos más ország is követte (Dickson és Fanelli, 2003).

A geotermikus hőhasznosítás Magyarországon 1957-58-ban vett újabb lendületet a szegedi termelő szövetkezetek és a Szentesi Kórház részére létesített hévízkutak fúrásával. Intenzív fejlődési fázist jelentett az Országos Műszaki Fejlesztési Bizottság kezdeményezésére 1963-tól a 80-as évek közepéig tartó időszak az államilag támogatott hévízkút-fúrásokkal és a meddő szénhidrogén-kutató fúrások hasznosításával.

A geotermikus energiában rejlő magyarországi lehetőségek felülvizsgálata jelenleg ismét időszerű. Az Európai Unió klíma és energiapolitikai kívánalmai – a megújuló energiák 20%-os részesedése a teljes energiahasznosításban, az üvegház gázok emissziójának 20%-os csökkentése és 20%-os energiatakarékosság 2020-ig – megkívánják, hogy felülvizsgáljuk a geotermikus energiában rejlő "tartalékainkat". Hátrányból indulunk, ugyanis míg az Európai Unió tagországaiban a megújuló energiák részarányának átlaga 6,2%, addig nálunk mindössze 3,7% (2004), ez utóbbi érték 4,7%-ra nőtt 2006-ra (Energiaközpont Kht.) A geotermikus energia energiamérlegben való aránya Magyarországon 0,29% (Árpási, 2005), az unióban 5,5%, szintén a 2005-ös adatok alapján.

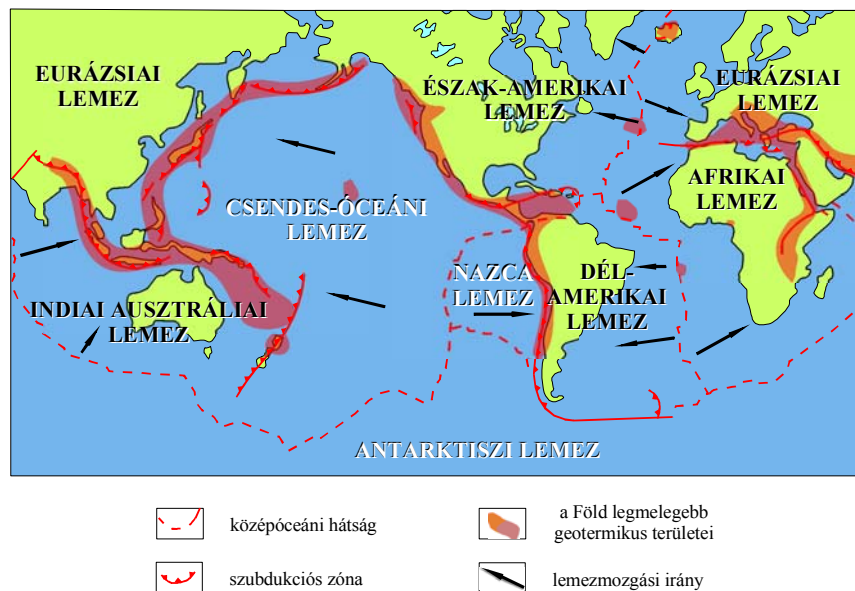
1.3. A geotermiában használatos fogalmak rövid ismertetése

A geotermikus energia a Föld belsejéből származó hőenergiát jelenti, amely döntően a földkéregben koncentrálódó hosszú felezési idejű radioaktív elemek bomlási hőjéből táplálkozik. A hő a felszín és a mélyebb zónák közötti hőmérséklet-különbség miatt sugárzás, áramlás és vezetés révén a Föld felszíne felé áramlik és kilép az atmoszférába.

A hőenergia-áramlás kifejezője a földi *hőáramsűrűség* (röviden *hőáram*) vagy *hőfluxus*, amely az egységnyi földfelületen, egységnyi idő alatt átáramló hőmennyiség mutatója. Eloszlása a felszínen nem egyenletes, a kontinenseken 65, az óceánok területén 101 mW/m² átlagértéket vesz fel. Több tízezer mérés alapján a globális átlagot Pollack és társai (1993) 87 mW/m²-ben jelölik meg.

A geotermikus *gradiens* a felszín alatti hőmérséklet-növekedés mérőszámaként használt mutató. Értéke 10 és 60 °C/km között változik, a nagyobb hőáramsűrűséggel jellemzett területeken magasabb értékű. A hőmérséklet mélység irányában történő emelkedésére jellemző, hogy átlagos geotermikus gradienssel 25–30 °C/km és 15 °C-os felszíni átlaghőmérséklettel számolva, 2000 m-es mélységben már 65–75 °C-os hőmérsékleti értékekre számíthatunk.

A Föld belsejéből származó geotermikus energia fő élvezői azok az országok, melyeknél – fekvésükből adódó lemeztektonikai helyzetük miatt – kiugróan magas a geotermikus gradiens értéke (1.1. ábra). Ez a helyzet a szubdukciós zónákban és a középóceáni hátságokon. Ez utóbbi zónákban az asztenoszférából feláramló köpenyanyag lehűlése és megszilárdulása révén új óceáni kéreg képződik (Pl. Izland és az Azori-szigetek) Az igazán jellegzetes geotermikus övek a szubdukciós zónákban találhatók, a Csendes-óceán és Amerika nyugati partjainál, a Nyugat-Pacifikus térségben. A legfontosabb, elektromos áram termelésére is alkalmas geotermikus mezők a lemezszegélyek aktív vulkáni zónáiban találhatók: Olaszország, Izland, Indonézia, Fülöp-szigetek, Új-Zéland, Japán, USA területén.



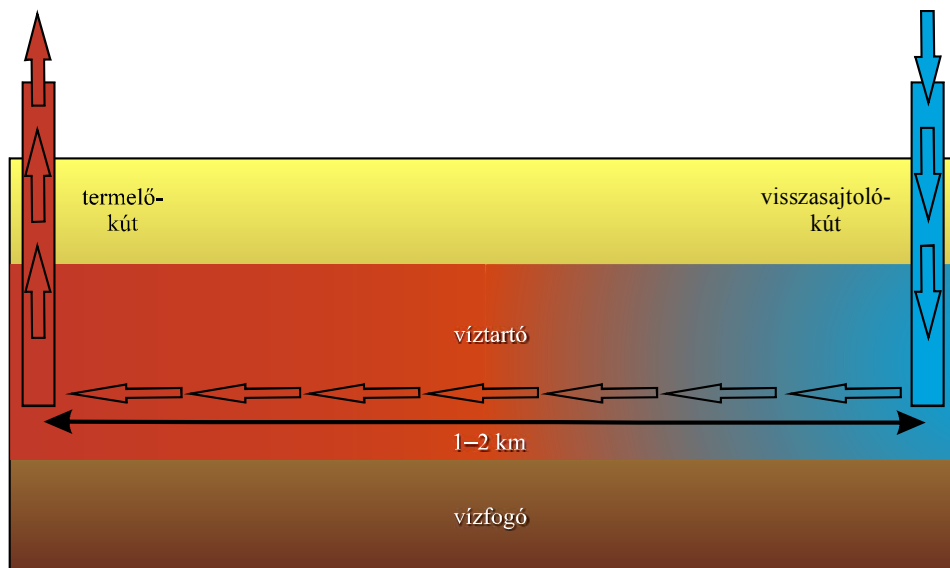
1.1. ábra: A geotermikus területek lemeztektonikai meghatározottságát szemléltető vázlat (Geothermal Education Office, 1996, Mádlné Szőnyi, 2006)

Magas közethőmérséklettel jellemzett, sekély mélységű geotermikus területek ott is előfordulhatnak, ahol az átlagosnál vékonyabb a földkéreg. Ez az alapja Magyarország kedvező geotermikus adottságainak! A mély medencékből felszálló felszín alatti vizek is előidézhetnek pozitív geotermikus anomáliát (Domenico és Palciauskas, 1973). Lokális hőanomáliák kialakulhatnak gránittestekben dúsuló radioaktív elemek bomlása miatt, melyet a hőszigetelő kőzetekkel való fedettség is elősegít (Wright és Culver, 1998).

A *geotermikus rendszerek* három elemből állnak: szükség van hőforrásra, a hő tározására alkalmas, permeábilis kőzetre, és nagy hőmérsékletű folyadékra. Halmazállapotát tekintve, a rezervoárban tárolt fluidum lehet víz, gőz vagy ezek keveréke. Ezek a *folyadékalapú geotermikus rendszerek* (Hochstein, 1990). A víz bizonyos tározóknál csapadékból pótlódik, másoknál nem. A forró víz és gőz felszínre jutása történhet természetes úton, forrásokon keresztül, de – mint láttuk – kutakra is szükség lehet a kinyeréséhez.

A geotermikus rendszer elemei közül csupán a hőforrásnak kell természetesnek lennie, a rendszer másik két eleme, akár mesterséges is lehet. A *mesterségesen befolyásolt geotermikus rendszerek* esetében a hőforrás természetes, de a tározó vagy a szállító folyadék, esetleg mindkettő emberileg előállított.

A geotermikus rendszerekbe történő természetes vízutánpótlás kiegészíthető *mesterséges visszatáplálással*. A rezervoárból kivett folyadék zárt rendszerben történő felhasználás után speciális *visszasajtoló-kutakon* keresztül visszajuttatható a tározóba. Ezeket a *kétkutas (doublet) rendszereket* (**1.2. ábra**) már sok éve használják. Általuk jelentős mértékben csökkenteni lehet a felhasznált geotermikus energia kitermelésével járó kedvezőtlen környezeti hatásokat. Ugyanezen az elven alapul a kimerült, vagy kimerülő félben lévő geotermikus mezők „újraélesztése” is.

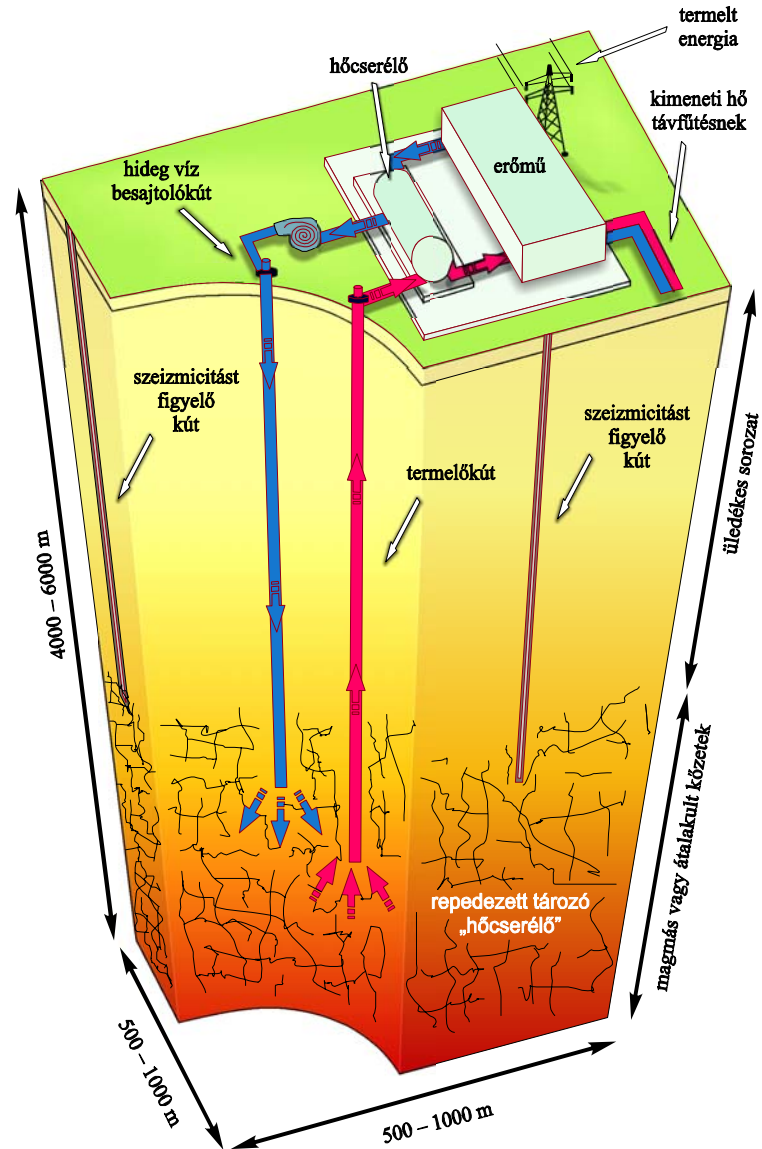


1.2. ábra: Egy termelő és egy visszasajtoló kútból álló kétkutas alapmodell (Jung és társai, 2002 in Mádlné Szőnyi, 2006)

A legutóbbi évtizedekig a geotermikus energia használata az aktív lemezszegélyekre korlátozódott. Innovatív technológiák új perspektívákat kínálnak arra alapozva, hogy ha csak a geotermikus folyadékot termelnénk ki, akkor bizonyos *hővezetési készletek* kiaknáztatlanul

maradnának. A földhő alapú geotermikus rendszerek (Rybach, 1981) kihasználására új technológiákat dolgoztak ki, ezek a mesterséges földhőrendszer = Enhanced Geothermal System (EGS)-technológia és a sekély geotermikus (föld)hőszivattyús rendszer = Geothermal (Ground Source) Heat Pump (GHP/GSHP).

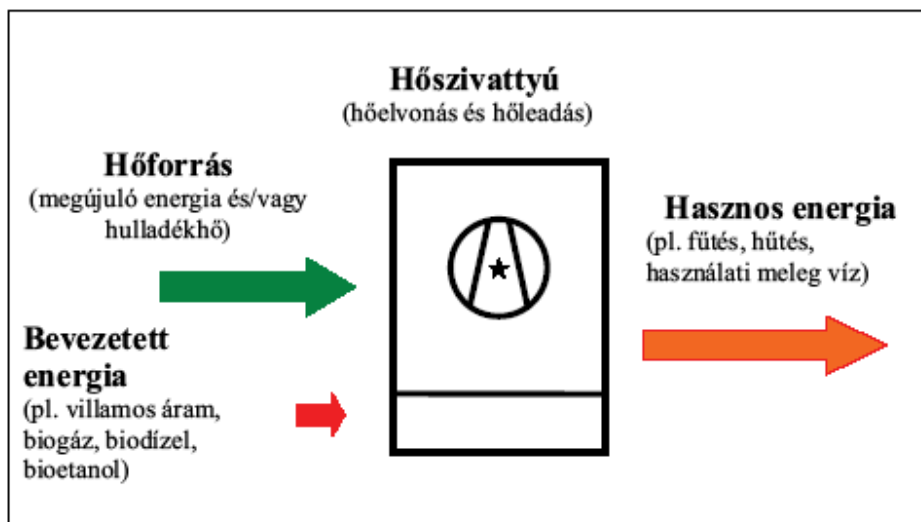
A mesterséges földhőrendszer vagy Enhanced Geothermal System (EGS) – korábban forró száraz kőzet, azaz a Hot Dry Rock (HDR)-technológiát esetenként mélységihő-bányászatként, Deep Heat Mining (DHM) (Vuataz és Haering, 2001; Németh, 2002; Vuataz és Catin, 2006) is emlegetik. Ez utóbbi kifejezés használata azonban a geotermikus hő/fluidum visszaáramlása (ld. később) miatt vitatható (Rybach, Mongillo, 2006; Rybach, 2006).



1.3. ábra: Mesterséges földhőrendszer (Häring, 2002 in Mádlné Szőnyi, 2006)

Az *EGS-rendszer (1.3. ábra)* lényege, hogy nagyobb, néhány kilométeres mélységben, ahol a közethőmérséklet eléri a 200°C-ot, egy repedésrendszert alakítanak ki hőcserélőnek a meglévő repedésrendszer bővítésével. Ebbe a repedésrendszerbe a felszínről vizet juttatnak, hogy felvegye a földhőt. Betápláló és kiemelő kutak, valamint felszíni hasznosító egységek egészítik ki a cirkulációs rendszert. A rendszer energiáját hőcserélőkkel nyerik ki, áramfejlesztésre és/vagy távfűtésre használják. A felszíni hőhasznosító üzemegységet is beleértve a rendszer zárt körként működik (Garnish, 1987; Rummel és Kappelmeyer, 1993).

A *hőszivattyú* a környezet hőenergiájának hasznosítására szolgáló berendezés. A *földhőszivattyúk* a talajvízből és a kőzetekből közvetlenül nem hasznosítható hőenergiát vonnak el, amelyet – külső energia felhasználásával – nagyobb hőmérsékletű, hasznosítható hővé alakítanak, azaz fordított céllal működő hűtőegységek (Rafferty, 1997). A kompresszoros hőszivattyúk részei: két hőcserélő: egy elpárologtató és egy kondenzátor, valamint kompresszor és expanziós szelep. A hőszivattyúknál a munkaközeg körfolyamata is megegyezik a hűtőberendezésekével, csak itt nem az elpárologtatóval elvont, hanem a kondenzátorban leadott hőmennyiséget hasznosítják (**1.4. ábra**). A hőszivattyú fő részeit csövezetékek kötik össze, melyben a hőenergiát szállító *munkafolyadék* áramlik, többnyire zárt rendszerben. Léteznek nyitott rendszerek is, ahol a munkaközeg maga a hőforrás. A munkafolyadékok között környezetkímélő, természetes anyagok szerepelnek: ammónia, szénhidrogének, víz, szén-dioxid és mesterséges keverékek.

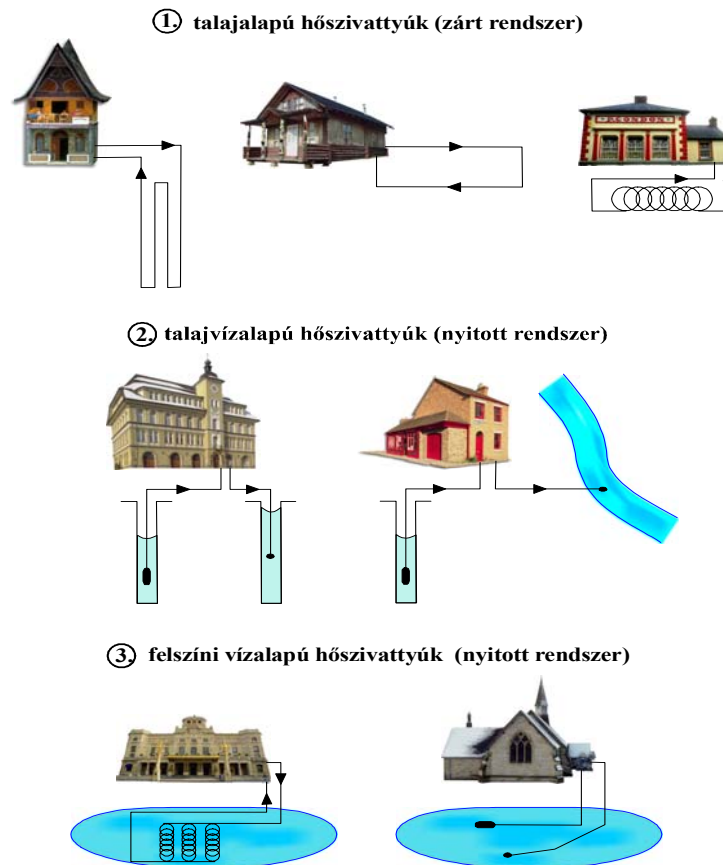


1.4. ábra: A hőszivattyús rendszer elvi vázlata (Kömlös és társai, 2008)

A hőszivattyúban lezajló körfolyamatot a *teljesítménytényezővel* = Coefficient of Performance (COP) vagy „jósági fokkal” jellemzik. A COP kifejezi, hogy a hasznos energia hányszorosa a befektetett, azaz a kompresszorban felhasznált energiának. Értéke 3 és 6 közötti a jelenleg használatos technológiáknál, a megfelelő jósági fok 4–5 (Lund és társai, 2003).

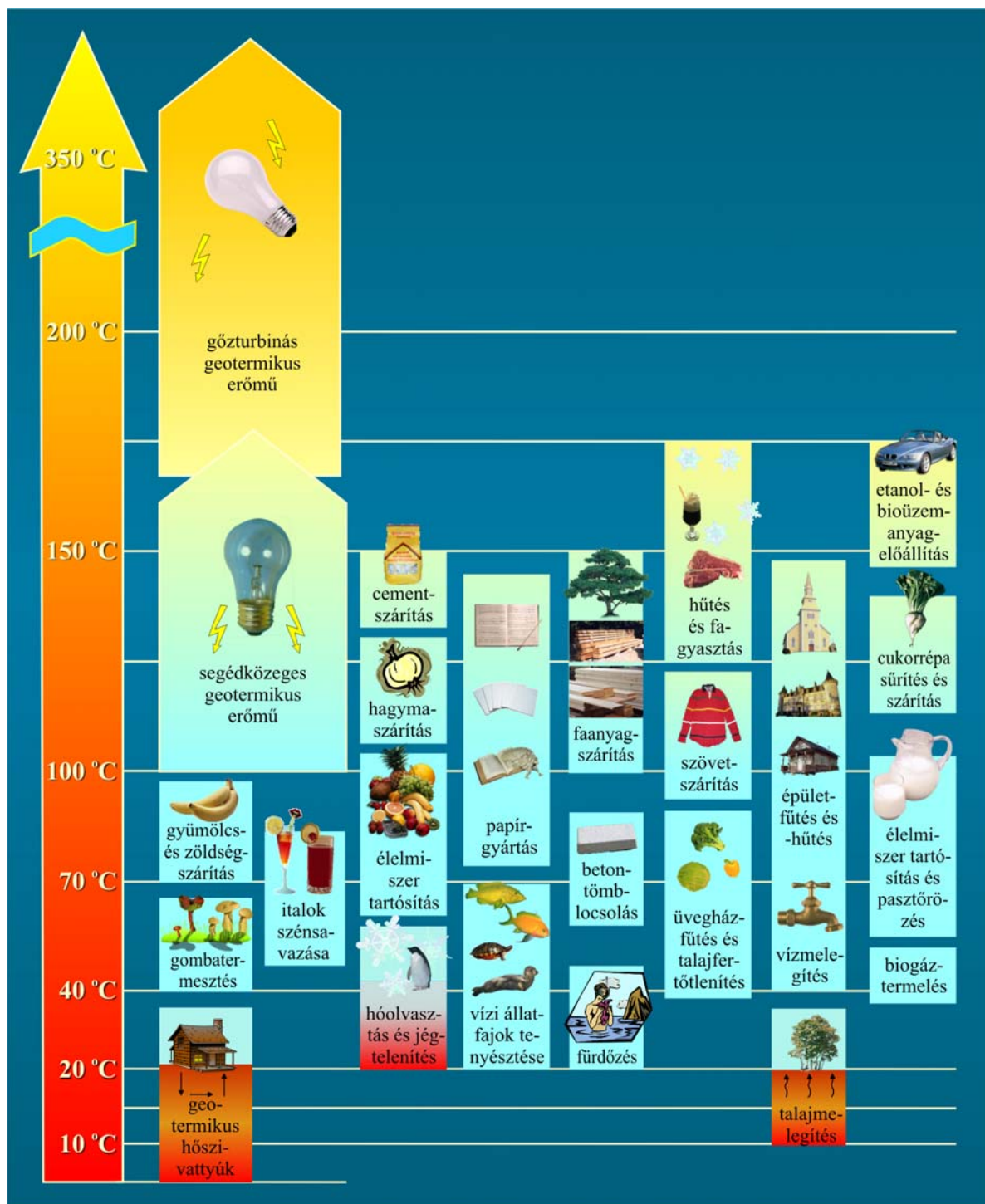
A zárt rendszerben működő *talajalapú hőszivattyúk* 1–2 m mélységben vízszintesen elhelyezett *talajkollektorok* és tíz-száz méter mélységig mélyített *földhőszondák* lehetnek. Függőleges elhelyezés esetén dupla „U” alakú szondát helyeznek el a furatban, melyben zárt rendszerben kering a munkafolyadék. Mind a vízszintes, mind a függőleges elrendezést igen gyakran használják helyi, kis hőigényű, 20–30 W/m² létesítmények ellátására. Nagyszámú, mélyebb

fúrásokban kiépített hőcserélő-hálózattal már jelentősebb energiaigények is kielégíthetők. A nyitott rendszerű *talajvízalapú hőszivattyú* (**1.5. ábra**) esetében a talajvíz a hőforrás, amely közvetlenül bejut a hőszivattyúba. A felhasznált vizet visszavezetik a felszíni vízbe vagy visszasajtoló-kútba juttatják, ill. dréncsöveken elszívárogtatják. A földhőszivattyúk alkalmazásához nem szükséges kedvező geotermikus adottság, de a kedvező adottságok – mint Magyarországon is – segítik a hatékonyabb energianyerést. Az „energia a kertemben” szlogen értelmében mindenki elgondolkodhat saját területén a földhő hőszivattyús hasznosításáról!



1.5. ábra: A földhőszivattyúk típusainak sematikus vázlata (Dickson és Fanelli, 2003 in Mádlné Szőnyi, 2006)

A geotermikus rendszereket entalpiájukkal, elsődlegesen a folyadék hőmérsékletével szokás jellemezni. Megkülönböztetünk alacsony, 100 °C alatti hőmérsékletű (kis entalpiájú) rendszereket; közepes, 100-150 °C és ennél is melegebb, forró vizű (nagy entalpiájú) készleteket (Muffler és Cataldi, 1978). A hasznosítás is hőmérsékletfüggő (**1.6. ábra**). Áramfejlesztés ma már 75-80 °C-os alsó vízhőmérsékleti határig lehetséges. Alacsonyabb hőmérsékletű rendszereknél a hő számtalan módon közvetlenül hasznosítható. A geotermikus energia felhasználásának leggazdaságosabb módja a *kaszád vagy integrált rendszerű hasznosítás*, amikor az áramfejlesztés után visszamaradó víz hőjét is hasznosítják egészen addig a legalacsonyabb hőfokig, ameddig az lehetséges. Földhőszivattyúk alkalmazásával az alsó hőmérsékleti határ mára már 0 °C-ra lecsökkent. A kapcsolt energiatermelés számottevően javítja a geotermikus energiaforrás kihasználtságát, gazdaságosságát.



1.6. ábra: Lindal-diagram (Lindal, 1973 in Mádlné Szőnyi, 2006)

Közvetlen villamosenergia-termelésre a *száraz gőzzel dolgozó erőművek* 150°C-nál magasabb hőmérsékletű gőzt használnak, amely kitermelés után közvetlenül a turbinára kerül és a generátoron keresztül elektromos áramot termel. Az elhasznált vízgőz a légkörbe jut. Az erőművi egységek mérete 2,5-5 MW_e kapacitású egységektől 25 MW_e-ig terjedhet. A kaliforniai „The Geysers” mező a legnagyobb száraz gőzt szolgáltató geotermikus mező a világon.

A víz és gőz keverékét használó *kondenzációs üzemekben* a turbinára jutás előtt a vizet elvezetik. A termálvíz nyomásának csökkentésével a víz egy részét nedves gőzzé alakítják. A gőz a turbináról egy alacsony nyomású kondenzációs kamrába jut. A nagyobb nyomásesés miatt kétszeres energiatermelés érhető el. Nagyméretű hűtőtorony tartozik hozzá, drágábbak, de kapacitásuk elérheti az 50-60 MW_e-t. Kondenzációs erőmű működik a japán Otake-ban.

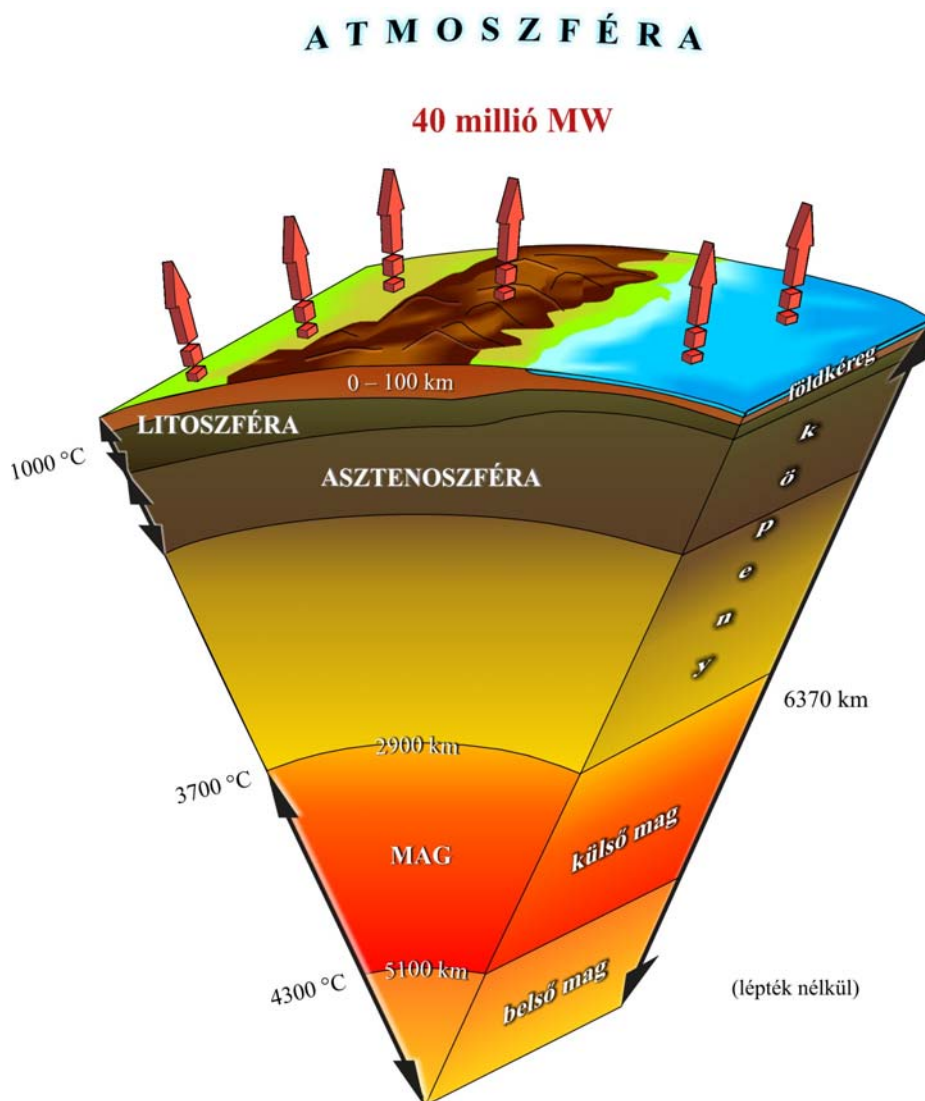
A *bíner vagy segédközege erőmű* a felszín alól kitermelt meleg vizet arra használja, hogy hőcserélőn keresztül felfűtsön egy másodlagos folyadékot (izobután, izopentán), amely a víznél alacsonyabb forráspontú szerves vegyület. Az alkalmazott eljárás az *Organic Rankine Cycle (ORC)*. Itt az áramtermelés termodinamikai hatásfoka mindössze 10% körüli. Ennek a felfűtött folyadéknak a gőze hajtja meg a turbinákat. Áttörést hozott a technológiában a *Kalina-ciklus* kidolgozása. Ez munkafolyadékként víz és ammónia keverékét használ, nagyon alacsony forrásponttal, amely 40%-kal hatékonyabb energiatermelést tesz lehetővé, mint a régebbi módszerek. Egy-egy erőművi blokk teljesítménye 1-3 MW. Előnyei az olcsóbb működési költségek, továbbá az, hogy alacsonyabb hőmérsékletű vízzel is dolgozhat. Az alsó hőmérsékleti határ 110 °C. Mivel ezekben az erőművekben zárt rendszerben történik a másodlagos folyadék cirkulációja, ezért nincs emisszió, ugyanakkor bekövetkezhet e folyadék „elszökése”.

A megújuló energiák, így a geotermikus energia esetében az elterjedés legfőbb korlátja, hogy a piac ma még nem méri az energiatermelés vagy fogyasztás járulékos, tovagyűrűző gazdasági költségeit és társadalmi hatásait. Az ezekből fakadó *externáliák* költséget okoznak másoknak, amely az energia árban nem jelenik meg. Bizonyos *externális költségek* meg sem becsülhetők, úgy, mint az üvegházgázok hatásai. Azaz a piac társadalmi szintű szabályozás nélkül nem képes optimális döntéseket hozni, szükséges, hogy ezeket a költségeket beépítsék az árba, azaz *internalizálják*. Ez nemzetközi egyezményekkel és nemzeti kormánydöntésekkel valósítható meg.

2. Nemzetközi kitekintés

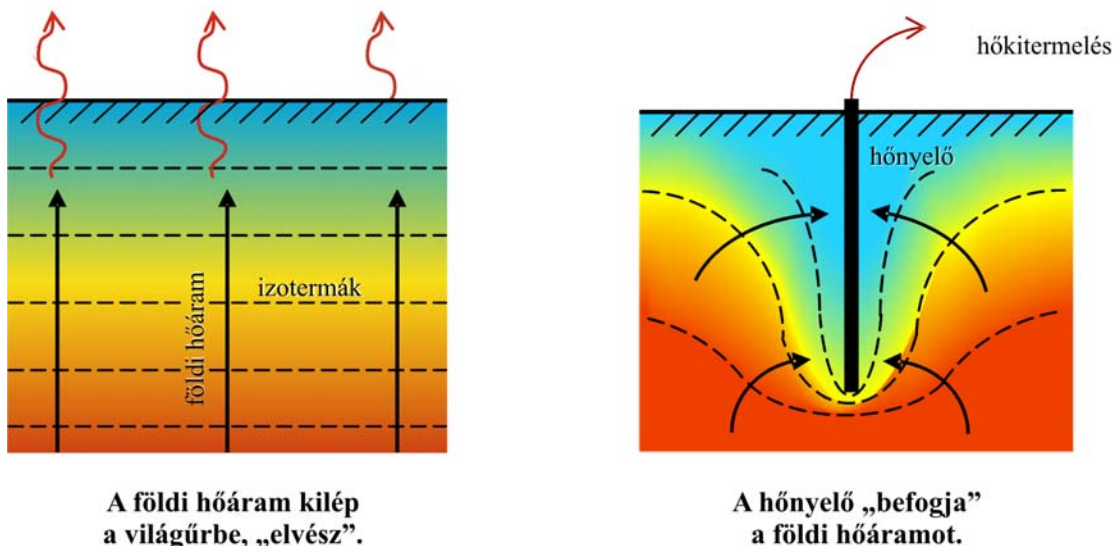
2.1. Geotermikus lehetőségek

A geotermikus energia alapja a Föld belsejében termelődő és tárolódó hő (2.1. ábra). A földbelső 99 %-a melegebb, mint 1000 °C, és kevesebb, mint 1%-a alacsonyabb hőmérsékletű, mint 100 °C. A Föld bolygó a földfelszínen keresztül a földi hőáramot 40 millió MW teljesítménnyel adja át az atmoszférának. A Föld belső hőtartalma 10×10^{25} MJ nagyságrendű, a földkéregé 5×10^{21} MJ (Dickson and Fanelli, 2003). Ez utóbbi számot összevetve a világ energiafogyasztásával, ami 10^{14} MJ, tízmilliószor többnek adódik. A földhő tehát óriási mennyiségű, kimeríthetetlen, és mindenütt jelen van.



2.1. ábra: A Föld belső szerkezete és hőmérséklete (Mádlné Szőnyi, 2006)

A földi hőáramot hasznosítani lehet, ahelyett hogy megszökjön a világűrbe (2.2. ábra). Minden felszín alatti hő/fluidum-kiemelés létrehoz egy hőnyelőt, illetve hidraulikus depressziót. Ez pedig erős termikus és hidraulikus gradienseket hoz létre, amelyek mentén intenzív beáramlás indul, hogy a hőkihasználás által kialakult deficitet kiegyenlítse. Ezért nem helytálló analógián alapszik a „hőbányászat” kifejezés: míg a kibányászott érc, szén stb. a kiürült telephelyre sohasem tér vissza, a hő és a geotermikus fluidum oda előbb-utóbb visszaáramlik.



2.2. ábra: A geotermikus hőtermelés elve (Rybach, 2005b,c in Mádlné Szőnyi, 2006)

A geotermikus energia globális potenciálját – más megújuló energiaforrásokkal összehasonlítva – számottevő mértékűre becsülik (2.1. táblázat).

Energiaforrás	Teljesítmény (EJ/év)*
Geotermikus energia	5000
Napenergia	1575
Szélenergia	640
Biomassza	276
Vízenergia	50
Összesen	7541

*1 EJ = 10^{18} J

2.1. táblázat: Megújuló energiák technikai potenciálja (WEA, 2000)

A földhőt – mint láttuk – áramfejlesztésre és közvetlenül hőhasznosításra alkalmazhatjuk.

2.2. Összehasonlítás a többi megújuló energia felhasználásával

A földhő jellemzője a többi megújuló energiafajtaival történő összehasonlításban, hogy állandóan rendelkezésre áll (**2. táblázat**). Ennek megfelelően a geotermikus erőművek használhatósági aránya (= termelt áram/teljesítmény) – az összes megújuló energiafajta között – 72%-kal a legmagasabb.

Azáltal, hogy a geotermikus energia független a meteorológiai körülményektől – nem úgy, mint a víz-, szél-, napenergia –, rugalmasan alkalmazható alapteljesítményre ugyanúgy, mint az igények maximumának idején csúcsteljesítményre. A geotermia aránylag magas részesedése, az, hogy a termelt áram 1,8%-át szolgáltatja a teljesítmény 1,0%-ával, a földhő megbízhatóságát bizonyítja; sokhelyütt már 90%-os használhatósági arány realizálódik.

Technológia	Beépített teljesítmény		Éves termelés		Kapacitás faktor (%)
	GW _e	%	TWh/év	%	
Víz	778	87.5	2,837	89	42
Biomassza	40	4.5	183	5.7	52
Szél	59	6.6	106	3.3	21
Geotermia	9	1.0	57	1.8	72
Nap	4	0.4	5	0.2	14
Összesen	890	100	3,188	100	41*

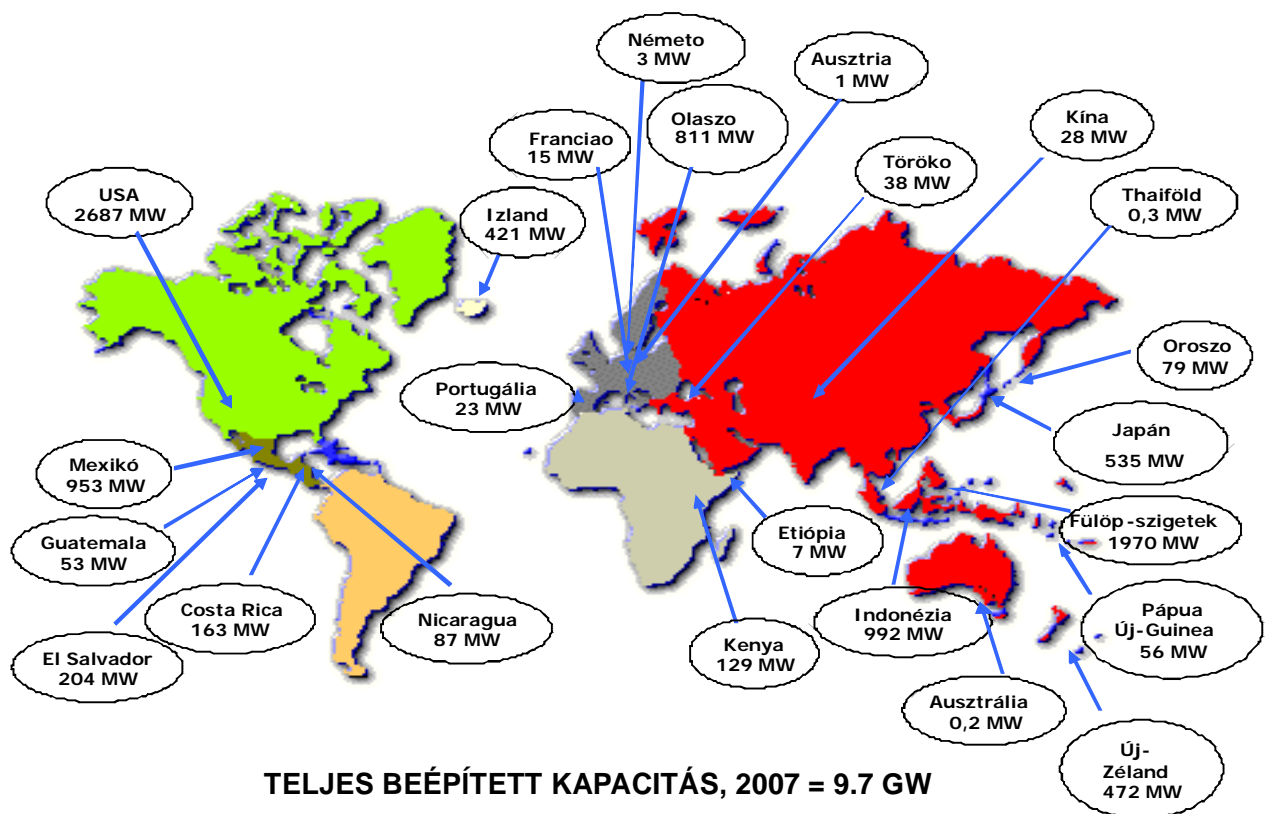
*Súlyozott átlag.

2.2. táblázat: Áramfejlesztés megújuló energiaforrásokból 2005-ben (WEC 2007 Survey of Energy Resources)

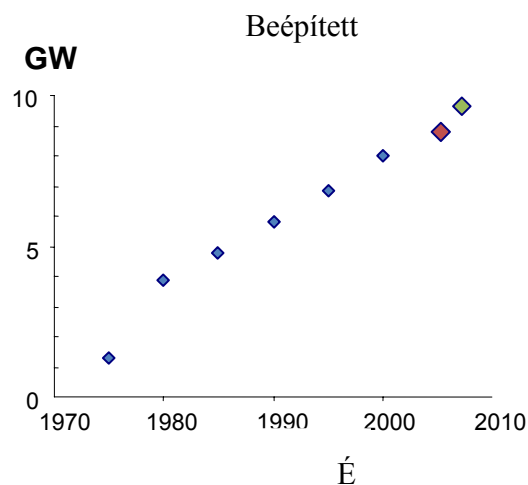
2.3. Geotermikus áramfejlesztés

Ma huszonnégy ország állít elő áramot földhőforrásokból. Ezek közül jó néhányban jelentős, 15–22% a részesedése az ország áramellátásában: Costa Rica, El Salvador, Izland, Kenya, Fülöp-szigetek. 2004-ben világszerte 8,9 GW_e kapacitás termelt 57 TWh árammenyiséget; a 2007-re szóló becslés 9,7 GW_e teljesítményt és 60 TWh áramot ad (Bertani, 2005, 2007). Geotermikus erőművek világszerte működnek (**2.3. ábra**), jelenleg leginkább a lemezszegélyek vulkanikus területein. A 2.3. táblázat a geotermikus áramfejlesztésben élenjáró országokat („top fifteen”) mutatja.

A globális geotermikus áramtermelés lassan, de folyamatosan növekszik: 1999 és 2004 között évi 3%-kal emelkedett; 2005 és 2007 között a beépített kapacitás 800 MW_e-el nőtt meg (**2.4. ábra**). Nagy jelentőségű, hogy újabban geológailag „normális”, azaz nem vulkanikus területeken is megindult a geotermikus áramfejlesztés, olyan országokban, mint Ausztria és Németország.

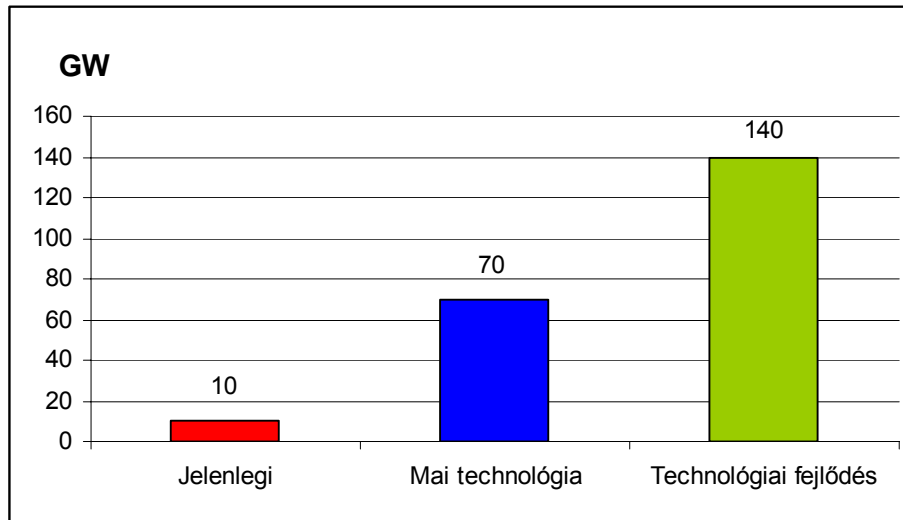


2.3. ábra: A világszerte működő geotermikus áramfejlesztés beépített kapacitása a különböző országokban (Bertani, 2007)



2.4. ábra: Beépített geotermikus áramfejlesztési teljesítménynövekedése 1975-től 2000-ig (kék), további becslésekkel: 2007 (piros), 2010 (zöld). Bertani (2007) nyomán

A jövőbeli kilátásokra vonatkozólag csak becslések vannak: Bertani (2003) szerint a várható összteljesítmény minimuma 35–70 GW_e, maximuma 140 GW_e (**2.5. ábra**). A potenciál még magasabb, ha az EGS-rendszereket is figyelembe vesszük: a híres MIT-tanulmány (Tester et al., 2006) szerint csak az USA-ban több mint 100 GW_e teljesítmény létesíthető, Németországban pedig 35 GW_e (Paschen et al., 2003).



2.5. ábra: A geotermikus áramfejlesztés jövőbeli kilátásai, különféle technológiai peremfeltételekkel (Bertani, 2003)

A technológia fejlődése leginkább a hő árammá történő átalakítása során várható, főleg binér erőműtípusok alapján. Ezekkel már viszonylag alacsony hőmérsékletű hévizeknél is szóba jöhet az áramfejlesztés: a jelenlegi minimumot egy alaskai kiserőmű képviseli, 74 °C-os bemenő hőmérséklettel.

2.4. Közvetlen hőhasznosítás, különös tekintettel a földhőszivattyúkra

A közvetlen hőhasznosítás sok alkalmazási területen érvényesül: fűtés, ipari és mezőgazdasági felhasználások, hévízfürdők. 2004-ben hetvenkét országban folyt közvetlen geotermikus hasznosítás 28 GW_{th} kapacitással és 270 TJ/év hőtermeléssel. Világszerte eddig kilencven országban mutattak ki készleteket. A közvetlen hasznosítás globális megoszlása a következő: épületfűtés 52% (ebből 32% földhőszivattyúk), fürdés (gyógyfürdők, üdülés) 30%, mezőgazdaság (üvegházak, talajfűtés) 8%, ipari alkalmazás 4%, haltenyésztés 4% (Lund et al., 2005). A **2.3. táblázat** a közvetlen hasznosításban élenjáró országokat mutatja. Természetesen az országok nagysága és lélekszáma is figyelembe veendő. Az egy főre eső földhőhasználatban Izland vezet világszerte. Magyarország a közvetlen geotermikus energiahasznosításban jelenleg a hetedik, de 2000-ben még a harmadik volt a világranglistán. Olyan országok előznek meg, mint Törökország és Svédország.

Az utóbbi évtizedben a közvetlen felhasználásban volt a földhőszivattyúk elterjedése a legszembetűnőbb. Ezek egyúttal a megújuló energiaforrások egyik leggyorsabban növekvő kategóriáját képviselik (Rybach, 2005a). Ennek oka, hogy a felszín közelében mindenütt jelenlévő,

sekély, de hatalmas geotermikus készletek, az általaj vagy a talajvíz hőtartalmának kihasználásán alapulnak. Ez a készlettartomány maximum 400 méter mélységig terjed, de ez csak definíció kérdése, termikus határa ennek a tartománynak nincs. A már kiforrott technológia a készlettartomány relatív konstans hőmérsékletét, 4–30 °C használja fel sokféle alkalmazásra: épületfűtés, -hűtés, melegvíz-szolgáltatás lakások, iskolák, ipari, nyilvános és kereskedelmi létesítmények számára.

Geotermikus áramfejlesztés		Közvetlen hőhasznosítás	
Ország	GWh/év	Ország	TJ/év
USA	17.917	Kína	45.378
Fülöp-szigetek	9253	Svédország	36.000
Mexikó	6282	USA	31.241
Indonézia	6085	Törökország	24.840
Olaszország	5340	Izland	24.502
Japán	3467	Japán	10.303
Új-Zéland	2774	Magyarország	7942
Izland	1483	Olaszország	2098
Costa Rica	1145	Új-Zéland	7553
Kenya	1088	Brazília	6624
El Salvador	967	Grúzia	6307
Nicaragua	271	Oroszország	6145
Guatemala	212	Franciaország	5195
Törökország	105	Dánia	4399
Guadeloupe (Fr.o.)	102	Svájc	4230

2.3. táblázat: A földhőhasznosításban (áramfejlesztés/közvetlen felhasználás) élenjáró országok („top fifteen”). Fridleifsson et al. (2008) alapján, átszámítva

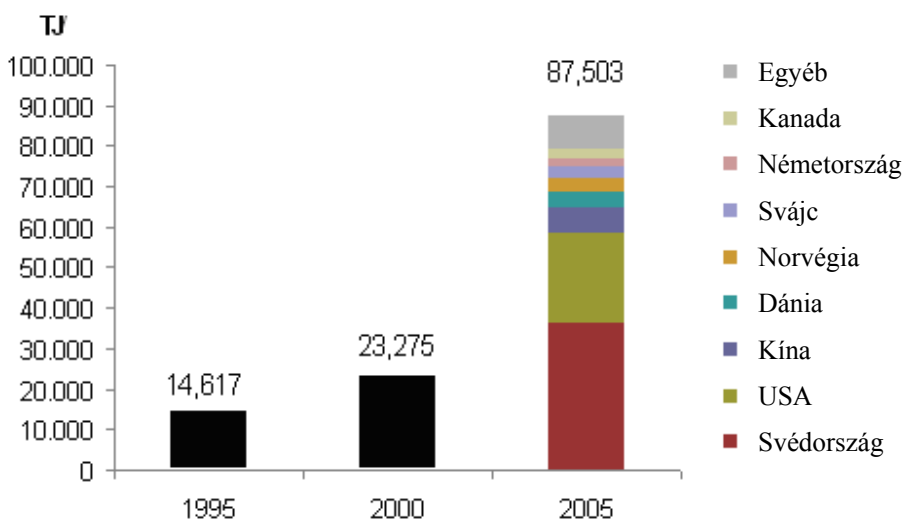
Statisztikai adatok mutatják a földhőszivattyús rendszerek rohamos, de nem egyöntetű fejlődését. A **2.4. táblázat** szerint az Európai Unióban egyes országok már régóta gyarapítják ilyen típusú rendszereiket, míg más országok csak nemrég kezdtek felzárkózni. Az EU-ban 2006-ban több mint 500.000 berendezés működött 7,2 GW teljesítménnyel.

Az USA-ban már több mint 800.000 berendezés működik, évente 50.000 új egység épül (Lund, 2006). Globális adatokat legutóbb csak a World Geothermal Congress 2005 összegzett. Ezek szerint a világ közvetlen geotermikus hőhasznosításában a földhőszivattyúk 2004-ben a teljesítmény 54,4%-át és a hőtermelés 32,0%-át biztosították. Az összkapacitás 15,4 GW és a hőmennyiség 87,5 TJ/év volt. Az egyéni esetben a hőszivattyú nagyságától függő földhőszivattyúk átlagos kapacitása 12 kW; 2004-ben a világszerte működő egységek száma kb. 1,3 millió volt, ami megduplázta a

2000-re vonatkozó számokat (Curtis et al., 2005). Kínában is terjednek a földhőszivattyúk: míg 2004-ben az ellátott épületek felületmérete csak $8 \times 10^6 \text{ m}^2$ volt, 2006-ra már $20 \times 10^6 \text{ m}^2$ lett, és 2007-ben már $30 \times 10^6 \text{ m}^2$ -re nőtt (Fridleifsson et al. 2008). A globális fejlődést a **2.6. ábra** mutatja.

Ország	2003	2004	2005	2006
Svédország	31.564	39.359	34.584	40.017
Németország	7349	9593	13.250	28.605
Franciaország	9000	11.700	13.880	20.026
Ausztria	3633	4282	5205	7235
Finnország	2200	2905	3506	4506
Észtország	n.a.	1155	1310	1500
Csehország	n.a.	600	1027	1446
Belgium	n.a.	n.a.	1000	1000
Lengyelország	n.a.	n.a.	100	200
Szlovénia	n.a.	35	97	120
Magyarország	n.a.	n.a.	80	120
Összesen	53.746	69.629	74.039	104.775
Svájc	3558	4380	5128	7130

2.4. táblázat: A földhőszivattyús rendszerek fejlődése az Európai Unióban és Svájcban (évente beszerelt berendezések száma; Geothermal Energy Barometer, Szeptember 2007)



2.6. ábra: A földhőszivattyús rendszerek fejlődése világszerte – az élenjáró országok külön feltüntetve (Fridleifsson et al., 2008)

2.5. A „jövő zenéje”: az EGS-rendszer

Az első mesterségesen fejlesztett földhőrendszer Soultz-souz-Forets-ben hamarosan megkezdte a kísérleti áramtermelést (Genter, 2008). Bár manapság még egy kilowattóra áram sem termelődik EGS-rendszerekből, a potenciál egyhangúan nagyra becsült. Annak ellenére, hogy még sok részletkérdés tisztázandó – mint a repedésrendszer kiképzéséhez szükséges vízbesajtolás folytán esetlegesen fellépő mesterséges szeizmicitás korlátozása –, már igazi „EGS-láz“ tört ki Ausztráliában (Beardmore, 2007). Erőművek egész sorát vették tervbe, indulásuk egy-két éven belül várható. Emellett Németországban és Franciaországban is épülnek jelenleg EGS-alapú erőművek. Eddig termelőhelyenként csak néhány MW-ra számítanak a projektervezők. Az EGS egyik legfontosabb tisztázandó kérdése az, hogy milyen mértékben, s hogyan lehetne a rendszer kapacitását több tíz megawattos erőműegységekre növelni.

2.6. A geotermikus energia fenntartható használatának kérdései

A geotermikus energiát általában megújuló energiának tekintik. Ez esetben a „megújuló” kifejezés a készlet egyik sajátosságát jellemzi: a kiemelt energia folyamatosan pótlódik, nagyjából akkora időtartam alatt, mint amennyi a kitermelése. Ennek megfelelően a hőkinyerés nem „bányászat”. A földhő tehát „fenntartható” módon használható, azaz a felhasználó technológiamegoldás hosszútávon üzemeltethető termelés-csökkenés nélkül, feltéve, hogy az aránylag mérsékelt szinten folyik. Az ilyen, fenntartható termelési szint a helyi geotermikus készlet adottságainak: telepnagyság, természetes utánpótlódás stb. függvénye.

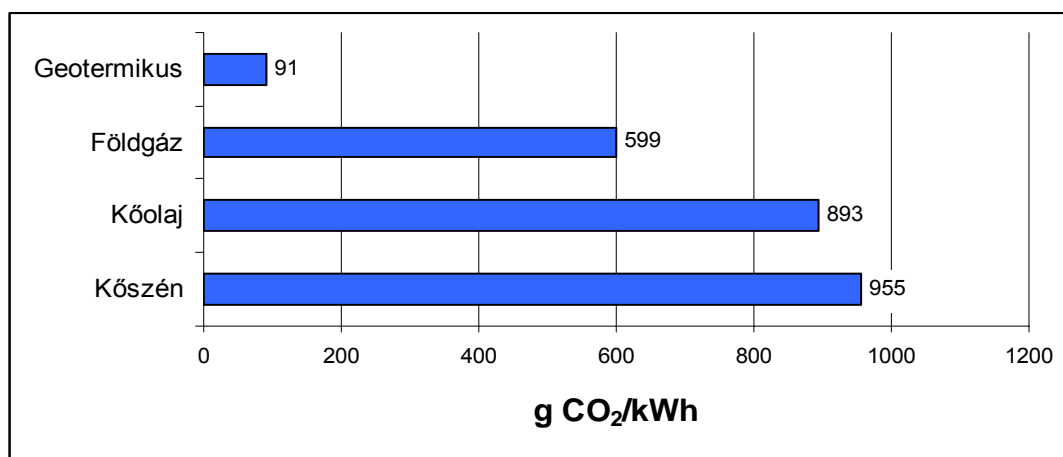
A geotermikus hő/folyadéktermelés folytán kialakuló termikus/hidraulikus nyelőt már a termelés alatt, de főleg annak a végén hő- és folyadékbeáramlást kelt a kiindulási állapot visszaállítására. A geotermikus készletek regenerációja csak az idő kérdése, melynek hossza a technológiai megoldás típusától és nagyságától, a kitermelés tempójától, és a készlet geológiai jellemzőitől függ.

A geotermikus regeneráció időléptékének meghatározására numerikus modellszámítások készültek a következő technológiákra: 1) földhőszivattyúk épületfűtésre, 2) termálvizes tároló két kutas üzemeltetése, 3) áramtermelés egy kétfázisú (gőz/forróvíz) rezervoárból, 4) EGS-rendszer. Részletek Rybach és Mongillo (2006)-os munkájában találhatóak. Az eredmények azt mutatják, hogy a termelés megszűnte után az újratöltődés természetes erők folytán, az említett gradiensek mentén történik. A regeneráció tipikusan aszimptotikus lefutást mutat: kezdetben erős és gyors, aztán egyre lelassul, s a kiinduló állapot elméletileg csak végtelen idő elmúta után érhető el. Gyakorlatilag azonban a feltöltődés – azaz az eredeti szint 95%-os elérése – már sokkal előbb megtörténik, általában olyan időtartam után, mint amennyi a kitermelése volt.

2.7. Környezetvédelmi és gazdaságossági szempontok

2.7.1. Környezetvédelem

A geotermikus energiát környezetbarát technológiaként könyvelik el. Ez annyiban igaz, hogy más energiát szolgáltató technológiákkal összehasonlítva – különösképpen a fosszilis energiahordozókkal összevetve – kedvező mutatókkal rendelkezik (**2.7. ábra**).



2.7. ábra: Az USA-ban működő áramfejlesztési technológiák szén-dioxid-kibocsátásainak összehasonlítása (Bloomfield, 2003)

Mint minden más energiatermelő technológia, a földhő használata is bizonyos környezeti hatásokkal jár. Ezek maradandó vagy múló változásokat okoznak. Általában már a hatósági környezetvédelmi előírások garantálják, hogy csak határértékeken aluli következmények álljanak elő, a levegőbe, a felszíni és felszínalatti vizekbe történő anyagkibocsátás során.

Korunkban a globális éghajlatváltozás, – az üvegház hatású gázok emissziójának csökkentésével annak lehetséges lelassítása – az egyik legnagyobb kihívás.

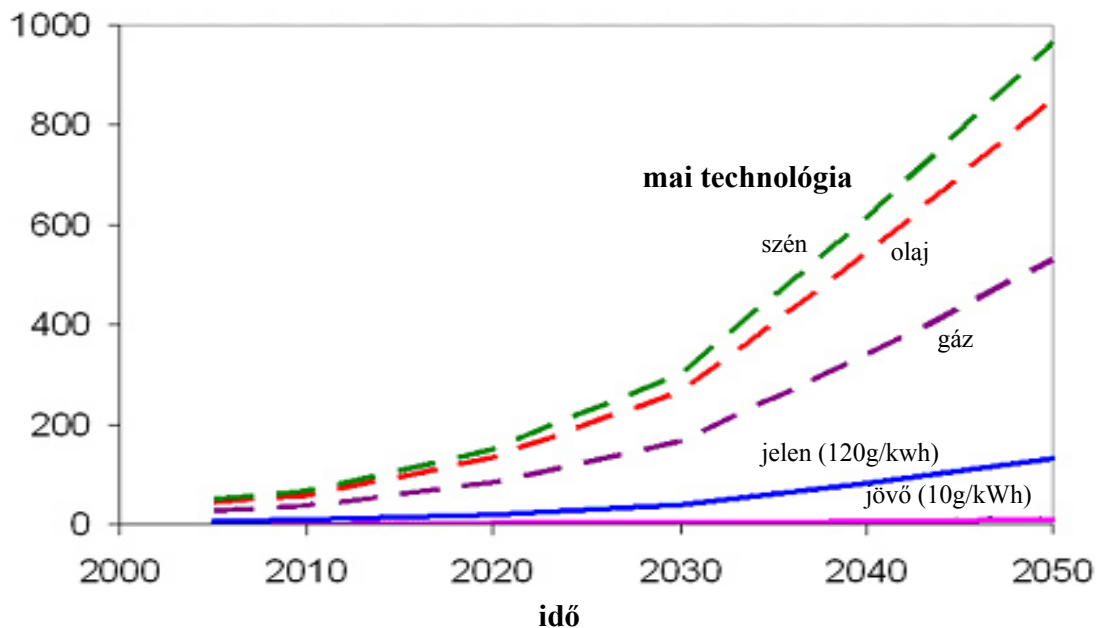
2.7.1.1 Geotermikus erőművek

A geotermikus erőművek működése jelenleg globális átlagban 120 g CO₂/kWh kibocsátással jár (Bertani and Thain, 2002). Jövőben a technológia fejlődésével a 10 g CO₂/kWh-s érték elérése várható. Ennek köszönhetően – továbbá a geotermikus áramfejlesztés növekedését megbecsülve – jelentős potenciál számítható a szén-dioxid-kibocsátás kiküszöbölésére (Fridleifsson et al. 2008) (2.8. ábra).

2.7.1.2 Közvetlen hőkihasználás (földhőszivattyúk nélkül)

A technológiai megoldások többsége zárt rendszerben működik. Azaz a geotermikus fluidum – távfűtésre történt kiemelés és a hőcserélőkben végbement hőkivétel után – visszasajtoló-kutakon keresztül visszajut a felszín alá. Ez azt jelenti, hogy szinte nincs kontaktus a felszíni környezettel. Ennek megfelelően csekély a szén-dioxid emissziós értékük is (0.0 – 0.3 g/TJ). Ebből következően tényleges CO₂-emissziócsökkentés adódik akkor, ha meglévő szennyező, fosszilis fűtésű berendezéseket geotermikus rendszerekkel helyettesítenek. Erre jó példát mutat a szlovákiai Galánta esete: itt földgáz alapú, évi 9000 GJ-t szolgáltató távfűtés állt át földhőre, melynek köszönhetően az eddigi CO₂-kibocsátás évi 5.000 tonnával csökken (Galantaterm, 2007).

millió tonna CO₂/év



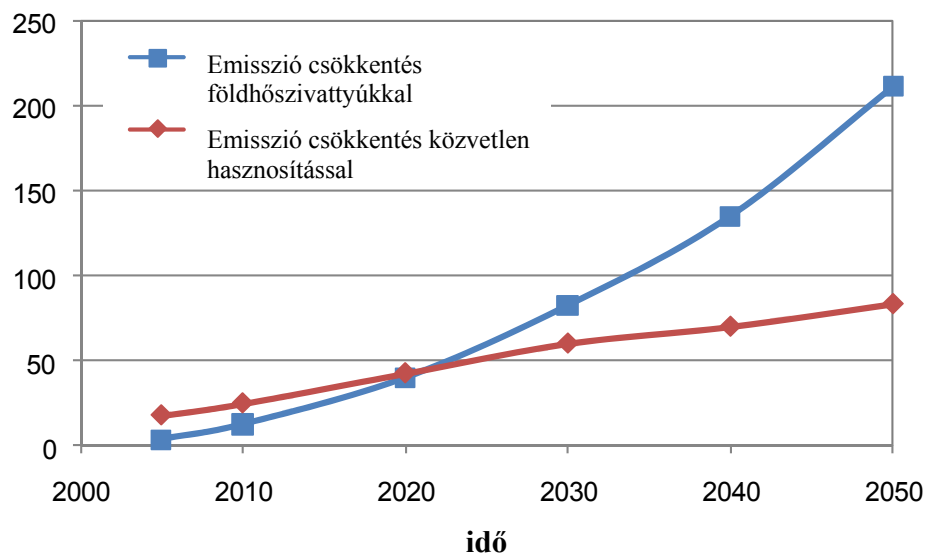
2.8. ábra: Geotermikus erőművek CO₂-emissziócsökkentési potenciálja, ha fosszilis erőműveket helyettesítenek (Fridleifsson et al., 2008). A geotermikus görbék (kék, lila) az említett emisszióértékek (10, illetve 120 g CO₂/kWh) alapján lettek kiszámolva

2.7.1.3 Földhőszivattyúk

A földhőszivattyúk meghajtásához villanyáram szükséges. Mértékadó CO₂-kibocsátáscsökkenés akkor várható, ha egy korábban fosszilis energiahordozók használatán alapuló berendezést geotermikus rendszerre cserélnék ki. Ha nem, azaz új földhőszivattyút építenek be új épületbe, akkor figyelembe veendő az áramszolgáltatás és annak a szén-dioxid-mérlege is.

Jelenleg Európában az átlagos áramszolgáltatásból származó CO₂-emisszió a különböző meghajtású – víz, szén, olaj, gáz, urán – elektromos erőművek aránya alapján kb. 0.5 kg/kWh (Fridleifsson et al., 2008). Fűtésre jól tervezett földhőszivattyú-endszerek teljesítményszáma 4.0. Ezzel számolva egy ugyanolyan teljesítményű olajfűtés helyettesítése 45%-os, gázfűtésnél 33%-os CO₂-kibocsátás megtakarítást jelent. A földhőszivattyúk beépítése ezen rendszerek helyébe – a jelenlegi adatokkal – Európa egészére évi 1.6×10^6 tonna szén-dioxid redukciós potenciált jelentene (Fridleifsson et al., 2008). Világszerte a megtakarítás természetesen a jövőben jóval nagyobb, ha a földhőszivattyúk további várható elterjedését is számításba vesszük (2.9. ábra). Az ábrán látható az egész életút, azaz az előállítás és az üzemeltetés; valamint a közvetlen geotermikus hőkihasználás potenciálja is.

millió tonna CO₂/év



2.9. ábra: A közvetlen földhőhasznosítás (piros görbe) és a földhőszivattyúk (kék görbe) CO₂-emissziócsökkentő potenciálja (Fridleifsson et al., 2008)

2.7.2. Gazdaságossági szempontok

2.7.2.1 Geotermikus erőművek

A World Energy Outlook (WEA 2004) statisztikája szerint a geotermikus erőforrások használatával előállított villamos áram költsége más megújuló energiákkal összevetve aránylag kedvező helyzetű (2.5. táblázat).

Erőműfajta	Áramfejlesztési költség (US cent/kWh)
Vízerőmű	2–10
Geotermikus erőmű	2–10
Szélerőmű	4–8
Biomassza erőmű	3–12
Fotovillamos napelemek	25–160
Naperőmű	12–34

2.5. táblázat: Megújuló energiaforrásokból fejlesztett villanyáram ára (WEA, 2004)

Jelenleg a geotermikus erőművek kiépítési költsége 3–4.5 millió €/MW, az áramfejlesztési költség 40–100 €/MWh (Fridleifsson et al. 2008). Ha ezek az árak manapság magasabbak is, mint fosszilis erőműveknél, akkor azt kell figyelembe venni, hogy a CO₂ kibocsátás megadóztatása még csak a kezdeténél tart. A közeljövőben várható, hogy ezen a téren a megújuló energiákkal szolgáltatott áram egyre versenyképesebb lesz.

Több országban már érzékelhető hatása van a megújuló, „zöld“ áram számára bevezetett, áramszolgáltatók általi átvételi kötelezettségnek és az emelt átvételi áraknak. Annak ellenére, hogy országról országra tekintve még aránylag nagy különbségek vannak az átvételi tarifák között, s hogy szembetűnő tarifakülönbségek vannak az energiatípusok között; a földhőre alapozott erőművek bevezetése megindult. Különösen igaz ez, – mint később látni fogjuk – Németországra.

2.7.2.2 Közvetlen hasznosítás (földhőszivattyúk nélkül)

A sokféle hasznosítás közül itt csak a legnagyobb létesítményekkel dolgozó és leggyakoribb alkalmazást – a geotermikus távfűtést – tárgyaljuk. Ez legtöbbször nagy beruházással jár: visszasajtoló-kutak létesítése, kettős csövezeték kiépítése a bemenő és kimenő tápvíznek, és emellett az üzemeltetési költségek sem elhanyagolhatók már akkor sem, ha csak a fűrólyukak karbantartására gondolunk.

A megújuló energiaforrásokból származó hő árát illetőleg nemrég az IEA adott közre adatokat (IEA, 2007). Ezek szerint földhő alapú távfűtésnél a közepes ár 2.0 €/GJ (2005-re érvényes € pénzérték).

2.7.2.3 Földhőszivattyúk

A földhőszivattyús rendszerek a fent említett módon sokfelé gyorsan terjednek. A mérsékelt éghajlatú övben fő előnyük az, hogy az ilyen berendezések télen fűteni, nyáron pedig hűteni tudnak. Tehát egy beruházással egyszerre két célt lehet elérni.

Ide vonatkozóan szintén az IEA közölt adatokat: a kombinált fűtés/hűtés közepes ára 16,0 €/GJ (2005-re érvényes pénzérték). Közvetlenebb érdeklődés tárgya a beruházás megtérülésének időtartama: ez a rendszer nagyságától és a technikai megoldásoktól függően kb. 4–8 év.

2.7.2.4 EGS-rendszer

Mindeddig csak modellszámítások alapján adódtak irányárak, melyek szerint az ársáv az 5 és 8 US cent/kWh tartományba esik. Ezek a számok a modellszámítás által igényelt, főleg csak a becsült bemenő adatok bizonytalanságával terhelték. A nagyságrend is csak megépített, termelő EGS-erőművek mért adataival igazolható.

Az viszont biztos, hogy ha egy EGS-erőmű kapcsolt hő-/áramfejlesztési módon üzemeltethető, azaz a hő is „eladható“, akkor egy ilyen rendszer gazdaságossága ugrásszerűen megnő. A „konvencionális“ geotermikus erőműveknél hulladékhő keletkezik, amin általában csak hűtőtornyokkal lehet segíteni, eladni pedig alig lehet. Hűtőtorny nélküli, kapcsolt módú EGS-rendszerek elvileg lakott területeken is létesíthetők, feltéve, ha az környezetvédelmi szempontból szóba jöhet.

2.8. Nemzetközi trendek

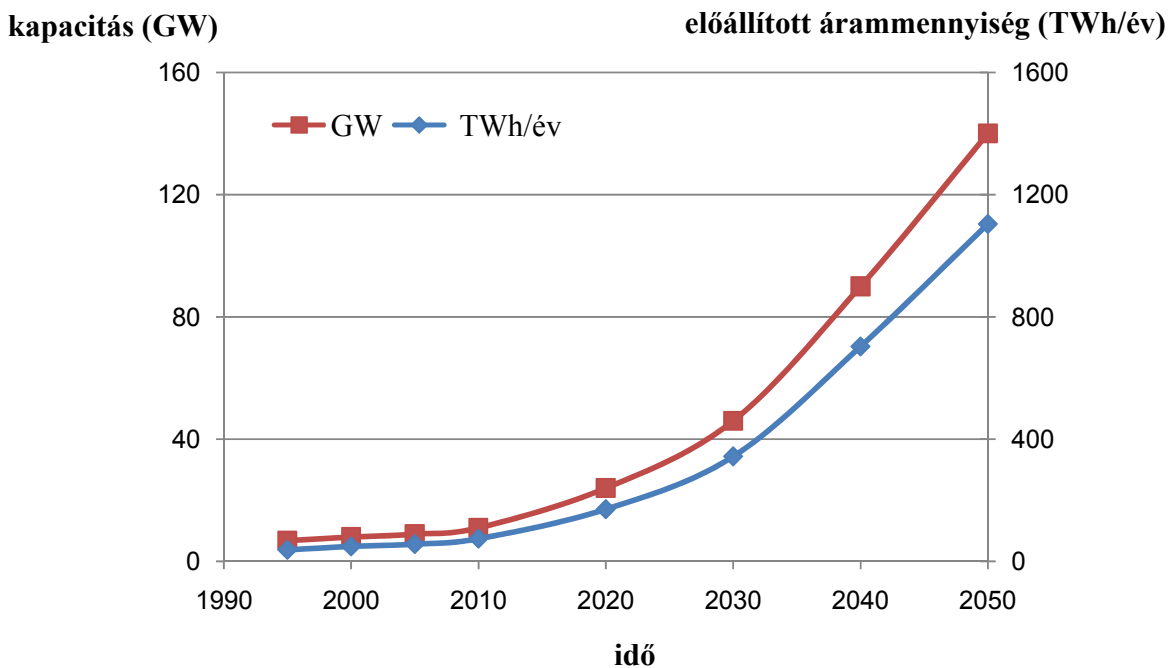
Jelenleg két fejlődési irány mutatkozik, amelyek a közeljövőben bizonyára még fokozódnak. A konvencionális, hidrotermális készletek hasznosítása geotermikus erőművekkel, főleg fejlődő

országokban, Indonéziában, a Fülöp-szigeteken prognosztizálható. Emellett várható, hogy a földhőszivattyúk terjedése sok olyan országban is megindul, amelyekben eddig csak igen kevés ilyen típusú berendezést létesítettek.

Az is előre látható, hogy az EGS-rendszerek – ha ezeknek az üzemeltetése a várt eredményeket hozza – gyors és széleskörű elterjedésre számíthatnak.

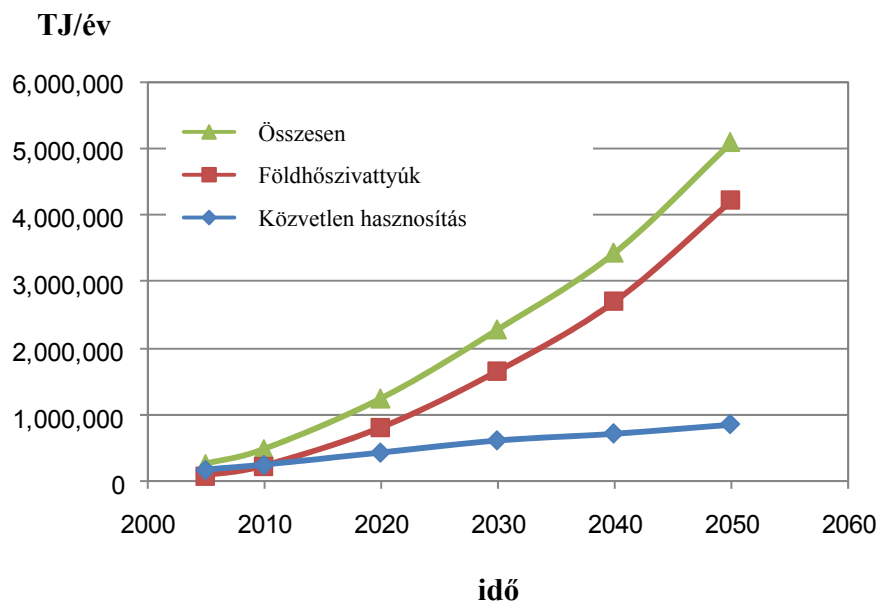
A földhő intenzívebb felhasználását bizonyára elősegítik a politikai célkitűzések, mint pl. a 20/20/20% irányelv az Európai Unióban. Azaz 2020-ig az energiafelhasználás valamint a széndioxid-kibocsátás 20%-kal csökkenjen, míg a megújuló energiák az igények 20%-át fedezzék.

A jövőbeli geotermikus fejlődés illusztrálására csak becslésadatok vannak (2.10 és 2.11. ábra), melyek Magyarország adottságainak ismeretében figyelemre méltóak.



2.10. ábra: A geotermikus áramfejlesztés becsült jövőbeni fejlődési trendje, beépített teljesítmény (piros görbe) és előállított árammennyiség (kék görbe) formájában (Fridleifsson et al., 2008)

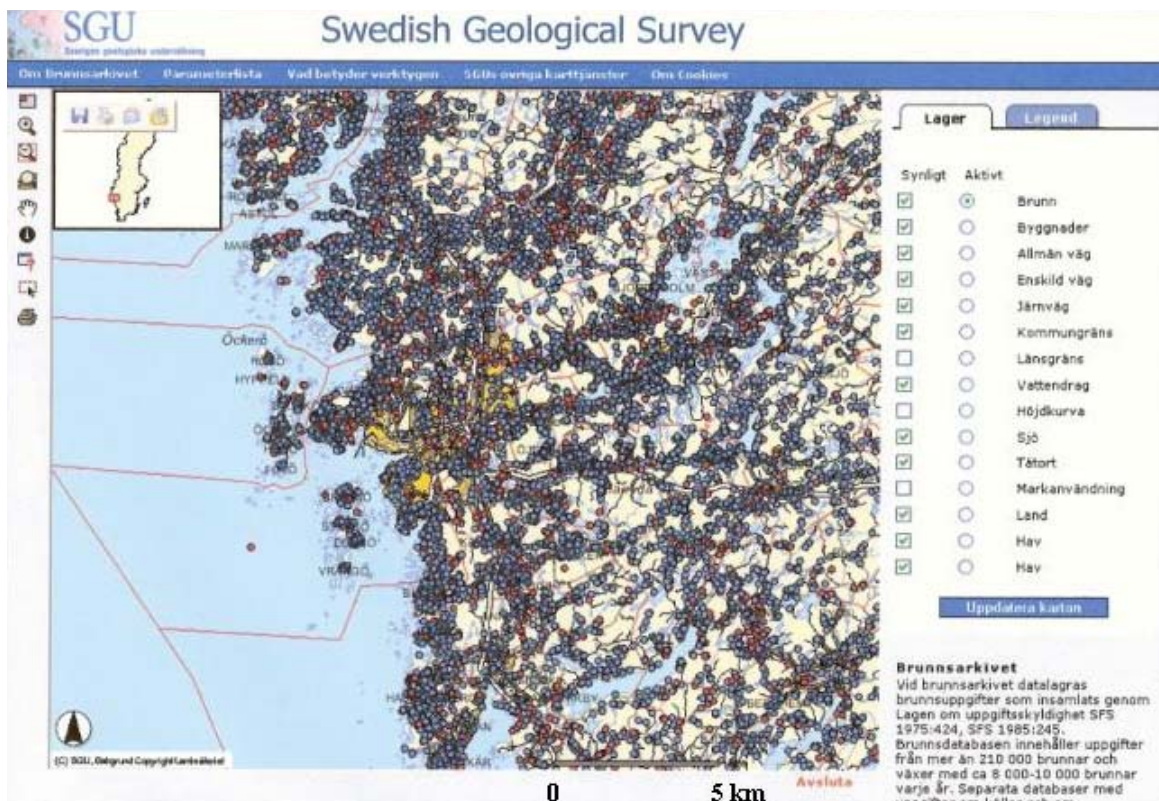
Manapság sok országban folynak nagyméretű geotermikus fejlesztések. Az alábbiakban néhány kiválasztott ország jelenlegi aktivitását foglaljuk össze. A választás olyan országokra esett, amelyekben a fejlesztés példaképpen hathat Magyarországra. Az előzetesen leszögezhető, hogy a tárgyalt országok egyike sem rendelkezik akkora geotermikus potenciállal, mint Magyarország.



2.11. ábra: A közvetlen hőfelhasználás (földhőszivattyúk nélkül; kék görbe) és a földhőszivattyúk becsült fejlődési trendje (piros görbe), a szolgáltatott hőmennyiség formájában (Fridleifsson et al., 2008)

2.8.1. Svédország

Svédország geológiai helyzetéből adandóan az ország területének legnagyobb része prekambriumi kőzetek által felépített platformon (Balti/Fennoszarmáciai pajzs) helyezkedik el. Ilyen geológiai környezetben nincsenek geotermikus anomáliák, a geotermikus gradiens, valamint a földi hőáram alacsony értékeket mutat (15-20 °C/km, 40-50 mW/m²). Ennek ellenére Svédország Európában a közvetlen hőhasznosítás terén élen jár: az évi 36.000 TJ hőtermeléssel még az USA-t is megelőzi (2.3. táblázat). Az ilyen méretű földhőhasznosítás csaknem kizárólag a földhőszivattyúk rohamos elterjedésének köszönhető (2.4. táblázat). A családi házak 30%-a ma már földhőszivattyút használ. A 2.12. ábra a Göteborg-nál 2006-ig épített földhőszivattyúk eloszlását mutatja példaképpen. A fejlődés alapja a földhőszivattyúk állami támogatása (szubvenció) és a regionális, kamatmentes kölcsönök rendszere az 1990-es évek óta.



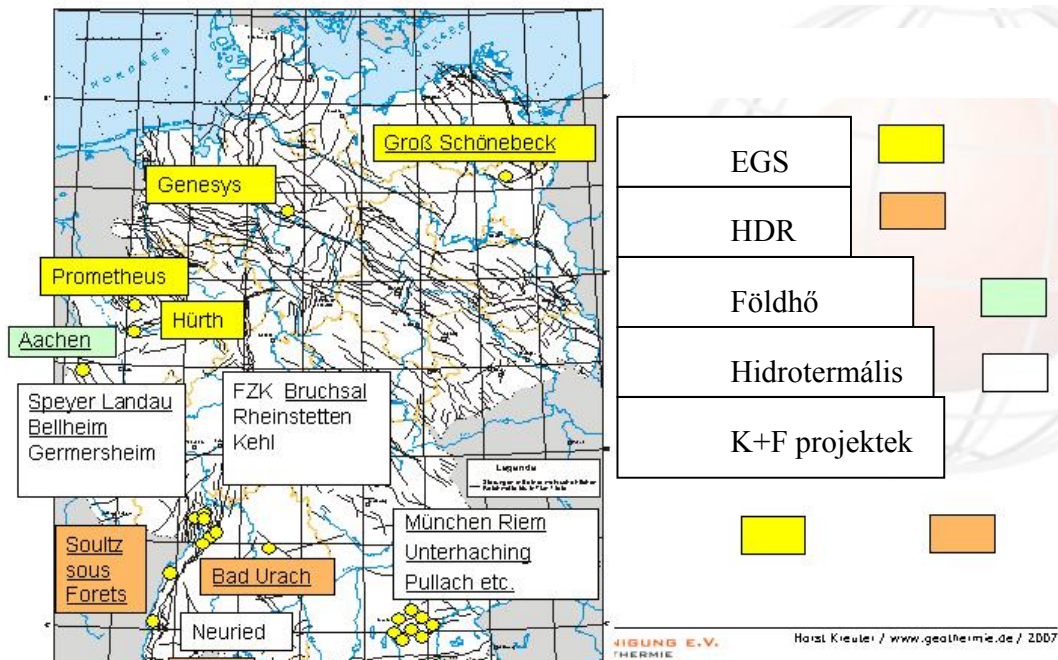
2.12. ábra: A 2006-ig beépített földhőszivattyúk eloszlása a svédországi Göteborgnál (www.geothermie.de/groundhit/index.htm)

2.8.2. Németország

Geotermikus szempontból három érdekes terület egység található Németországban: a Rajna völgye, a Délnémet-medence, és az Észak-német-mélyföld. Jelenleg főleg Münchentől délre, a Délnémet-medencében és a Rajna-völgyben összpontosul az aktivitás (2.13. ábra). A közvetlen hőkihasználás területén az országot nemzetközileg főleg a földhőszivattyúk növekvő jelentősége miatt tartják számon (2.4. táblázat), másrészt viszont a megújuló energiáknak – s egyben a geotermiának is – kedvező politikai háttere miatt.

Ilyen tekintetben elsősorban a Megújuló Energia Törvény (Erneuerbarer Energie Gesetz, EEG), s ez alapján a megújuló forrásokból származó áramra szabott átvételi ár rendszere (Einspeisevergütung) figyelemreméltó. Jelenleg geotermikus erőművekre a következő átvételi árak érvényesek a beépített teljesítmény alapján: 0-5 MW_e: 15 c€/; 5-10 MW_e: 14 c€/; 10-20 MW_e: 9 c€/; >20 MW_e: 7 c€/.

Emellett a feltárási kockázat enyhítésére is van megoldás: egyrészt kormányzati hozzájárulást (Marktanreiz- Programm, MAP) alkalmaznak a földhőhasznosításra telepített mélyfúrásoknál, másrészt piaci biztosító társaságokkal (pl. a Münchner Rück) szerződések köthetők. Ennek köszönhető, hogy jelenleg már több (kisebb) geotermikus erőmű működik Németországban, és tucatnyi fejlesztési projekt zajlik (2.13. ábra).



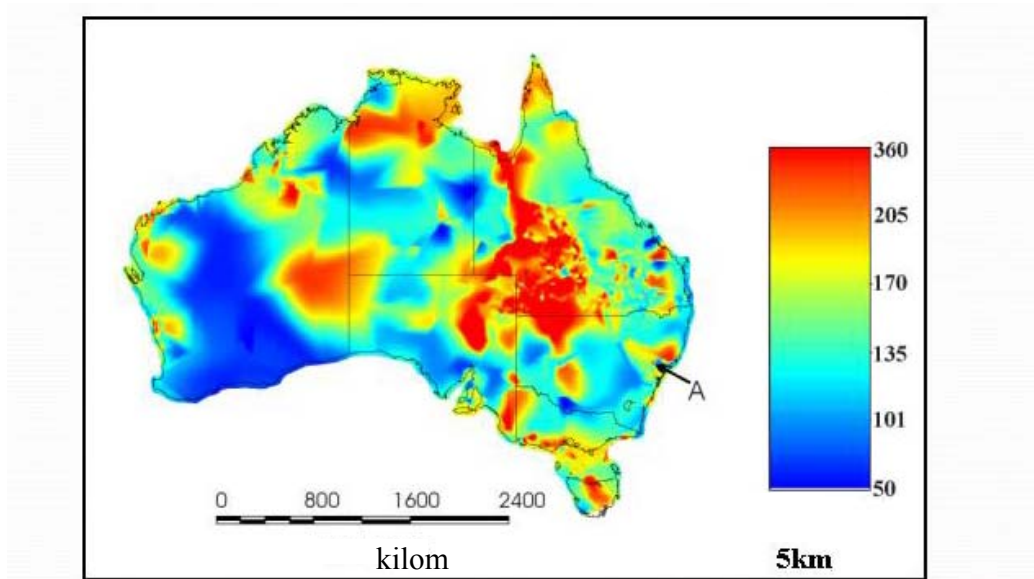
2.13. ábra: Németország egész területén folyik a földhőhasználat fejlesztése (H. Kreuter közlése, 2008. február 14.)

2.8.3. Ausztrália

Ausztráliában jó néhány, a magyar helyzethez képszerűen hasonló, de „száraz“ geotermikus anomáliát tartanak számon (2.14. ábra). Ezek eredete azonban a viszonylag magas radioaktivitású gránitos alapkőzetnek köszönhető, és nem az elvékonyodott litoszférának és a hévízáramlásnak, mint Magyarországon.

A közelmúltban Ausztráliában igazi geotermikus „aranyláz“ tört ki: jelenleg 33 magáncég – ezek közül már 10 jegyzett a tőzsdén – dolgozik 277 feltárási területen, ami összesen 219.000 km². A tőkebefektetés jelenleg 510 millió €; az ausztrál állam indítótőkének mindössze 60 millió €-t fektetett be, a többi pénz pedig részvények útján gyűlt össze. A projektek célja majdnem kizárólag geotermikus áramfejlesztés, annak ellenére, hogy ebben az országban még nem jár a geotermikus áramért emelt árú átvételi-garancia. Egyelőre még nem hátráltatja a fúró és kiépítő munkálatokat a sokhelyütt még hiányzó elektromos távvezetékek.

A geotermikus fejlesztésekben érdekelték szövetsége (Australian Geothermal Energy Group, melynek csak jogi személyek lehetnek tagjai: cégek, egyetemek, regionális önkormányzatok, az ausztrál állam) jelenleg ötvenhét tagot számlál. Ausztrál geotermikus cégek már külföldön is dolgoznak, így Németországban, Spanyolországban, sőt Magyarországon is.



2.14. ábra: A földhőmérséklet 5 km mélységben Ausztrália területén. A kontinens jelentős részén $>200\text{ }^{\circ}\text{C}$ várható (piros színnel jelölve) (Chopra and Holgate, 2005)

3. Magyarország geotermikus adottságai

Magyarország kedvező geotermikus adottságai két tényezőben is megnyilvánulnak. Egyrészt a hőmérséklet a világtáznál gyorsabban nő a mélységgel, azaz magas a geotermikus gradiens, átlagosan 45 °C/km. Másrészt az ország területének jelentős részén a felszín alatt törmelékeny üledékek vagy karsztosodott, repedezett mészkő, dolomit kőzetek találhatóak, melyek vízzel telítettek és számottevő vízvezető képességűek. A természetes geotermikus rendszerek hőjének felszínre hozatalához fluidumra is szükség van. Magyarországon a földhő közvetítő közege a termálvíz – amely legalább 30 °C-os –, a hazai definíció szerint, az ország területének több mint 70%-án rendelkezésre áll (Liebe, 2001).

A kedvező geotermikus adottságok oka – amelyek alapján Magyarországot Európa élvonalába sorolják (Stegena és mtsai, 1975) –, a Pannon-medence fejlődéstörténetében rejlik. A terület kontinentális átlagot (65 mW/m²) jóval meghaladó hőárama 90-100 mW/m², a medence keletkezése során a középső-miocén alatt (17,5-12,5 Ma) bekövetkezett litoszféra elvékonyodás következménye (Royden és mtsai, 1983; Royden és Dövényi, 1988; Lenkey, 1999). A magas hőmérsékletű asztenoszféra – a litoszféra elvékonyodása miatt – közelebb került a felszínhez, így a földkéregben megemelkedett a geotermikus gradiens és vele együtt a hőáram is (**2.1. ábra**). A litoszféra azóta fokozatosan hűl.

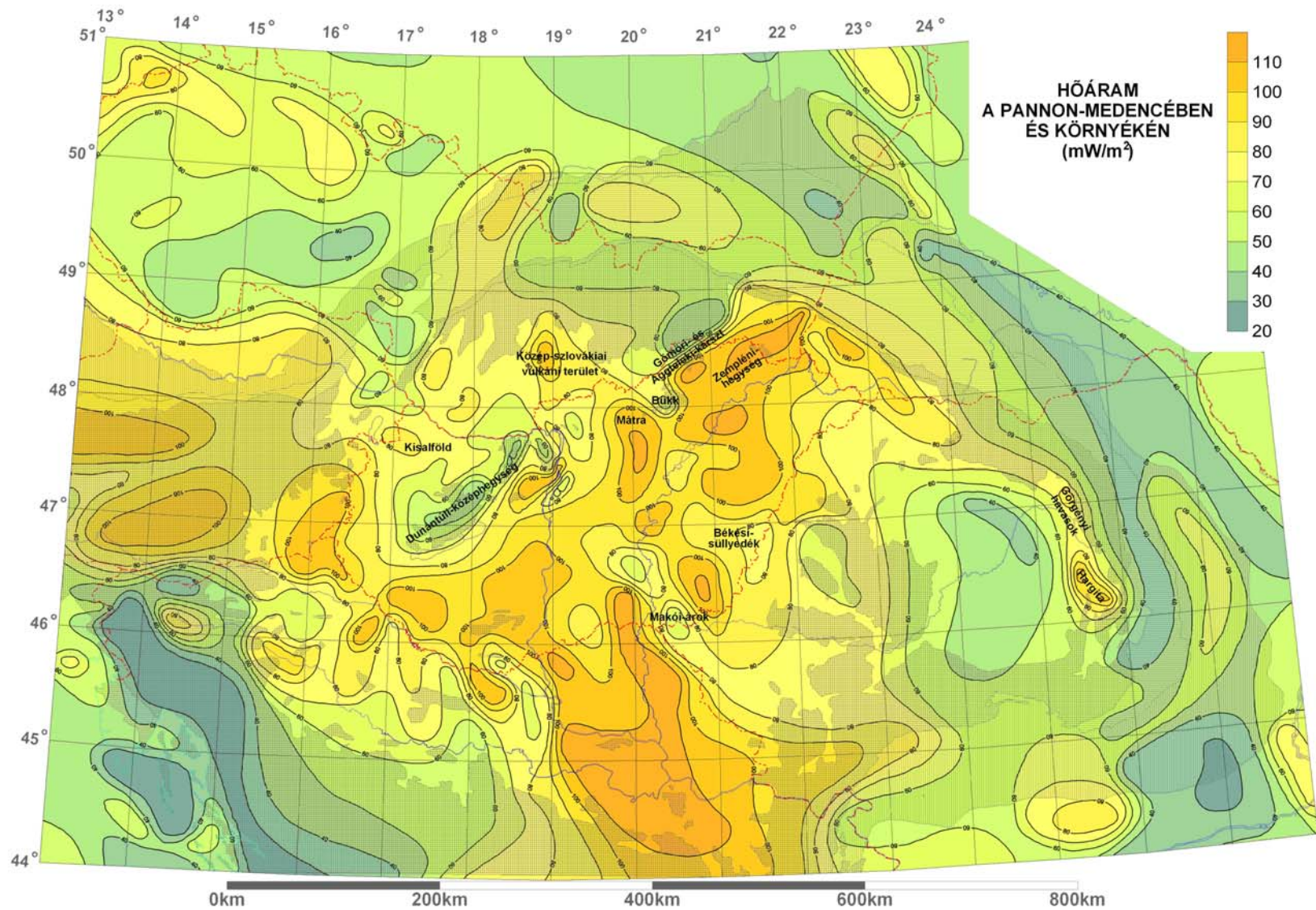
3.1. Hőmérsékleti viszonyok és hőáram

A geotermikus energiakutatás szempontjából a legfontosabb fizikai mennyiségek a hőáramsűrűség és a felszín alatti hőmérséklet.

A felszín alatti hőmérsékletet mélyfúrásokban mérik. Az Eötvös Loránd Tudományegyetem Geofizikai Tanszékén összeállított „Magyarország geotermikus adatbázisa” több mint 5000 mélyfúrás mintegy 15.000 hőmérsékletadatát tartalmazza (Dövényi, 1994; Dövényi és mtsai, 2002). Az adatbázisban azok a nyilvánosan, vagy korábban nyilvánosan hozzáférhető hőmérsékletadatok szerepelnek, melyeket 200 m-nél nagyobb mélységben mértek, vagy ahol a hőmérséklet meghaladta a 30 °C-t. Az adatbázis tartalmazza a fúrások nevét, jelét, koordinátáit, a felszín tengerszint feletti magasságát, a hőmérsékletmérés mélységét, módját, a mért értéket és a rétegsort. Többféle módszerrel lehet mélyfúrásban hőmérsékletet mérni, ettől függően a hőmérséklet adatok korrekcióra szorulnak. Ez a korrekció a mérés körülményeinek ismeretében az adatbázisban automatikusan történik. Mindezekről függően a hőmérsékletadatok minőség szerint tíz osztályba sorolódnak.

A hőmérsékletadatok döntő része szénhidrogén- és vízkutató fúrásból származik. Néhány kivételtől eltekintve ezek a fúrások megálltak az üledékekben vagy egy-két méter után az üledékek aljzatában. Tehát a hőmérsékletet az üledékekben viszonylag jól ismerjük, az aljzatban viszont kevésbé.

Az adatbázis-kezelő program alkalmas a hőmérséklet adatok térbeli inter- és extrapolálására és a hőáram számítására. A **3.1. ábra** a Pannon-medence és környezete hőáramát mutatja be Dövényi és mtsai (2002) nyomán. A térkép magyarországi részének a szerkesztéséhez 28 hőáram-meghatározás eredményét és 1500 mélyfúrás hőmérsékleti adatait használták. A határon kívül eső területekhez felhasználták a szlovéniai (Ravnik et al., 1995), szlovákiai (Franko et al., 1995), és a romániai adatokat (Demetrescu et al., 2001), valamint a „Geothermal Atlas of Europe” (Dövényi és Horváth, 1991 in Hurtig et al., 1992) című térképsorozatot.



3.1. ábra: Hőáram a Pannon-medencében és környékén (mW/m²) (Dövényi és mtsai, 2002 után)

3.1.1. A hőáramsűrűség területi eloszlása

A **3.1. ábráról** leolvashatóan a Dunántúli-középhegység, a Bükk és az Aggtelek- Gömör karsztvidék környezeténél alacsonyabb hőárammal (50 mW/m^2) rendelkezik. Ezeken a területeken a repedezett, karsztosodott karbonátos kőzetekben a hideg karsztvíz beszivárgása, csökkenti a hőáramot. Néhány kilométeres mélységben a víz felmelegszik, ezt követően felfelé áramlik, és a hegylábaknál hévízforrásokban jut a felszínre. A feláramlás kis területekre koncentrálódik, míg a leszivárgás nagy területen megy végbe, ezért a fűtött területek nagysága jóval kisebb, mint a hűtöttké. A Kisalföldön is alacsonyabb az átlagnál a hőáram. Ez részben annak a következménye, hogy a hideg karsztvízáramlás behúzódik a Kisalföld alá, másrészt a 7-8 km vastag üledékrétegek csökkentik a hőáramot. Az üledékek a lerakódásuk óta még nem tudtak teljesen átmelegedni, ezért az üledékekbe lépő hőáram egy része azok hőmérsékletének emelésére fordítódik. Másrészt az üledékekbe kevesebb hőáram lép az aljzatról, mert hővezető-képességük alacsonyabb, mint az aljzaté. Hasonló okokból alacsonyabb a hőáram a Makói-árok és a Békési-süllyedék területén az Alföldön. A hőáram magas az Alföld többi részén, különösen a déli területeken, Szerbiában. Szintén magas a hőáram a Dunántúl déli részén.

A vulkanizmus hatására a Kárpátok ívének belső részén a Közép-szlovákiai vulkáni területen, a Mátra, Zempléni-hegység, Görgényi-havasok és a Hargita vonulatában magasabb a hőáram.

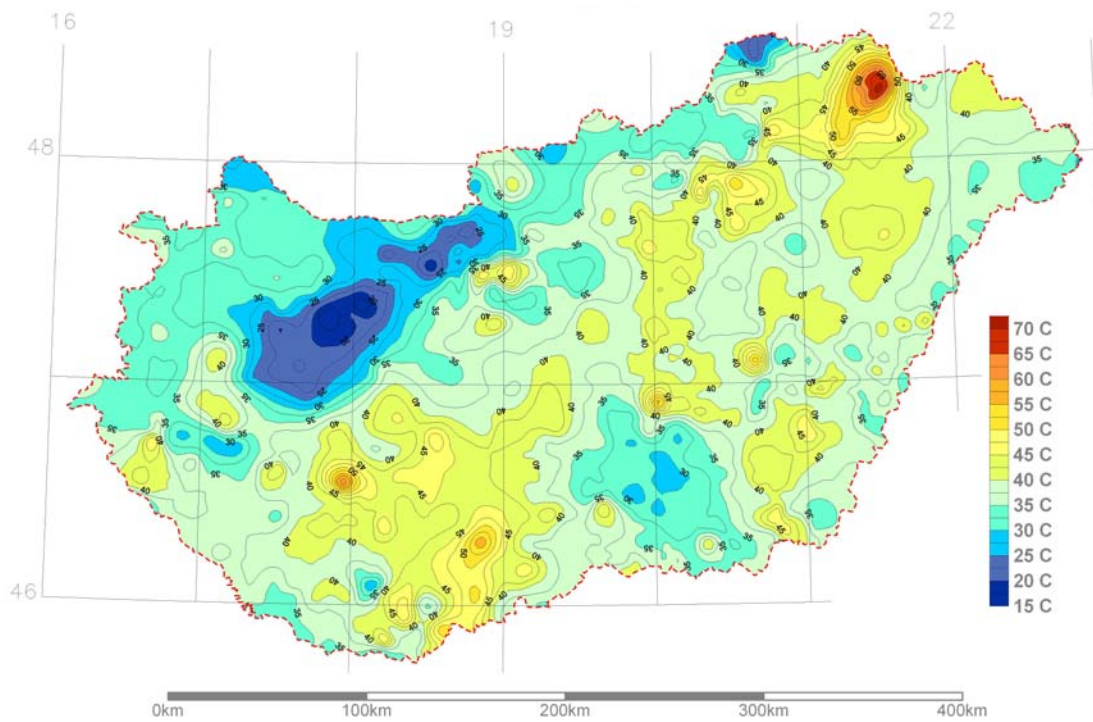
3.1.2. A hőmérséklet-eloszlás

A geotermikus energia hasznosítása szempontjából a kedvező felszín alatti magas hőmérsékletet a megemelkedett hőáram okozza. A felszín alatti hőmérsékletet 500, 1000 és 2000 m mélységben rendre a **3.2., 3.3. és 3.4. ábra** mutatja. A hőmérséklet térképek készítése során az adatbázis korrigált hőmérsékletértékeinek adott mélységbe történő extrapolálását követően az így nyert értékek horizontális extrapolációja standard térképszerkesztő programmal készült (Dövényi és mtsai, 2001). Az 500, 1000 és 2000 m mélységre vonatkozó térképek: 3241, 2478 és 1536 hőmérséklet adat alapján lettek megszerkesztve. A ritkuló adatok miatt az izotermák egyre simábbak lesznek a mélység növekedésével.

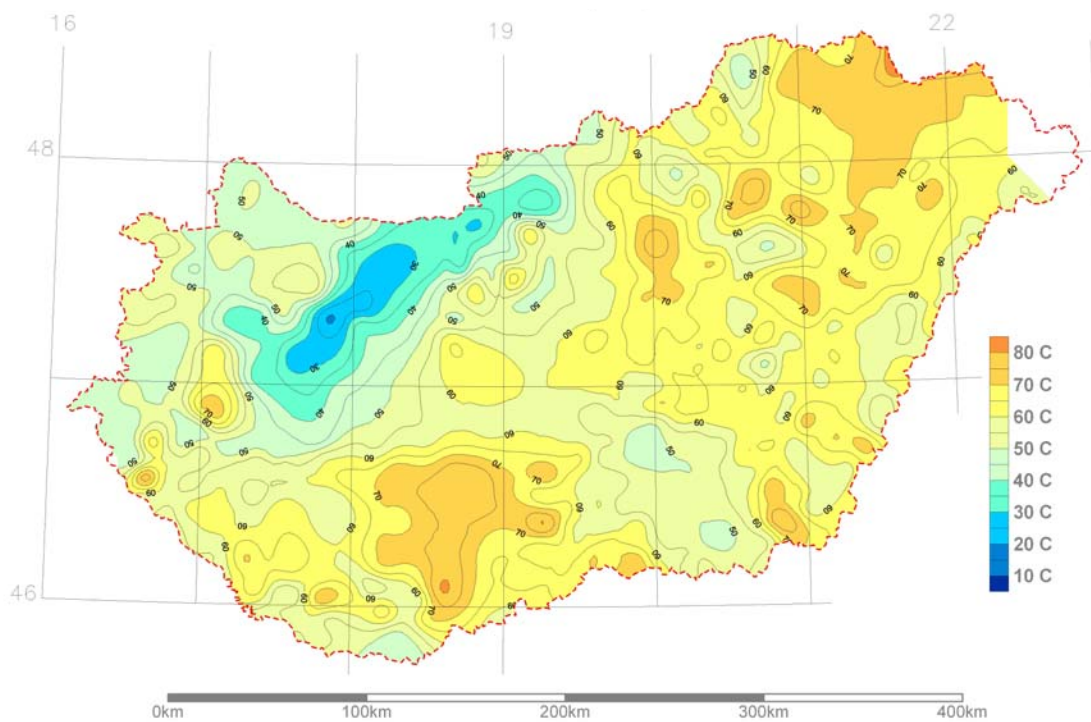
A hőmérsékletre mindhárom mélységben jellemző, hogy a Dunántúli-középhegységben a legalacsonyabb a karsztvíz leáramlás következtében. Szintén alacsony a hőmérséklet a Kisalföld alatt és a Makói-árokban.

500 m mélységben a hideg területek kivételével az átlaghőmérséklet $35-40 \text{ }^\circ\text{C}$. Az ennél magasabb hőmérsékletet, $45-70 \text{ }^\circ\text{C}$ a vízáramlás fűtő hatása okozza, amely a felső 500 m-ben érvényesül a legjobban. Nagyobb mélységben a víz hőmérséklete egyre kevésbé különbözik a tágabb környezet hőmérsékletétől, így az áramlás által okozott hőmérséklet anomália megszűnik.

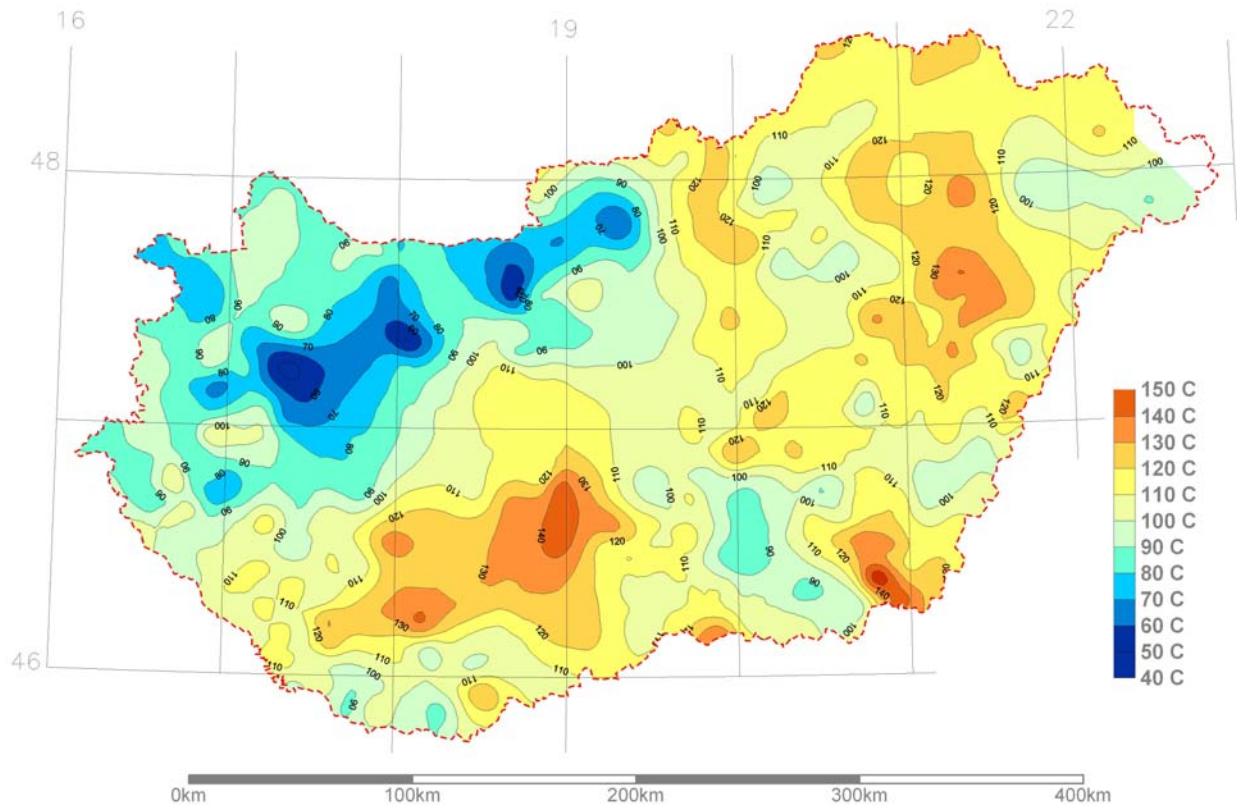
1000 és 2000 m mélységben a hőmérséklet a térképek általános jellemzésénél leírt regionális hatásokat tükrözi. 1000 m mélységben az átlaghőmérséklet $55-65 \text{ }^\circ\text{C}$. A melegebb területeken, a Mecsekben és környékén, a Battonyai-háton és az Alföld ÉK-i részén a hőmérséklet $70 \text{ }^\circ\text{C}$ felett van. 2000 m mélységben az átlaghőmérséklet $110-120 \text{ }^\circ\text{C}$, míg a fent felsorolt melegebb területeken a hőmérséklet eléri a $130-140 \text{ }^\circ\text{C}$ -ot. A mélységgel és az adatok számának csökkenésével – mint utaltunk rá – a térképek megbízhatósága csökken.



3.2. ábra: A hőmérséklet-eloszlás 500 m mélyégben a felszín alatt (Dövényi és mtsai, 2001 után)



3.3 ábra: A hőmérséklet-eloszlás 1000 m mélységben a felszín alatt Dövényi és mtsai, 2001 után)



3.4. ábra: A hőmérséklet-eloszlás 2000 m mélységben a felszín alatt (Dövényi és mtsai, 2001 után)

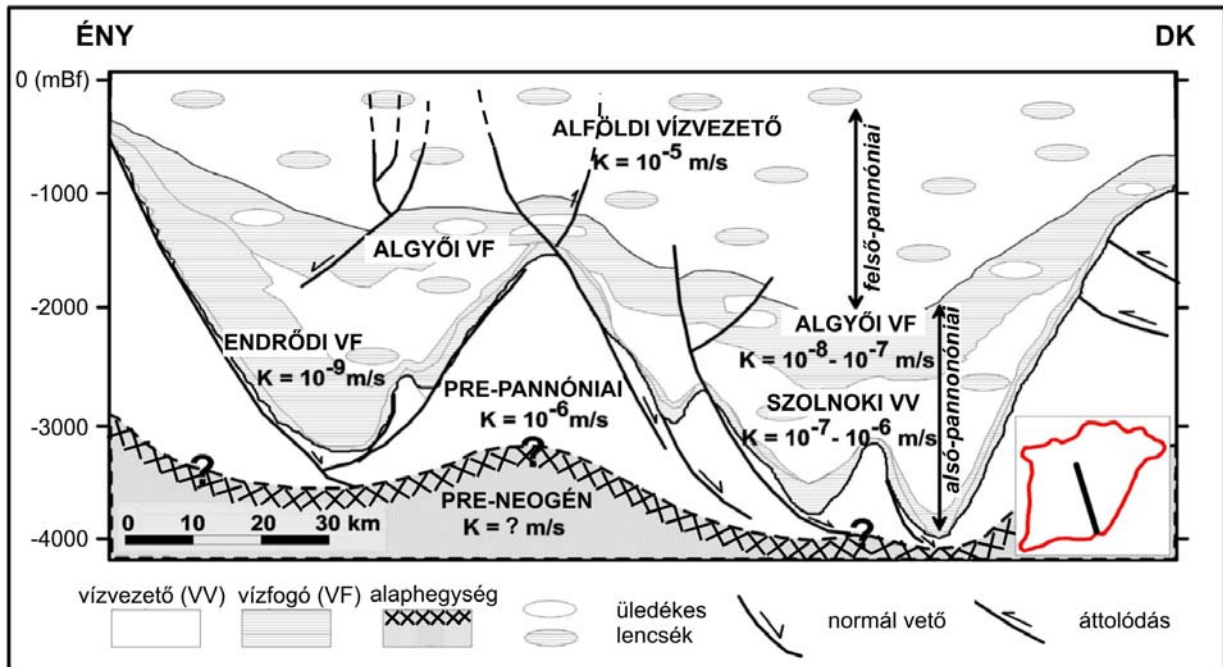
3.2. Geotermikus rezervoárok

3.2.1. Neogén rezervoár

A hegyvidéki területek kivételével az ország felszíne alatt neogén üledékek találhatók, melyek vastagsága néhány 100 m és 8 km között változik. Az üledékek vastagsága a Kisalföld (8 km), a Dráva árok (4 km) és az Alföld bizonyos területei alatt (Makói-árok, 7 km és Békési-süllyedék, 7 km) a legnagyobb (3.5. ábra). A neogén rezervoár felső része – a negyedidőszaki és felső-pannóniai vízáadó rendszer – egymással váltakozó kavics, homok, homokkő, iszap, agyag és márga rétegekből áll, amelyek hidraulikailag egységes rezervoárt képeznek. A rezervoárt regionális vízáramlás jellemzi, melynek utánpótlódási területe a magasabban fekvő domb és hegyvidéki területek, a Nyírség, a Duna-Tisza köze, megcsapolódási területei pedig a legalacsonyabban fekvő térszínek. A rezervoár termelhetősége a regionális átteresztőképesség függvénye. A felső-pannóniai homok és homokkő (Alföldi Vízvezető) vízáteresztő-képessége: 10^{-5} m/s, a kutakból több 10, akár 100 m³/h vízhozam érhető el.

Az Alföldi Vízvezető alatti üledékeket márga és agyag alkotja. Ezek a kőzetek uralkodóan vízfogó jellegűek (Algyői Vízfogó $K=10^{-8}$ - 10^{-7} m/s; Endrődi Vízfogó $K=10^{-9}$ m/s), bár a vízfogók között előfordulnak homokkőtestek is: Szolnoki Vízvezető, $K=10^{-7}$ - 10^{-6} m/s (3.5. ábra). A vízfogókban, ill. alattuk már mindenhol túlnyomást tapasztalunk. Ennek helye azonban területenként változó. Szentesen például igen-igen előnyös a hidraulikai helyzet, mert még az Algyői Vízfogóban is közel hidrosztatikus a nyomásállapot, a hidrosztatikust 0,15 MPa/km-rel meghaladó a nyomásgradiens. Ez a gravitációsan feláramló vizeknek köszönhető (3.6. ábra). Ez azt jelenti, hogy a terület

a hévíztermelés szempontjából kedvező, mert nagy mélységig (2500 m) utánpótlódó készleteket találunk. Más vidékeken viszont – így Biharkeresztes körzetében – már 1200 méteres mélységtől 2-6 MPa, majd 2200m-től >10 MPa túlnyomás jelentkezik.



3.5. ábra: Sematikus ÉNy-DK-i víz-rétegtani szelvény az Alföldön keresztül (Tóth és Almási, 2001, Juhász, 1991 ábrája nyomán módosítva)

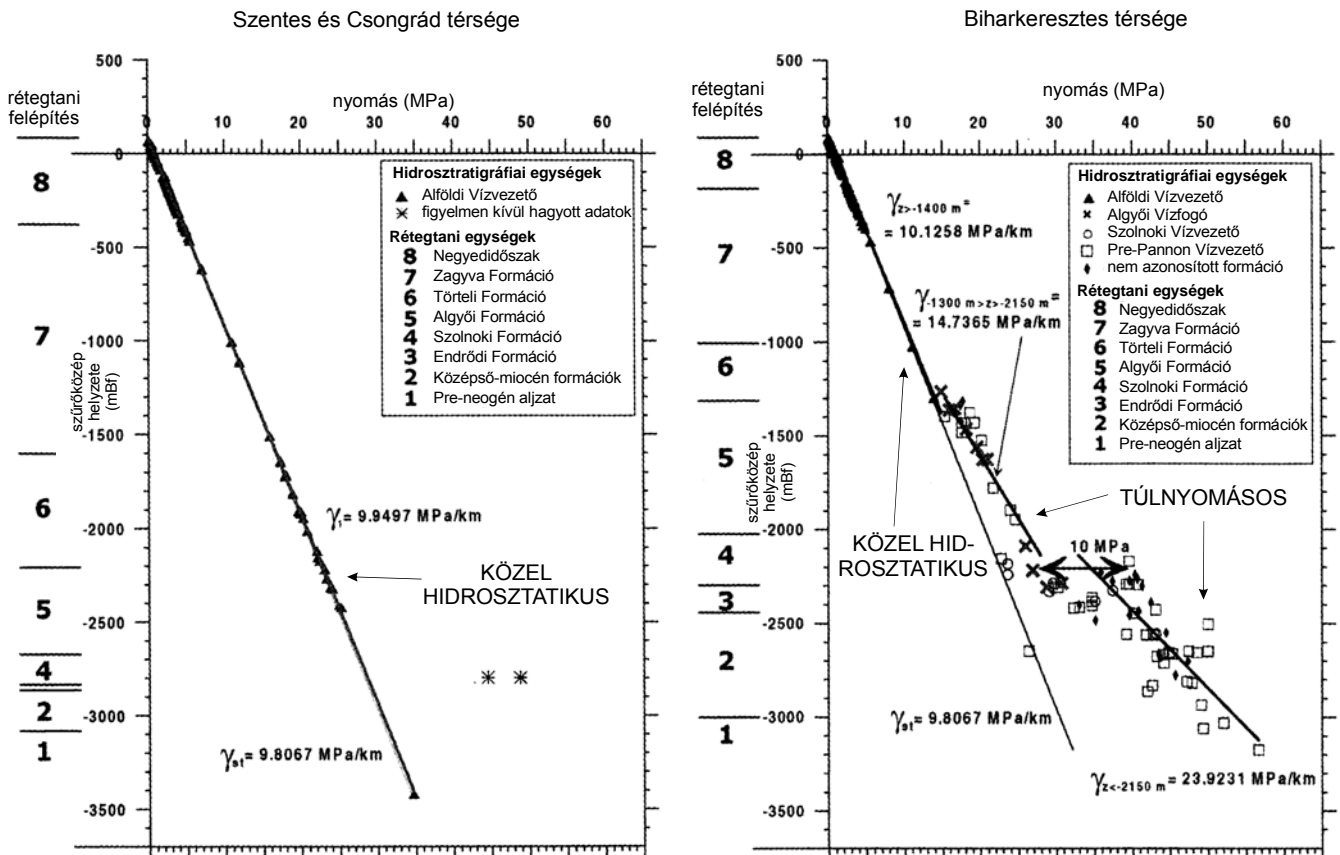
A Pannon-medence legújabb geodinamikai modellje (Horváth, 2007) értelmében az aljzattól akár a negyedkori rétegekig is elérő, többszörösen felújult vetők vízvezetésben betöltött szerepe is döntő lehet hévízkutatási szempontból. Hiszen az alsó túlnyomásos rendszernek a vezető vetőkön keresztül lehetősége van a túlnyomás „leeresztésére” (Tóth és Almási, 2001), ami nehezíti az utánpótlódó és nem utánpótlódó készletek elhatárolását, a hévizek termelhetőségi karakterisztikájának előrejelzését. A túlnyomásos tározók zártak, ezért termelhetőségük a regionális tározási tényezőtől függ (Tóth, 2006). Semmiképpen nem termelhetők visszasajtolás nélkül!

Mivel az utánpótlódó és a túlnyomásos rezervoárok határai kiemelkedően fontosak a termálvizek használata szempontjából – és jelenleg a föntiekből következően nagy bizonytalansággal jelezhetők előre, – ezért e kérdés tisztázása további tudományos kutatást igényel.

A neogén rezervoárban 2000-2500 m mélységben 90-110 °C (3.4. ábra) a várható hőmérséklet, kisebb mélységben pedig még alacsonyabb. Így ez a rezervoár az alacsony entalpiájú rendszerek közé sorolható és hőenergiája elsődlegesen közvetlenül hasznosítható. Nagy előnye, hogy a rezervoár az egész Alföld, Kisalföld, Dél-Dunántúl alatt megtalálható.

Itt kell megemlíteni, hogy a neogén rezervoár felszínhez közelebb eső porózus rétegei adják az ország ivóvízkészletének jelentős részét. Mivel a rezervoár hidrodinamikailag egységet képez, a

geotermikus energia hasznosításánál erre a tényre szakmai és jogi szempontból különös gondot kell fordítani.



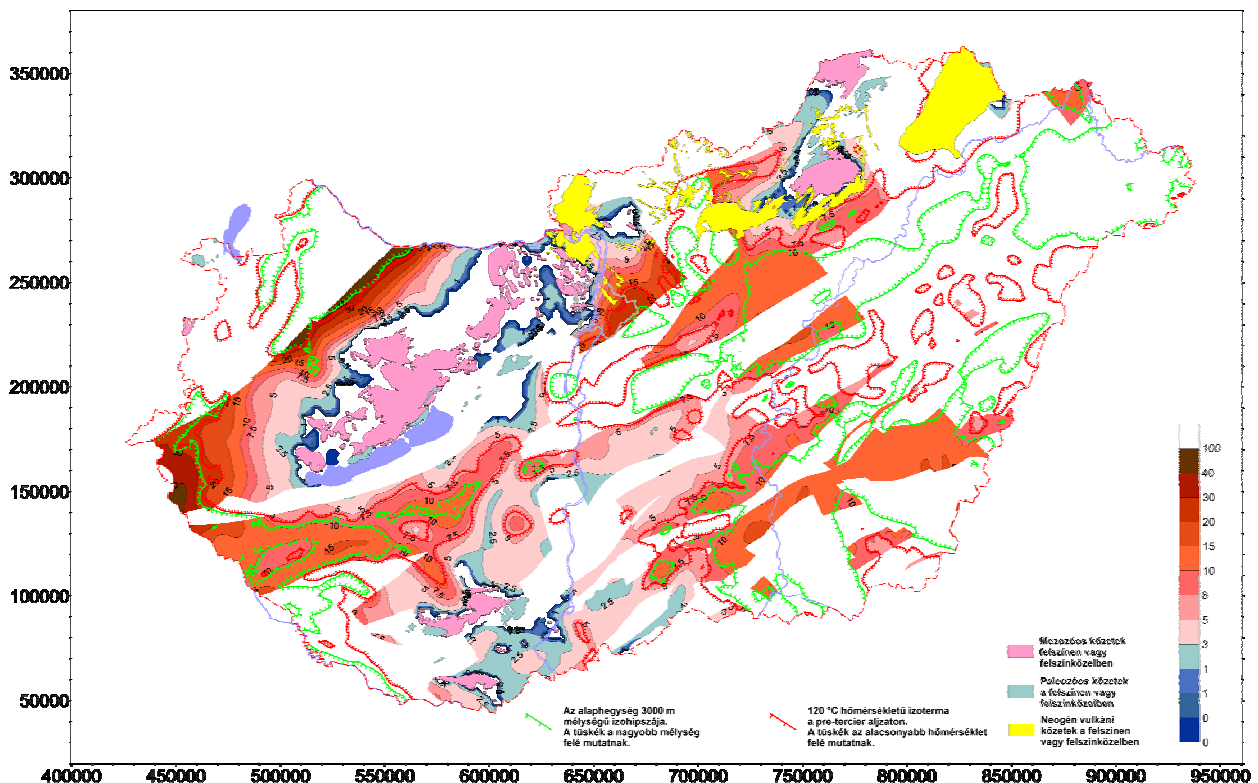
3.6. ábra Kutakban mért nyomások a szűrőközép tengerszint feletti magassága függvényében (Tóth és Almási, 2001 nyomán kiegészítve)

3.2.2. Karbonátos rezervoárok

A karbonátos rezervoárok vízvezető-képessége repedezettségükből és karsztosodásukból fakad. Karbonátos mezozoos kőzetek a felszínen található a Dunántúli-középhegység, Mecsek, Villány, Bükk, Aggteleki karszt területén. A kőzet repedezettsége miatt a kibúvásokon a csapadékvíz könnyen beszivárog, majd a mélyben felmelegedve a hegylábaknál meleg forrásokban lép a felszínre (Hévíz, Budapest, Eger). A víz hőmérséklete itt is kisebb, mint 100 °C, így ezek a rezervoárok is az alacsony entalpiájú rendszerek közé sorolhatók. A karbonátos kőzeteket a hegylábaknál neogén üledékek fedik. Ezeken a helyeken a feláramló melegvíz az üledékekbe szivárog és hoz létre hőmérséklet-anomáliát.

A neogén üledékekkel fedett aljzatban található mezozoos karbonátok nagy része nincs kapcsolatban a nyílt karszttal (DNy-Dunántúl, D-DK-Alföld) (3.7 ábra). Ezek zárt rendszert képeznek, ami onnan is látszik, hogy a repedésekben tárolt víz oldott sótartalma magas (2-3 g/l), a vizek jellege gyakran konyhasós, illetve ezek a tározók is valószínűsíthetően túlnyomás alatt állnak (ld. Fábiansztyén-Nagyszénás). Szeizmikus szelvények és mélyfúrások alapján ismerjük a rezervoárok tetejét, azonban a vastagságukat csak becsülni tudjuk, max. 1000-2000 m-re. A 3000 m-

nél mélyebben található rezervoároknak a hőmérséklet legalább 120 °C, de Fábiansebestyénél a hőmérséklet a 190 °C-ot is eléri.



3.7. ábra: A karbonátos rezervoárok elterjedése és energiasűrűsége (GJ/m²) (Lorberer, 2004)

A MOL 1995-1999 közötti kutatásai a legperspektivikusabbnak az Andrászhida-Nagylengyel, Mélykút-Pusztamérges és a Nagyszénás-Fábiansebestyén területeket találták (Árpási et al. 1997; Árpási és Szabó, 1999).

A neogén üledékek aljzatában található repedezett, töredezett karbonátos kőzetben található közepes, magas entalpiájú rezervoárok tehát már alkalmasak elektromos energia termelésére. A hasznosítás előtt a fő akadályt a nagy túlnyomás (<30 MPa) jelenti. Ekkora túlnyomás esetén nehéz a hőcsereleők kivitelezése és a víz visszasajtolása. Ezeknek a problémáknak a megoldása kutatás-fejlesztést igényel.

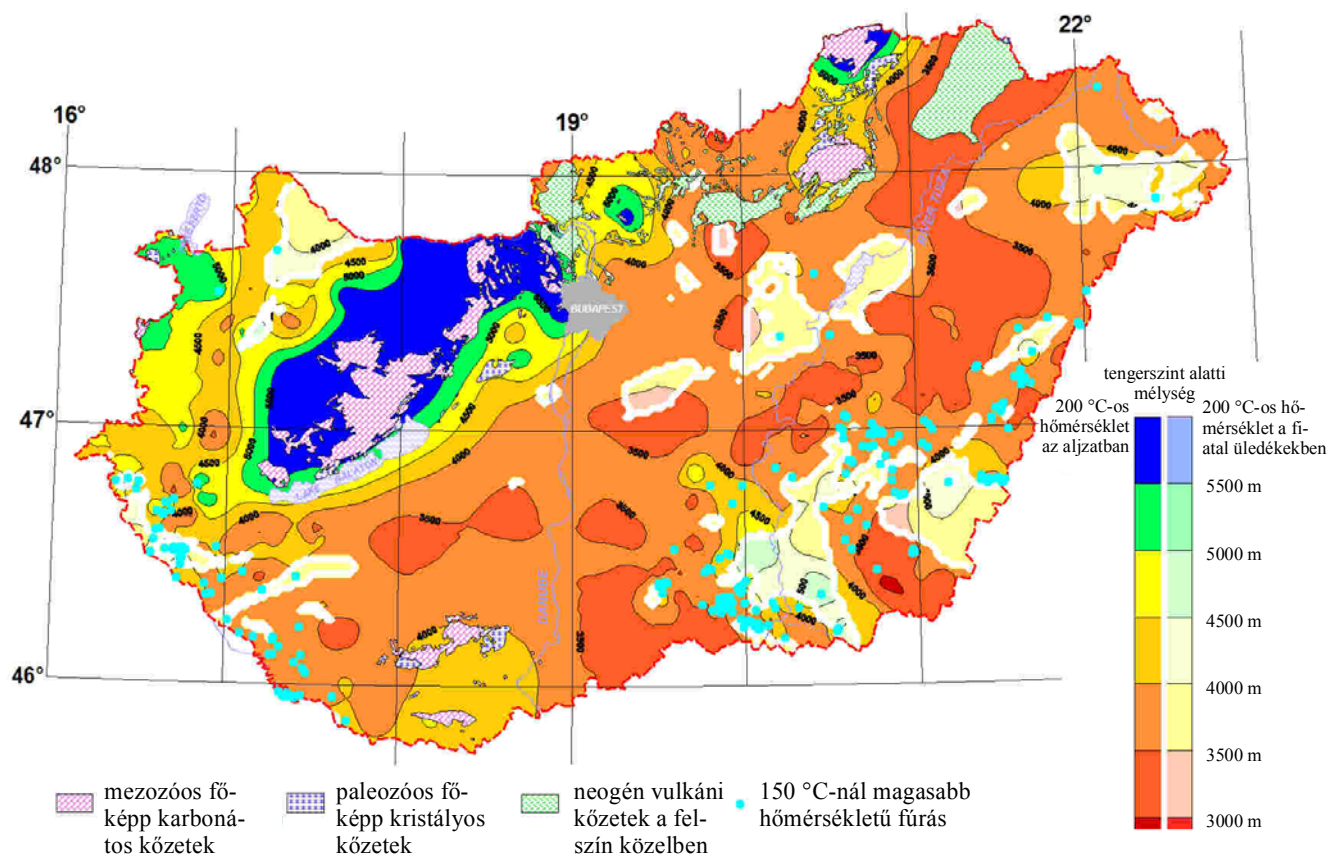
3.2.3. EGS-lehetőségek Magyarországon

A kísérletek tanulsága szerint 200 °C-nál magasabb hőmérsékletű kristályos kőzetekben alakítható ki EGS. A költségek csökkentése szempontjából előnyös, ha ezek a feltételek minél kisebb mélységben állnak fenn. A Pannon-medence magyarországi része az egyik legbiztosabb terület Európában a mesterségesen kifejlesztett földhőrendszer-technológia alkalmazási lehetőségeit tekintve – állítja a francia BRGM-nél (2004)-ben készített tanulmány.

A magas geotermikus gradiens következtében Magyarországon több ígéretes hely is van. A 3.8. ábra a 200 °C-os izoterma mélységét mutatja. A mély, üledékekkel kitöltött relatíve alacsony

hőmérsékletű árkok kivételével a 200 °C-os felület az aljzatban húzódik. Az ország ÉK-i és DK-i részén a magasabb hőmérsékletű aljzat kiemelkedésekben ez a felület 3500 m-nél kisebb mélységben található. Míg az ÉK-i részen az aljzat vulkáni kőzetekből áll, a DK-i részen az aljzatot kristályos kőzetek alkotják.

A leginkább ígéretes régió az ország D-i, DK-i szeglete, ezen belül is a mély medencék peremei és a medencék között található, kiemelt alaphegységi területek: Dráva, Makó, Békés, Nagykunság és Derecske (Dövényi és mtsai, 2005). Ezekben a régiókban a kristályos alaphegység anyaga kedvező esetben gránitos, mélysége 4000 m közeli, a közethőmérséklet legalább 200 °C, és a terület a földrengések szempontjából is „csendes”. „Magyarország a legjobb földtani-geotermikus lehetőségeket kínálja EGS-fejlesztésekre Európában” – állítják Dövényi és mtsai (2005). A nem túl távoli jövőben befektetési célpontként szerepelhet az EU megújuló elektromos áramtermelési céljai teljesítéséhez.



3.8. ábra: A 200 °C-os izoterma elhelyezkedése Magyarországon (Dövényi és mtsai, 2005)

3.3. Geotermikus energiakészletünk

3.3.1. A geotermikus energiavagyon statikus rendszerű becslése

A geotermikus energiavagyon vagy *geotermikus alapkészlet* a földfelszín egy adott területe alatt található *teljes hőenergia*. Az alapkészlet földfelszínétől számított kisebb mélységben található része a *kinyerhető alapkészlet* (Muffler, 1973), a magyar nevezéktan szerint *földtani vagyon*.

A *hőárammódszer* (Banwell, 1963; Chen, 1970; Suyama és társai, 1975) a felszínen kilépő hőteljesítmény (P) kiszámításán alapul. Ez egyrészt a talajon keresztül, hővezetés révén (P1), másrészt konvekció útján, termálforrásokon, fumarolákon és kutakon lép ki a felszínre (P2):

$$P = P1 + P2 \quad [W]$$

Először kiszámítjuk a konduktív részt (P1):

$$P1 = Aq_a \quad (1)$$

ahol: P1 a konduktív hőteljesítmény [W], A felszín [m²], q_a átlagos hőáramsűrűség [Wm⁻²].

Majd meghatározzuk a konvektív részt (P2):

$$P2 = (rQ)c_v(T_v - T_0) \quad (2)$$

ahol:

P2 konvektív hőteljesítmény [W], rQ – tömegáram [kgs⁻¹], c_v a víz fajhője [Jkg⁻¹K⁻¹],

T_v – vízhőmérséklet a mélyben [°C], T₀ – a felszíni hőmérséklet [°C].

A *térfogati módszerrel* történő készletbecsléshez (Cataldi és Squarcy, 1978; Bobok és társai, 1984 stb.) legyen a megadott térrész felülete A [m²], vastagsága Δz [m²] Az e térrészben tárolt hőmennyiség (H₀) [J] (Muffler and Cataldi, 1978 alapján):

$$H_0 = [(1 - p) \rho_m c_m + p \rho_v c_v] (T_t - T_0) A \Delta z \quad (3)$$

ahol: p az effektív porozitás [-], ρ a sűrűség [kgm⁻³], c a fajhő [Jkg⁻¹K⁻¹], T_t és T₀ a hőmérséklet a porózus közetben, illetve a felszínen [°C], m és v indexek a közetmátrixot, illetve a pórusfolyadékot jelölik. A H₀ hőmennyiség, [J], a földtani vagyon, a termelés technológiájától, gazdaságosságától független geofizikai mennyiség.

Haenel és Staroste (1988) két további fogalmat értelmeztek, melyből első lépésben a közeli jövőben gazdaságosan és jogszerűen kitermelhető energiavagyont, azaz a *hasznos földtani vagyont* (H₁) [J] vezették le:

$$H_1 = R_0 H_0 \quad (4)$$

ahol R_0 a kitermelés és a hasznosítás hatékonyságától, a visszasajtoló víz hőmérsékletétől függő tényező.

Kétkutas rendszer esetén, amikor is a termelő kut(ak) mellett visszatápláló kut(ak)at is használunk:

$$R_0 = 0,33 \frac{T_t - T_r}{T_t - T_0} \quad (5)$$

ahol T_t a tározó, T_r a visszatáplált víz, T_0 a felszíni hőmérséklet [$^{\circ}\text{C}$] (Lavigne, 1978). Visszatáplálás nélkül (Gringarten, 1978):

$$R_0 = 0,1 \quad (6)$$

A jelenleg is gazdaságosan kitermelhető, ismert energiavagyont, azaz az *ipari vagyont* (H_2) [J] egy újabb kitermelési tényezővel (R_1) becsülhetjük, melyben már az olajár és a kutak fúrása is szerepet játszik (Klenfeldt és mtársai, 1983):

$$H_2 = R_1 H_1 \quad (7)$$

ahol: $R_1 < 1$

3.3.1.1 Statikus készletbecslés Magyarországra

A magyarországi geotermikus készletet több munkacsoport elemezte, az eredmények jelentős szórást mutatnak.

A legegyszerűbb becslés a konduktív módon a felszínre lépő hőáram (1) képleten alapuló számításával adható. A Pannon-medence átlagos hőárama jó közelítéssel 90 mW/m^2 (Dövényi és mtsai, 2002). $93\,000 \text{ km}^2$ -nyi felszínen ez a hőáram $8,37 \text{ GW}$ hőteljesítményt jelent. Így e hőáram által szállított éves hőmennyiség **264 PJ**.

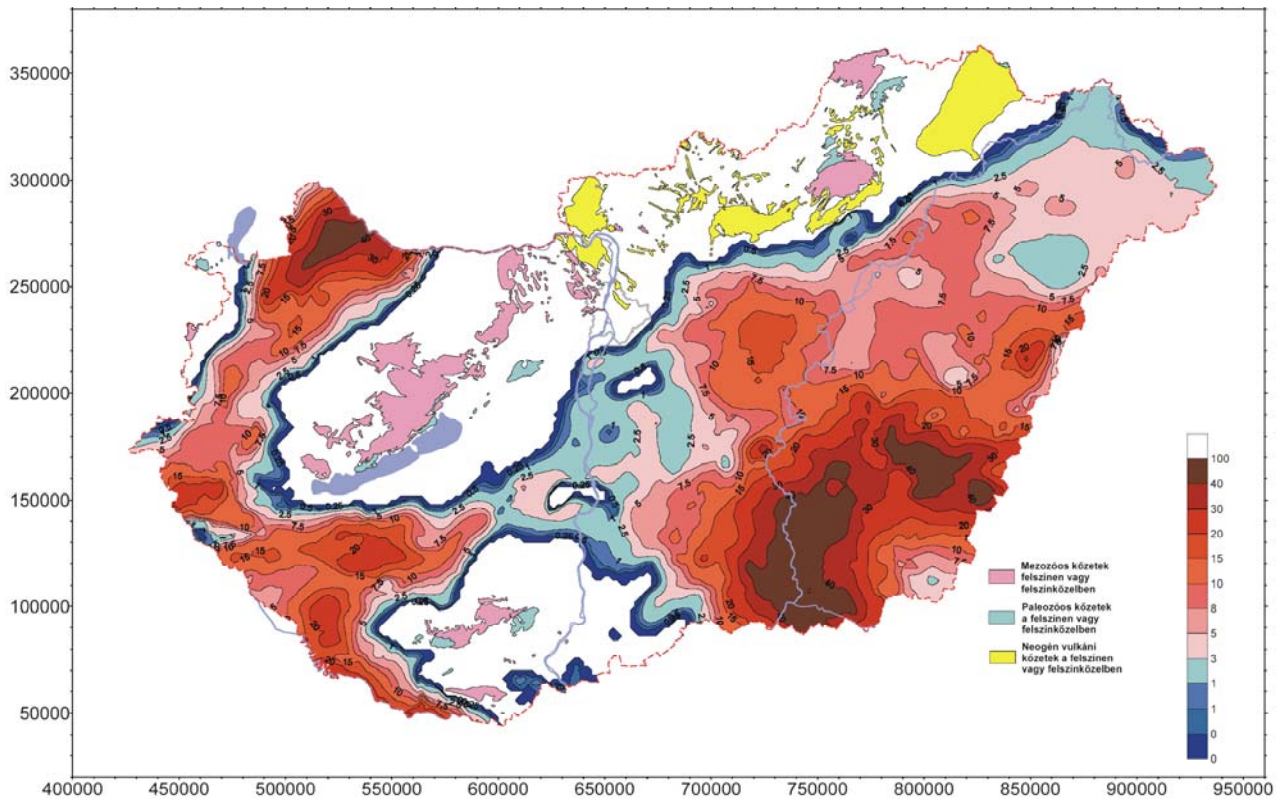
Lorberer és mtsai (2004) az (3), (4) és (5) egyenletek alkalmazásával kiszámították a felsőpannóniai-negyedidőszaki és a karbonátos rezervoárokból kétkutas rendszer alkalmazása esetén a négyzetméterenként kitermelhető hőenergiát (H_1/A -t).

H_0 számításához a (3) egyenletben a rezervoár hőmérsékletét a geotermikus adatbázis felhasználásával számították. A porozitás mélységgel való változását fúrómagok elemzésével kialakított jellegzetes porozitás-mélység görbék alapján becsülték meg (Dövényi és Horváth, 1988).

Végül a kútpárokra megadott (5) formulában a visszasajtolás hőmérsékletére $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ -t tételeztek fel. A felsőpannóniai-negyedidőszaki (neogén) rezervoár elterjedését és energiasűrűségét az **3.9. ábra** mutatja. A térképen igen nagy energiasűrűséggel jellemezhető területeket találunk, ám a hőmérséklet adatok szerint még az összlet alján is, csupán néhány kis kiterjedésű zónában haladja meg a hőmérséklet a $120 \text{ }^{\circ}\text{C}$ -ot (**3.4 ábra**).

A mezozoos karbonátos rezervoárok energiasűrűsége a **3.7. ábrán** látható. Ez a térkép nagy területeken viszonylag magas energiasűrűséget mutat és jelentős területeket közepes entalpiájú ($T_{\text{rez}} > 120 \text{ }^{\circ}\text{C}$) rezervoárként jellemezhetünk (piros színű vonal jelöli a $120 \text{ }^{\circ}\text{C}$ -os izotermát a neogén

előtti aljzat felszínén). A 3000 méteres aljzattmélység olyan határértéknek tekinthető, amely felett még nagyobb számban kialakíthatók geotermikus energia kitermelésére alkalmas kút-párok, ezért ezt az aljzattmélységet zöld szín jelöli a térképen. A két izovonal segítségével kijelölhetők a mezozoos aljzat azon területei, ahonnan 3000 méternél sekélyebből 120°C-os vagy annál melegebb vizet nyerhetünk.



3.9. ábra: A felső-pannóniai rezervoárok elterjedése és energiasűrűsége (GJ/m^2)
(Lorberer és mtsai, 2004)

Az 1980-as években Liebe P. és munkatársai több tanulmányt készítettek az ország geotermikus potenciáljáról és termásvíz-készleteiről. Munkacsoportjuk – a termelés gyakorlati szempontjainak megfelelően – azokat a porózus vagy karsztos képződményeket vette számításba, amelyekből a termásvíz visszasajtolással vagy szabad elfolyással termelhető (Liebe, 1982). Ezeknek a vizeknek a hőenergiáját a (2) képlet alkalmazásával számították. Az így kapott tulajdonképpeni ipari vagyont (H_2-t) **343.000 PJ**-ra, azaz 343 EJ-ra becsülték.

Az állami nyilvántartás legújabb eredményei Rezessy és munkatársai (2003; 2005), (Szanyi és Hámor, 2005) térfogati módszerre épülő földtani vagyonszámításain alapulnak. A számításhoz fuzzy analízist (Szanyi 2005) alkalmaztak. A készlet megállapítása geotermikus provinciákra, nagyobb geológiai egységekre, így a felső-pannóniai hévíztároló összletre történt. A számításhoz használt összefüggés (3) értelmében a szükséges paraméterek bizonytalanságának számbavételére használták a fuzzy aritmetikát.

Az elvégzett számítások alapján Magyarország *földtani vagyona* a 0–5000 m-es mélységtartományban **102.180 EJ**. A vagyonnak mintegy 60%-át a medencealjzat 2500–5000 m mélységek között található része tartalmazza, ahol a hőmérséklet a 250–300 °C értéket is elérhet. A geotermikus energia hasznosítására legjobban hozzáférhető negyedidőszaki képződmények legalább 4160 és legfeljebb 5380 EJ hőmennyiséget tárolnak, a súlyponti defuzzifikált érték 4840 EJ. Figyelembe véve, hogy Magyarország éves energiafogyasztása kb. 1 EJ, elvben ezek a rétegek 4800 évig fedezhetnék energiaszükségletünket (Szanyi, 2005).

A különböző készletbecslések alapján nyilvánvaló, hogy a hőáramból számított utánpótlódó hővagyon (264 PJ), az egységnyi területre számított vagyon, a földtani vagyon (102.180 EJ) és az ipari vagyon (343 EJ) közt több nagyságrendnyi, néha több milliószoros eltérés van. Ennek azonban nincs jelentősége, mivel a jelenleg évente felhasznált geotermikus energia (~3 PJ, lásd később), még a legkisebb becslésnek is csak az 1%-t teszi ki. A számítások lényege, hogy a földkéregben tárolt és utánpótlódó hőenergia nagyon sokáig fedezné az ország energiaszükségletét, ha gazdaságosan ki tudnánk nyerni.

3.3.1.2 Összevetés a németországi készletbecslésekkel

A német állam megbízásából felmérték Németország geotermikus adottságait kétkutas termelő-injektáló rendszerek telepítése szempontjából (Jung és munkatársai, 2002).

E felmérés eredményeképpen vált ismertté, hogy az áramfejlesztési célokat szolgáló geotermikus készletek túlnyomó részét a kristályos kőzetek képviselik Németországban. Potenciáljuk 1100 EJ, a töréses szerkezeteké 45 EJ, a melegvizes-vízartóké 9 EJ. Összevetésként Németországban az áramszükséglet 2 EJ/év.

A hőpotenciál értéke kombinált energia- és hőtermelés esetén – 1600 EJ (2800 EJ) a kristályos kőzetekre, 65 EJ (120 EJ) a töréses szerkezetekre és 23 EJ (50 EJ) a melegvizes-tárolókra. A zárójelben szereplő értékek hőszivattyú alkalmazása mellett érvényesek. Az ország évi hőszükséglete ugyanakkor 5 EJ-t tesz ki.

Fontos átültethető németországi tapasztalat az áramtermelési és a hőpotenciál értékelése a hőszivattyúk alkalmazásának figyelembevételével, valamint a Pannon-medence mély törésrendszereiben rejlő potenciál meghatározása.

3.3.2. A geotermikus energiavagyon dinamikus rendszerű becslése

3.3.2.1 A dinamikus készletbecslés jelentősége

A geotermikus energia iránti fokozódó érdeklődés a geotermikus készletek értékelésének egyre kifinomultabb módszereit hozza magával. Az informatikai háttér fejlődésével az egydimenziós modelleket fokozatosan felváltják az integrált megközelítések, amelyek a hőmérsékleti elemzések mellett magukban foglalják a földtani, topográfiai és hidrogeológiai adottságok széles skálájú vizsgálatát is. A dinamikus készletbecslés során figyelembe veszik, hogy a hőt folyadék kitermelésével hozzuk a felszínre. Ezáltal a rezervoárban hőmérséklet- és nyomáscsökkenést hozunk létre, ami megindítja az utánpótlódást. A dinamikus utánpótlódó geotermikus energiavagyon csak konkrét tárolókra/kutakra határozható meg. Meghatározásához számos nem (vagy nem kellő pontossággal) ismert paraméter meghatározására lenne szükség.

A geotermikus energiavagyonban bekövetkező változások meghatározásához el kell készíteni a geotermikus tároló földtani és numerikus modelljét. Ehhez tisztázni kell a hőtermelés és a hőutánpótlódás jellemző folyamatait. A földtani, hidrogeológiai és geofizikai szempontok alapján

meg kell határozni a tároló határait és a peremfeltételeket, valamint a tárolót kitöltő közetek jellemző fizikai paramétereit.

Ezeknek az alapadatoknak összegyűjtése, a számítások elvégzése a közeljövő sűrű feladata.

Régebben nem mérlegelték, de ma egyre inkább számításba kell venni már a készlebecslésnél az energia iránti igény nagyságát is. Ilyen szemlélettel a geotermikus potenciál függ a fogyasztóktól is, akik meghatározzák a szükséges teljesítményt. A készletekre vonatkozó komplex értékelés végeredményét térinformatikai adatbázisba építve, az értelmezés információval szolgál a készletek ipari és lakossági felhasználási lehetőségekről.

3.3.2.2 Svájci példa a dinamikus készlebecslésre, a módszer jelentősége Magyarországon

Kohl és társai (2005) munkájukban összehasonlító, háromdimenziós, regionális földtani és hőtani modellezést végeztek. A munka célja a konvektív hőszállítással jellemezhető, erősen töredezett közegekre vonatkozó becslés készítése volt. A földtani fúrásszelvényekből, kőzetfizikai vizsgálatokból, hidraulikai tesztekkel rendelkező álló adatokat háromdimenziós rendszerbe foglalták. A numerikus-értékelés lényeges előrelépést jelentett a korábbi becslésekhez képest. Eredményei alkalmasnak bizonyultak a tározóként szóba jöhető geológiai szerkezetek azonosítására és a rájuk jellemző áramlási intenzitások meghatározására.

A modell kalibrálásához sok éven keresztül szisztematikusan gyűjtött hőmérsékleti adatokat használtak. A rendelkezésre álló információk véges elemekké történő alakításával olyan regionális modellt fejlesztettek, amely alkalmas egyedi hasznosítási helyzetek értékelésére (Kohl és társai, 2003). A módszer előnye, hogy ötvözi a geológiai, tektonikai adatokat és a numerikus modellezés eredményeit. Az eljárás segítségével értékelhetők a hőáram kialakításában szerepet játszó hajtóerők, becsülhetők a termelésnél szükséges mutatók. A bemutatott módszer újdonsága, hogy a geotermikus tározók mély régióinak energiaszállítását, a regionális és a lokális határfeltételeket, az energiafelhasználási célokat figyelembe véve adja meg. Így könnyebbé téve a készletek kitermelési költségeinek meghatározását.

Észak-Svájc az ország egyik legsűrűbben lakott régiója, ahol a legnagyobb az igény a geotermikus energia hasznosítására (Andenmatten-Berthoud és Kohl, 2003a; Kohl és társai, 2005). A vizsgált régiót ugyanis szeizmikus módszerekkel és fúrásokkal alaposan megkutatták radioaktív hulladék elhelyezése céljából (Thury és munkatársai, 1994). A készlebecsléssel az aljzat készleteinek meghatározása volt a cél. A számítások alapján a kristályos alaphegység legfelső része a leginkább ígéretes geotermikus feltárás céljából. A várható maximális teljesítmény kétkutas rendszerek alkalmazásával nagyobb, mint $100 \text{ MW}_{\text{hő}}$. Az éves kinyerhető energia 13 PJ/km^3 , ami Svájc energiaigényét bőven kielégíthetné. A munka tapasztalataira alapozva egy regionális geotermikus készletatlász fejlesztését tervezik. Ez nemcsak az itt értékelt készlet típusokat venné számba, hanem a többi készlet kategóriát is.

A dinamikus készlebecslés módszerének átültetése és a hazai geotermikus készletekre vonatkozó dinamikus becslések elvégzése – a főbb tározókra – sűrű feladat. A tározókban a termelés hatására bekövetkező jelenségek csak egy ilyen dinamikus modellbe illesztett rezervoár szimulációval értékelhetők – akár például a visszasajtolás szükségességének eldöntéséhez is. Sajnos ilyen szemléletű készlebecslés még nem készült Magyarországra. A megújuló energiák iránti növekvő érdeklődés és lehetőségeink újragondolása megkívánja e hiányosság mielőbbi pótlását!

4. A geotermikus energia európai uniós és hazai jogszabályi háttere

Az Európai Unió közösségi jogában a geotermikus energiakutatási, kinyerési és hasznosítási tevékenységre és a tevékenységet végző személyre illetve gazdasági társaságra számos általános kötelezés vonatkozik, de ezek teljes ismertetése nem célja a tanulmánynak. A tanulmány csak a földhőre vonatkoztatható különleges jogszabályok és ezeken belül is a specifikus rendelkezések ismertetését tekinti céljának, külön részletességgel azokra, amelyek egyben a hazai szabályozás kritikus pontjait is jelentik.

4.1. Európai uniós szabályozás

4.1.1. Energetika

A közösségi jog energetikai és környezetvédelmi fejezetei tartalmazzák a legtöbb jogforrást a geotermikus energiára vonatkozóan. Ezek közül is a legfontosabb az Európai Parlament és a Tanács 2001/77/EK irányelve a belső villamosenergia-piacon a megújuló energiaforrásokból előállított villamos energia támogatásáról. Ez adja a fogalommagyarázatot is: „a nem fosszilis megújuló energiaforrások (szél-, nap-, geotermikus, hullám-, árapály-, vízenergia, biomassa, hulladék-lerakóhelyeken és szennyvíztisztító telepeken keletkező gázok, biogázok energiája)”. Az irányelv rögzíti a közösségi célelőirányzatokat, miszerint 2010-re a bruttó energiafogyasztás 12 %-át, a villamos energiafogyasztás 22,1%-át megújuló energiaforrásokból kell előállítani. A tagállami célelőirányzatokat is tartalmazza a jogszabály, hazánkban a csatlakozási szerződés 3,6% célelőirányzatot állapított meg a villamosenergia-részesítés vonatkozásában. Az irányelv rendelkezik továbbá a tagállami ösztönző eszközökről, az energetikai hálózatokhoz való hozzáféréssel, a „zöld energia” származási garanciájáról. 2007-ben az Európai Bizottság az új energiapolitika meghirdetésével egyidejűleg meghatározta, hogy a bruttó energiatermelésen belül 2020-ra 20%-ot kell elérnie a megújulók részesítésének.

További rendelkezéseket ad a földhőhasznosításról és támogatásáról az Európai Parlament és a Tanács 2004/8/EK irányelve a hasznos hőigényen alapuló kapcsolt energiatermelés belső energiapiacra való támogatásáról és a 92/42/EGK irányelv módosításáról, amely szerint a „kapcsolt energiatermelés”: az egyetlen folyamat során egyszerre termelt hőenergia és villamos és/vagy mozgási energia. Az ezen irányelv körébe tartozó technológiák között több a földhőhasznosításra vonatkozik (pl. mikroturbinák, Organikus Rankine Ciklusok).

Számos pénzügyi irányelv is elismeri külön gazdasági tevékenységnek a megújuló, és azon belül a geotermikus energiatermelést:

- A Tanács 2003/96/EK irányelve az energiatermékek és a villamos energia közösségi adóztatási keretének átszervezéséről;
- A Bizottság 2700/98/EK rendelete a vállalkozások szerkezeti statisztikai mutatóinak meghatározásáról;
- A Tanács 93/38/EGK irányelve a vízügyi, energiaipari, szállítási és távközlési ágazatokban működő vállalkozások beszerzési eljárásainak összehangolásáról.

A közösségi joganyagban több irányelv vonatkozik a kis entalpiájú földhőhasznosításra, azon belül is elsősorban a hőszivattyúkra. Az Európai Parlament és a Tanács 2002/91/EK irányelve az épületek energiateljesítményéről fogalommagyarázata szerint "hőszivattyú": olyan készülék vagy berendezés, amely alacsony hőmérsékleten hőt von ki a levegőből, vízből vagy a talajból, és ezt a

hőt bevezeti az épületbe. Az irányelv szabályozza, hogy az 1000 m²-nél nagyobb, hasznos alapterületű, új épületeknél vizsgálni kell az olyan alternatív rendszerek műszaki, környezetvédelmi és gazdasági szempontú megvalósíthatóságát, mint például a megújuló energiaforrásokon alapuló decentralizált energiaellátási rendszerek, táv- vagy tömbfűtés és -hűtés és hőszivattyúk.

További, az energiahatékonysággal és műszaki követelményekkel foglalkozó irányelv vonatkozik a hőszivattyús rendszerekre:

- Az Európai Parlament és Tanács 2006/32/EK irányelve az energia-végfelhasználás hatékonyságáról és az energetikai szolgáltatásokról, valamint a 93/76/EGK irányelv hatályon kívül helyezéséről;
- Az Európai Parlament és a Tanács 2005/32/EK irányelve az energiafelhasználó termékek környezetbarát tervezésére vonatkozó követelmények megállapításának kereteiről, valamint a 92/42/EGK tanácsi, illetve a 96/57/EK és a 2000/55/EK irányelv módosításáról;
- A Bizottság 2002/31/EK irányelve a 92/75/EGK tanácsi irányelvnek a háztartási légkondicionáló berendezések energiafogyasztásának címkézése tekintetében történő végrehajtásáról;
- Az Európai Parlament és a Tanács 97/23/EK irányelve a nyomástartó berendezésekre vonatkozó tagállami jogszabályok közelítéséről.

4.1.2. Környezetvédelem

Az Európai Unió környezetvédelmi joganyagának meghatározó eleme a Tanács 85/337/EGK irányelve az egyes köz- és magánprojektek környezetre gyakorolt hatásainak vizsgálatáról. Ennek melléklete meghatározza a környezeti hatásvizsgálat kötelező tevékenységeket, közöttük:

„Nyersanyag-kitermelő iparágak

b) Mélyfúrások, a talajmechanikai mélyfúrások kivételével különösen:

- geotermikus fúrás,„.

Az Európai Parlament és a Tanács 842/2006/EK rendelete egyes fluortartalmú üvegházhatású gázokról a hőszivattyúnak a fentebb ismertetettől eltérő definícióját adja: „levegőből, vízből vagy földből alacsony hőfokon hő kivonására és hő szolgáltatására szolgáló készülék vagy létesítmény”, azaz a hőszivattyú hűtési funkcióját is elismeri.

A hőszivattyúk elektromos alkatrészeinek leselejtezésekor az Európai Parlament és a Tanács 2002/96/EK irányelve az elektromos és elektronikus berendezések hulladékairól rendelkezései szerint kell eljárni.

A közösségi környezetvédelem kulcskérdése a vízminőség-védelem. Ennek ad keretet az Európai Parlament és a Tanács 2000/60/EK irányelve a vízpolitika terén a közösségi fellépés kereteinek meghatározásáról. Az irányelv központi szabályozási eleme a vízgyűjtőkre vonatkozó intézkedési program, amelynek minimálisan teljesítendő követelményei az alapintézkedések (11. cikk (3)), amelyek tartalmazzák egyebek mellett:

„f) szabályozásokat, beleértve a felszín alatti víztestek mesterséges utánpótlásának vagy dúsításának előzetes engedélyezésére vonatkozó követelményt. A felhasznált víz származhat bármely felszíni vagy felszín alatti vízből, feltéve, hogy az adott készlet használata nem veszélyezteti a készletre vagy az utánpótlott vagy dúsított felszín alatti vízre megállapított környezeti

célkitűzések elérését. Ezeket a szabályozásokat rendszeresen felülvizsgálják, és ahol szükséges, korszerűsítik;

j) a szennyező anyagok felszín alatti vízbe történő közvetlen bevezetésének a tilalmát, a következő rendelkezések szerint:

A tagállamok engedélyezhetik a geotermikus célokra használt víz visszasajtolását ugyanabba a víztartóba.”

Az f) pontban tehát megjelenik a felszín alatti vizek mennyiségi gazdálkodási eleme is, azonban a j) pont alatti, a hasznosított geotermikus víz visszasajtolásának diszpozitív (megengedő) rendelkezése egyértelműen a vízszennyezés elleni általános tiltás alóli kivétel.

A környezetre vonatkozó információk nyilvánosság általi elérhetőségét szolgálja az Európai Parlament és a Tanács 2007/2/EK irányelve az Európai Közösségen belüli térinformációs infrastruktúra (INSPIRE) kialakításáról. Ez a téradattémák között nevesíti a „20. Energiaforrások” kategóriát, amely alatt a szénhidrogéneket és az összes megújuló energiát kell érteni.

4.1.3. Új közösségi politikák, jogalkotási tervek, tagállami helyzetkép

2005 májusában az Magyar Bányászati és Földtani Hivatal (MBFH) egyik jogelődje, a Magyar Geológiai Szolgálat (MGSZ) az EU Bővítési Főigazgatóság TAIEX irodájával és a Magyar Termálenergia Társasággal (MTT) közösen nemzetközi ülést szervezett Kisteleken a geotermikus energiahasznosítás jogi és közgazdasági gátjainak feltérképezésére. Az azóta a hazai földhőipar legrangosabb eseményévé vált rendezvény kiadta az ún. „Kisteleki Deklaráció”-t, amelyet aláírtak a Nemzetközi Geotermikus Szövetség, az Európai Geotermikus Energia Tanács, az Európai Parlament, az MGSZ, és az MTT jelenlévő képviselői. Az azóta az európai földhőlobby alapidokumentumává vált nyilatkozat, egyebek mellett rögzíti, hogy:

- szükséges a geotermikus energia definíciójának rögzítése a közösségi jogban;
- a Víz Keretirányelv végrehajtási rendelete pontosabban rendelkezzen a visszasajtolásról;
- kerüljön kidolgozásra az IPPC irányelv hatálya alatti legjobb elérhető technológia referencia dokumentum a földhő kinyerésről és hasznosításról;
- legyen elérhető több közösségi pénzügyi alap a megújuló energiafejlesztések számára;
- koherens tagállami jogszabályi környezet és egyértelmű hatósági rendszer kell, mert jelenleg a tagállami megoldások igen eltérőek;
- indokolt a harmonizált, éves változásokat is követő tagállami nyilvántartások kialakítása;
- harmonizált közgazdasági szabályozók kellene, hogy ne sérüljön a tiszta verseny elve a jelenlegi szélsőséges tagállami támogatási, adóztatási, stb. rendszerek miatt.

A Közlekedés és Energetika Főigazgatóság az elmúlt években kidolgozott egy irányelv tervezetet az energiahatékony fűtés-hűtés tárgykörben, amely például kedvezményes ÁFÁ-t állapított volna meg a megújuló energia technológiákra. A tervezet azonban háttérbe szorult és helyette egy, a megújuló energiák egészét szabályozó irányelv kidolgozása van napirenden.

A Környezet Főigazgatóság gondozza a Víz Keretirányelv végrehajtását segítő irányelvek és rendeletek kidolgozását. Ezek nagy része folyamatban van, de látható, hogy egyre kevesebb abszolút vízminőség-védelmi határérték kerül megállapításra, helyette a természetes (hidro)geokémiai háttér és a majdani terület és vízhasználat jellege által megállapított egyedi hatósági értékek kerülnek előtérbe.

Említést érdemel a 6. Környezeti Akcióprogram keretében kidolgozott, Bizottsági Közlemény formájában publikált természeti erőforrás tematikus stratégia, amely a későbbi jogalkotás alapja.

A fluidumok földtani közegbe történő be- és visszasajtolásáról nem várható külön jogforrás, bár a Hulladék Keretirányelv melléklete szerint ez máig létező hulladékártalmatlanítási módszer, de erre is hatással lehet a 2008. január 23-án megjelent első tervezete az ipari szén-dioxid földtani közegbe történő elhelyezéséről.

4.2. A geotermikus energiahasznosítás hazai szabályozása

Ez a fejezet elsősorban a közösségi jogtól eltérő vagy annak hatálya alá nem tartozó magyarországi anyagi jogi rendelkezések ismertetésére szorítkozik, az egyes hatósági engedélyezési eljárások bemutatásától és elemző értékelésétől terjedelmi korlátok miatt eltekint.

4.2.1. Bányászat

Az ásványi nyersanyag-gazdálkodás stratégiai okokból nem került a közösségi jog tárgyi hatályába, megmaradt a tagállamok szuverenitásában, döntési kompetenciájában, bár ez a tendencia megváltozni látszik. Az 1993. évi XLVIII. törvény a bányászatról (Bt.) célja az ásványi nyersanyagok bányászatának, a geotermikus energia kutatásának, kitermelésének, a szénhidrogén szállító vezetékek létesítésének és üzemeltetésének, továbbá az ezekhez kapcsolódó tevékenységeknek a szabályozása, az élet, az egészség, a biztonság, a környezet és a tulajdon védelmével, valamint az ásvány- és geotermikus energiavagyon gazdálkodásával összhangban. A törvény hatálya alá tartozik a geotermikus energia hasznosítása, valamint a felszín alatti víz termelésével együtt nem járó kutatása és kinyerése. Nem tartozik azonban hatálya alá a geotermikus energiát hordozó felszín alatti vizek kutatása és kitermelése (1. §).

Bányászati tevékenységnek minősül a felszín alatti víz kutatásával és kitermelésével nem járó geotermikus energia kutatása, kinyerése és hasznosítása, és bányavállalkozónak minősül az energetikai célra kinyert geotermikus energia vízjogi engedély alapján történő hasznosítására jogosult jogi vagy természetes személy, illetve jogi személyiséggel nem rendelkező társaság (49. §). A geotermikus energia a földkéreg belső hőenergiája (49. §).

Az ásványi nyersanyagok és a geotermikus energia természetes előfordulási helyükön állami tulajdonban vannak (3. §), egybehangzóan a Polgári Törvénykönyv 96. és 172. §-aival. Az energetikai célra kinyert geotermikus energia a hasznosítással a bányavállalkozó tulajdonába megy át. A bányafelügyelet engedélyezi a geotermikus energia kutatását, kinyerését és hasznosítását, beleértve az ehhez szükséges föld alatti és felszíni létesítmények megépítését és használatba vételét, amennyiben az nem érinti felszín alatti vizek felszínre hozatalát (5. §), és e tevékenységeket az engedélyben foglalt feltételek szerint kell gyakorolni.

A geotermikus energia kutatásának engedélyezésére és a kutatás hatósági felügyeletére a földtani kutatás engedélyezésének és hatósági felügyeletének szabályait kell megfelelően alkalmazni (22/B. §), amelynek követelményei egy egyszerűsített ásványi nyersanyagkutatásénak felelnek meg

a 203/1998. (XII. 19.) Korm. rendelet a bányatörvény végrehajtásáról (BtVhr.) 6. § (9) szerint. Geotermikus energiát kinyerni a földkéreg e célra elhatárolt részéből (geotermikus védőidom) szabad, amelyet a bányavállalkozó kérelmére a bányafelügyelet jelöl ki. A geotermikus védőidomon belül a jogosult írásbeli hozzájáruló nyilatkozata nélkül geotermikus energia kinyerését szolgáló létesítmény más részére nem engedélyezhető.

Ha a bányavállalkozó a geotermikus energia kutatására, kinyerésére, hasznosítására vonatkozó szabályoktól eltérően vagy az engedélytől eltérő módon gyakorolja tevékenységét, a bányafelügyelet a bányavállalkozót bírsággal sújthatja, a tevékenység folytatását felfüggesztheti, az engedélyt visszavonhatja, és elrendelheti az eredeti állapot helyreállítását, vagy, ha ez már nem lehetséges, a tájrendezést (41. §).

A bányafelügyelet (MBFH) hatósági felügyelete keretében műszaki-biztonsági, munkavédelmi, építésügyi hatósági, építésfelügyeleti, ásványvagyon-gazdálkodási, piacfelügyeleti és földtani hatásköröket gyakorol (43. §). A bányafelügyelet hatáskörébe tartozik továbbá (44. §):

- a geotermikus energia kutatása, energetikai célra történő kinyerése és hasznosítása, az ehhez szükséges létesítmények és berendezések építése, használatbavétele és üzemeltetése,
- a földtani közeg és az ásványi nyersanyagok megkutatottsági szintjének növeléséhez és az adatok nyilvántartásához fűződő állami érdek érvényesítése,
- a földtani közeg által okozott veszélyek és káros folyamatok elleni védelem szempontjainak érvényesítése,
- a földtani közeg hasznosítási lehetőségeinek számbavétele, értékelése és a hasznosítás földtani feltételeinek meghatározása.

A bányafelügyelet látja el a mélységi vizek felszínre hozatalára irányuló, bányászati technológiával végzett munkálatok hatósági biztonságtechnikai felügyeletét is. A vízvagyon védelmét szolgáló intézkedéseket a környezetvédelmi és a vízügyi hatóságnál kezdeményezi (45. §). A bányafelügyelet vezeti az állami ásványi nyersanyag és geotermikus energiavagyon nyilvántartást (25. §), valamint a geotermikus védőidom nyilvántartást (22/B. §).

A bányafelügyelet építésfelügyeleti hatáskörét és eljárását a 96/2005. (XI. 4.) GKM rendelet szabályozza, ennek tárgyi hatályában szerepel a geotermikus energia felszín alatti víz kitermelését nem igénylő kinyerésének és energetikai célú hasznosításának létesítményei az épületgépészeti berendezések kivételével, azaz a mai hazai gyakorlat szerint a geotermikus hőszivattyúk.

A kitermelt ásványi nyersanyag és geotermikus energia után az államot részesedés, bányajáradék illeti meg. A kitermelő az általa kitermelt geotermikus energia után, annak értéke 2%-ának megfelelő bányajáradékot fizet (20. §), ezt önbevallásként teljesíti. Nem kell bányajáradékot fizetni a kitermelt geotermikus energia 50%-át meghaladóan hasznosított mennyisége után. A hasznosított geotermikus energiamennyiség a bányavállalkozó által kitermelt, +30 °C-ot meghaladó hőmérsékletű energiahordozóból kinyert energiamennyiség energetikai célra hasznosított része (GJ-ban). E vonatkozásban nem minősül bányavállalkozónak, aki vízjogi engedély alapján geotermikus energiát gyógyászati, balneológiai, valamint vízellátási célra használ, még abban az esetben sem, ha azt másodlagos felhasználással energetikai célra is hasznosítja (BtVhr. 34. §). A 118/2003. (VIII. 8.) Korm. rendelet szerint energetikai célra hasznosított geotermikus energia esetében a kitermelt geotermikus energia után keletkező érték a kitermelt, +30 °C-ot meghaladó hőmérsékletű energiahordozóból kinyert energiamennyiségnek (GJ) és a meghatározott fajlagos érték (Ft/GJ)

szorzatával képzett összeg (Ft). A fajlagos érték meghatározásának képletét két fő (és két al-) kinyerési típusra közli:

- ha a geotermikus energia vízkitermeléssel jár együtt;
- ha a geotermikus energia kinyerése hőközvetítő anyagnak a földkéregben történő recirkulálásával történik.

A bányavállalkozónak mérnie kell az energiahordozó hőmérsékletét a kinyerésre szolgáló berendezés bemeneti és kimeneti pontján, valamint a felhasznált energiahordozó mennyiségét.

4.2.2. Energetika

Az energetika hazai szabályozása, különösen annak villamos energetikai része, a közösségi piaci liberalizációs kötelezésnek megfelelően 2007-ben teljesen megújult. A 2007. évi LXXXVI. törvény a villamos energiáról egyik célja a megújuló energiaforrásból és a hulladékból nyert energiával termelt villamos energia, valamint a kapcsolatosan termelt villamos energia termelésének elősegítése (1. §). A törvény rendelkezéseit a hőenergiával kapcsolt villamosenergia-termelésre a távhőszolgáltatásról szóló törvény különös szabályaival összhangban kell alkalmazni. Fogalmi körében megtaláljni:

hasznos hő: a kapcsolatosan termelt energia előállítása során valamely, gazdaságilag indokolt hő- vagy hűtési igény kielégítése érdekében megtermelt hő;

kiserőmű: 50 MW-nál kisebb teljesítőképességű erőmű;

zöld bizonyítvány: a megújuló energiaforrásból vagy hulladékból nyert energiával előállított villamos energia mennyiségét igazoló, származási igazoláson alapuló forgalomképes okirat.

A megújuló energiaforrások definíciója hű a vonatkozó irányelvhez, és definiálja a biomasszát valamint a szélerőművet, a geotermikus energiát azonban nem.

Megújuló energiaforrást hasznosító új kapacitások létesítésekor az átviteli rendszerirányító és az elosztó hálózati engedélyesek viselik a műszaki átalakításából származó költségeket. E költségek a hálózati engedélyeseket terhelő részét a Magyar Energia Hivatal (MEH) a rendszerhasználati díjak szabályozása során indokolt mértékben figyelembe veszi (7. §). Külön fejezet a megújuló energiaforrásból és a hulladékból nyert energiával termelt villamos energia, valamint a kapcsolatosan termelt villamos energia termelésének elősegítésére az energiaforrásokra, termelési eljárásokra, az erőművi névleges teljesítőképességre, az energiaátalakítás hatásfokára, hatékonyságára, valamint az erőmű létesítésének időpontjára tekintettel differenciált, kötelező átvételi rendszert hoz létre (9. §). Ennek fő szempontjai (10. §):

- biztosítani kell a szükséges hosszú távú kiszámíthatóságot és az energiapolitikai elvekkkel való összhangot,
- a termelők piaci versenyét fenntartva kell csökkentenie a termelt villamos energia értékesítése során jelentkező versenyhátrányt,
- a villamos energia átvételi árának, mennyiségének és időtartamának megállapításakor figyelembe kell venni a termelési eljárás átlagos megtérülési idejét, az energiaforrás felhasználásának az ország természeti adottságaival összefüggő hatékonyságát, a felhasználók teherbírását és a technológiák hatékonyságjavulását, valamint a technológiának a villamosenergia-rendszer működésére gyakorolt hatását,

- a kapcsolatlan termelt villamos energia kötelező átvételének a hasznos hőigényen alapuló kapcsolatlan energiatermelés elősegítésére kell irányulnia, az elsődleges energiaforrások megtakarításán kell alapulnia, és nem akadályozhatja a villamosenergia-rendszer szabályozhatóságát,
- a stabil gazdasági és jogi környezet biztosítása érdekében a kötelező átvételnek az adott projekt kereskedelmi üzemének kezdetétől számítottan, a fentebb meghatározott időtartamra kell vonatkoznia.

E szempontok figyelembevételével a kötelező átvételi rendszeren keresztül nem segíthető elő

- a hasznos hőigényen felüli hőtermeléssel kapcsolatos villamosenergia-termelés, és
- a megújuló energiaforrásból történő hőtermelés.

A termelő köteles az átvételi rendszerirányító üzletszabályzata szerinti mérlegköri szerződést kötni. A kötelező átvétel történhet (11. §) piaci áron vagy jogszabályban (ld. lentebb meghatározott átvételi áron), a villamos energia mennyiségét és időtartamát a MEH állapítja meg. A termelő kérelmére a MEH igazolja a megújuló energiaforrásból vagy hulladékból nyert energiával előállított villamos energia és hasznos hő mennyiségét, valamint a kapcsolatlan termelt energia előállításához felhasznált elsődleges energiaforrást (12. §).

A villamosenergia-kereskedők és a felhasználónak közvetlenül értékesítő termelő köteles az értékesített villamos energia arányában átvenni az átvételi kötelezettség alá eső villamos energiát és erre vonatkozóan szerződést kötni az átvételi rendszerirányítóval (13. §). A háztartási méretű kiserőművek üzemeltetői által termelt villamos energiát az adott csatlakozási ponton értékesítő villamosenergia-kereskedő köteles átvenni. A 0,5 MW és az ezt meghaladó teljesítőképességű kiserőmű esetén egyszerűsített engedélyezési eljárást kell lefolytatni (80. §).

A törvény végrehajtásának legtöbb elemét a 273/2007. (V. 19.) Korm. rendelet szabályozza. A 110/2007. (XII. 23.) GKM rendelet a nagy hatásfokú, hasznos hőenergiával kapcsolatlan termelt villamos energia és a hasznos hő mennyisége megállapításának számítási módjáról rendelkezik. A geotermikus energiahasznosítás szempontjából kiemelten fontos a 389/2007. (XII. 23.) Korm. rendelet a megújuló energiaforrásból vagy hulladékból nyert energiával termelt villamos energia, valamint a kapcsolatlan termelt villamos energia kötelező átvételéről és átvételi áráról. Ennek melléklete tartalmazza a megújuló energiaforrásból nyert energiával, 20 MW-nál kisebb teljesítményű geotermikus erőműben termelt villamos energia kötelező átvételi bázisárait (**4.1. táblázat**):

	Ft/kWh
Csúcsidőszak	29,56
Völgyidőszak	26,46
Mélyvölgy időszak	10,80

4.1. táblázat: 20 MW-nál kisebb teljesítményű geotermikus erőműben termelt villamos energia kötelező átvételi bázisárai

Nem kell energiaadót fizetnie a személyeknek a saját felhasználásra megújuló energiákból termelt villamos energia után (2003. évi LXXXVIII. törvény 3. § (1) f)).

A 2005. évi XVIII. törvény a távhőszolgáltatásról definíciója szerint a távhőtermelő létesítmény az erőmű távhő-szolgáltatási célra hőt termelő létesítménye, távhőt előállító fűtőmű, kazántelep, kazán, hulladékégető mű, geotermikus energiát távhőszolgáltatás céljára kitermelő vagy más megújuló energiát (pl. biokazán, hőszivattyú, napkollektor) és hulladékhőt hasznosító távhőtermelő berendezés. A távhő legmagasabb hatásági árának megállapításával kapcsolatos szabályokat az árak megállapításáról szóló 1990. évi LXXXVII. törvény tartalmazza (57. §). Az árak megállapításánál figyelembe kell venni a kapcsolt és a megújuló energiaforrással történő energiatermelés kimutatható környezetvédelmi és gazdasági előnyeit.

A törvény végrehajtásáról szóló 157/2005. (VIII. 15.) Korm. rendelet szerint távhőtermelő berendezés létesítése, átalakítása, bővítése során az engedély kérelmezőjének meg kell vizsgálnia a megújuló energiahordozók felhasználásának lehetőségét, annak műszaki és gazdasági feltételeit (1. §). A megújuló energiahordozó felhasználására irányuló vizsgálat eredményét az engedélykérelemhez minden esetben csatolni kell. Az engedélyező hatóságnak azonos vagy kedvezőbb - a megújuló energiahordozó környezetvédelmi hatásait és a működési támogatásokat is figyelembe vevő - gazdasági feltételek esetén a távhőtermelői létesítési és működési engedélyt a megújuló energiahordozók felhasználására kell kiadni. Az 5 MW-nál kisebb névleges hőteljesítményű létesítményre csak távhőtermelői működési engedélyt kell kérni és kiadni (6. §).

A 19/2007. (VII. 30.) MeHVM rendelet az Új Magyarország Fejlesztési Tervben szereplő Regionális Fejlesztés Operatív Programokra meghatározott előirányzatok felhasználásának állami támogatási szempontú szabályairól 4. § szerint a Regionális Fejlesztés Operatív Programok forrásai az alábbi jogcímeneken használhatók fel:

„g) Turisztikai hálózatok, klaszterek, együttműködések alapításának, szervezésének, általuk megvalósított beruházások támogatása;

gy) A hazai geotermikus potenciál kihasználására épülő hőenergia ellátás fejlesztése, hőszivattyús rendszerek és passzív épületek fejlesztése”.

A 23/2007. (VIII. 29.) MeHVM rendelet a Környezet és Energia Operatív Program prioritásaira rendelt források felhasználásának részletes szabályairól és egyes támogatási jogcímeiről gyakorlatilag megismétli ezt, a 3. § szerint az állami támogatások az alábbi jogcímeneken használhatók fel:

„g) a hazai geotermikus potenciál kihasználására épülő hőenergia-ellátás fejlesztése;

h) hőszivattyús rendszerek és passzív épületek fejlesztése”.

A hétéves EU közösségi támogatásból tehát nem részesülhetnek a villamos áram termelését célzó földhő projektek.

4.2.3. Környezetvédelem és vízgazdálkodás

A környezetvédelmi és vízgazdálkodási hazai joganyaga hűen átvette a vonatkozó közösségi jogi rendelkezéseket (pl. környezeti hatásvizsgálat, elektromos hulladék, stb.), ezért a tanulmány csak az ettől eltérő vagy specifikus nemzeti szabályozást ismerteti.

Az 1995. évi LIII. törvény a környezet védelmének általános szabályairól célja, egyebek között, 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. §).

Az 1995. évi LVII. törvény a vízgazdálkodásról szerint a vizek hasznosítási lehetőségeinek megőrzésére az ivóvízellátást, az ásvány- és gyógyvízhasznosítást szolgáló, vagy erre kijelölt vizeket a vízkivétel védőidomainak, védőterületének kijelölésével és fenntartásával fokozott védelemben és biztonságban kell tartani (vízbázisvédelem, 14. §). A felszín alatti vizet csak olyan mértékben szabad igénybe venni, hogy a vízkivétel és a vízutánpótlás egyensúlya minőségi károsodás nélkül megmaradjon, és teljesüljenek a vizek jó állapotát biztosító követelmények (15. §). A vízigények elsősorban a vízhasználat céljára még le nem kötött vízkészletből elégíthetők ki. Az ásvány-, gyógy- és termálvizek felhasználásánál előnyben kell részesíteni a gyógyászati, illetve gyógyüdülési használatot. A kizárólag energiahasznosítás céljából kitermelt termálvizet vissza kell táplálni. Termálvíz minden olyan felszín alatti (vízadó rétegből származó) eredetű víz, melynek kifolyó (felszínen mért) hőmérséklete 30 °C, vagy annál magasabb.

Vízjogi engedély szükséges a vízi munka elvégzéséhez, illetve vízi létesítmény megépítéséhez, átalakításához és megszüntetéséhez (létesítési engedély), továbbá annak használatbavételéhez, üzemeltetéséhez, valamint minden vízhasználatához (üzemeltetési engedély) (28. §). A vízhasználó a vízjogi létesítési, üzemeltetési engedélyben lekötött, vagy engedély nélkül felhasznált, az üzemi fogyasztó a ténylegesen igénybe vett vízmennyiség után vízkészletjárulékot köteles fizetni (15. §). Nem kell a vízhasználónak vízkészletjárulékot fizetnie a felszín alatti vízkivételnél a víztartó rétegbe visszasajtoló – a felszín alatti vizeket nem veszélyeztető – vízmennyiség után (15/C. §)!

A 43/1999. (XII. 26.) KHVM rendelet tartalmazza a vízkészletjárulék számítását. A „g” szorzószámot tartalmazó táblázat üresen hagyott rovatainak megfelelő vízhasználatok esetén a gazdasági célú egyéb vízhasználatokra vonatkozó „g” szorzószámot kell alkalmazni (7. §). A járulék: $VKJ = „V” (m^3) \times „A” (Ft/m^3) \times „m” \times „g”$, ahol

„V” a vízhasználó által igénybe venni tervezett vagy igénybe vett vízmennyiség.

„A” alapjárulék mértékét külön jogszabály határozza meg, az alapjárulékot a vízhasználat mértéségétől függően módosító szorzószám „m” értéke nem mért vízhasználat esetén 2,0, mért vízhasználat esetén 1,0. A **4.2. táblázat**ból kitűnik, hogy a geotermikus hasznosítás meglehetősen hátrányt élvez.

A 219/2004. (VII. 21.) Korm. rendelet a felszín alatti vizek védelméről szerint a felszín alatti vizek jó mennyiségi állapotának biztosítása érdekében a tevékenység nem okozhatja igénybevételi határérték túllépését, és nem vezethet a felszín alatti víztest kémiai és fizikai állapotromlásához, beleértve a káros víz(nyomás)szint emelkedését (9. §). Ugyanakkor engedélyezhető a kitermelt felszín alatti vizek ugyanazon, vagy azonos célra használt rétegbe történő visszajuttatása, ha biztosított, hogy a visszasajtoló víz nem tartalmaz a kitermelt víztől eltérő anyagot, és nem okoz kedvezőtlen minőségváltozást, így például geotermikus energiahasznosítás céljából zárt rendszerű technológiával.

Vízkezelés jellege		Vízhasználat jellege										
		gyógyászati célú	közélcélú	gazdasági célú								
				ivóvíz	öntözés	halg. és rizs-term.	állattartó telep	energetika	víz-erőmű	fürdő	egyéb	
Felszín alatti víz	gyógyvíz	minősített	1,0	5,0	5,0						5,0	10,0
	termásvíz	> vagy = 30 °C	1,0	1,0	3,0						3,0	7,5
	karszt- és hasadékvíz	I. oszt.		1,2	3,0			4,0			3,0	6,0
		II. oszt.		1,0	2,0			3,0			2,0	5,0
		III. oszt.		0,5	1,0			2,0			1,0	4,0
	rétegvíz	I. oszt.		1,0	3,0	4,0		3,5			3,0	5,0
		II. oszt.		0,8	2,0	3,0		2,0			2,0	4,0
		III. oszt.		0,5	1,0	2,0		1,0			1,0	2,0
	partiszűrűsű víz	I. oszt.		1,0	3,0	3,5		3,5			3,0	4,0
		II. oszt.		0,8	2,0	2,0		2,0			2,0	3,0
		III. oszt.		0,5	1,0	1,0		1,0			1,0	1,0
	talajvíz	I. oszt.		1,0	1,5	2,0		1,5			1,5	3,0
II. oszt.			0,7	1,1	1,5		1,1			1,1	2,0	
III. oszt.			0,5	1,0	1,0		1,0			1,0	1,5	
Felszíni víz	I. kat.		0,6	1,0	0,1	0,02		0,4	0,001	1,0	1,0	
	II. kat.		0,7	1,1	0,1	0,02		0,4	0,001	1,1	2,0	
	III. kat.		0,8	1,2	0,2	0,04		0,4	0,001	1,2	2,5	
	IV. kat.		0,8	1,2	0,3	0,06		0,5	0,001	1,2	3,0	

4.2. táblázat: A „g” szorzószám a vízkezelési járulékok számításához (43/1999. (XII. 26.) KHVM rendelet)

A 220/2004. (VII. 21.) Korm. rendelet a felszíni vizek minősége védelmének szabályairól rendelkezik a kibocsátási határértékek megállapításáról közvetlen bevezetés esetén, amely számos, a geotermikus energiát a mezőgazdaságban hasznosító termelőnél jelent gondot. A felügyelőség (ti. „zöld hatóság”) annak a kibocsátónak, aki engedéllyel olyan felszín alatti vizet használ, amely valamely szennyezőanyag-tartalom tekintetében meghaladja a külön jogszabályban előírt kibocsátási határértéket, a területi kibocsátási vagy technológiai határértéknél enyhébb, vagy szigorúbb kibocsátási határértéket állapíthat meg a befogadó terhelhetőségére figyelemmel (19. §).

Ha hatósági határozat másként nem rendelkezik, a kibocsátási határértékeket meghaladó, meglévő energetikai célú termásvíz-hasznosítás esetén a türelmi idő 2012. december 31. (38. §). A vízszennyezési bírság a türelmi időben progresszíven növekvő, az ötödik évtől a bírság már 75 %, amely a hasznosítót a szennyezés megszüntetésére ösztönzi.

A 28/2004. (XII. 25.) KvVM rendelet a vízszennyező anyagok kibocsátásaira vonatkozó határértékekről és alkalmazásuk egyes szabályairól külön fejezetet szentel a termásvíz hasznosításnak (energetikai célú hasznosítás, gyógyászati célú hasznosítás, termálfürdők). E szerint klórral előkezelt víz termásvízhez nem keverhető. A szennyvízre vonatkozó követelmények a felszíni vízbe történő bevezetés előtt a **4.3 táblázat**ban láthatók. Ezek közül sokak számára nehezen teljesíthető pl. a nátrium-egyenérték határértéke.

Megnevezés	Mértékegység	Energetikai célú hasznosítás	Gyógyászati célú hasznosítás	Termálfürdők
Dikromátos oxigénfogyasztás (KOIk)	mg/l	-	150	-
Összes só	mg/l	3000	5000	2000
Nátrium-egyenérték	%	<u>45</u>	95	45
Ammónia-ammónium nitrogén	mg/l	-	10	-
Szulfidok	mg/l	-	2	-
Fenolindex	mg/l	1,0	-	-
Összes bárium	mg/l	-	0,5	-
Hőterhelés	°C	30	30	30

4.3. táblázat: A szennyvízre vonatkozó követelmények (28/2004. (XII. 25.) KvVM rendelet)

A termálvíz gyógyászati célú hasznosítása, illetve termálfürdőben való hasznosítása után a használt víz kevert kibocsátása esetén a gyógyvízre vonatkozó határértékeket kell betartani. A termálvíz termálfürdőben való hasznosítása (ill. gyógyászati célú hasznosítása) után a használt termálvíz a hidegvizes medencék vizével keverve is a befogadóba vezethető.

2007 végén több új rendelet jelent meg, amely alapjaiban érinti a geotermikus energiahasznosítást. A 379/2007. (XII. 23.) Korm. rendelet a vizek hasznosítását, védelmét és kártételeinek elhárítását szolgáló tevékenységekre és létesítményekre vonatkozó szabályokról IV. fejezete tárgyalja a hévízgazdálkodást. Hévíz gyógyászati, egyéb egészségügyi, továbbá fürdő, melegvíz és hőellátás céljaira hasznosítható. A hévízhasznosítás tervezésénél a több célú és ismételt felhasználásra kell törekedni. Mérlegelni kell az esetleges kísérőgáz hasznosítás lehetőségét is (28. §). Hévízmű telepítéskor a hévízbázis védelméről, valamint a csurgalékvíz ártalommentes elvezetéséről és elhelyezéséről gondoskodni kell (29. §). A kizárólag energiahasznosítás céljából kitermelt hévizet hőhasznosítás után a hévízrezervoárba vissza kell táplálni. A hasznosító berendezésbe a külön jogszabályban előírt határértéket meghaladó, éghető gázt tartalmazó hévizet tilos bevezetni (31. §). Csoportos telepítésű hévízkutaknál, illetve a hévízhasználati agglomerációkban a befogadó kiválasztásánál a környezetvédelmi szempontok mellett a vízkészlet-utánpótlási érdekeket is figyelembe kell venni (32. §).

A 94/2007. (XII. 23.) KvVM rendelet a vízgazdálkodás egyes szakmai követelményeiről 15. §-a szerint a hévízkutat a vízpazarlás megakadályozása érdekében olyan kútfej-szerelvényvel kell ellátni, amely lehetővé teszi a vízkivétel mértékének igény szerinti szabályozását, a termálvíztestekre meghatározott vízkészleteket figyelembe vevő, fenntartható dinamikus vízkészlet-gazdálkodást. A kitermelt víz mennyiségét, nyomását és hőmérsékletét folyamatosan kell mérni és üzemnaplóban rögzíteni. Az üzemnaplóban rögzített adatok képezik alapját az országos statisztikai adatszolgáltatásnak, valamint a vízkészlet-járulék bevallásnak. Hévíztárolót a kút átlagos vízadóképesége és a napi csúcsfogyasztás figyelembevételével kell méretezni és úgy kell megvalósítani, hogy a hévíz jellemzőinek a felhasználást gátló mértékű megváltozása megakadályozható legyen. A hévíztárolót úgy kell kialakítani, hogy az ellenálljon a hőmérséklet-ingadozásokból, az esetleges vízkőkiválásból és az agresszív hatásokból származó igénybevételeknek (17. §).

A 101/2007. (XII. 23.) KvVM rendelet a felszín alatti vízkészletekbe történő beavatkozás és a vízkútfúrás szakmai követelményeiről fogalommagyarázata szerint:

hévíz: felszín alatti víztartókban található vagy onnan származó, a kútfejen – a kút maximális vízhozama esetén –, forrás esetében a kifolyásnál mért 30 °C fokos vagy annál melegebb víz;

geotermikus energia hasznosítását szolgáló vízi létesítmény: a víz hőtartalmát energetikai célra hasznosító víztermelő, illetve visszatápláló kút.

A kutaknál vízföldtani naplót kell készíteni és megküldeni hat példányban a Környezetvédelmi és Vízgazdálkodási Kutató Intézet Kht.-nak (VITUKI) a kútkataszteri szám megadása céljából (8. §). Az engedély kiadásával egyidejűleg a vízügyi hatóság a vízföldtani napló egy-egy példányát megküldi a VITUKI, a Magyar Állami Földtani Intézet (MÁFI) és a környezetvédelmi és vízügyi igazgatóság részére. A hévízművek üzemeltetéséhez üzemeltetési szabályzat szükséges (10. §). A műszaki átadás-átvétel során jegyzőkönyvet kell felvenni, amely tartalmazza a kút hozamára, szerkezetére kifolyó víz hőmérsékletére, a kútkörnyék állapotára, a dinamikus és termikus paraméterekre, a termelt víz kémiai összetételére, a kútfej-kiképzés biztonsági követelményeire vonatkozó adatokat.

A hévízkutak rendszeres – az üzemeltető által végzett – ellenőrzése körében havonta kell vizsgálni, illetőleg el kell végezni:

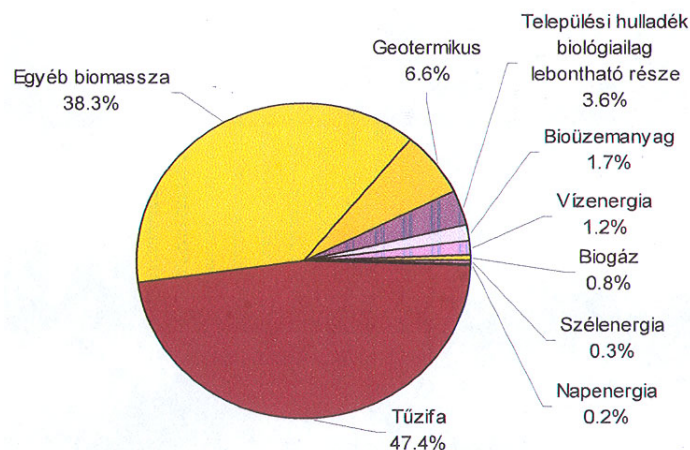
- az üzemelési napokat, az üzemmódot,
- a kitermelt vízmennyiséget,
- a jellemző kútfejnyomást, üzemi vízszintet,
- a kifolyó víz jellemző hőmérsékletét,
- a kútjavítási munkák időpontját.

Visszatápláló kutak esetén a méréseket folyamatos regisztrálás mellett kell biztosítani. A termelő-, visszatápláló- és megfigyelő kutakon elvégzett rendszeres üzemi méréseket évente értékelni kell, és azt a környezetvédelmi és vízügyi igazgatóságnak, valamint a vízügyi hatóságnak meg kell küldeni. A termelési és visszatáplálási adatokban nem várt változásakor az értékelést soron kívül el kell végezni.

5. A geotermikus energia kiaknázásának helyzete Magyarországon

Villamosenergia-termelést szolgáló geotermikus erőművi egység, a mai napig nem működik Magyarországon. Tervek már több évtizede vannak, ugyanakkor megjegyzendő, hogy tőlünk keletre a határhoz közeli romániai Bors területén kísérleti 200 kW-os ORC erőművi egységet terveznek (Rosça, 2007).

Míg az Európai Unió tagországaiban a megújuló energiák részarányának átlaga 6,2%, addig nálunk mindössze 3,7% (2004), ez utóbbi érték 4,7%-ra nőtt 2006-ra (Energiaközpont Kht.) Magyarországon a biomasszát követően a második legfontosabb megújuló energia a geotermikus energia. Az előbbi az összes megújuló energiatípus között 90%-kal szerepel, melyből 47,4%-ot a tűzifa tesz ki. Ezt 6,6%-kal követi a geotermikus energia (**5.1. ábra**). Az 55 PJ/év összes megújuló energia használat során mindössze 3,63 PJ/év hőenergiát fedezünk geotermikus energiából (Energiaközpont Kht adatai).



5.1. ábra: A megújuló energiahordozók hasznosítási adatai Magyarországon (2006. december 31.-i állapot, Energiaközpont Kht.)

Három évvel korábban Lorberer és mtsai (2004) a bányajáradék fizetésre kötelezett hőhasznosítók negyedévenként szolgáltatott adataiból az energetikai célra felhasznált geotermikus hőmennyiséget 2003-ban 2,46 PJ/év-nek határozták meg. Figyelemre méltó, hogy ezek a számok jelentősen kisebbek, mint a 2.3. táblázatban Fridleifsson et al. (2008) által közölt 7,94 PJ/év érték, amely abból adódhat, hogy ebben az utóbbi értékben a fürdési célú hőhasználat is szerepel. A földhőhasznosítás országos adatai – a föntiek és az adatszolgáltatás elmaradása miatt – pontosan nem ismertek, a rendelkezésre álló készletekhez képest pedig igen szerénynek minősíthetők.

5.1. Áramfejlesztés

A MOL több nagy entalpiájú geotermikus terület közül hármat talált a leginkább perspektivikusnak az 1995 és 1999 között folyó Geotermikus Projektje eredményeképpen. Ezek: Andrásida-Nagylengyel (~100.000 GJ/év), Mélykút-Pusztamérges (230.000 GJ/év) és Nagyszénás-Fábiánsebestyén (1.300.000 GJ/év) (Árpási et al., 1997; Árpási és Szabó, 1999).

Az első kísérleti geotermikus erőművi blokk (2–5 MW_e teljesítménnyel) kialakítását a Zala megyei Iklódbördöce térségében kezdte meg a MOL. Működéséhez a település határában lévő meddő szénhidrogén-kutató fúrásból kialakított kút 140 °C-os termálvizét kívánták használni. A termelést és visszasajtolást zárt rendszerben tervezték. A lehűlt vizet származási helyére, a 3000 m-nél mélyebben található karsztvíztároló összletbe kívánták vissza juttatni.

A MOL 2006 márciusában izlandi és ausztrál partnerekkel konzorciumot alapított a geotermikus kutatás végrehajtására. A geológiai kockázat pénzügyi kezelésére a Világbankkal 2006 novemberében szerződést kötöttek. Az átképzések két meglévő szénhidrogén-kúton 2006 decemberében kezdődtek el és a tesztelésekkel együtt 2007 márciusában értek véget. A réteg hőmérséklete a várakozások szerint 142 – 146 °C között alakult. A vízhozam viszont nem érte el az erőmű létesítéséhez szükséges mértéket. Rövidtávon komoly értékeket mértek, de a talpnyomás csökkenéséből megállapítható volt, hogy a hosszútávú hozam mintegy 0,7 – 1,0 MW teljesítményű erőmű létesítéséhez elegendő. A jelenlegi hazai átvételi áron erőművet telepíteni ilyen méretű rezervoárra veszteséges lenne (Kujbus, 2008). A feltárt hévíz rezervoár ugyanakkor alkalmas mezőgazdasági vagy kommunális hőszolgáltatásra, ehhez hosszú távon fizetőképes fogyasztói rendszer szükséges.

A MOL szakembereinek véleménye szerint az általuk ismert területeken néhány geotermikus kiserőmű és mintegy félszáz ún. közvetlen geotermikus technológia létesítése lehetséges. Úgy ítélik meg (Kujbus, 2008), hogy a létesítmények telepítése a makrogazdasági háttér és az állami beavatkozások változásának kérdése. A jelenlegi támogatási rendszer – a német támogatásnak kétharmadán levő átvételi ár, a szén-dioxid-kvótahoz jutás kérdésessége és a geotermikus erőművek támogatásának a KEOP-ból és a ROP-ból való törlése nem vonzó az igazán komoly befektetők számára. A MOL Nyrt. ennek ellenére úgy döntött, hogy folytatják a geotermikus tesztelési-kutatási folyamatot Zalában és az Alföldön is. Érdeklődésük fókuszát kiszélesítik a Pannon-medence egész területére, hazánk határain túl ugyanis a termelt villamos áram átvételi árát illetően ott biztatóbb fogadtatásban részesültek. (Kujbus, 2008).

A tőzsdén jegyzett Pannonplast Nyrt. az izlandi VGK-Hönnun céggel geotermikus energia projekteket kíván megvalósítani Magyarországon 350 millió euró (kb. 87 milliárd forint) összegű beruházásban (Pannonplast, 2007). Elsődlegesen hő-, áram-, illetve a kettő kombinációját termelő geotermikus kiserőművek kialakításáról van szó, melyek legalább 60 MW összteljesítményűek. A tervek szerint a Pannonplast a beruházáshoz 20 %, (mintegy 70 millió euró) saját erőt biztosít, és a kereskedelmi bankok finanszíroznának mintegy 50 %-ot. A fúrások költsége kutanként, a mélységtől függően 200-400 millió forint. Az első erőművek építése várhatóan 2009-ben kezdődik, és 2010 közepétől üzemelhetnek. A 2013-ig szóló időszakra a zöld energia összesen 68 milliárd forint európai uniós támogatást kaphat (KEOP), a beruházási értékek 20-30 százalékát. Jelenleg 28-30 önkormányzattal van már megállapodás, vagy szándéknyilatkozat ilyen projektben való részvételről.

Az izlandi VGK-Hönnun 2006 őszén kezdte meg Magyarországon a geotermikus források feltárásának kutatását, és megállapította, hogy az áramtermeléshez megfelelő hőfokú (110 °C-nál foknál magasabb hőmérsékletű) termálvíz található 3000 méternél kisebb mélységben, a 23 kijelölt területen. Ahhoz, hogy Magyarország teljes egészében a földhővel teljesítse az európai uniós elvállalásait, 2020-ra 164 MW geotermikus energiát kellene előállítani – öt százalékos hatásfokot, kutanként 2 MW teljesítményt figyelembe véve – 82 kitermelő és 42 visszasajtoló-kútra lenne szükség. Ez azt jelentené, hogy 2020-ig évente 10 geotermikus kutat kellene üzembe helyezni. A kutak és az erőművek évi 8300 órát üzemelnének a karbantartást is figyelembe véve, ami évi 95

százalékos kihasználtságot jelent. Ezek az erőművek a villamosenergia-rendszer szabályozhatóságának is megfelelnek (Pannonplast, 2007).

5.2. Közvetlen hőhasznosítás, földhőszivattyúk nélkül

A geotermikus energiahasznosítás legrégebben alkalmazott és legegyszerűbb módja a közvetlen hőhasznosítás, amely különösen akkor előnyös, ha a fokozatosan csökkenő hőmérsékletigényű felhasználók egymás után kapcsolhatók, a kishatásfokú erőművek csurgalékvizeinek 90%-os hőtartalmát is felhasználva (Rybach és Kohl, 2004). Természetesen a geotermikus energiavagyont nem csak energetikai célból fogyasztjuk. A működő hévízkutak (915) 57,8%-át eleve fürdők és kórházak (289) vagy ivóvízművek (240) részére létesítették; az egyéb hasznosítású, de csak 30-50 °C -os kifolyóvíz-hőmérsékletű kutak nagyobb része is vízellátásra szolgál (Lorberer és mársai, 2004). Ebből adódik, hogy bár a legfrissebb hazai adatok szerint 3.63 PJ/év hőenergiát állítunk elő geotermikusan, az **5.1. táblázat**ban ennek duplája szerepel, hiszen ideszámítjuk a fürdőkben és uszodákban történt hőhasznosítást is. A fürdők és uszodák vizének energetikai hasznosításával a földhőkihasználás mértékét nagymértékben növelni lehetne.

	(MW _{hő})	(%)	(TJ/év)
Beltér fűtés	100,6	14,5	1016,7
Üvegházfűtés	196,7	28,3	1502,5
Fürdők és uszodák	350,0	50,4	5040,0
Hőszivattyúk	4,0	0,6	22,6
Egyéb felhasználás	42,9	6,2	358,0
Összesen	694,2		7939,8

5.1. táblázat: Közvetlen geotermikus hőhasznosítás Magyarországon (Lund et al. 2005 nyomán)

5.2.1. Belső terek geotermikus energiával történő fűtése és hűtése

Belső terek fűtésére 40–140 °C közötti hőmérsékletű termálvizet használnak (**1.6. ábra**). A fűtőtestekbe érkező víz 65–80 °C-os, a használat során 25–40 °C-ra hűl le. A 65 °C-nál alacsonyabb hőmérsékletű vizek fűtési felhasználása csak hőszivattyúk, vagy különleges padlófűtési rendszerek, víz-levegő hőcserélők segítségével lehetséges.

A fűtőrendszerbe közvetlenül csak alacsony oldott anyag tartalmú vizek vezethetők be. Ha a kémiai összetétel ezt nem teszi lehetővé, akkor hőcserélőket iktatnak be. A magas hőmérsékletű és nyomású vizek közvetlen fűtési felhasználása szintén csak hőcserélők segítségével lehetséges.

A belső terek fűtése a geotermikus energia egyik rendkívül költséghatékony felhasználása. A költségek többsége itt is a beruházás kezdetén, a technikai háttér kiépítésénél jelentkezik. Ugyanakkor a működési költségek lényegesen kisebbek, mint a hagyományos energiára épülő rendszereknél. Ezek a szivattyúk áramellátására, a rendszer karbantartására és üzemeltetésére korlátozódnak. A rendszer költségeinek becslésekor lényeges elem a várható hőterhelés sűrűsége. Egy adott terület fűtési projektjének megvalósíthatósága szempontjából a nagy hőterhelés-sűrűség

meghatározó. Ugyanis az egész projektben a legnagyobb költségtényező az elosztóhálózat kiépítése. A gazdaságosságot valamennyire javíthatja, ha nemcsak fűteni, hanem – ha igény van rá – hűteni is lehet a geotermikus energia felhasználásával (Gudmundsson, 1988; Lemale és Jaudin, 1998). A fenntartási költségek és az esetleges leállások minimalizálása érdekében egy-egy ilyen rendszer komplexitását csak annyira szabad növelni, hogy a kisebb üzemzavarokat a helyi személyzet is orvosolhassa. Magyarországon 17 kút szolgál beltéri fűtési célokat a 2006. január 1-i adatok alapján.

5.2.1.1. A hódmezővásárhelyi geotermikus közműrendszer

A hódmezővásárhelyi geotermikus közműrendszer integrált hőhasznosítást valósít meg (Kurunczi, 2004). Környezetvédelmi és gazdaságossági szempontból egyaránt sikeres vállalkozás. A létesítmény a beruházó, az üzemeltető és a település közötti megegyezés alapján valósulhatott meg. Tapasztalatai példaként szolgálhatnak hasonló rendszerek kiépítésekor.

Megvalósításának alapvetően kettős célja volt. Egyrészt, hogy az 1000 m körüli mélységű rétegek 45–50 °C-os termálvizével kiváltsa a helyi távfűtő-rendszerben, a hideg ivóvízből földgázzal előállított használati meleg vizet. Másrészt, hogy a 2000 m körüli mélységből feltárható 80–86 °C hőmérsékletű termálvíz hőtartalmát kihasználja a földgáz kiváltására. Végezetül a tovább már nem hasznosítható, lehűlt termálvíz a feltárás rétegeihez közeli rétegekbe kerüljön elhelyezésre. A „közműrendszer” elnevezést itt az indokolja, hogy a termálvíz, illetve a termálenergia biztosítására, házhoz szállítására a föld felszíne alá telepített, szigetelt távvezeték hálózat szolgál. Ez a hálózat Hódmezővásárhely négy önálló, sziget-üzemű távhőrendszerrel ellátott lakótelepét, közintézményeit, strandfürdjét és fedett uszodáját köti össze.

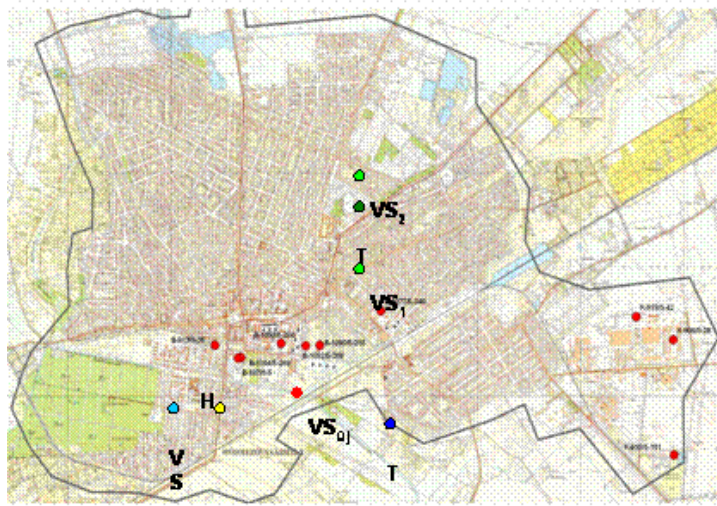
Ez a projekt a külső gazdasági és politikai környezettől függetlenül működik. Helyben található energiahordozó felhasználásával, évente mintegy 2,5 millió m³ földgáz kiváltását valósítja meg. Mindeközben lehetővé teszi a fosszilis tüzelőanyagok elégetésből származó légszennyezés elkerülését. A geotermikus közműrendszer tehát import-független, és környezetbarát, megújuló energiát biztosít. A projekt további eredménye a hagyományos földgázalapú távhőszolgáltatáshoz viszonyított 50%-os költségmegtakarítás (Kurunczi, 2005). A rendszer egyszerűsített megtérülési ideje 6 év körül alakul, élettartama várhatóan 50–100 év közé tehető. A szakértői modellezések szerint hazánk adottságai akár 50–100, a hódmezővásárhelyihez hasonló projekt megépítését is lehetővé teszik.

Hódmezővásárhelyen 2800 lakás és még további 300 lakás fűtésével egyenértékű ipari és egyéb piaci felhasználás van bekapcsolva a távfűtő rendszerbe (**5.2. ábra**). A rendszer kiépítése óta újabb kihívást jelent az önkormányzatnak, hogy a közüzemi villamos energia ára duplájára nőtt 2000 óta (2007 februári adat), míg a gáz ára 1999-hez képest 312%-ra növekedett (2006 augusztusi adat). A városban 10 db termálkút szolgáltat termálenergiát, illetve használati melegvizet, melyből 3 gyógyvíz a strandfürdő, kórház és kakasszéki gyógyintézet területén működik. Fűtési célú felhasználásra 3 termelő kút szolgál (Hódtól és 2, Mátyás u), a használati melegvíz 2 kútból származik. Jelenleg 2 visszasajtoló-kút működik (**5.3. ábra**).

Az önkormányzat napjainkban energiatakarékossági projekteket, fűtőkorszerűsítési projekteket indít. Ezek között fő hangsúly a termálenergia további hasznosításán van. 2007-ben két termálkutat fűrtak, melynek eredményeképpen 800.000 m³-rel 52%-ról 25-30%-ra csökken a helyi távfűtési szolgáltatás energiaigényének gázaránya, a kiadáscsökkenés 90 MFt/év. Az önkormányzat további 4 projekt keretében közel 2,1 Mrd Ft értékben tervez termálberuházást a 2008. évben

Jelenleg épül illetve épült a helyi geotermikus közműrendszer „déli-termálköre”, amely egy teljes körű panel program megvalósulásával képes lehet a városi távhőellátás még igénybe vett

primer földgázának kiszorítására is. Hőenergiát biztosít újonnan létesülő intézmények, üzletközpontok, gyógyszálló számára. A tervezéskor a nyári, hűtési szükséglet is figyelembe vették. Várhatóan évi 1,8 millió m³ földgáz kiváltásával, illetve helyettesítésével, a káros emisszió csökkentése a belvárosban: szén-dioxidból 3.120 t/év, szén-monoxidból 3.000 kg/év, nitrogén-oxidból 2.400 kg/év.



Piros: 2007 előtt létesített termál kutak, **Kék:** déli-termálkör 2007-ben létesített termelő és 2008-ban létesítendő visszasajtoló termálkútjai, **Zöld:** tervezett északi termálkör termelő- és visszasajtoló termálkútjai, **Sárga:** Kertvárosi új iskola hőszivattyú nyelőkútja, **T:** termelőkút, **VS:** visszasajtoló-kút

5.2. ábra: A hódmezővásárhelyi geotermikus közműrendszer jelenlegi és tervezett kútfejlesztései (Lázár, 2008)



5.3. ábra: A hódmezővásárhelyi visszasajtoló-kút látképe (Lázár, 2008)

Az északi-termálkör keretében a belvárosi városnegyedben számos közintézmény hőigényének kielégítésére egy termelő és visszasajtoló kútpár mélyítése, a kertvárosi részben hőszivattyús rendszerek létesítése van tervbe véve. Újabb, körülbelül évi 1 millió m³ földgáz kiváltásával, illetve helyettesítésével a káros emisszió csökkenése a belváros légterében: széndioxidból 1.800 t/év; szén-monoxidból 750 kg/év; nitrogén-oxidból 1.500 kg/év (Lázár, 2008).

5.2.1.2. A kisteleki geotermikus közműrendszer

Kistelek város önkormányzata – kiemelkedő geotermikus adottságai révén – földhő alapú közműrendszert épített ki, amelynek átadására 2007-ben került sor. A településen kilenc közintézmény fűtési és használati melegvíz ellátását oldják meg a mintegy 2 MW hőteljesítménnyel. A beruházás megteremtésére a város 300 millió Ft-ot nyert el az KIOP-2004 Európa Projekt Előkészítő Alapból, és mintegy 230 millió Ft hitelt vett fel.

A geotermikus közműrendszer alapját egy 2095 m mély termelő kút képezi, amely 82 C°-os vizet szolgáltat 90 m³/óra hozammal. Az új hőközpontokat a meglévők mellé építették be, a csúcsgigényeket továbbra is gázzal szolgálják ki (Aquaplus, 2008). A közintézményekbe közel 6 km hosszúságban kiépített hőszigetelt vezetékrendszer szállítja a vizet. A fűtési kör végén a lehűlt vizet a 2,5 km távolságra található 1700 m-es kútba juttatják vissza 60 m³/óra hozammal (Unk, 2007).

A rendszer kiépítése által a közintézmények működtetési költségei átlagosan 10%-kal csökkentek. Továbbá a város károsanyag-kibocsátása is jelentősen kisebb lett. A széndioxid 1,38 kt/év, a szén-monoxid 23,28 kg/év és a nitrogén-oxidok 66,25 kg/év csökkenést mutatnak. A projekt kiemelendő eredménye, hogy megújuló energiaforrások felhasználása 31,25 TJ/év mértékben emelkedett, amely országos viszonylatban 0,1%-os növekedésnek (3,5%-ról 3,6%-ra) felel meg (Aquaplus Kft, 2007). Ezáltal közel 1 millió m³ földgáz megtakarítása történik meg évente.

A rendszer továbbfejlesztésére a visszasajtoló kút környezetében termálfalut kívánnak kialakítani és látványkertészetet terveznek a visszasajtolás előtt 40 °C-os termálvíz hasznosítására, amely további 2 MW hőteljesítményt szolgáltathat (Aquaplus Kft, 2008). A rendszer kihasználtsága tovább növelhető lenne hőszivattyúk beépítésével.

5.2.2. Mezőgazdasági felhasználás

A termálvizet a mezőgazdaságban alapvetően kétféle módon használják: nyílt területek és üvegházak fűtésére. Nyílt területeken a termálvíz, öntözésre és a talaj fűtésére egyaránt felhasználható. A meleg vízzel való öntözés egyik hátránya, hogy a nagy mennyiségű, földekre kijuttatott víz, a növényi kultúrát elárasztja. Ennek kiküszöbölését szolgálja a felszín alatti kombinált öntöző- és fűtőcsőhálózat kialakítása. A fűtőcsőhálózat önmagában, öntözőcsövek nélkül nem alkalmazható. Ugyanis a száraz fűtőcsövek környezetében jelentősen lecsökken a páratartalom. Az így kiszáradt talajréteg hőszigetelőként kezd működni. Legjobb megoldás tehát valóban a fűtés és az öntözés kombinációja. Itt azonban a termálvíz kémiai összetételét is figyelembe kell venni, mert a nagy sótartalom károsíthatja a növényeket. A talajfűtés egyébként sok szempontból rendkívül előnyös, ugyanis megelőzi a váratlan lehűlésből eredő károkat, meghosszabbítja a termesztési időt és sterilizálja a talajt (Barbier és Fanelli, 1977).

A mezőgazdasági felhasználáson belül a másik nagy terület az üvegházak, fóliasátrak, szárítók, állattartó telepek geotermikus energiával való fűtése. A fűtés mellett a hőhasznosítás további lehetősége a levegőfűväsos termény-, zöldség- és gyümölcszsárítás, amely toronyban vagy rostélyon történik.

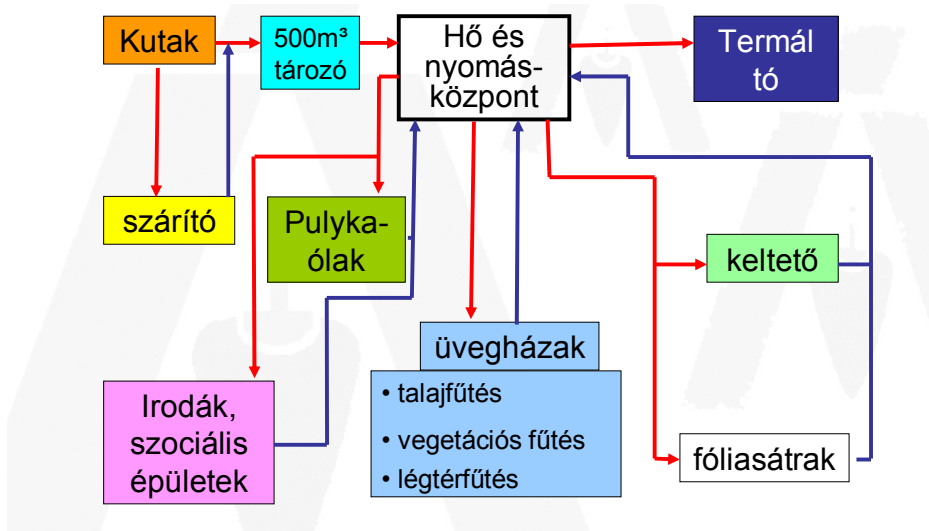
Az üvegházak fűtése terén Magyarország a világ élvonalához tartozik. A 130 hektáros geotermikusan fűtött hazai üvegházterületet csak az USA előzi meg, 183 hektárral (Popovski, 1998; Árpási, 2004). A 2006-os adatok szerint Magyarországon 208 termelőkutat használnak a mezőgazdaságban hőhasznosításra. A legkiemelkedőbb hőfelhasználó a szentesi Árpád-Agrár Zrt. (Árpási, 2004).

5.2.2.1. A szentesi Árpád Agrár Zrt. hőhasznosítása

A Szentes és környékén található 32 termálkút mindegyikének vízhőfoka 60 °C fölött van, 12 kút hőmérséklete: 90-99°C közötti. Az 1958-ban fűrt első kút vize minősített gyógyvíz. A városi termálvizes fűtésrendszer kiépülése 1987-től kezdődött meg. A kezdeti időszakban használati melegvíz hőcserélővel történő előállítására történt, a későbbiekben – a termálvíz nagyobb kihasználása érdekében – fűtésre használták. Jelenleg a kiemelt termálvíz hőcserélőkön adja át energiáját a rendszerben keringő fűtővíznek. A város egységes geotermikus közműhálózatában jelenleg 1304 lakást és 1500 lakással egyenértékű középületet fűt termálvíz (5.5. ábra).

Az Árpád-Agrár Zrt.-nél a termálvízre alapozott kertészet két típusa alakult ki: üvegházi (30 ha) és fóliasátras (30 ha) zöldségtermesztés, dísznövénytermesztés. 35.000 m²-en baromfitelepet, pulykaólakat, keltetőket is fűtenek, továbbá gabonaszárítást végeznek (5.4. ábra). A Szentes környékén élők alapvető megélhetési forrása a termálvíz, több mint hatszáz család él negyven éve a fóliás termesztésből. A szociális épületek, gépműhelyek, irodák fűtése is termálvízzel történik. A szentesi termálvíz gyűjtő tavak 40 és 100 ha területe 176 madárfaj átvonulását biztosítja, továbbá turisztikai, táj és szabadidő célokat szolgál. A termálvízhasználat járulékos költségei 4 millió m³ víz kitermelése esetén összességében 337 millió Ft-ra rúgnak (Csikai, 2008).

A magas költségek mellett az Árpád Agrár Zrt. és – általánosíthatóan a több évtizede működő mezőgazdasági célú hőhasznosítók – fő problémája, a hazai jogrendbe beépített visszasajtolásra való kötelezés. Kifogásolják, hogy az Európai Unióban a jogszabályok indokolt esetben engedélyezhetik a visszasajtolást, ha az a felszín alatti vizek minőségére nézve biztonságos. Ezzel szemben a magyar jogszabály kötelezi a felhasználót erre.



5.4. ábra: A szentesi termálvíz hasznosítási rendszer (Csikai, 2008)

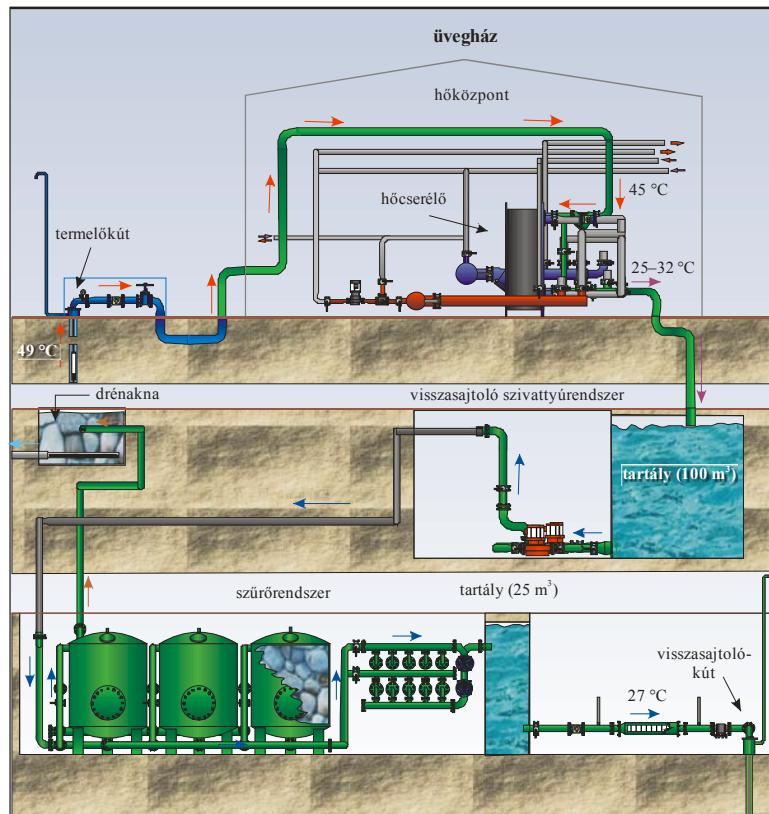
Megjegyzendő, hogy bár a szentesi termálkutak potenciáljáról nem ismertek részletes adatok, de a **3.6. ábra** szerint a nyomásgradiens itt alig nagyobb a hidrosztatikusnál. Tehát az itteni termálkutak – feltételezhetően – az utánpótlódó készletet fogyasztják. Azaz hidraulikai, utánpótlódási szempontból „kedvező” helyen található, mert visszasajtolás nélkül is nagy valószínűséggel megőrződik a rétegenergia. Ugyanakkor ezek az előzetes feltételezések csak részletesen feldolgozott és időben követett üzemi adatokkal támaszthatók alá, melyről nincs információ!

5.2.2.2. A fülöpjakabi geotermikus hőhasznosítás

A fülöpjakabi kertészetben európai színvonalú üvegházas zöldségtermesztés zajlik (György, 2006). A kertészetben termelt zöldségek értékesítésében konkurenciát jelent az import. Energia-megtakarítás a kertészetekben hagyományosan alkalmazott geotermikus energia hasznosításával lehetséges. A fejlesztés magánberuházás formájában valósult meg.

A fülöpjakabi geotermikus rendszer kútja 1004 m mély és 932–964 m között szűrőzték (5.6. ábra). A létesítmény 60 m³/óra hozammal 49 °C-os vizet termel, felső-pannóniai homokkőből. A termelt víz a talajban 1,5 m mélyen, a fagyhatár alatt vezetett szigetelt csővezetéken jut el az üvegház hőközpontjáiig. Itt, az addig mindössze másfél fokot lehűlt termálvíz egy hőcserélőn keresztül átadja energiáját az üvegház fűtésrendszerében 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 energiáfordítás nélkül nyeli el. Ennél a hőmérsékletnél hőszivattyú beépítésével meg lehetne duplázni a hasznosított hőmennyiséget (Ádám, 2008b).

E kedvező megoldás számos, a Duna-Tisza közti hátságokon élő mezőgazdasági termelőnek jelenthet követhető példát. Utánpótlódási hidraulikai helyzet esetén ugyanis a nyomás-gradiens a hidrosztatikusnál némileg kisebb, azaz a felszíntől lefelé haladva a potenciál csökken. A termelő réteg potenciálja a vízkivétel miatt tovább csökken, amely külső energiabefektetés nélküli visszatáplálást tehet lehetővé.



5.5. ábra: A fülöpjakabi geotermikus hőhasznosítás (György, 2006)

5.2.3. Balneológiai hasznosítás

Az országban a legutolsó 2006-os nyilvántartás szerint a 30 °C feletti kifolyó vízhőmérsékletű kutak közül 419-et 52 gyógyfürdőben hasznosítanak balneológiai célra. Néhány forrást kivéve (Hévíz, Eger, 2-3 budai) a hévizet különböző mélységű fúrt kutakból termelik és – 3 hely (Budapesten: Újpesti, Dandár utcai, Király gyógyfürdő) kivételével – helyben használják fel a gyógyvizet balneológiai célra. A hévíz hőmérséklete mindössze 6 kútban >90 °C, de minden esetben maximum 36-38 °C hőmérsékletet szabad biztosítani a fürdőmedencékben, előzetesen tehát hűtik a gyógyvizet.

A magas hőmérsékletű hévizeknél ezért a balneológiai felhasználás előtt, de akár utána is szerencsés lenne az energetikai hasznosítás, melynek során elérhető a medencébe töltéshez szükséges lehűlés is. Az alacsonyabb kifolyóvíz hőmérsékletű kutak esetében is tág lehetőség nyílik az energetikai hasznosításra.

Sajnos csak kevés esetben valósul meg a komplex, többlépcsős hasznosítás, a kitermelt víz teljes körű, mind energetikai, mind pedig balneológiai hasznosítása. Kistelek és Hódmezővásárhely erre is példát nyújt. Problémát jelent, hogy a balneológiai és az energetikai célú igények az év különböző időszakában nincsenek egymással összhangban. Ennek megoldása a kizárólag energetikai céllal termelt hévizek visszatáplálása. Ez karsztos, hasadékos kőzeteknél technikailag rutinszerűen megoldható. Ilyen működik Szigetváron és Gárdonyban. Egyes helyeken, mint például Magyarhertelenden a megvalósult, visszatáplálással kombinált energetikai hasznosítás megszűnt.

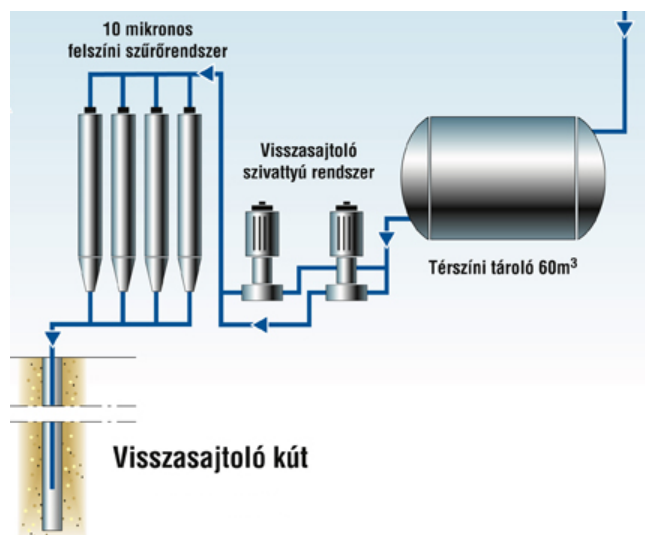
A mohácsi tanuszoda melletti 700 m mély termálkútból 47 °C-os termálvizet nyernek ki. A többlépcsős hasznosításban itt már a hőszivattyúzás is megjelent, hiszen a termálvizet első lépcsőben két hőcserélőn keresztül 39-40 °C-ra hűtik le, ezzel biztosítják a medencék és az épület fűtését is. Ezek után egy 30 m³-es gyűjtőtartályba kerül a víz, ahonnan a termálfürdő termálmedencéjét töltik fel 38 °C-os vízzel. Az innen kikerülő hulladékvíz egy 45 m³-es tartályból kikerül, s további hasznosítás céljából három 100 KW-os hőcserélővel lehűtik. A 600 m²-es vízfelület és a komplexum fűtésére csak két 60 KW-os gázkazánt szereltek be tartalékhűtés céljából (Aquaplus, 2008).

Kis entalpiájú készleteinket figyelembe véve, egy fejlesztésre váró, kihasználatlan terület a balneológia és a termálhő hasznosításának összekapcsolása. Erre hívta fel a figyelmet az ún. Geo-Termál program (COWI Magyarország Kft., 2005). Tekintetbe véve az energia szektorban a dinamikus növekvő árakat, a geotermikus energia fel nem használása áram- és hőtermelés céljából ígéretes lehetőségek eltékozlását jelenti az egészségturisztika, balneológia területén. Jó példával szolgál erre az osztrák Bad Blumau-i 750 kW kapacitású kombinált hasznosítás (Bertani, 2007).

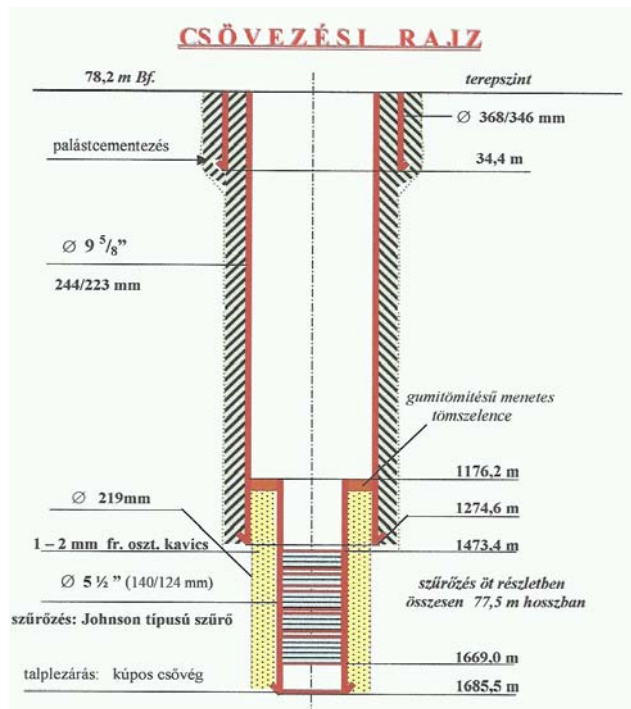
5.2.4. A pannóniai homokkőbe történő visszasajtolás kérdése

Gyakran hallható szakmai körökben, hogy a pannóniai homokkőbe történő visszasajtolás kérdése technikailag nem megoldott és számos buktatót hordoz magában. Az előzőekben bemutatott példák azt igazolják, hogy vannak olyan területek az országban, ahol a visszasajtolás megoldható (5.6. ábra). Az viszont megállapítható, hogy szűk az a fűrészi tevékenységet folytató szakmai kör, amely ezt képes kivitelezni; továbbá a kivitelezés szigorú technikai, technológiai feltételek betartásához kötött.

Kurunczi (2008) nyomán a visszasajtoló kút kialakításánál döntő a kút szerkezete a béléscső és a szűrőcső méretkülönbsége, hogy szűrőkavicsolás kerüljön a szűrőhöz, amely további szűrő és vízadó felületet jelent. Ez felhagyott kutakban nem oldható meg, ezért egy felhagyott szénhidrogén meddő kút nem javasolható visszasajtolási célra (5.7. ábra). A visszasajtolómű részei: puffertároló, felszíni szűrőrendszer, visszasajtoló szivattyútelep (5.6. ábra).



5.6. ábra: A termálvíz visszasajtolómű főbb részegységei (Kurunczi, 2008)



5.7. ábra: Visszasajtoló-kút csövezési rajza

A sikeres visszasajtolás kulcsa a termelő és visszasajtoló-kutak optimálisan kicsi egymásra hatásának biztosítása, a speciális kútszerkezet és kútépítési technika, a Johnson szűrő körüli alábővítés és a kb. 10 cm vastag kavicszsűrő. A visszasajtoló-kút üzemeltetése során a szűrővázat kímélő lengéseket elkerülő technika alkalmazása, zárt rendszerben történő megfelelő szűrés (15 μ m a pórusméret a homokkőben), üzemelési paraméterek folyamatos mérése (T, teljesítmény, vízmennyiség, felszíni szűrő előtti nyomás, kútfajnyomás, szövetszűrő cserperiódusa, fajlagos nyelőképesség) adatok digitális rögzítése, továbbá a rendszeres karbantartás (Kurunczi, 2008). A hódmezővásárhelyi visszasajtoló kút költségei 245 MFt (ebből a 2000 m-es kút 200 MFt-ba kerül). Az amortizációs költség 30 éves élettartamra: 29 Ft/m³ (Kurunczi, 2008). A visszasajtolás költségvonzata: villamos energia, felszíni szűrés, felszíni karbantartás, kútkarbantartás: 230 Ft/GJ. 300 ezer m³ kitermelése után a teljes vízköltség több mint 75 millió Ft. Figyelemreméltó, hogy az üzemeltetés költségei az elengedett fluidum utáni vízkészletjárulékkal megegyezők! Fontos, hogy a visszatáplálás hozama legfeljebb 40 m³/h. Egy optimális termálenergia rendszerhez egy termelő (60 m³/h) és két visszasajtoló kútra lehet szükség, így lehetőség van a visszasajtoló-kutak pihentetésére. Ez a többlet visszasajtoló kút nem rontja a rendszer gazdaságosságát, sőt a termálenergia hasznosítás állami támogatásával befektetői tőkét mozgósíthat. Különösen figyelemre méltóak ezek a tapasztalatok a régi mezőgazdasági visszasajtolást nem végző használók számára.

Lényeges a termelő és visszasajtoló kutak egymásra hatásának vizsgálata. Erre két hódmezővásárhelyi kútnál került sor elsőként 2007 nyarán, 10-14 napos tesztekkel (Szanyi és mtársai, 2008). Az egymásrahatás-vizsgálatok tapasztalatai azt mutatták, hogy a kutak körül számított védőidom 50 éves elérési ideje 1730 m volt, míg a ténylegesen két hét termelés hatására

kimutatott távolhatás – 115 m³/h hozam esetén 8000 m. Kérdés, hogy ilyen körülmények között hogyan teljesíthető a 94/2007 (XII.23.) KvVM rendeletének a vízgazdálkodás egyes szakmai követelményeiről 5.§ (4) szülő követelménye, amely (1.) bekezdése szerint a vízi létesítmények egymástól való távolságát úgy kell meghatározni, hogy az azonos vízadó szintekre települt kutak együttes üzemeltetése esetén kialakuló vízhozam-csökkenés mértéke ne haladja meg az eredeti, üzemszerűen kitermelhető vízhozam 10%-át. Szükséges ezeknek a kísérleteknek a folytatása annak érdekében, hogy a termelés és a visszasajtolás fizikai folyamatait jobban megismerjük a pannóniai homokkőre vonatkozóan és teljesíthető követelmények fogalmazódjanak meg a rendeletekben.

5.3. Földhőszivattyús hasznosítás

Az épületek fűtése, hűtése, szellőztetése és a használati melegvíz előállítása energetikailag kedvezően megoldható különböző földhő hasznosító hőszivattyúk segítségével. A fűtési és hűtési célú felhasználás között alapvető különbség a körfolyamat hőmérsékleti határaiban és a felhasználás céljában van. A hűtésnél a kimenő hőmérsékleti szint emelése, fűtésnél a kimenő hőfokszint leszorítása kívánatos a hatékonyság érdekében (Komlós, 2005b). A hőszivattyú eszerint lehet egycélú, vagy hűtési és fűtési felhasználás esetén többcélú berendezés. A használati melegvíz – többcélú használat esetén is – egész éven át előállítható a hőszivattyúval. A hőszivattyúk kielégíthetik egy épület teljes fűtési igényét. De léteznek olyan megoldások, amelyeknél kiegészítő fűtésre is szükség van napkollektor vagy gázkazán segítségével. Hűtésnél viszont hőszivattyú elkerülésével az ún. "szabad hűtéssel" a légkör és a talaj közötti nyári hőkülönbség használható ki.

A földhőszivattyús technológia Magyarországon is perspektivikus. Egy 10 kW-os rendszerhez vertikálisan 2 db 100 m mélységű (120 mm átmérőjű) furatra van szükség, melybe a csőhurok leengedhető. Ezzel a megoldással hazánkban is elérhető a 4,3–4,5-es teljesítménytényező (Ádám, 2008a). A hőszivattyúkban rejlő további előny, amely gazdaságilag is mérlegelendő, hogy azonos berendezéssel fűtési és hűtési funkció ellátására is alkalmasak. Továbbá olyan területeken is lehetővé teszik a felszínközeli földhő decentralizált rendszerekben történő hasznosítását, ahol egyébként nincs lehetőség a termásvíz hasznosítására.

5.3.1. A magyarországi fejlődés főbb lépései

A hazai hőszivattyús földhőhasznosítás elterjedése 2002-ban indult meg. A 2000-2003 között telepített referencia értékű rendszerek környezetvédelmi hatásvizsgálata után a gáztörvényben csatolt egyéb rendelkezésként engedélyezték és szabályozták a zárt rendszerű földhő hasznosító szondás-kollektoros rendszerek telepítését, bányajáradék-mentesen.

Az 1000 m²-t meghaladó alapterületű új épületeknél 2002 óta a beruházókat a vonatkozó uniós irányelv alapján kötelesek felmérni a megújuló, helyben termelődő energiák használhatóságát. Ennek jegyében Vecsésen a CBA-áruház 4200 m²-es területét talajszondás rendszerrel temperálják. De felhasználják a levegő hőtartalmát és a hulladékhőt is a hőszivattyús rendszerben. Ez évente 5–8 millió Ft-os energiaköltség-megtakarítást jelenthet az üzemeltetés során.

A hőszivattyúk 2002-től megkezdett hatósági engedélyezési eljárása és törvényi szabályozása után, 2005 végére az általuk előállított hőmennyiség – becslés alapján – meghaladta az 5 MW_{hő}-t (Ádám, 2006). A nemzetközi tapasztalatokat alapul véve Komlós (2008b) kidolgozta az ún. Heller László-tervet. A „Hőszivattyús rendszerek nemzeti célprogramja” a hőszivattyúk magyarországi elterjesztését hivatott elősegíteni. A döntéshozók számára javasolt program lépések sorozatán át szorgalmazza a földgázüzelésű kazánok és bojlerok, valamint a villanybojlerok kiváltását különböző kivitelű és üzemmódú hőszivattyúkkal. Egyidejűleg vázolja e folyamat

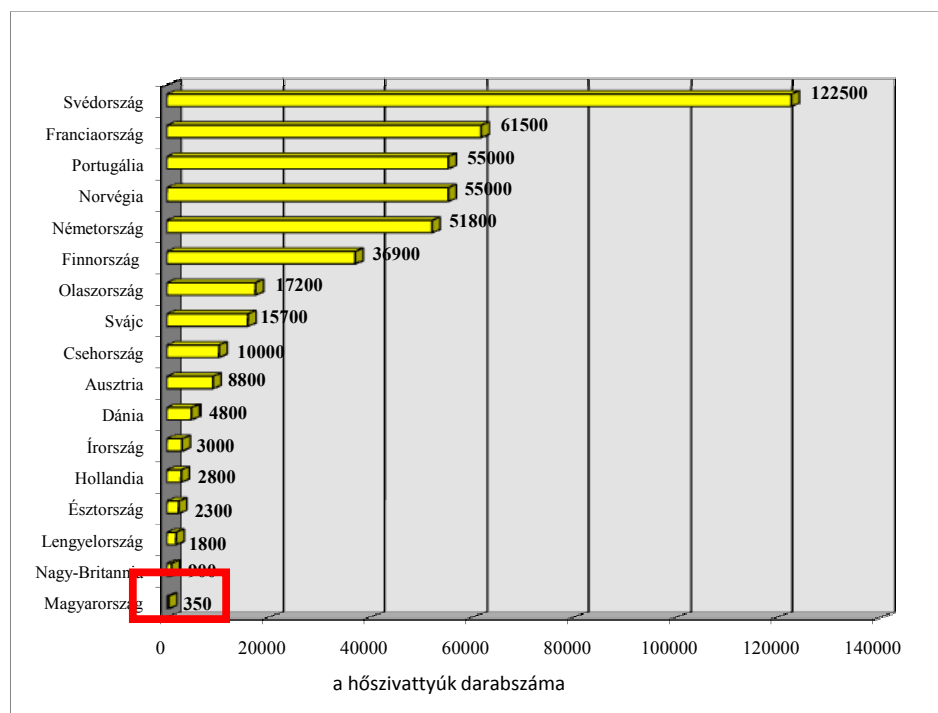
energiatakarékos, fenntarthatósági és munkaerőpiaci előnyeit. A berendezések a jövő technikáját képviselik, ezért az új generációs hőszivattyúk elterjesztése környezetvédelmi és gazdaságossági szempontból is érdeke országunknak.

A zárt földhőhasznosító hőszivattyús projektek jelenlegi maximális teljesítménye eléri az 1 MW-ot. Az eddigi legnagyobb rendszer, amelyet kiépítettek a Pannon GSM megújuló energiákat használó székházának épülete. További 30, hasonlóan nagy beruházás áll előkészítés alatt Budapesten és környékén, melyek összes teljesítménye meghaladja a 10 MW-ot (Ádám, 2008a).

5.3.2. A hőszivattyúk magyarországi elterjesztésének lehetőségei

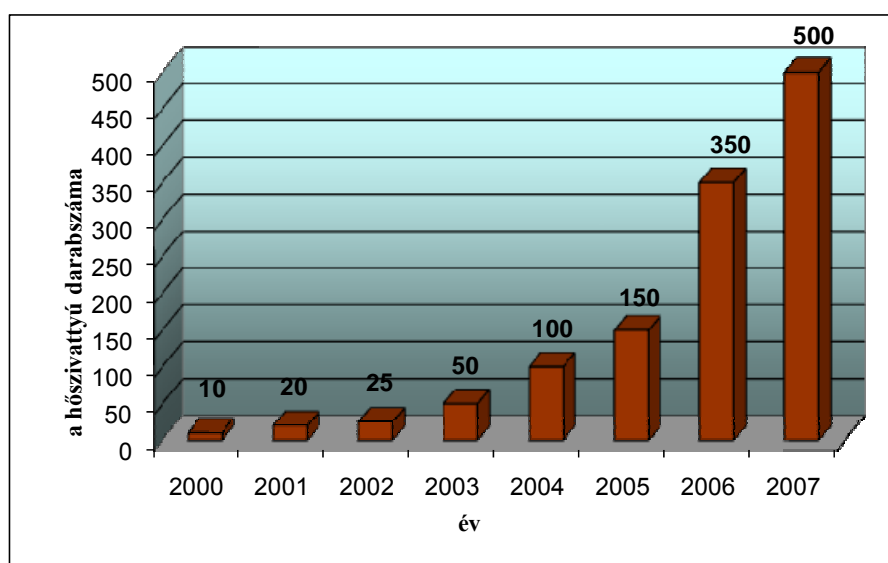
A hazai energia és klímapolitika az elmúlt néhány évben a nemzetközi kutatások eredményeit figyelembe véve lassan felismerte, hogy Magyarországon a megújuló energiák között a jó geotermikus adottságainkra alapozva a földhős hőszivattyús hasznosításnak is lehet szerepe. A fejlődés egy lényeges állomása a 2005-2006 május között a KvVM államtitkára által vezetett "Geotermális Munkabizottság" (KvVM, 2006) szakmai munkája volt, mely feldolgozta a földhőhasznosítás hazai helyzetét és a fejlődés érdekében szükséges jogi, műszaki és gazdaságpolitikai lépéseket.

A hazai hőszivattyús statisztika (5.8 és 5.9. ábra) mindezek ellenére mennyiségileg nagy lemaradást mutat az EU statisztikához képest. Amikor a hazai földhőt hasznosító és levegős hőszivattyús technológia helyzetét vizsgáljuk, akkor számos tényező hatásaként a világban betöltött szerepétől való lemaradás állapítható meg.



5.8. ábra: A hőszivattyúk elterjedése az Európai Unióban és Magyarországon (2006. évi statisztika)

[http://www.ecb.sk/ecb/fileadmin/user_upload/editors/documents/ochsner.pps#284,19,19.\)](http://www.ecb.sk/ecb/fileadmin/user_upload/editors/documents/ochsner.pps#284,19,19.)



5.9. ábra: A hőszivattyú-eladások alakulása 2000-2007. között Magyarországon (ÉTE Hőszivattyús Szakosztály, 2007. évi eladások becsült statisztikája)

Ennek ledolgozására alakult meg a Magyar Építéstudományi Egyesület keretében 2007-ben a Hőszivattyús Szakosztály, amely csatlakozott az Európai Hőszivattyús Szövetséghez (European Heat Pump Association – EHPA). Ezzel a hazai szakmai képvisellel sikerült a magyar energia és megújuló energia politikához megadni az állásfoglalást a tervezett 2020-ra vonatkozó célkitűzéseikről (Ádám, 2008a).

A szakosztály első lépésben statisztikát kíván készíteni a cégekről, de erre kizárólag jogi irodán át anonim módon lehet esély. Jelenleg becslésekre alapozva 6-700, optimálisan 1000 hőszivattyús rendszer lehet Magyarországon (Ádám, 2008b). Bizonyos országok, mint Ausztria, Svédország, Svájc és Németország már felfuttatták a technológia alkalmazását, ami azt jelenti, hogy az új beruházások 75%-nál ezt használják. Németországban jelenleg 120 ezerre teszik a számukat, amely a 2006 évi szám (5.9. ábra) duplája! De a hőszivattyúk terén kevésbé jeleskedő Csehországban a 2006-os adatok szerint 1440 (2.4 táblázat) hőszivattyú volt, ma már az **5.9. ábrán** szereplő értéket is meghaladóan, 16000 hőszivattyú működik. Sajnos Csehországhoz képest jelentős az elmaradásunk (Ádám, 2008b).

Az ÉTE Hőszivattyú Szakosztály tevékenysége révén hatósági szakmai napok szervezését végzi, egyeztet a további hatósági szabályozásról, hőszivattyús szabványokat terjeszt elő, előmozdítja az EU gyakorlat átvételét, ököcímként javasol, szakmai továbbképzést szervező tervezők, kivitelezők részére, elősegíti a közvélemény reális informálását a médiákon keresztül.

5.3.3. A jelenlegi hőszivattyús hazai piac jellemzői és a földhőhasznosítást befolyásoló tényezők

A hőszivattyús technológia iránt folyamatosan nő a lakosság érdeklődése (Ádám, 2008a). Az elmúlt 3 év nagyteljesítményű (10 kW – 1 MW) referencia rendszerei bizonyították a technológia hazai alkalmazhatóságát. Az új ingatlanberuházók és üzemeltetők hosszú távú energetikai befektetésnek tekintik a földhős hőszivattyús fűtő-hűtő rendszereket.

Az európai multinacionális gázkazán-gyártó cégek is beindították hőszivattyús üzemegységeiket, Magyarországon 2008-tól érezhető „kampányuk” hatása. 2008-ban már 150 körül van a hőszivattyút, mint energetikai hőtermelő,- és hasznosító berendezést forgalmazók köre. Az Energia Központ Kht., a Heller program szakértői és egyéb szakmai tevékenység eredményeként megjelentek azok a szakmai kiadványok, melyek reálisan szakszerűen elemzik a hőszivattyús technológia lehetőségeit és foglalkoznak a hazai alkalmazás körülményeivel.

Azok a szempontok amelyek alapvetően befolyásolják a hazai hőszivattyús földhőhasznosítás elterjedését, a megújuló energia felhasználási mérlegben való szerepét az alábbiak:

- a gázár szabályozása,
- a villamos energia ára és a kedvezményes hőszivattyús tarifa bevezetése,
- a hőszivattyús beruházási pályázatok, a támogatások szintje a lakossági és vállalkozói körben,

az Európai Unió hőszivattyús műszaki fejlesztéseinek (pl. Altener "Groundlit" project, az EHPA minősítési rendszerének, energiapolitikai lépéseinek hazai alkalmazása. (Ádám, 2008c):

A hazai geotermikus energia fokozottabb hasznosításának és ezen belül a hőszivattyús földhő hasznosításának szakmai és jogi irányítását, hatósági felügyeletét a Magyar Bányászati Földtani Hivatal látja el. Az engedélyezéseknél elérték, hogy egyre több rendszer épül legálisan, de a folyamat gyorsítása szükséges. A hatóság feladata, hogy ellenőrizze a kivitelezéseket, a minőséget és az engedélyek betartását. Fontos az adattárak, adatbázisok kiépítése, melyek az új telepítések és a geotermikus védőidom lehatárolásának elengedhetetlen feltételei.

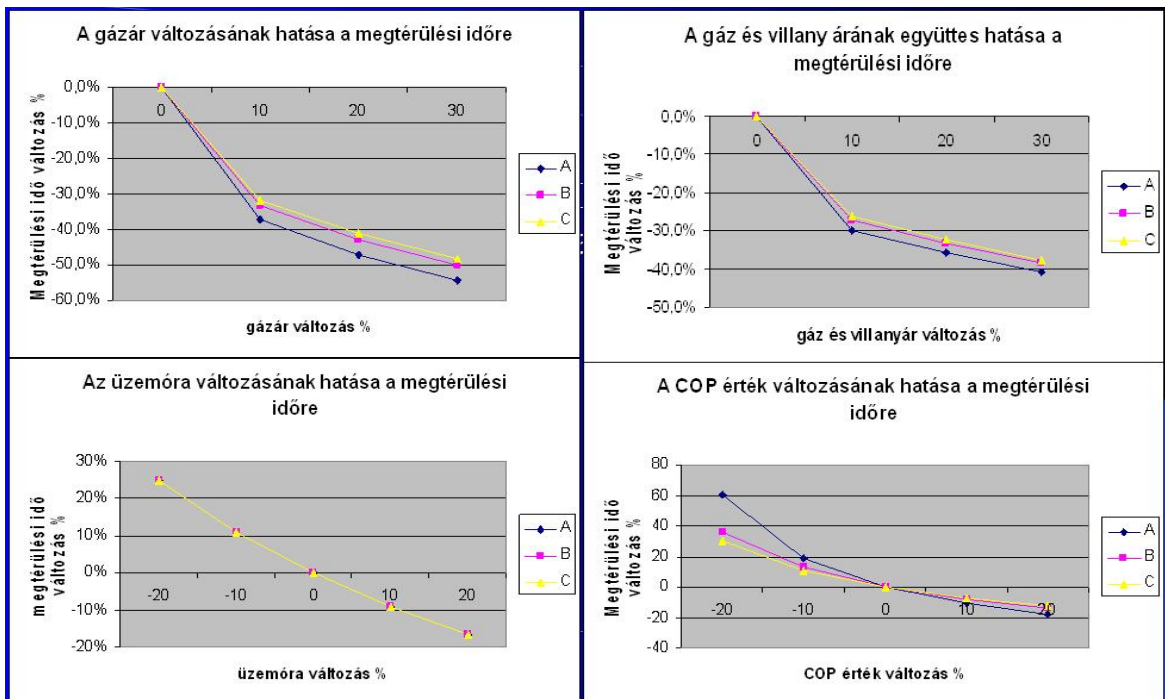
Alapvető a hazai közvélemény és az energiapolitikai döntéshozók tényszerű tájékoztatása a földhőt hasznosító hőszivattyús rendszerekről. Fontos a referenciák hiteles mérési, monitorozási eredményei alapján ezek bemutatása a közvélemény előtt. A hazai hőszivattyúk 60% -a zártszondás, 30%-a vízkútpáros vagy termál elfolyóvizes és 10%-a levegős rendszer. Nemzetközi szinten a levegős hőszivattyúk fejlődnek, COP-szintjük 3 körül van. A fejlődés elengedhetetlen feltétele a COP növelés. Szakmai törekvése a hőszivattyús szakosztálynak, hogy Monitoring rendszer és a COP-előírások betartása nélkül nem épülhetne nagy 50-100 kW feletti teljesítményű hőszivattyús rendszer Magyarországon. Ennek alapvető feltétele lenne, hogy az Európai Unió készülő megújuló energia irányelvében deklarálják, hogy a „levegős”, a „vizes” és a „szondás” rendszereknek mennyi az a minimális COP-értékük, amit el kell érniük.

Ma maximum 50-60 °C-ra tudja a hőszivattyú a vizet felmelegíteni, ez néhol kevés, itt a magas szekunder oldali hőmérséklet játszhat szerepet. A hibák, problémák elsődlegesen méretezési jellegűek vagy az épület energia audit vagy a kivitelezés hibáiból adódnak. Szükséges a tájékoztatás, oktatás, médiafigyelem és a negatív esetek oktatás célú feldolgozása.

Az általános piaci összefüggések természetesen meghatározzák a hőszivattyús piac helyzetét **(5.10. ábra)**. A hőszivattyús érdeklődés nő, a gázár azonban még mindig messze van a világpiacon ártól (az EU-ban a második legalacsonyabb). Ameddig ez a helyzet fennáll, nehéz a piaci elterjesztés. A torzított energiaárak mellett a megtérülés: 10 év támogatás nélkül és 5-6 év pályázati támogatással. Szintén probléma, hogy csak gyenge vállalkozói marketing van, Ezt a helyzetet tovább nehezítik a pályázati támogatások kiszámíthatatlansága, időszakos megléte és változó mértéke. A 2008. évi terv szerint a lakossági támogatás 25%, maximum 1 millió Ft lesz, a

vállalkozói támogatás régióként 25-50% között várható. Szükség lenne további támogatásokra 2007-2013-ig, a hőszivattyús technológia felfutásának időszakában.

Az Európai Hőszivattyús Szövetségben javaslatok készülnek a hőszivattyú megújuló energiaként való elfogadtatására. A dán Energiaügynökség már javasolta a dán kormányynak megújuló energiaként a hőszivattyúk deklarációját. Ez Magyarországon is szükséges, ugyanis a 2006. májusi energiapolitikai koncepcióban még a biomasszával egyenértékű 60 PJ/év volt a geotermikus energiára vonatkozó célszám 2020-ig, (a hőszivattyúkra: 2,5-10 PJ), addig mára a 13%-os megújuló részarányának minimális része a geotermikus energia és a hőszivattyús technológia. Fontos cél lenne, hogy meghatározó tényező legyen a fűtési és különösen a hűtési igények esetében és a régi épületek energetikai korszerűsítésénél, felújításoknál is.



5.10. ábra: A földhőszivattyúk elterjedését befolyásoló tényezők különböző A, B, C típusú hőszivattyúk esetében (Ádám, 2008a)

6. Helyzetelemzés és jövőkép

A nemzetközi kitekintés, a hazai geotermikus viszonyok elemzése, az európai uniós és a hazai vonatkozó jogszabályi környezet értékelése és a hazai földhő-hasznosítás tényadatai alapján az alábbiakban vázolt képet alkottuk a geotermikus energiahasznosítás jelenéről és lehetséges jövőjéről.

6.1. A geotermia általános erősségei

A földhő jellemzője, a többi megújuló energiafajttával történő összehasonlításban, hogy állandóan rendelkezésre áll, független a meteorológiai körülményektől, rugalmasan alkalmazható, alapteljesítményre ugyanúgy, mint az igények maximumának idején csúcsteljesítményre.

A geotermikus energia a kitermelés helyén áll rendelkezésre, ezért csökkenti az importenergiától való függést. Továbbá a kutatás, kiépítés és karbantartás hazai munkahelyeket teremt és tart meg.

A földhő „fenntartható” módon használható. A kitermeléssel kivett hő a termelés befejezése után kb. ugyanannyi idő alatt pótlódik, (95%-os szinten), mint a kitermelés ideje volt. A fenntartható termelési szint a helyi geotermikus készlet adottságainak: telep nagyság, természetes utánpótlódás stb. függvénye.

A geotermikus energia felhasználásával CO₂ kibocsátást lehet megtakarítani. A megtakarítás mértéke a geotermikus energia kiaknázásának módjától függ. A geotermikus erőművek működése globális átlagban 120 g CO₂/kWh kibocsátással jár (Bertani and Thain, 2002). Ezzel szemben Európában a fosszilis forrásból történő áramtermelés CO₂ emissziója 500 g/kWh (Fridleifsson et al., 2008). A közvetlen hőkihasználás (földhőszivattyúk nélkül) nagyon kevés szén-dioxid emisszióval jár (0.0 – 0.3 g/TJ). Földhőszivattyúk esetében a CO₂ kibocsátásba bele kell számítani azt a kibocsátást, ami akkor keletkezik, mikor a szivattyú működéséhez szükséges áramot előállítják. Fosszilis energiaforrást helyettesítve a földhőszivattyúk 30-60%-kal csökkentik a CO₂ kibocsátást.

A földhőszivattyúk alkalmazásához nem szükséges kedvező geotermikus adottság. Az „energia a kertemben” jelmondat értelmében mindenki tehet saját területén a földhő hőszivattyús hasznosításáról. Az EU-ban 2006-ban több mint 500.000 berendezés működött, az USA-ban több mint 800.000 és évente 50.000 új egység épül (Lund, 2006). 2004-ben a világszerte működő egységek száma kb. 1,3 millió volt (Curtis et al., 2005). Magyarországon idén 6-700-ra, maximum 1000-re becsülik a hőszivattyúk számát (Ádám, 2008b).

A geotermikus erőművek, ill. fűtési rendszerek üzemeltetési költségei alacsonyak összehasonlítva a fosszilis alapú erőművek hasonló költségeivel, mert az „üzemanyag” költség sokkal kisebb.

6.1.1. A geotermia általános korlátai

A megújuló energiák, így a geotermikus energia esetében az elterjedés legfőbb korlátja, hogy a piac ma még nem méri az energiatermelés vagy fogyasztás járulékos társadalmi és gazdasági hatásait, azaz az externális költségek nincsenek az árba beépítve.

A geotermikus erőművek kiépítési költsége magas, 3–4.5 millió €/MW, az áramfejlesztési költség 40–100 €/MWh (Fridleifsson et al. 2008).

Az EGS rendszerek (5 MW) kiépítési költségei 70 millió € szinten állnak, ha egy EGS-erőmű kapcsolt hő-/áramfejlesztési módon üzemeltethető, akkor a rendszer gazdaságossága nő. Modellszámítások alapján az ársáv az 40 és 60 €/MWh.

A megújuló energiaforrásokból származó hő közepes ára (IEA, 2007): földhőalapú távfűtésnél a közepes ár 2.0 €/GJ (2005-ben), a hőszivattyúkkal a kombinált fűtés/hűtés közepes ára 16,0 €/GJ. A beruházás megtérülésének időtartama a rendszer nagyságától és a technikai megoldásoktól függően kb. 4–8 év.

6.1.2. A geotermikus energiafelhasználás várható növekedése

A konvencionális, hidrotermális készletek hasznosítása geotermikus erőművekkel, főleg fejlődő országokban (pl. Indonéziában) prognosztizálható. A közvetlen hőhasználat világszerte terjed.

A földhőszivattyúk robbanásszerű elterjedése sok olyan országban megindult, amelyekben eddig kevés ilyen típusú berendezést létesítettek. Svédország Európában a közvetlen hőhasznosítás terén élen jár. A fejlődés alapja a földhőszivattyúk állami támogatása (szubvenció) és a regionális, kamatmentes kölcsönök rendszere az 1990-es évek óta.

A jövőbeli geotermikus fejlődés illusztrálására csak becslések vannak, ezek áramfejlesztés esetén a kapacitás tízszeres növekedését prognosztizálják 2050-ig (Fridleifsson et al, 2008), a közvetlen hőhasznosítás területén a szolgáltatott hőmennyiség szintén tízszeres növekedése prognosztizálható.

Németország a megújuló energiák, egyben a geotermia minta országa, a megújuló energiák kedvező politikai háttere miatt. A Megújuló Energia Törvény szerint a geotermikus erőművekre a hazainak mintegy másfélszeresét kitevő átvételi árak érvényesek, amelyek a most zajló törvénymódosítás után tovább nőnek, 20 €/cent/kWh-ra. A feltárási kockázat enyhítésére kormányzati hozzájárulást alkalmaznak, a földhőhasznosításra telepített mélyfúrásoknál piaci biztosító társaságokkal szerződések köthetők. Ennek köszönhető, hogy jelenleg már több (kisebb) geotermikus erőmű működik Németországban.

Ausztrália az EGS tőkebefektetés terén jár élen. Példaértékű, hogy a geotermikus fejlesztésekben érdekelték szövetsége, – melynek csak jogi személyek lehetnek tagjai: cégek, egyetemek, regionális önkormányzatok, és az ausztrál állam – együttesen képviselje a geotermia érdekeit.

6.2. Kiaknázható geotermikus energia Magyarországon

Magyarországon magas a geotermikus gradiens, átlagosan 45 °C/km. Közvetlenül a felszín alatt törmelékes üledékek vagy repedezett mészkő, dolomit kőzetek találhatóak. A termálvíz, – amely a hazai definíció szerint a legalább 30 °C-os vizet jelenti –, az ország területének több mint 70%-án, rendelkezésre áll.

Magyarországon az átlagos hőáram 90-100 mW/m². 500 m mélységben a hideg területek kivételével az átlaghőmérséklet 35-40 °C. A magasabb hőmérsékletet (45-70 °C) a vízáramlás fűtő hatása okozza. Nagyobb mélységben az áramlás által okozott hőmérséklet anomália megszűnik. 1000 m mélységben az átlaghőmérséklet 55-65 °C, 2000 m mélységben pedig 110-120 °C (melegebb területeken 130-140 °C).

A "Magyarország megújuló energiaforrás felhasználás növelésének stratégiája (2007-2020)" előterjesztés szerint a geotermikus potenciál – az MTA Megújuló Energia Albizottság felmérése alapján – 63,5 PJ/év, jelenleg 3,6 PJ/év (2006) hő hasznosítunk (Energiaközpont Kht).

6.2.1. Geotermikus erőművek létesítése

A Pannon-medence mezozoos–paleozoos medencealjzatában 3–4 km mélységben közepes (>100 °C) és magas entalpiájú (>150 °C) karbonátos rezervoárok és kristályos kőzetekből álló, EGS rendszerek létesítésére alkalmas helyek találhatóak. Ezek kiaknázása számottevő tőkebefektetést igényel és egyben gazdasági kockázattal is terhelt.

Az EGS technológia szempontjából leginkább ígéretes régió az ország D-i, DK-i szeglete, ezen belül is a mély medencék peremei és a medencék között található, kiemelt alaphegységi területek: Dráva, Makó, Békés, Nagyunság és Derecske (Dövényi és társai, 2005). Ezekben a régiókban a kristályos alaphegység anyaga kedvező esetben gránitos, mélysége 4000 m közeli, a közet hőmérséklet legalább 200 °C és a terület a földrengések szempontjából is „csendes”. A francia BRGM-nél (2004)-ben készített tanulmány szerint „Magyarország a legjobb földtani-geotermikus lehetőségeket kínálja EGS fejlesztésekre Európában. Mivel a technológia még ipari méretekben sehol sem alkalmazott, befektetési költségei 100 millió USD nagyságrendűek (5 MW teljesítmény mellett), ezért legfeljebb arra számíthatunk, hogy – a nem túl távoli jövőben – Magyarország befektetési célpontként szerepelhet az EU megújuló villamosáram-termelési céljai teljesítéséhez.

A neogén üledékekkel fedett aljzatban található karsztosodott mezozoos karbonátok (DNy-Dunántúl, D-DK-Alföld) hőmérséklet legalább 120 °C. Geokémiai termométerek szerint a hőmérséklet magasabb is lehet. A mezozoos rezervoár energiasűrűségét (**3.7 ábra**) a karbonátos aljzat területére kiintegrálva kb. 80.000 PJ hőenergiát kapunk, melynek nagy része 120 °C-nál magasabb hőmérsékletű kőzetben/rezervoárban tárolódik, vagyis bináris erőművekkel áramtermelésére lehet felhasználni. A legperspektivikusabbak az Andrásida-Nagylengyel, Mélykút-Pusztamérges és a Nagyszénás-Fábiánsebestyén területek. A Fábiánsebestyén határában található rezervoár 5–50 MW_e villamos energia termelésére lehet alkalmas (Árpási, 1998). Geotermikus erőmű építését (3–5 MW_e) jelenleg a MOL ZRt. és a Pannergy Zrt. tervezi. Tovább növelheti a gazdaságosságot, ha a hőcserélő után lehűlt termálvizek maradék energiatartalmát (90%!) több lépcsőben (fűtés, terményszárítás, használati melegvíz, növényháztelepek), majd hőszivattyúval hasznosítják. A MOL szakembereinek véleménye szerint az általuk ismert területeken műszakilag néhány geotermikus kiserőmű és mintegy félszáz közvetlen hőhasznosítás (egyenként 0,15-0,3 PJ/év) létesítése lehetséges. Ezeknél a visszatáplálás a fenntartható működés előfeltétele.

Vizsgálandó, hogy megtérülő befektetés-e a karbonátos rezervoárokra erőművet telepíteni. Kedvező esetben 20–30 év élettartam előrejelzése várható. Az eltemetett karbonátos rezervoárok további kutatása az áramtermelési lehetőségek potenciáljának jobb megismerése szempontjából kívánatos.

6.2.2. Közvetlen hasznosítás

A kis entalpiájú (hőmérsékletű) geotermikus rendszereink a legjobban feltártak és legperspektivikusabb megoldást kínálják a gazdaságos kiaknázásra. A felső-pannóniai (neogén) rezervoár (**3.9. ábra**) utánpótlódó részében az energiasűrűség 2-3-szor nagyobb, mint a karbonátos rezervoárban, a felülete is nagyobb, így a geotermikus energia vagyunk nagyobb része a neogén rezervoárban tárolódik.

A kétkutas rendszerekkel kitermelhető földtani vagyon: 343 000 PJ (Lorberer és mtsai 2004). A termálkuttakkal kitermelt energia 12–24 PJ/év értékek között lehet. A 30 °C-nál hidegebb karszt- és rétegvizek, mivel a felszíni átlaghőmérsékletnél melegebbek, szintén tárolnak geotermikus eredetű hőt. 416 millió m³/év vízkivétel és 16 °C átlagos vízhőmérséklet mellett a sekélyebb tárolók vizeivel kitermelt geotermikus energia 10 PJ/év. Így összesen a felszín alatti vizekkel kitermelt hőmennyiséget 26–38 PJ/év nagyságúnak becsülték (**6.1. táblázat**).

Kitermelhető geotermikus energiavagyon	343 000 PJ
Hőáramból évente utánpótlódó hő	264 PJ/év
Termálvízből bevallottan hasznosított hő (2003)-ban	2,46 PJ/év
A felszín alól a vizekkel kitermelt hőmennyiség (2003)-ban	26-38 PJ/év

6.1. táblázat A kitermelt hő és a potenciál összevetése (Lorberer és mtsai, 2004)

Azt a következtetést lehet levonni, hogy a geotermikus energia hasznosításának növelése a forrás földtani oldalról biztosított, a termelés fenntartható módon akár nagyságrenddel is növelhető. A másik következtetés, hogy az összes jelenleg kitermelt hőnek (26-38 PJ/év) kevesebb, mint 10%-át (2,46 PJ/év (2003-ban), 3,6 PJ/év (2006-ban)) használjuk fel energetikai célra, a többi a vízzel elfolyik.

Az elfolyt vízzel történő hőhasznosítás jelentős tartalékai a termál-és gyógyvizekben található, ~5 PJ/év (Lund et al. 2005). A világtrend azt mutatja, hogy a hőenergia 52%-a fordítódik fűtésre, míg fürdésre kb. 30%-a (Lund et al, 2005), Magyarországon fordított a helyzet. Szükség lenne a balneológiai célra felhasználnál melegebb termálvíz hőtartalmának részbeni energetikai célú hasznosítása (ne hűtőtornyokban hűtsék a vizet a medencébe kerülés előtt), az elfolyó vizek hőtartalmát használják fel hőcserélővel, hőszivattyúval.

A fentiekből következően adottságaink a hőenergia közvetlen felhasználására a legjobbak. A közvetlen hőhasznosítás hatásfoka 30–50%. Feltétele, hogy a fogyasztó közel legyen a termelő kúthoz, így a legperspektivikusabb területek a D–DK-Alföld, Somogy és Zala megye (**3.9 ábra**). Az országnak ezen a területein érdemes geotermikus közműrendszereket építeni. A hódmezővásárhelyi közműrendszerből kiindulva egy ilyen rendszer kb. 0,15–0,3 PJ/év hőenergiát termel ki (Kurunczi, 2005). 50–100 hasonló, kisebb vagy nagyobb teljesítményű közműrendszerrel a kitermelhető energia mennyisége minimum 7,5–30 PJ/év. A mezőgazdasági és feldolgozóipari hasznosítás ugyanekkor nagyságrendű felhasználást tenne lehetővé. Megjegyzendő, hogy a hódmezővásárhelyi közműrendszer évi 2,5 millió m³ földgáz elégetését váltja ki és a hagyományos földgázalapú távhőszolgáltatáshoz képest 50%-os költségmegtakarítást jelent (Kurunczi, 2005).

A közvetlen hőhasznosítás növekedésében szerepet játszhat a hazai geotermikus erőművek megjelenése. A bináris üzemű geotermikus erőművek hatásfoka alacsony, kb. 10%-nak vehető, vagyis minden 1 MW elektromos teljesítmény mellett 9 MW hőteljesítmény marad az erőmű csurgalékvizében. Árpási és mtsai (1998) nyomán 10-100 MW elektromos teljesítményt feltételezve, és a csurgalékvíz hőmérsékletét 80 °C-ra becsülve, a csurgalékvízben eltávozó hőmennyiség 2,7–27 PJ. Direkt hőhasznosítással, 80 °C – 30 °C hőlépcső kihasználásával a csurgalékvíz hőjéből 1,4–18 PJ kinyerhető.

A fenti becsült hőmennyiségek minimum értékeivel számolva, és az erőművek hulladékhője nélkül 16 PJ/év hő lenne hasznosítható. A maximum értékekkel számolva, és az erőművek összes hulladékhőjét hozzávéve ez az érték akár 78 PJ/év lehet.

Ehhez képest Lorberer mtsai (2004) úgy becsülték, hogy 2010-ig az új felhasználások következtében a hasznosított hő évente mindössze 0,18 PJ/év értékkel növekszik. Ilyen tempóban a 30 PJ/év elérése 18 évig tartana. A lassú prognosztizált növekedés oka, hogy a közvetlen hőhasznosítás több száz millió Ft tökebefektetést igényel, a megtérülés idő >5 év. Kevés a demonstrációs projekt és a fűrástól az üzemeltetésig a technológiát alkalmazó vállalkozó. A felhasználást nem a hőenergia nagysága korlátozza, hanem a kitermeléshez használt víz mennyisége.

Vízgazdálkodási megfontolások és a hosszú távú fenntarthatóság a vízvisszasajtolást követelik meg. Magyarországon a szabályozás szigorúbb az uniós előírásnál, kötelező a visszasajtolás a kizárólag energetikai célú hasznosításnál. A visszasajtolás a beruházásnál is és az üzemeltetésénél is jelentős költségnövekedést eredményez, amit a hazai mezőgazdasági hasznosítók többsége nem finanszíroz. Az Árpád Agrár Zrt. évi 4 millió m³ víz kitermelése esetén 113 millió Ft vízkészlet-járulékot, 36 millió Ft szennyvízbírságot és 40 millió Ft vízkormányzási díjat fizet a szennyvíztározóból elvezetett vízre (Csikai, 2008). Összehasonlításképpen: egy 2000 m-es visszasajtoló kút költsége (fűrés és járulékos költségek: 245 millió Ft) (Kurunczi, 2005). Ugyanakkor az is kritizálható, hogy egy koncentrált termálvíz kivétel környezeti állapotának monitorozása, a rendszer állapotáról való adatszolgáltatás nem szerepel a hatósági előírások között.

Ha a vizet nem sajtoljuk vissza, a rezervoárok kimerülése következhet be. Ezt az intenzíven hasznosított dél-alföldi körzetekben észlelhető nyomáscsökkenések is igazolják, – még az utóbbi évek kitermelés-csökkenésével kapcsolatos, részleges nyomás-regenerálódásai (Lorberer, 2003.) mellett is. A visszasajtolás elősegíti a rétegenergia fenntartását, a távlatilag hasznosítható víz- és hőmennyiségek regenerálódását és ezzel a "fenntartható" hévízgazdálkodást.

6.2.3. Hőszivattyús hasznosítás

A hőszivattyús rendszerekhez nincs feltétlenül szükség vízkivételre. A hőt szolgáltató közeg lehet felszíni vízfolyás, talajvíz, néhány méteres mélységben a talajhő és a 150-300 méteres mélységben elhelyezkedő közethő. A hőszivattyúk számának növekedésével a kinyert energia elérheti a 2-10 PJ/év-et (2020-ra), ha csak a lakások fűtésére használják a talaj alapú zárt rendszerben működő hőszivattyúkat (Ádám, 2008b).

A talaj hőjének hasznosításán kívül a hőszivattyúk növelik a „valódi” geotermikus energia kihasználásának hatékonyságát, azáltal, hogy az alacsony hőmérsékletű 20-30 °C-os, más módon már nem hasznosítható vízből képesek kinyerni a hőt. A jelenlegi vízkivétel mellett a hasznosított hőlépcső alsó határát 30 °C-ra, illetve 20 °C-ra csökkentve a kitermelt többletenergia 0,579 PJ-ra ($T_2 = 30$ °C), illetve 1,169 PJ-ra ($T_2 = 20$ °C) nő (Lorberer és mtsai., 2004). Ez a 2003-as év 2,46 PJ/év hőhasznosítását alapul véve 23%-os, ill. 46 %-os növekedést jelenthetne.

A hőszivattyúk segítségével hasznosítható az a hőmennyiség, amelyik a felszín alatti vizek kitermelésével kerül a felszínre, de jelenleg hagyjuk elfolyni (**6.1. táblázat**). A termálfürdők használtvizének, a geotermikus projektek 30-40 °C-os visszasajtolásra váró vagy elfolytatott vizének, a 30 °C-nál melegebb ivóvizeknek a hőjéből 10 PJ/év energia nyerhető ki hőszivattyúkkal (Ádám, 2008b). A hőszivattyúk ilyen alkalmazásának előnye, hogy használatukkal úgy nyerhető ki energia, hogy közben nem kell a vízkitermelést növelni és a vízminőség sem romlik. Így az egyéb vízkivétel fenntarthatósága nő, a visszasajtolás problémája pedig nem lép fel.

A hőszivattyúk nagyobb arányú elterjedésénél törekedni kell a hazai gyártás felfuttatására. Magyarországi sajátosság, hogy a fűtési igényünk nagy részét földgáz elégetésével elégítjük ki. A hőszivattyúk többnyire áramot fogyasztanak. A földgáz üzemű hőszivattyúk kifejlesztésével alkalmazkodni lehet a hazai energia-struktúrához, és így a saját piacunkra tudunk termelni.

6.3. Energiapolitikai helyzet

Magyarország tehát Európán belül kiemelten jó természeti adottságokkal (földtani, geofizikai, hidrogeológiai) és földhő potenciállal bír, a kinyerés és hasznosítás terén azonban mind relatív, mind abszolút értelemben az elmaradottak közé tartozik.

Míg az Európai Unió tagországaiban a megújuló energiák részarányának átlaga 6,2%, addig nálunk mindössze 3,7% (2004), ez utóbbi érték 4,7%-ra nőtt 2006-ra (Energiaközpont Kht.). A geotermikus energia energiamérlegben való aránya Magyarországon 0,29% (Árpási, 2005), az Unióban 5,5%, a 2005-ös adatok alapján. Az összes megújuló energiatípus között a biomasza 90%-kal szerepel, melyből 47,4 %-ot a tűzifa tesz ki. Ezt 6,6%-kal követi a geotermikus energia. Ezt a képet tovább árnyalja hazánk jelenlegi 68% (2005) és várható energia import függősége.

A Gazdasági és Közlekedési Minisztérium által közzétett „Megújuló energia stratégia” (2007) prioritása láthatóan a biomasza, amely kétségtelenül illeszkedik az EU trendhez, de nem tükrözi a hazai sajátosságokat (komparatív előny). A geotermikus energiára mindössze 12 PJ/év kiaknázható potenciálérték került, ami a föntiek alapján alulbecsült. Prognózis a geotermikus energia kihasználására a megújuló energiák között: 3,63 (2005), 5,6PJ (2010), 8,40PJ (2015), 11,36PJ (2020). A geotermiára alapuló hőtermelő projektek stratégiában szereplő becsült megtérülési ideje sem realizisztikus: hévízalapú hőhasznosítás: 12-15 év, földhőszivattyús hasznosítás: 15-20 év.

A hazai hőszivattyúzást hasonló társadalmi érdeklődés kíséri, mint az EU-ban, de a hazai energiapolitikai döntések nem adtak megfelelő alapot a nagyobb mértékű elterjedéshez. Hiányzott a megfelelő szakmai képviselő is, amelyet 2007-től pótolta az Építéstudományi Egyesület, Hőszivattyú Szakosztály megalakítása. (Ádám, 2008b).

Rövid- és középtávon a geotermikus energia létesítmények száma, összteljesítménye a természeti erőforrásokon kívül az állami energiapolitikai rendszertől is függ.

6.3.1. Gazdaságosság, pályázati helyzet

A geotermikus energia hasznosítására van állami támogatási rendszer. Az EU-s KEOP és ROP programokból azonban csak a közvetlen hőenergia felhasználás támogatható.

A halmozott közgazdasági hátrányok hosszú ideje sújtják a geotermikus energia projekteket és működő rendszereket. 2006 decemberében a Kyotoi Mechanizmusok Tárcaközi Bizottság döntése értelmében a megújuló energia projektek villamosenergia termelése nem ismerhető el Együttes Végrehajtási Projektként. Több megújuló energiánál kivételeket tettek, a geotermikus energiánál nem. Ez a döntés 5–7%-os versenyhátrányt jelent egy esetleges geotermikus erőmű projektnek.

A megújuló energiaforrásból termelt villamosenergia átvételi áráról szóló 389/2007. (XII. 23) Kormányrendelet a geotermikus energiából termelt villamos áram esetén a német ár kétharmada (a készülő német módosítás szerint 50%-a). A beruházási költségek közti különbség nem ekkora, tehát a nemzetközi beruházók nem Magyarországra települnek. A geotermikus erőművek tervezésében a MOL Zrt. mellett érdekelt Pannonplast-Pannergy stratégiájában a geotermikus

energia kedvéért komoly kockázatot vállal. Német és olasz potenciális beruházók hosszú ideje elemzik a hazai üzleti helyzetet, de nem látják igazoltnak, hogy a kedvező magyar geotermikus potenciálra épített műszaki, technológiai koncepcióik megtérülők lehetnek.

A gazdaságossági helyzetet értékelni kell a közvetlen hőhasznosításra. A közvetlen hőhasznosításra jó példákat látunk (Fülöpjakab, Hódmezővásárhely, Kistelek), az állami ösztönzés hiánya ellenére is megegyeznek a beruházók és az önkormányzatok.

A hazai hőszivattyús földhő-hasznosítás elterjedését, a megújuló energia felhasználási mérlegben való szerepét elsődlegesen a gázár, a villamos energia ára és a kedvezményes hőszivattyús tarifa bevezetése befolyásolja (Ádám, 2008c). A hőszivattyús beruházási pályázatok, a támogatások szintje a lakossági és vállalkozói körben érvényesül. További segítség lehet az Európai Unió hőszivattyús műszaki fejlesztési projektjeinek hasznosítása, az EHPA minősítési rendszerének, energiapolitikai lépéseinek hazai alkalmazása.

Indokolt a hazai közvélemény és az energiapolitikai döntéshozók tényszerű tájékoztatása a földhőt hasznosító hőszivattyús rendszerekről. Fontos a referenciák hiteles mérési, monitoringozási eredményei alapján ezek bemutatása a közvélemény előtt.

6.3.2. Jogi környezet értékelése

Annak ellenére, hogy az Európai Unió energiapolitikájában támogatja a megújuló energiaforrások részarányának bővítését, közösségi jogforrás máig nem rendelkezik kogens módon és megfelelő részletességgel a témakörben. Az új 2020-as célelőirányzatok egyes értékelők szerint azt jelzik, hogy a 2010-ra vállalt közösségi célok nem teljesíthetők. Intő példa, hogy a környezetvédelmi biztos 2008. januári nyilatkozata, mely szerint a biomasszához és biodízelhez fűzött közösségi remények túlzónak tűnnek. Az Európai Unió közösségi jogforrás nem rendelkezik megfelelő részletességgel a megújuló energiákról, és azon belül a geotermikus energia fogalmáról.

A tiszta piaci verseny közösségi elve alapjaiban sérül a földhő hasznosítás területén tapasztalt lényegesen eltérő tagállami pénzügyi szabályozók által (szubvenció, hosszú távon garantált támogatott átvételi ár, többszörös adóztatás, bírságok). Ezek kiegyenlítésére van jó példa (ld. gépjármű regisztrációs adó).

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

A rendszerváltás után felerősödő „tárcasovinizmus” és ágazati érdekérvényesítés, a terjedős jogalkotás, és a gyors EU jogharmonizáció esetleges kárvallottjai a nagy ágazatok közötti, vagy több által érintett interdiszciplináris területek, így a földhő hasznosítás.

A vízgazdálkodási szabályozáson belül sarkalatos kérdés a visszatáplálási kötelezés, amely a Víz Keretirányelvben még megengedő jogalként jelenik meg. Felmerül, hogy a visszasajtolás általános követelménye, milyen területeken, mely közetformációkban, milyen hidraulikai körülmények mellett teljesíthető, mekkora ráfordítást igényel, a ráfordítás arányban lesz-e a környezeti állapot javulásával és a kinyerhető energia értékével.

Vitatható egyazon természeti erőforrás többszörös, sőt esetenként negatívan megkülönböztető állami járuléki adóztatása (vízkészlet-gazdálkodási járulék, bányajáradék), az igazgatási szolgáltatási és felügyeleti díjak mértéke, valamint a környezetvédelmi szennyezési határértékek és a kapcsolódó bírságok korszerűsége.

Az energetikai joganyag a közösségi liberalizációs kötelelem miatt teljesen megújult, a végrehajtás hatékonysága mutatja majd meg, hogy az engedélyezési eljárás milyen adminisztratív terhet ró az egyes megújuló energiákba fektető kérelmezőkre.

Komoly akadályt jelent a földhő, mint fenntartható termelés esetén megújuló természeti erőforrás feletti megosztott állami felügyelet és hatósági engedélyezési fórum (GKM/MBFH (+ELGI, MÁFI) vs. KvVM/”zöld hatóság”(+VITUKI, VKKI)). A közigazgatás egymással versengő (kompetitív), és csak részben egymást kiegészítő (komplementer) vízügyi és bányászati szabályozást hozott létre.

A földhőre a hazai anyagi jogban jelenleg három, viszonylag egybehangzó definíció vonatkoztatható (geotermikus energia, termálvíz, hévíz), az ezekkel való gazdálkodás szabályai azonban divergálóak, sőt ellentmondóak. Az engedélyezési hatósági sémát végső soron e természeti erőforrás hasznosítási célja határozza meg, illetve a felszín alatti vízkivételt is involváló kinyerés esetében az, hogy a víz hő attribútumát pl. balneológiai vagy hő-energia ellátási (pl. távfűtés) célra szánják felhasználni.

A hazai földhő hasznosítást immár három szakmai egyesülés szorgalmazza (MTT, MGE, ÉTE Hőszivattyú Szakosztály), illetve számos tudományos egyesület bír szakmai kompetenciával (pl. MFT, MGE). Az egyéni szakértői rendszer (földtani szakértő, hites bányamérő, mérnöki kamarai tagok, KvVM által kiadott szakértői jogosultságok) alkalmas a földhő kutatási, kinyerési és hasznosítási feladatainak kezelésére. E mellett az egységes és minőségi munkát szabványok és műszaki irányelvek, iparági útmutatók, valamint a hatóságok szigorúbb ellenőrző és szankcionáló tevékenysége még jobban biztosíthatná.

7. Ajánlások, javaslatok

7.1. Energiapolitikai javaslatok

Az energiapolitikában szükséges egy paradigmaváltás, amely összhangban áll az Európai Unió vonatkozó irányelveivel és Magyarország – saját erőforrásokra alapozandó – energiaellátási érdekeivel. Az energiatakarékosság, a megújuló energia és a klíma stratégiák cél és eszköz rendszerének összehangolása szükséges, széles körű szakmai egyeztetés alapján. Fontos a kutatási és nemzetközi tapasztalatok beépítése az előterjesztésekbe.

A 2020-ig szóló és a GKM által közzétett „Megújuló energia stratégia” (2007) kormányzati energiapolitikai koncepcióban a geotermikus energia kérdésköre a földhő integrált rendszerű (erőmű-hőhasznosítás-földhőszivattyús) hasznosítás legalább 30PJ/év előirányzattal és reális megtérülési idővel (közvetlen hőhasznosítás:5-7 év; földhőszivattyús hasznosítás: 10 év támogatás nélkül és 5-6 év pályázati támogatással) kerüljön bele.

Meg kell jegyezni, hogy a Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégiáról 2008. március 20-án megjelent országgyűlési határozat is mindössze 5-10 PJ/évet céloz meg. Ez továbbra is pesszimista becslésként értékelhető. Jelen javaslatunk azt célozza, hogy 2008-tól megindítandó lépésekkel elérjük legalább a 30 PJ/év hasznosítást.

7.1.1. Az Európai Unió fórumain képviselendő javaslatok

- A földhő hasznosítás előmozdításához szükséges a megújuló energiákról szóló tervezett új EU irányelv, valamint a természeti erőforrás politika közösségi jogforrásba foglalása, az előbbin belül a geotermikus energia definíciójának rögzítése.
- Szükséges az IPPC irányelv hatálya alatti legjobb elérhető technológia referencia dokumentum a földhő kinyerésről és hasznosításról.
- Több közösségi pénzügyi alap biztosítása a megújuló energia fejlesztések számára, akár a földhő egyértelmű prioritásával, legalábbis a kedvező természeti adottságú tagállamokban.
- Tekintettel a fenntartható fejlődés követelményére, szükséges a harmonizált, éves változásokat is követő tagállami földhő nyilvántartások kialakítása, a meglévők továbbfejlesztése.
- Harmonizált közgazdasági szabályozók kellenek, hogy ne sérüljön a tiszta verseny elve a jelenlegi szélsőséges tagállami támogatási, adóztatási, stb. rendszerek miatt.

7.1.2. A hazai döntéshozóknak szóló javaslatok

- A megújuló energiákról várható új EU-s irányelv nyomán javasolható egy energia törvény megalkotása és azon belül a megújuló energiák szabályozása. A nemzetközi tapasztalatok tükrében leginkább ez indíthatná el az energetikai paradigmaváltást, ezáltal a fejlődést. A törvénynek, vagy külön Kormány rendeletnek – az összes megújuló energiára vonatkozó szabályozás mellett – a hazai adottságokat tekintve a földhő szerepét kinyerésének és hasznosításának módjait is szabályozni kell.
- A megújuló energia törvénynek azokat a megújuló energia hasznosítási módokat kell ösztönözni, amelyek alapján - az adott területre vonatkozó gazdasági elemzések szerint - a legjobb költség/társadalmi haszon arány mutatható ki. E nélkül a földhő hasznosítás, a

kedvező természeti adottságok ellenére is, ellehetetlenül a bányászati, energetikai, környezetvédelmi és vízügyi jogszabályok ellentmondó rendelkezései között.

- A törvény megalkotásáig egy, a szétszórt „hévízgazdálkodási” rendelkezéseket javítottan egyesítő és a Bányatörvény geotermikus védőidom jogintézményét műszaki-tudományos megalapozottsággal, részletesen szabályozó, a befektetői jogbiztonságot szavatoló, a bányafelügyeleti és vízügyi szakhatósági jogkört harmonizáló új, a geotermikus energiára vonatkozó Kormányrendelet elkészítése javasolt.
- A halmozottan hátrányos megkülönböztetést jelentő közgazdasági szabályozó eszközök és esetenként ellentmondásos állami támogatások átvilágítása, és haladéktalan módosítása szükséges. Különösen a villamos áram és kapcsolt energia termelés esetében a kísérleti projekteknél biztosítani kell az állami támogatást, ehhez módosítani kell bizonyos pénzügyi alapok – KEOP, ROP prioritások, az NKTH által kezelt K&F alapok – tematikáját.
- A visszasajtolás Pannon-medencebeli műszaki-tudományos sajátosságainak vizsgálatát követően a hatályos szabályozás EU harmonizációját és belső konformitását biztosító finomhangolása. Ösztönözni kell a komplex (kaskád rendszerű) balneológiai és energetikai hasznosítás összekapcsolását, a speciális technológiák (visszasajtolás, zárt rendszerek működtetése, hőszivattyú) minél szélesebb körű elterjesztését.
- A rendelkezésnek rögzítenie kell a hőszivattyús fűtési-hűtési technológia fontosságát. Támogatási formáit a Heller-programmal összhangban kell kidolgozni. Ki kell dolgozni a hőszivattyús rendszerek telepítési támogatásának jelenleginél hatékonyabb módozatait, hogy csökkenjen lemaradásunk e téren.
- Létre kell hozni a geotermiában érdekeltek konzultatív fórumát az állam, a potenciális befektetők, a szakmai szervezetek, alapítványok és a tudomány képviselőinek (MTA, egyetemek) bevonásával. Az állam által is támogatott kockázati tőkealap létrehozása a geológiai kockázatok kezelése céljából.
- Szükséges a rendelkezésre álló földhő potenciál dinamikusan szemléletű államilag ösztönzött felmérése. A hasznosítás tényadatainak folyamatos rögzítése és a vízkészlet-gazdálkodási prioritások felülvizsgálata. Ehhez elengedhetetlen a közigazgatási és költségvetési szerveknél lévő naprakész adatok és információk rendszerek kommunikációjának biztosítása.
- Az alap-, közép- és felsőfokú oktatásban az eddiginél nagyobb hangsúlyt kell fektetni a megújuló energiákra és ezen belül a geotermiára. Nem nélkülözhető a média támogatás a megújuló energiák alkalmazásához, a környezettudatos energetikai döntésekhez, a különböző technológiák széleskörű megismertetéséhez.

7.2. Kutatási-fejlesztési feladatok

- Dinamikus szemléletű készletbecslési és döntés megalapozó (termelés, visszasajtolás, hőszivattyú telepítés) modell megalkotása országos és regionális szinten. A modell folyamatos frissítése a tényleges adatokkal. Ez a modell lehet az alapja a fenntartható vízkivételnek.
- A felső-pannóniai porózus hévíztárolóba történő üzemszerű hévíz-visszasajtolás technikai, technológiai és hidraulikai kérdéseinek kutatása, a „geotermikus kút-párok” kutatás-

fejlesztési, műszaki kérdéseinek megoldására irányuló minta-projektek kiemelt támogatásával.

- Megfigyelő-rendszerek támogatott kiépítése, adatainak tudományos igényű kiértékelése a felszín alatt zajló hatások következményeinek prognosztizálásához.
- A Magyar Tudományos Akadémián és az egyetemeken kiemelten támogatandó téma legyen ezeknek a kérdéseknek az alaptudományi és alkalmazott tudományi kérdéseinek megválaszolása.

8. Irodalomjegyzék

- Ádám, B. (2006): Földhőprogram a magyar geotermikus energia fokozott felhasználására – <http://www.hidro-geodrilling.hu>
- Ádám, B. (2008a): Hőszivattyúzás aktuális helyzete Magyarországon – Kézirat, 4 p.
- Ádám, B. (2008b): Hőszivattyús földhő hasznosítás aktuális helyzete Magyarországon az EU helyzet tükrében, Kistelek, Geotermia a XXI. században szakmai fórum, 2008
- Ádám B. (2008c): Javaslatok a hőszivattyús technológia hazai elterjesztésére. Az Építéstudományi Egyesület Hőszivattyús Szakosztálya elnökének kézirata, 2 old. 2008
- Andenmatten-Berthoud, N., Kohl, T. (2003): Assessment and evaluation of geothermal potential in Switzerland (Atlas des Ressources Geothermiques Suisses). – Rapport Annuel 2003 pour L'office Federale de L'energie, Bern.
- Aquaplus Kft. (2007): Geotermikus energiahasznosítás – Kisteleki mintaprojekt, kézirat
- Aquaplus Kft. (2008): Kisteleki Geotermikus Közműrendszer, Kistelek, Geotermia a XXI. században szakmai fórum
- Árpási, M., Andristyák, A. and Póta, Gy. (1997): Geothermal Pilot Projects on Utilization of Low-Temperature Reserves in Hungary, Geothermal Resources Council Transaction: Meeting the Challenge of Increased Competition. Davis, CA: Geothermal Resources Council, Volume 21, pp. 327-330.
- Árpási M. (1998): A geotermális energiahasznosítás koncepciója – Magyar Geotermális Egyesület, Kézirat.
- Árpási, M. and Szabó, Gy. (1999): The Role of the Oil Industry on Geothermal Energy Development in Hungary, Direct Utilization of Geothermal Energy, Proceedings of the 1999 Course, International Geothermal Days – Oregon 1999. Klamath Falls, OR: Geo-Heat Center, Oregon Institute of Technology, pp. 143-146.
- Árpási, M. (2004): Geotermikus energia. – In: Semberi, P.– Tóth, L. (szerk.): Hagyományos és megújuló energiák. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest.
- Árpási, M. (2005): Geothermal Update of Hungary 2000-2004. Proc. World Geothermal Congress 2005, 12
- Árpási M. (2008): A geotermális energia hasznosítás pénzügyi támogatási rendszere, A Magyar Geotermális Egyesület elnökének kézirata, 7 old.
- Banwell, C. J. (1963): Thermal energy from the Earth's crust. New-Zealand. – *Journal of Geology and Geophysics*, 6: 52–69.
- Barbier, E., Fanelli, M. (1977): Non-electrical uses of geothermal energy. – *Progr. Energy Combustion Sci.*, 3: 73–103.
- Beardsmore, G. (2007): The burgeoning Australian geothermal industry. *Geo-Heat Center Bull.* 28/3, 20-26.
- Bertani, R. and Thain, I. (2002): Geothermal power generating plant CO₂ emission survey. *IGA News*, 49, 1-3. <http://iga.igg.cnr.it>.

- Bertani, R. (2003): What is Geothermal Potential? IGA News, 53, 1-3. <http://iga.igg.cnr.it>.
- Bertani, R. (2005): World geothermal power generation in the period 2001-2005. *Geothermics*, 34, 651-690.
- Bertani, R. (2007): World geothermal power generation in 2007. Proceedings of the European Geothermal Congress 2007, Unterhaching, Germany, 30 May – 1 June 2007.
- Bloomfield, K.K., Moore, J.N., and Neilson, R.N (2003): Geothermal energy reduces greenhouse gases. *Geothermal Resources Council Bulletin*, 32, 77-79.
- Bobok, E., Navratil, L. and Takács, G. (1984): Present status of geothermal resource assessment in Hungary. – *Geothermal Resource Council Transactions*, Davis, USA. 8: 403–407.
- Büki, G. (2008): A földhő célszerű energetikai hasznosítása, Kézirat, Mádlné Szőnyi, J., Rybach, L., Lenkey, L., Hámor, T. és Zsemle, F. A geotermikus energiahasznosítás nemzetközi és hazai helyzete, jövőbeni lehetőségei Magyarországon 2008. 03.14 MTA vitaülésein elhangzott hozzászólás írásos változata
- Cataldi, R. and Squarci, P. (1978): Valutazione del potenziale geotermico in Italia con particolare riguardo alla Toscana centrale e meridionale. – In: *Proc. AEI Conf.*, 32. 1–8.
- Chen, C. H. (1970): Geology and geothermal power potential of the Tatun volcanic region. – *Geothermics*, Special Issue, 2, 2/2: 113–143.
- Chopra, P.N. and Holgate, F. (2005): A GIS analysis of temperature in Australian crust. Proceedings World Geothermal Congress 2005, Antalya, Turkey. <http://iga.igg.cnr.it>.
- Cowi Magyarország Kft. (2005): Geo-Termál Program, Kézirat, Országos Területfejlesztési Hivatal Kiemelt Programok Főosztálya.
- Curtis, R., Lund, J., Sanner, B., Rybach, L. and Hellström, G. (2005): Ground source heat pumps – geothermal energy for anyone, anywhere: Current worldwide activity. Proceedings World Geothermal Congress 2005, Antalya, Turkey. <http://iga.igg.cnr.it>.
- Csikai, M. (2008): A termálvíz komplex mezőgazdasági hasznosítása Szentesen, Kistelek, Geotermia a XXI. században szakmai fórum, 2008
- Csoknyai I.-né (2008): Megújuló energiaforrások hasznosításának növelése a fenntartható fejlődés biztosítása érdekében. 2008. február 26-i „Geotermia a XXI.században” kisteleki szakmai fórum.
- Demetrescu, C., Nielsen, S.B., Ene, M., Serban, D.Z., Polonic, G., Andreescu, M., Pop, A. and Balling, N. (2001): Lithosphere thermal structure and evolution of the Transylvanian depression – insights from new geothermal measurements and modelling results – *Physics of the Earth and Planetary Interiors* 126. p.249-267.
- Dickson, M. H. and Fanelli, M. (2003): Geothermal energy, Utilization and technology. *Renewable Energies series*. – UNESCO Publishing. 205.
- Domenico, P. A and Palciauskas, V. V. (1973): Theoretical analysis of forced convective heat transfer in regional groundwater flow. – *Geol. Soc. of Amer. Bulletin*, 84: 3803–3814.
- Dövényi, P., (1994): A Pannon-medence litoszférájának vizsgálata geofizikai módszerekkel. Kandidátusi értekezés, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest, pp. 127.

- Dövényi, P. and Horváth, F. (1988): A review of temperature, thermal conductivity, and heat flow data from the Pannonian Basin. In: L.H. Royden and F. Horváth (Editors), *The Pannonian Basin, a Study in Basin Evolution*. Amer. Assoc. Petr. Geol. Mem., 45: 195-233.
- Dövényi, P., Drahos, D. és Lenkey, L. (2001): Magyarország geotermikus energia-potenciáljának feltérképezése felhasználás növelése érdekében. Hőmérsékleti viszonyok. Jelentés a Környezetvédelmi Alap Célleírányzat részére. ELTE, Geofizikai Tanszék, 1-10.
- Dövényi, P., Horváth, F. Drahos, D. (2002): Hungary. – In: Hurter, S., Haenel, R. (eds): *Atlas of*
- Dövényi, P., Homola, V. Horváth, F. Kohl, T. and Rybach, L. (2005): *European HDR/EGS resources: Future potential development in Hungary*. Order no: G109/05-22.13. – Final Report, GEOWATT AG (May 26, 2005) 1–41.
- Forsha, M. (1994): Low temperature geothermal flash steam plants. – *Geothermal Resources Council Transactions*, 18: 515–522.
- Franko, O., Remsík, A. and Fendek, M. (1995): *Atlas of geothermal energy of Slovakia – GÚDS, Bratislava*
- Fridleifsson, I.B., Bertani, R., Huenges, E., Lund, J., Rangnarsson, A. and Rybach, L. (2008): The possible role and contribution of geothermal energy to the mitigation of climate change. *Proceedings IPCC Climatic Scoping Meeting Lübeck*.
- Galantaterm (2007): Home page, www.galantaterm.sk/prod04.htm
- Garnish, J. D. (ed.) (1987): *Proceedings of the First EEC/US Workshop on Geothermal Hot-Dry-Rock Technology*. – *Geotermics*, 16: 119–136.
- Genter, A., (2008): Személyes közlés. *Geothermal Resources in Europe*. – Publication No. 17311 of the European Commission, Office for Official Publications of the European Communities. L-2985, Luxembourg. 36–38.
- Geothermal Education Office (1996): <http://geothermal.marin.org/index.html>.
- Gringarten, A. C. (1978): Reservoir lifetime and heat recovery factor in geothermal aquifer used for urban heating. – *Pageo*, 117., 1–2: 298–308.
- Gudmundsson, J. S. (1988): The elements of direct uses. – *Geotermics*, 17: 119–136.
- György, Z. (2006): Egy követendő példa: geotermikus energiahasznosítás a mezőgazdaságban. – In: *Geotermia és környezetipar a XXI. században. Konferencia és szakkiállítás. Előadás kivonatok, Kistelek (2006. január 30–31.)*. 5–9., 17–20.
- Häring, M. O. (2002): Häring GeoProject. <http://www.dhm.ch/dhm.html>.
- Haenel, R., Staroste, E., (1988): *Atlas of geothermal resources in the European Community, Austria and Switzerland* – Th. Schäfer, Hannover, Germany
- Hochstein, M. P. (1990): Classification and assessment of geothermal resources. In Dickson, M. H.– Fanelli, M. (eds.) (2003): *Small geothermal resources: A guide to development and utilization*. UNITAR. New York, 31–57.
- Horváth, F. and Dövényi, P. (1991): Hungary – in: E. Hurtig, V. Cermak, R. Haenel, V. Yui (editors): *Geothermal Atlas of Europe, Maps and explanators text*, H. Haack, Gotha, p.45-47.

- Horváth F. (2007): A Pannon-medence geodinamikája. Eszmetörténeti tanulmány és geofizikai szintézis, MTA Doktori Értekezés, ELTE Földrajz- és Földtudományi Intézet, Geofizikai Tanszék
- Hurtig, E., Cermák, V., Haenel, R. and Zui, V.I. (Editors), (1992): Geothermal Atlas of Europe. Haack, Gotha.
- IEA (2007): Renewables for Heating and Cooling – Untapped Potential. International Energy Agency, Paris, 209 pp.
- Juhász Gy. (1991) Lithostratigraphic and sedimentological framework of the Pannonian (s.l.) sedimentary sequence in the Hungarian Plain (Alföld), eastern Hungary. *Acta Geologica Hungarica*, 34, 53-72.
- Jung, R., Röhlings, S., Ochmann, N., Rogge, S., Schellschmidt, R., Schulz, R. und Thielemann, T. (2002): Abschätzung des technischen Potenzials der geothermischen Stromerzeugung und der geothermischen Kraft-Wärmekopplung (KWK) in Deutschland. – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe Hannover (BGR), Institute für Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben (GGA). 88.
- Komlós, F., Fodor, Z., Kapros, Z. és Vaszil, L. (2008): Csináljuk jól! – Energiahatékonysági sorozat – 22. Hőszivattyúzás, Az Energia Központ Kht. kiadványa, Budapest, 2008
- Kohl, L., Signorelli, S., Engelhardt, I., Andenmatten, N., Sellami, S. and Rybach, L. (2005): Development of a regional geothermal resource atlas. – *Journal of Geophysics and Engineering*, 2: 372–385.
- Komlós, F. (2005a): A „Heller László Terv” – egy munkahelyteremtő kezdeményezés. – *Magyar Energetika*, 6:45-48.
- Komlós, F. (2005b): Fűtéstechnika a környezetbarát hőszivattyúval (Épület–energia–Európa–emberi élet). – Belügyminisztérium Településüzemeltetési Iroda. Kézirat. 1–49. http://www.kvvm.hu/klima/dokumentum/pdf/futestechnika_hoszivattyu.pdf.
- Kujbus, A. (2008): A MOL Nyrt. geotermikus erőmű létesítésére irányuló földtani kutatásai, kézirat
- Kurunczi, M. (2004): A víz, mint energia. – In: Kiss E. (szerk.): Bioépítészet. – Bába-M. Bioépítészeti Egyesület, Szeged. 55–62.
- Kurunczi, M. (2005): Geotermia a gyakorlatban. A hódmezővásárhelyi geotermikus közműrendszer bemutatása. – Kézirat. 5.
- Kurunczi, M. (2008): A visszasajtolás. A hódmezővásárhelyi geotermikus közműrendszer bemutatása, Kistelek, Geotermia a XXI. században szakmai fórum, 2008
- Kurunczi M., Szanyi J., Ádám B. (2008): *MÁSODIK KISTELEKI DEKLARÁCIÓ A GEOTERMIÁÉRT!* A Magyar Termálenergia Társaság, a Geotermikus Innovációs és Koordinációs Alapítvány, az Építéstudományi Egyesület Hőszivattyú Szakosztálya, valamint a „Geotermia a XXI. században” című konferencia résztvevőinek – 2008. február 26.-i – közös nyilatkozata.
- Lázár, J. (2008): Komplex hasznosítás Hódmezővásárhelyen, Kistelek, Geotermia a XXI. században szakmai fórum, 2008
- Lavigne, J., (1978): Les ressources géothermiques françaises – possibilités de mise en valeur – *Ann. des Mines*, avril, 16 p.

- Lemale, J. and Jaudin, F. (1998): La géothermie, une énergie d'avenir. – Agence régionale de l'environnement et des nouvelles énergies, Ile-de-France (ARENE).
- Lenkey, L. (1999): Geothermics of the Pannonian basin and its bearing on the tectonics of basin evolution. – PhD Thesis, Vrije Universiteit, Amsterdam. 215.
- Liebe P., (1982): Az ország egyes régióin, területrészein a geotermikus potenciál meghatározása – MFT tanulmány, OFGA T.17968
- Liebe, P. (2001): Tájékoztató. Termásvíz-készleteink, hasznosításuk és védelmük. – Környezetvédelmi Minisztérium megbízásából készítette a VITUKI Rt. Hidrológiai Intézete, Budapest. 21.
- Lindal, B. (1973): Industrial and other applications of geothermal energy. – In: Dickson, M. H. and Fanelli, M. (eds.) (2003): Geothermal energy, Utilization and technology. Renewable Energies series. – UNESCO Publishing. 1-27.
- Lorberer, Á. (2004): A geotermális energiahasznosítás hazai fejlesztési koncepciója 2010-ig. Jelentés a Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium részére, VITUKI, 97. old.
- Lund, J. W., Sanner, B., Rybach, L., Curtis, R. and Hellström, G. (2003): Ground-source heat pumps. A world overview. Renewable Energy World. – James & James, London. 8/4: 218–227.
- Lund, J. W., Freeston, D.H., and Boyd, T.L. (2005): Direct application of geothermal energy: 2005 Worldwide review. Geothermics 34, 691-727.
- Lund, J. W, Freeston, D. H. and Boyd, T. L. (2005): World-wide direct uses of geothermal energy 2005. Proceedings World Geothermal Congress, 2005, Antalya, Turkey 24-29 April, 2005
- Lund, J. W. (2006): Chena Hot Springs, Geo-Heat Center Quarterly Bulletin Vol. 27, No.3 (September), Klamath Falls, OR, pp. 2-4.
- Magyarország megújuló energiaforrás felhasználás növelésének stratégiája 2007-2020, Budapest, 2007. Gazdasági és Közlekedési Minisztérium
- Mádlné Szőnyi, J. (2006): A geotermikus energia, Készletek, kutatás, hasznosítás. Grafikon Kiadó, Nagykovácsi, 2006.
- McFarland, T. (2002): Geothermal Energy and why I like it, kézirat, <http://www.indiana.edu/~sierra/papers/2002/mcfarland.pdf>
- Muffler, L. J. P. (1973): Geothermal resources. – In: Brobst, D. A. and Pratt, W. P. (eds.): United States Mineral Resources. – USGS Professional Paper, 820: 251–261.
- Muffler, L. P. J. and Cataldi, R. (1978): Methods for regional assessment of geothermal resources. – Geothermics, 7: 53–89.
- Németh G. (2002): A mélységi hő-bányászat lehetőségei Magyarországon. – Kőolaj és Földgáz, 35. , 7-8: 1–5.
- Pannonplast (2007): Geotermikus energia, http://www.pannonplast.hu/megujulo_energiaforrasok.html
- Paschen, H., Oertel, D., Grünwald, R. (2003): Möglichkeiten geothermischer
- Pollack, H. N., Hurter, S. J. and Johnson, J. R. (1993): Heat flow from the Earth's interior: Analysis of the global data set. – Rev. Geophys, 31: 267–280.

- Popovski, K. (1998): Geothermally heated greenhouses in the world. – In: Guideline and Proc. International Workshop on Heating Greenhouses with Geothermal Energy, Ponta Delgada, Azores. 42–48.
- Rafferty, K. (1997): An information survival kit for the prospective residential geothermal heat pump owner. – Geo-Heat Center Bulletin, 18., 2: 1–11.
- Rummel, F. and Kappelmeyer, O. (eds.) (1993): Erdwärme/Geothermal Energy. – Verlag C. F. Müller GmbH., Karlsruhe. 98.
- Ravnik, D., Rajver, D., Poljak, M. and Zivicic, M. (1995): Overview of geothermal field of Slovenia in the area between the Alps, the Dinarides and the Pannonian basin – Tectonophysics, 250. p.135-149.
- Rezessy, G., Szóts, T. és Hámor, T. (2003): The assessment and inventory of geothermal energy. – In: Proceedings European Geothermal Conference 2003, Szeged (Abstracts CD-ROM).
- Rezessy, G., Szanyi, J. és Hámor, T. (2005): A geotermikus energiavagyon állami nyilvántartásának előkészítéséről. I. Fázis. – Jelentés, Magyar Geológiai Szolgálat, Budapest.
- Rosca, M. (2007): Geothermal Possibilities in the Carpathian Basin Area of Romania past, present and future, III. Kisteleki Geotermikus Konferencia, www.termalenergia.hu/cikk.php?id=177&nyelv=
- Royden, L. H., Horváth, F., Nagymarosy, A. –and Stegena, L. (1983): Evolution of the Pannonian basin system: 2. Subsidence and thermal history. – Tectonics, 2: 91–137.
- Royden, L. H. and Dövényi, P. (1988): Variations in extensional styles at depth across the Pannonian basin system. – In: Royden, L. H. and Horváth, F. (eds.): The Pannonian Basin, a Study in Basin Evolution. American Association of Petroleum Geologists Memoirs, 45: 235–255.
- Rybach, L. (1981): Geothermal systems, conductive heat flow, geothermal anomalies. – In: Rybach, L. and Muffler, L. P. J. (eds.): Geothermal Systems. Principles and Case Histories. – Wiley Interscience, London. 3–36.
- Rybach, L. and Kohl, T. (2004): Waste heat problems and solutions in geothermal energy. – In: Gieré R. and Stille, P. (eds.) (2004): Energy, Waste, and the Environment: a Geotechnical Perspective. – Geological Society, London. Special Publications, 236: 369–380.
- Rybach L., (2005a). The advance of geothermal heat pumps world-wide. IEA Heat Pump Centre Newsletter 23, 13-18.
- Rybach, L. (2005b): Geothermal Energy for Electricity Generation Catching Up – The R and D Priorities. – IEA Workshop, Paris (2005. 03. 05).
- Rybach, L. (2005c): Utilization of renewable energy on a global scale. Achievements and prospects. – In: Shenzhen International Workshop on Renewable Energy Technology and Investment (RETI), Shenzhen, China (15–16 October 2005).
- Rybach, L. and Mongillo, M. (2006): Geothermal Sustainability – A Review with Identified Research Needs. – In: Geothermal Research Council 2006 Annual Meeting, San Diego, California (10–13, September 2006).

- Rybach, L. (2006): Mennyire megújuló a geotermikus energia. – In: Geotermia és környezetipar a XXI. században. Konferencia és szakkiállítás. Előadás kivonatok, Kistelek (2006. január 30–31.). 5–9.
- Stegena, L., Géczy, B. and Horváth, F. (1975): Late Cenozoic evolution of the Pannonian basin. – *Tectonophysics*, 26: 71–90.
- Stegena et. al., (1992): Nagy entalpiájú geotermikus rezervoárok Magyarországon – *Földtani Közlöny* 122/2.
- Suyama, J., Sumi, K., Baba, K. and Takashima, I. (1975): Assessment of geothermal resources of Japan. *Proceedings United States–Japan Geological Survey Panel Discussion on the Assessment of Geothermal Resources*, Geological Survey of Japan, Tokyo. 63–119.
- Szanyi, J. (2005): Magyarország geotermikus energiavagyonának számítása. – In: Rezessy, G., Szanyi, J. és Hámor, T. (2005): A geotermikus energiavagyon állami nyilvántartásának előkészítéséről, I. Fázis. – Jelentés, Magyar Geológiai Szolgálat, Budapest.
- Szanyi, J., Kovács, B. és Szongoth, G. (2008): Visszasajtolás pannóniai homokkőbe, *Geotermia a XXI. században szakmai fórum*, 2008
- Thury, M., Gautschi, A., Mazurek, M., Müller, W. H., Naef, H., Pearson, F. J., Vomvoris, S. and Wilson, W. (1994): Geology and hydrogeology of the crystalline basement of Northern Switzerland. – *Nagra Technical Report (NTB 93–01)*, Wettingen, Switzerland.
- Tóth, J. and Almási I. (2001): Interpretation of observed fluid potential patterns in a deep sedimentary basin under tectonic compression: Hungarian Great Plain, Pannonian Basin, *Geofluids*, Volume 1, Number 1, 2001.
- Tóth, J. (2006): Az alföldi hévizek kettős eredete és annak gyakorlati következményei: egy megfigyelésekre alapozott hipotézis, *Geotermia és Környezetipar a XXI. Században Szakkiállítás és Konferencia*, Kistelek, 2006. január 30-31.
- Tester, J. W., Anderson, B. J., Batchelor, A. S., Blackwell, D. D., Dipippo, R., Drake, E. M., Garnish, J., Livesay, B., Moore, M. C., Nichols, K., Petty, S., Toksoz, M. N., Veatch, R. W., Baria, R., Augustine, C., Murphy, E., Negraru, P. and Richards, M. (2006): *The Future of Geothermal Energy – Impact of Enhanced Geothermal Systems (EGS) on the United States in the 21st Century*. Massachusetts Institute of Technology. Cambridge, MA, USA. 358 p. Available online: <http://lib.bioinfo.pl/pmid:17272236>
- Unk, J.-né (2007): A geotermikus energia hasznosítása Magyarországon, *Csináljuk jól! – Energiahatékonysági sorozat – Az Energia Központ Kht. kiadványa*, Budapest, 2007
- Vuataz, F. D. and Haering, M. (2001): The Swiss Deep Heat Mining (DHM) project: drilling of the first exploration borehole in Basel. – *IGA News*, 45: 9–12.
- Vuataz, F. D. and Catin, St. (2006): The advantages of the Deep Heat Mining technology. – <http://www.dhm.ch/dhm-advantages.html>.
- WEA, 2000: *World Energy Assessment: Energy and the Challenge of Sustainability*. Publisher: United Nations Development Programme / UN-DESA / World Energy Council, New York, 500 pp.
- WEA, 2004. *World Energy Assessment: overview 2004 Update*. Prepared by UNDP, UN-DESA and the World Energy Council. United Nations Development Programme, New York, 85 pp.

WEC, 2007. 2007 Survey of Energy Resources, p. 427-437. World Energy Council 2007. (Available on www.worldenergy.org).

Wright, P. M. and Culver, G. (1998): Nature of geothermal resources. – In: Lund, J. W. (ed.) (1998): Geothermal direct use engineering and design. Guidebook, 27–60. Geo-Heat Center, Oregon Institute of Technology, Klamath Falls, Oregon (97601), 454.

http://www.ecb.sk/ecb/fileadmin/user_upload/editors/documents/ochsner.pps#284,19,19.

<http://www.geothermie.de/groundhit/index.htm>

9. Ábrajegyzék

1.1. ábra: A geotermikus területek lemeztektonikai meghatározottságát szemléltető vázlat (Geothermal Education Office, 1996, Mádlné Szőnyi, 2006).....	6
1.2. ábra: Egy termelő és egy visszasajtoló kútból álló kétkutas alapmodell (Jung és társai, 2002 in Mádlné Szőnyi, 2006).....	7
1.3. ábra: Mesterséges földhőrendszer (Häring, 2002 in Mádlné Szőnyi, 2006).....	8
1.4. ábra: A hőszivattyús rendszer elvi vázlata (Komlós és társai, 2008).....	9
1.5. ábra: A földhőszivattyúk típusainak sematikus vázlata (Dickson és Fanelli, 2003 in Mádlné Szőnyi, 2006).....	10
1.6. ábra: Lindal-diagram (Lindal, 1973 in Mádlné Szőnyi, 2006).....	11
2.1. ábra: A Föld belső szerkezete és hőmérséklete (Mádlné Szőnyi, 2006).....	13
2.2. ábra: A geotermikus hőtermelés elve (Rybach, 2005b,c in Mádlné Szőnyi, 2006).....	14
2.3. ábra: A világszerte működő geotermikus áramfejlesztés beépített kapacitása a különböző országokban (Bertani, 2007).....	16
2.4. ábra: Beépített geotermikus áramfejlesztési teljesítmény növekedése 1975-től 2000-ig (kék), további becslésekkel: 2007 (piros), 2010 (zöld). Bertani (2007) nyomán.....	16
2.5. ábra: A geotermikus áramfejlesztés jövőbeli kilátásai, különféle technológiai peremfeltételekkel (Bertani, 2003).....	17
2.6. ábra: A földhőszivattyús rendszerek fejlődése világszerte - az élenjáró országok külön feltüntetve (Fridleifsson et al., 2008).....	19
2.7. ábra: Az USA-ban működő áramfejlesztési technológiák szén-dioxid kibocsátásainak összehasonlítása (Bloomfield, 2003).....	21
2.8. ábra: Geotermikus erőművek CO ₂ emisszió-csökkentési potenciálja, ha fosszilis erőműveket helyettesítenek (Fridleifsson et al., 2008). A geotermikus görbék (kék, lila) az említett emisszió értékek (10, illetve 120 g CO ₂ /kWh) alapján lettek kiszámolva.....	22
2.9. ábra: A közvetlen földhőhasznosítás (piros görbe) és a földhőszivattyúk (kék görbe) CO ₂ emisszió-csökkentő potenciálja (Fridleifsson et al., 2008).....	23
2.10. ábra: A geotermikus áramfejlesztés becsült jövőbeni fejlődés-trendje, beépített teljesítmény (piros görbe) és előállított árammennyiség (kék görbe) formájában (Fridleifsson et al., 2008).....	25
2.11. ábra: A közvetlen hőfelhasználás (földhőszivattyúk nélkül; kék görbe) és a földhőszivattyúk becsült fejlődés-trendje (piros görbe), a szolgáltatott hőmennyiség formájában (Fridleifsson et al., 2008).....	26
2.12. ábra: A 2006-ig beépített földhőszivattyúk eloszlása a svédországi Göteborgnál (www.geothermie.de/groundhit/index.htm).....	27
2.13. ábra: Németország egész területén folyik a földhőhasználat fejlesztése (H. Kreuter közlése, 2008. február 14.).....	28

2.14. ábra: A földhőmérséklet 5 km mélységben Ausztrália területén. A kontinens jelentős részén >200 °C várható (piros színnel jelölve) (Chopra and Holgate, 2005).....	29
3.1. ábra: Hőáram a Pannon-medencében és környékén (mW/m ²) (Dövényi és mtsai, 2002 után).....	31
3.2. ábra: A hőmérsékleteloszlás 500 m mélyégben a felszín alatt (Dövényi és mtsai, 2001 után).....	33
3.3. ábra: A hőmérsékleteloszlás 1000 m mélységben a felszín alatt (Dövényi és mtsai, 2001 után).....	33
3.4. ábra: A hőmérséklet-eloszlás 2000 m mélységben a felszín alatt (Dövényi és mtsai, 2001 után).....	34
3.5. ábra: Sematikus ÉNy-DK-i vízrétegtani szelvény az alföldön keresztül (Tóth és Almási, 2001, Juhász, 1991 ábrája nyomán).....	35
3.6. ábra Kutakban mért nyomások a szűrőközép tengerszint feletti magassága függvényében (Tóth és Almási, 2001).....	36
3.7. ábra A karbonátos rezervoárok elterjedése és energiasűrűsége (GJ/m ²) (Lorberer, 2004).....	37
3.8. ábra: A 200 °C-os izoterma elhelyezkedése Magyarországon.....	38
3.9. ábra: A felső-pannóniai rezervoárok elterjedése és energiasűrűsége (GJ/m ²) (Lorberer, 2004).....	41
5.1. ábra: A megújuló hasznosítási adatai Magyarországon (2005. december 31.-i állapot, Energiaközpont Kht.).....	56
5.2. ábra: A hódmezővásárhelyi geotermikus közműrendszer jelenlegi és tervezett kút fejlesztései (Lázár, 2008).....	60
5.3. ábra: A hódmezővásárhelyi visszasajtoló kút látképe (Lázár, 2008).....	60
5.4. ábra: A szentesi termálvíz hasznosítási rendszer (Csikai, 2008).....	62
5.5. ábra: A fülöpjakabi geotermikus hőhasznosítás (György, 2006).....	64
5.6. ábra: A termálvíz visszasajtoló-mű főbb részegységei (Kurunczi, 2008).....	65
5.7. ábra: Visszasajtoló kút csövezési rajza.....	66
5.8. ábra: A hőszivattyúk elterjedése az Európai Unióban és Magyarországon (2006. évi statisztika) http://www.ecb.sk/ecb/fileadmin/user_upload/editors/documents/ochsner.pps#284,19,19	68
5.9. ábra: A hőszivattyú eladások alakulása 2000-2007. között Magyarországon (ÉTE Hőszivattyús Szakosztály, 2007. évi eladások becült statisztikája).....	69
5.10. ábra: A földhőszivattyúk elterjedését befolyásoló tényezők különböző A, B, C típusú hőszivattyúkra (Ádám, 2008a).....	71

10. Táblázatjegyzék

2.1. táblázat: Megújuló energiák technikai potenciálja (WEA, 2000).....	14
2.2. táblázat: Áramfejlesztés megújuló energiaforrásokból 2005-ben (WEC 2007 Survey of Energy Resources).....	15
2.3. táblázat: A földhő hasznosításban (áramfejlesztés/közvetlen felhasználás) élenjáró országok („top fifteen“). Fridleifsson et al. (2008) alapján, átszámítva.....	18
2.4. táblázat: A földhőszivattyús rendszerek fejlődése az Európai Unióban és Svájcban (évente beszerelt berendezések száma; Geothermal Energy Barometer, Szeptember 2007).....	19
2.5. táblázat: Megújuló energiaforrásokból fejlesztett villanyáram ára (WEA, 2004)	23
4.1. táblázat: 20 MW-nál kisebb teljesítményű geotermikus erőműben termelt villamos energia kötelező átvételi bázisárai.....	50
4.2. táblázat: A „g” szorzószám a vízkészletjárulék számításához (43/1999. (XII.26.) KHVM rendelet).....	53
4.3. táblázat: A szennyvízre vonatkozó követelmények (28/2004. (XII. 25.) KvVM rendelet).....	54
5.1. táblázat: Közvetlen geotermikus hőhasznosítás Magyarországon (Lund et al. 2005 nyomán)...	58
6.1. táblázat A kitermelt hő és a potenciál összevetése (Lorberer és mtársai, 2004)	

11. A földhővel kapcsolatos és a felhasznált hazai jogszabályok

1990. évi LXXXVII. törvény az árak megállapításáról

1993. évi XLVIII. törvény a bányászatról

1995. évi LVII. törvény a vízgazdálkodásról

1995. évi LIII. törvény a környezet védelmének általános szabályairól

2003. évi LXXXVIII. törvény az energiaadóról

2003. évi XLII. törvény a földgázellátásról

2005. évi XVIII. törvény a távhőszolgáltatásról

2007. évi LXXXVI. törvény a villamos energiáról

147/1992. (XI. 6.) Korm. rendelet az önkormányzatok tulajdonában lévő ingatlanvagyon nyilvántartási és adatszolgáltatási rendjéről

15/1994. (V. 27.) IKM rendelet a bányajáradék meghatározásánál figyelembe veendő ásványi nyersanyag és a geotermikus energia értékének számításáról

25/1994. (X. 14.) IKM rendelet a bányauzem felelős műszaki vezetője és helyettese kijelölésének feltételeiről

69/1995. (XII. 26.) IKM rendelet a bányatérképek méretarányáról és tartalmáról szóló Bányabiztonsági Szabályzat kiadásáról

220/1997. (XII. 5.) Korm. rendelet a kiemelt építésügyi igazgatási ügyekben eljáró hatóságok illetékességi területéről, a kijelölési eljárásról, valamint a szakmai feltételekről

110/2007. (XII. 23.) GKM rendelet a nagy hatásfokú, hasznos hőenergiával kapcsolatos termelt villamos energia és a hasznos hő mennyisége megállapításának számítási módjáról

203/1998. (XII. 19.) Korm. rendelet a bányászatról szóló 1993. évi XLVIII. törvény végrehajtásáról

43/1999. (XII. 26.) KHVM rendelet a vízkészletjárulék kiszámításáról

74/1999. (XII. 25.) EüM rendelet a természetes gyógytényezőkéről

240/2000. (XII. 23.) Korm. rendelet a települési szennyvíztisztítás szempontjából érzékeny felszíni vizek és vízgyűjtőterületük kijelöléséről

9/2001. (IV. 5.) GM rendelet a nyomástartó berendezések és rendszerek biztonsági követelményeiről és megfeleléség tanúsításáról

11/2002. (III. 14.) GM rendelet a bányajáradék meghatározásánál figyelembe veendő ásványi nyersanyag és a geotermikus energia értékének számításáról szóló 15/1994. (V. 27.) IKM rendelet módosításáról

36/2002. (XII. 19.) GKM rendelet a villamosenergia-rendszer irányításával, működésével és használatával összefüggő egyes adatszolgáltatásokról

47/2003. (VIII. 8.) ESzCsM rendelet a radioaktív hulladékok átmeneti tárolásának és végleges elhelyezésének egyes kérdéseiről, valamint az ipari tevékenységek során bedúsuló, a természetben előforduló radioaktív anyagok sugár-egészségügyi kérdéseiről

- 118/2003. (VIII. 8.) Korm. rendelet a szilárd ásványi nyersanyagok és a geotermikus energia fajlagos értékének, illetve az érték számítására vonatkozó szabályoknak a megállapításáról
- 27/2004. (XII. 25.) KvVM rendelet a felszín alatti víz állapota szempontjából érzékeny területeken levő települések besorolásáról
- 28/2004. (XII. 25.) KvVM rendelet a vízszennyező anyagok kibocsátásaira vonatkozó határértékekről és alkalmazásuk egyes szabályairól
- 30/2004. (XII. 30.) KvVM rendelet a felszín alatti vizek vizsgálatának egyes szabályairól
- 172/2004. (XII. 23.) FVM rendelet az Agrár- és Vidékfejlesztési Operatív Program kihirdetéséről
- 219/2004. (VII. 21.) Korm. rendelet a felszín alatti vizek védelméről
- 220/2004. (VII. 21.) Korm. rendelet a felszíni vizek minősége védelmének szabályairól
- 33/2005. (XII. 27.) KvVM rendelet a környezetvédelmi, természetvédelmi, valamint a vízügyi hatósági eljárások igazgatási szolgáltatási díjairól
- 96/2005. (XI. 4.) GKM rendelet a bányafelügyelet hatáskörébe tartozó sajátos építményekre vonatkozó egyes építésügyi hatósági eljárások szabályairól
- 129/2005. (XII. 29.) GKM rendelet a Magyar Kereskedelmi Engedélyezési Hivatal egyes műszaki biztonsági közigazgatási eljárásainak és igazgatási jellegű szolgáltatásainak díjairól
- 157/2005. (VIII. 15.) Korm. rendelet a távhőszolgáltatásról szóló 2005. évi XVIII. törvény végrehajtásáról
- 314/2005. (XII. 25.) Korm. rendelet a környezeti hatásvizsgálati és az egységes környezethasználati engedélyezési eljárásról
- 267/2006. (XII. 20.) Korm. rendelet a Magyar Bányászati és Földtani Hivatalról
- 19/2007. (VII. 30.) MeHVM rendelet az Új Magyarország Fejlesztési Tervben szereplő Regionális Fejlesztés Operatív Programokra meghatározott előirányzatok felhasználásának állami támogatási szempontú szabályairól
- 23/2007. (VIII. 29.) MeHVM rendelet a Környezet és Energia Operatív Program prioritásaira rendelt források felhasználásának részletes szabályairól és egyes támogatási jogcímeiről
- 24/2007. (VII. 3.) KvVM rendelet a Vízügyi Biztonsági Szabályzat kiadásáról
- 94/2007. (XII. 23.) KvVM rendelet a vízgazdálkodás egyes szakmai követelményeiről
- 101/2007. (XII. 23.) KvVM rendelet a felszín alatti vízkészletekbe történő beavatkozás és a vízkútfúrás szakmai követelményeiről
- 273/2007. (X. 19.) Korm. rendelet a villamos energiáról szóló 2007. évi LXXXVI. törvény egyes rendelkezéseinek végrehajtásáról
- 379/2007. (XII. 23.) Korm. rendelet a vizek hasznosítását, védelmét és kártételeinek elhárítását szolgáló tevékenységekre és létesítményekre vonatkozó szabályokról
- 54/2008. (III. 20.) Korm. rendelet az ásványi nyersanyagok és a geotermikus energia fajlagos értékének, valamint az értékszámítás módjának meghatározásáról

12. A földhővel kapcsolatos és a felhasznált európai uniós jogszabályok

- Az Európai Parlament és a Tanács 2003/54/EK irányelve (2003. június 26.) a villamos energia belső piacára vonatkozó közös szabályokról és a 96/92/EK irányelv hatályon kívül helyezéséről
- Az Európai Parlament és a Tanács 2001/77/EK IRÁNYELVE (2001. szeptember 27.) a belső villamosenergia-piacon a megújuló energiaforrásokból előállított villamos energia támogatásáról
- Az Európai Gazdasági és Szociális Bizottság véleménye a következő témában: "A geotermikus energia hasznosítása – Hő a Föld mélyéből" (2005/C 221/05)
- Az Európai Parlament és a Tanács 2002/91/EK irányelve (2002. december 16.) az épületek energiateljesítményéről
- Az Európai Parlament és a Tanács 2037/2000/EK rendelete (2000. június 29.) az ózonréteget lebontó anyagokról
- Az Európai Parlament és a Tanács 2000/60/EK irányelve (2000. október 23.) a vízpolitika terén a közösségi fellépés kereteinek meghatározásáról
- Az Európai Parlament és a Tanács 2006/32/EK irányelve (2006. április 5.) az energia-végfelhasználás hatékonyságáról és az energetikai szolgáltatásokról, valamint a 93/76/EGK tanácsi irányelv hatályon kívül helyezéséről
- Az Európai Parlament és a Tanács 2005/32/EK irányelve (2005. július 6.) az energiafelhasználó termékek környezetbarát tervezésére vonatkozó követelmények megállapításának kereteiről, valamint a 92/42/EGK tanácsi, illetve a 96/57/EK és a 2000/55/EK európai parlamenti és tanácsi irányelv módosításáról
- A Tanács irányelve (1979. december 17.) a felszín alatti vizek egyes veszélyes anyagok okozta szennyezés elleni védelméről
- A Tanács 85/337/EGK irányelve (1985. június 27.) az egyes köz- és magánprojektek környezetre gyakorolt hatásainak vizsgálatáról
- A Tanács 97/11/EK irányelve (1997. március 3.) az egyes köz- és magánprojektek környezetre gyakorolt hatásainak vizsgálatáról szóló 85/337/EGK irányelv módosításáról
- Az Európai Parlament és a Tanács 97/23/EK irányelve (1997. május 29.) a nyomástartó berendezésekre vonatkozó tagállami jogszabályok közelítéséről
- A Bizottság 204/2002/EK rendelete (2001. december 19.) az Európai Gazdasági Közösségben a termékek tevékenységek szerinti statisztikai osztályozásáról (CPA) szóló 3696/93/EGK tanácsi rendelet módosításáról
- A Bizottság 2002/31/EK irányelve (2002. március 22.) a 92/75/EGK tanácsi irányelvnek a háztartási légkondicionáló berendezések energiafogyasztásának címkézése tekintetében történő végrehajtásáról
- A Bizottság 2700/98/EK rendelete (1998. december 17.) a vállalkozások szerkezeti statisztikai mutatóinak meghatározásáról
- A Tanács 2003/96/EK irányelve (2003. október 27.) az energiatermékek és a villamos energia közösségi adóztatási keretének átszervezéséről

- A Tanács 93/38/EGK irányelve a vízügyi, energiaipari, szállítási és távközlési ágazatokban működő vállalkozások beszerzési eljárásainak összehangolásáról
- Az Európai Parlament és a Tanács 2004/8/EK irányelve (2004. február 11.) a hasznos hőigényen alapuló kapcsolt energiatermelés belső energiapiacra való támogatásáról és a 92/42/EGK irányelv módosításáról
- Az Európai Parlament és a Tanács 842/2006/EK rendelete (2006. május 17.) egyes fluortartalmú üvegházhatású gázokról
- Az Európai Parlament és a Tanács 2007/2/EK irányelve az Európai Közösségen belüli térinformációs infrastruktúra (INSPIRE) kialakításáról
- Az Európai Parlament és a Tanács 2002/96/EK IRÁNYELVE (2003. január 27.) az elektromos és elektronikus berendezések hulladékairól
- AZ EURÓPAI KÖZÖSSÉGEK BIZOTTSÁGA, Brüsszel, 10.1.2007, COM(2007) 1 végleges, A BIZOTTSÁG KÖZLEMÉNYE AZ EURÓPAI TANÁCSNAK ÉS AZ EURÓPAI PARLAMENTNEK, EURÓPAI ENERGIAPOLITIKA
- A Bizottság határozata (2007. november 9.) a villamos meghajtású, gázmotoros vagy gázabszorpciós hőszivattyúkra vonatkozó közösségi ökocímke odaítélésével kapcsolatos ökológiai kritériumok megállapításáról
- A Bizottság 1516/2007/EK rendelete (2007. december 19.) az Európai Parlament és a Tanács 842/2006/EK rendelete alapján az egyes fluortartalmú üvegházhatású gázokat tartalmazó helyhez kötött hűtő-, légkondicionáló és hőszivattyú-berendezések általános szivárgásellenőrzési követelményeinek megállapításáról
- AZ EURÓPAI KÖZÖSSÉGEK BIZOTTSÁGA, Brüsszel, 23.1.2008 COM(2008) 19 végleges, 2008/0016 (COD), Javaslat: AZ EURÓPAI PARLAMENT ÉS A TANÁCS IRÁNYELVE a megújuló forrásokból előállított energia támogatásáról (előterjesztő: a Bizottság) {COM(2008) 30 végleges} {SEC(2008) 57} {SEC(2008) 85}