

Diplomamunka

A földhő, a kőzethő és a melegvizű források különböző
energetikai célú felhasználása

PÉCSI TUDOMÁNYEGYETEM TERMÉSZETTUDOMÁNYI KAR

KÍSÉRLETI FIZIKAI TANSZÉK

Készítette:

FÁBIÁN ZOLTÁN

Konzulens:

DR. NÉMET BÉLA

Egyetemi docens

Pécs, 2007

Tartalomjegyzék:

1.	Bevezetés, témaindoklás	4
2.	Az emberiség energiafelhasználásának története	6
2.1.	Kezdetektől az ipari forradalomig	6
2.2.	Az ipari forradalomtól napjainkig	7
2.3.	A jövő energiája	8
3.	Föld népességének energiafogyasztása	9
3.1.	A geotermális, vagyis a földhő energia hasznosítási lehetőségei a világban	11
4.	A Föld rétegszerkezete	14
4.1.	A geotermikus energia forrása	15
4.2.	A földkéreg hőmérsékletének meghatározása	17
4.3.	Fizikai alapfogalmak	19
5.	Geotermikus energiafelhasználás története	20
6.	Fizikája	22
6.1.	A hidraulikus nyomás, a nyomómagasság és a potenciál	24
6.2.	A zárókőzet	27
6.3.	Hőforrás	28
6.3.1.	Vulkánnal kapcsolatos hőforrások	28
6.4.	Hőforrás üledékes medencékben	29
6.5.	Az üledékes medencék hasznosításának előnyei	30
6.6.	Forró száraz kőzetek	31
7.	Felhasználási lehetőségek	32
7.1.	Száraz gőz erőmű	32
7.2.	Egyszerű gőz kiáramlásos erőmű	33
7.3.	Kettős ciklusú erőmű	33
7.4.	Kettős gőz kiáramlású erőmű	33
7.5.	Környezetet érintő hatása	34
7.6.	Sűrített levegő tározó	35
7.7.	Közvetlen felhasználásra alkalmas források	35
7.8.	Geotermikus Hőszivattyúk – hőpumpák	36
7.8.1.	Hőszivattyúk csoportosítása működési elvük szerint	37
7.8.2.	Hűtőgépek hatásfoka	37
7.8.3.	Hogyan működik a kompressziós hőszivattyú	38
7.8.4.	Hogyan működik az abszorpciós hőszivattyú	39
7.8.5.	Hőszivattyús fűtési rendszer	39
7.8.6.	A hőnyerés módjai	40
7.8.7.	Zárt talaj-kollektoros hőnyerő rendszerek	40
7.8.8.	Nyitott, talajvizes hőnyerő rendszerek	43
7.8.9.	Nyitott hőnyerés módjai	43
7.9.	Felhasználási lehetőségek	44
7.10.	Hőszivattyú előnyei	43
7.11.	Jelenlegi kihasználása	45
7.12.	A geotermikus energia magyarországi hasznosítási lehetőségei	46
8.	Diploma munka témájának pedagógiai felhasználása	47
	Irodalomjegyzék	56

1. Bevezetés, témaindoklás

Bár csak ne lennének igazak azok a tudósok általi előrejelzések, melyek különböző médiákon keresztül egyre gyakrabban érnek el bennünket! Örömmel hallanánk, hogy csak a szokásos „hűvös nyár enyhe tél” ciklus része volna a közel húsz Celsius hőmérsékletű január a májust idéző február. Sajnos, mint egyre több jel mutat abba az irányba, hogy nem erről, hanem a Föld átlaghőmérsékletének emelkedéséről van szó. Üvegház hatás eredményeképpen létrejövő globális felmelegedés, az egész bolygóra kiterjedően érezteti kedvezőtlen hatását. Szomorú, hogy a természet és az épített környezet harmonikus egyensúlyának felborulásáért, kényelme érdekében, maga az ember tekinthető felelősnek. Ez a kedvezőtlen hatás a XX. Században oly méreteket öltött, hogy a természeti környezetben kialakult egyensúly vissza nem fordítható felborulását eredményezheti. Mindannyiunk érdeke és felelőssége, hogy megakadályozzuk az előre jelzett katasztrófát. Mindez sokkal több környezettudatos gondolkodást és cselekedetet igényel a Föld valamennyi lakosától, de főként a fejlett országokban élőkől. Magyarországon jelentős lemaradás figyelhető meg környezettudatos magatartás tekintetében is. Nemrégiben a híradások beszámoltak arról a hírről, hogy egyesek anyagi érdekből, környezetük védelmét figyelmen kívül hagyva kommunális hulladékot szállítottak és helyeztek el az ország területén a saját közvetlen környezetükben. Nagyvárosaink lakói nyaranta sokszor elviselhetetlen hőtől és szmogtól szenvednek. Sokszor indokolatlanul, csupán kényelmi szempontoktól és presztízsből használják úti céljaik elérése, vagy csak szórakozásból autójukat. Tudjuk a belsőégésű motorokról, hogy alacsony hatásfokkal üzemelnek, így a felhasználható energia kb. hetven százalék a kipufogón ill. a hűtőközegegen keresztül távozik a levegőbe hő formájában. Komfortosabb, kultúrált tömegközlekedésre lenne szükség, sokkal több kerékpár útra és kerékpáros közlekedésre buzdító kampányra főként a nagyvárosokban, de az ország egész területére kiterjedően. Hő és villamos energia előállítás terén a rendelkezésre álló alternatív energia kihasználásunk elenyésző a fosszilis energiák mellett, amikről köztudott, hogy a legnagyobb CO₂ kibocsátó, nem utolsósorban a készlet fogyásának arányában egyre költségesebb. Megemlíthetném még azt a több tonna csomagoló anyagot, papírt, PET palackot polietilén tasakot, amivel naponta terheljük környezetünket, növeljük szeméthegeyeinket. Idei projekt nálunk a családi ház építése. Tervezővel folytatott beszélgetésünk alkalmával többször szóba került, milyen fűtési technikát építsünk ki. Említést tett egy hazánkban még széles körben nem elterjedt fűtési módszerről, ami nem bocsát ki üvegház hatást okozó gázokat. Ennek kapcsán mélyítettem el a rendszerrel kapcsolatban elméleti ismereteimet. E rendszer segítségével a földben rejlő hőenergia hasznosítása válik lehetővé hőszivattyú segítségével. Mivel hozzám közelállónak ítélttem, diplomamunkám témájául is ezt választottam. Dolgozatom célja, hogy bemutassam miként állítható az emberiség energiaigényének kielégítésére a föld különböző rétegeiben lévő hőenergia, részben kiváltva ezzel a globális felmelegedést előidéző fosszilis energia hordozókat.

2 .Az emberiség energiafelhasználásának története

2.1. Kezdetektől az ipari forradalomig

A Föld élővilágát egy rendkívüli hőegyensúly hozta létre, mely a Nap sugárzásából, valamint a Föld belső hőjéből és a Világűr dermesztő hidegének kölcsönhatásából alakult ki. A sugárzás energiahozamát a sugárzás intenzitásával fejezzük ki. A földi légkör 1 négyzetméterére merőlegesen beeső teljesítmény 1370 watt (napállandó). A Földön elérhető minden energia az atomenergia kivételével, közvetlenül vagy közvetve ebből az energiából származik. Az ehhez tartozó globális energiaszintet helyileg befolyásolja a Föld forgás-tengelye, az Óceánok meleget tároló és a sarkok, gleccserek hideget tároló hatása. A viszonylag állandó éghajlat tette lehetővé a magasabb rendű élet kialakulását. Évezredekig az emberiség hőigényét a fa és más növényi anyagok eltüzelésével elégítette ki. Az ezek elégésénél felszabaduló széndioxid a fejlődő

növényzetbe beépült, így az egyensúlyban nem történt változás. Ennek egy részét használják fel a növények a fotoszintézis során. Az így átalakított, szőlőcukor formájában elraktározott energia biztosít energiát számunkra. A fosszilis energiaként megismert kőolaj kőszén, földgáz évmilliók során elraktározott növényi és állati eredetű energia. A Nap nem egyforma mértékben képes felmelegíteni a földfelszín különböző területeit, emiatt nyomás különbségek alakulnak ki, ami vízszintes légmozgást eredményez. Szélkerekek segítségével ez az energia szintén munkavégzésre, később villamos energiatermelés előállítására alkalmazható. A napenergiából származtatható a vízenergia, hisz a Nap által elpárologtatott víz csapadék formájában lehull a magasabban fekvő területeken és onnan lefolyva helyzeti energiája munkavégzésre felhasználható. A 17. század végéig az emberiség gyakorlatilag csak napenergiát használt. Eleinte egyszerűen elfogyasztotta a növények termését és ezzel valójában a Nap energiájából élt. Később, a tűz alkalmazásával, a növények által szőlőcukor, illetve cellulóz formájában raktározott napenergiát alakította hővé. Aztán használni kezdték a szél energiáját (szélmalom, vitorlás hajó) és a vízenergiát (vízimalom). Egészen a szén felhasználás kezdetéig, de még aztán is sokáig az állati és emberi izomerő volt a fő energiaforrás különböző gépek segítségével. Kizárólag "megújuló energiát", használtak többszázezer évig.

2.2. Az ipari forradalomtól napjainkig

Az ipari forradalom mentesítette az emberiség egyre nagyobb részét a nehéz testi munkától és megsokszorozta a civilizáció és kultúra lehetőségeit. Több teret adott a tudás kibontakozására. Megjelentek mindenütt a gőzgépek a mezőgazdaságban a cséplőgépek, a közlekedésben a gőzmozdony és a gőzhajó, az iparban a gőzgéppel hajtott különböző gépek. Az egyre növekvő energiaigényt a kibányászott kőszén, az évmilliók alatt elraktározott napenergia biztosította. Azonban ezek tartalékai nem kimeríthetetlenek, egyre költségesebb a kitermelésük. A növekvő felhasználásuk hátrányokat is hozott. A légkör CO_2 egyensúlya megbomlott, felerősödött az üvegház-hatás. A légkör felmelegedése káros hatásokkal jár. Már most jelentkezik a növekvő légköri energia hőtartalma miatt a szélviharok erősödése, a gleccserek elolvadása, a sarki jégtakarók fogyása, az árvizek gyakoribbá válása. A 19. század elején elterjedt a gázlámpás világítás, szénből előállított "városi gázzal". Edison 1876-ban elkészíti a szénszálas izzólámpát és ez komoly lökést adott az elektromos energia alkalmazásának. Megjelentek a széntüzeléses erőművek.

A technika fejlődése lehetővé tette, a kőolaj és földgáz felszínre jutását ami egy sokkal kényelmesebb energiaforrást biztosított az emberiség számára. A 20. század végén robbanómotorok ugrásszerű elterjedését követően növekedett az igény a kőolaj iránt. A fűtés és a villamosenergia-termelés mellett, legnagyobb mennyiségben ezek használják el a kőolajkészletet. 1942-ben Fermi beindítja az első atomerőművet és ezzel kezdetét veszi a nukleáris energia felhasználása.

Jelenleg a Földön élő több mint 6 milliárd ember egyre több energiát akar felhasználni, ráadásul a népesség erőteljesen növekszik. Mára egyre világosabban látszik, hogy az emberiség környezetszennyező és energia pazarló életvitele hosszú távon a természeti erőforrások kimerüléséhez, az üvegházhatás miatti éghajlatváltozáshoz, ökológiai, gazdasági katasztrófához vezethet, ezért napjainkban az energiaszektor egyre fontosabb részét képezik a megújuló energiaforrások.

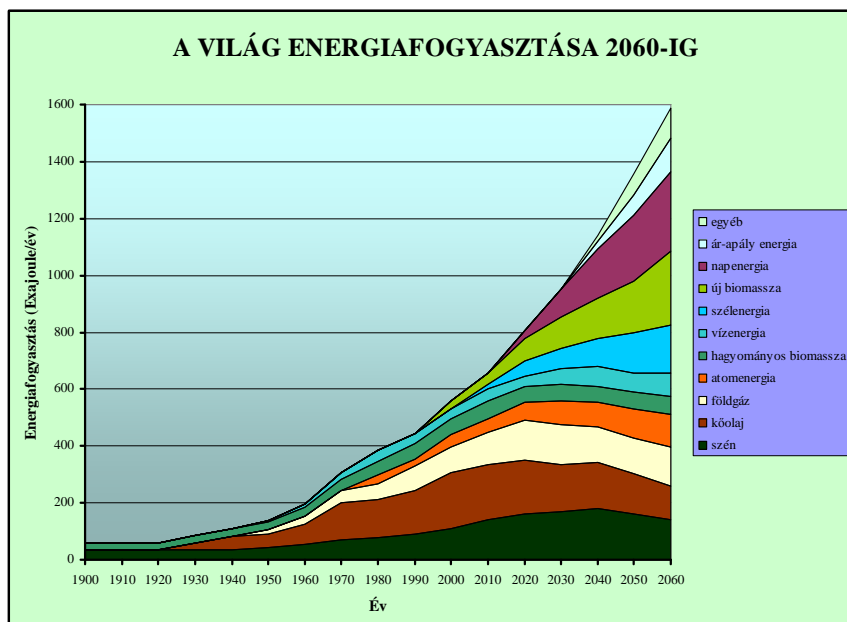
2.3. A jövő energiája

Szükséges a jelenleg kényelmes kőolaj, földgáz alkalmazását kiváltani környezetkímélő energiával, megújuló energiával. Megújuló energiaforrás: olyan energiaforrás, amely természeti folyamatok során folyamatosan rendelkezésre áll, vagy újratermelődik (nap, szél, geotermikus,

vízenergia, biomassza stb.). Ezzel szemben a fosszilis tüzelőanyagok (kőszén, kőolaj, földgáz) nem megújuló energiaforrások, mivel keletkezésükhöz újabb évmilliókra lenne szükség.

A Föld légkörének megóvása érdekében megoldást nyújthat, bár nem megújuló energia az atomenergia jótékony célú hasznosítása erőművekben. Az üzemeltetésükhöz szükséges hasadóanyag szinte végtelen mennyiségben rendelkezésre áll. Ma már rengeteg maghasadáson alapuló erőmű működik az egész világon. Vannak országok, ahol az elektromos energia döntő hányadát atomerőművek állítják elő. Több kontinensen megindult az atomerőművek építése. Kétségtelenül emisszió kibocsátásuk nincs ilyen tekintetben egy tiszta energia forrásnak tekintendő, üzemeltetése fokozott odafigyeléssel jár, a nukleáris katasztrófák elkerülése érdekében és a kiégett fűtőelemek biztonságos tárolása sok esetben problémát jelent. Egyre nagyobb mértékben kell használnunk a rendelkezésre álló megújuló energiaforrásainkat. A vízierőművek tisztán, káros hatások nélkül termelnek elektromos energiát. Vannak nagy reményekkel kecsegtető új megoldások, mint a szélenergia, a napsugárzás közvetlen átalakítása elektromos energiává, a tengerek ár-ápoly energiájának kihasználása. Ezek azonban annyira a kutatás állapotában vannak, olyan költségesek, oly hosszú a beruházás megtérülési ideje, hogy csak gazdag államok jelentékeny állami támogatásával lehet létesítésüket elősegíteni. Már hazánkban is épülnek szélenergia, egyre nagyobb mértékben használjuk a napenergiát, sok mezőgazdasági hulladékot és direkt energianyeresre termesztett növényt égetünk el biomassza hasznosító kazánokban. Magyarországon a megújuló energiák használata körülbelül 3,6 %-ot képvisel a teljes energia felhasználásból (2004-es adat). Az európai közösség kívánalmai szerint ennek mihamarabb el kell érnie a 10 %-ot. (Németországban, a hosszútávú előrejelzések szerint a megújuló energiák felhasználása 2030-ra 32%-ot, míg 2050-re 63%-ot ér el.

3. Föld népességének energiafogyasztása



Jól látható a világ energiafogyasztásának egyre nagyobb ütemű növekedése. Az éves energia felhasználásunk 1960-ra érte el a 200EJ/év-es szintet, majd ezt közel 20 év alatt a duplájára növelte. Napjainkra ez az érték közelíti a 600EJ/év-es szintet. Az ábra szemléletesen mutatja a különböző energiaforrások arányát az adott évben felhasznált összes energián belül is. Látható, hogy napjainkban a kőolaj, a szén és a földgáz az alapvető energiahordozónk. Amennyiben a jövőre kivetített értékeket vizsgáljuk, megállapítható, hogy a fosszilis energiahordozókból előállított és felhasznált energiamennyiség nem haladja majd meg az 500EJ/év-es szintet. Az ezen felül

szükséges energiát az alternatív energiák jelenthetik majd. 2004-ben Magyarország összes energiafelhasználása 1088,1 PJ volt.

A felhasználás megoszlása:

- lakosság 38,4 %
- ipar 34,8 %
- kommunális 18,6 %
- egyéb 8,2 %

Tehát, csak a lakosság közel 420 PJ energiát használt fel a 2004-es évben. Magyarország éves összes energiafelhasználása tehát, mára közel 200 PJ-al nőtt a 90-es évek közepéhez képest, ebből pedig a lakossági növekedés 120PJ-t jelent!

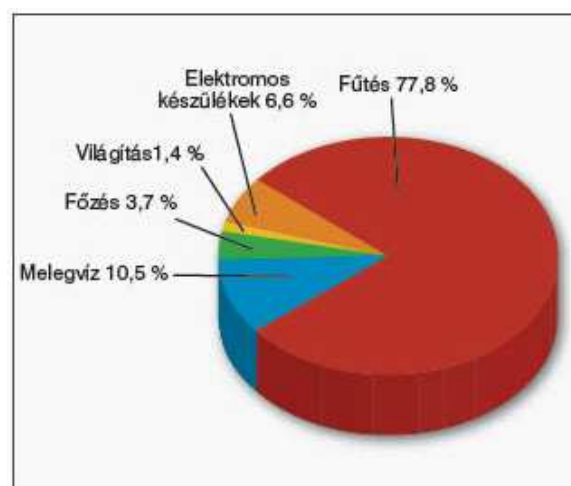
A KSH 1998-as adatai szerint a lakossági energiafelhasználás részesedése a nemzetgazdaságon belüli 37,6%-os (a fűtőérték alapján számítva). Az egyes energiahordozók részesedését a következő táblázat és grafikon szemlélteti.

A fontosabb energiahordozók aránya a lakossági felhasználásban (fűtőérték alapján) [9]

Energiaforrás	Százalékos megoszlás			PJ
	1990	1996	1997	
Szén, brikett, koks, tüzipifa	28,2	12,0	10,8	33,5
Földgáz, városi gáz, PB-gáz	24,6	45,2	44,8	138,5
Gáz- és tüzelőolaj	10,9	6,6	7,8	24,2
Benzin	15,3	14,2	14,7	45,4
Villamos energia	10,2	11,3	11,7	36,2
Egyéb	10,8	10,7	10,2	31,4
Összesen	100,0	100,0	100,0	309,2

Forrás: www.reak.hu

Amint a lenti ábrán látható, a háztartások és ugyanígy a közületek energia fogyasztásának nagyobb részét fűtésre és vízmelegítésre használják, tehát nagy a jelentősége az ehhez használt fosszilis energiahordozók kiváltásának.



2. ábra

Két olyan környezetbarát technikai megoldás van jelenleg, melyek a fosszilis forrásoknál olcsóbban termelnek hőt és megtérülési idejük sem túl hosszú. Ezek a napelemek és a hőszivattyúk. Nagy mennyiségű elektromos energiát nem lehet velük termelni, de a fűtéshez és vízmelegítéshez használt fosszilis energiahordozók kiváltására alkalmasak.

3.1. A geotermális, vagyis a földhő energia hasznosítási lehetőségei a világban

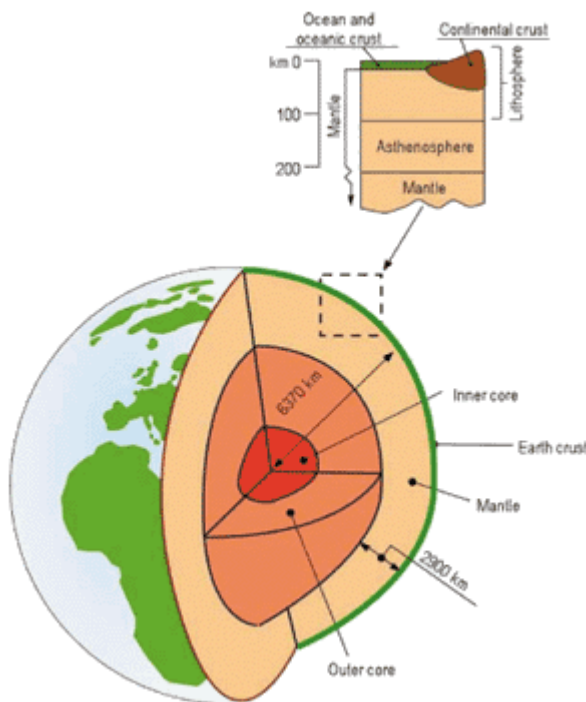
A 2005. áprilisban Törökországban tartott vilákkongresszus új megvilágításba helyezte ennek az energiaforrásnak hasznosítási helyzetét. 83 ország 1500 küldöttje 705 előadásban elemezte minden; geológiai, műszaki és hasznosítási téren a felhasználás adottságait és lehetőségeit. A felmérések ennek az energiának jelenlétét és hasznosítási lehetőségeit 90 országra vonatkozóan írják le, de egyelőre 71 országban hasznosítják. Villamosenergia termelésre pedig még csak 24 országban használják. Már nukleáris erőmű teljesítményének veszik a geotermális villamos kapacitást, ami 10.000 MW. Ezen a téren Mexikó, Olaszország, Indonézia, Japán, Új-Zéland és Izland vezet, de új országok is belépnek a sorba, olyanok is, ahol nincs aktív vulkanizmus. A földhő hasznosításban a legnagyobb áttörést Oroszország mutatta fel, óriási változások indultak el, nem csak a kamcsatkai területen, hanem a szibériai földtani pajzson belül is. 79 MW-os erőművet építettek, geotermiára, de most szervezik a további geotermikus erőműépítéseket. A 250°C száraz-gőzt tároló békés-megyei kútjaink megnyitása révén, remélhetőleg a közeljövőben mi is bekerülünk a geotermális-villamos energia termelő országok sorába. Ilyen jellegű tervek és előkészületek már Somogy megyében is elkezdődtek.

A geotermia ipar évi fejlődése 3,5 %-os, ez a növekvő teljesítmény arányában igen figyelemre méltó. A legnagyobb és leggyorsabb százalékos növekedés a hőszivattyúk terén jelentkezett, elsősorban az USA-ban, Svédországban, Svájcban és Ausztriában. Ma már 32 országban működnek hőszivattyús fűtő- és hűtő rendszerek. Zürichben nagy lakóépületek, szállodák épülnek úgy, hogy az alapozással egy időben tucatnyi sekélyfúrást mélyítenek le, kb. 200 méter mélységig a szondák számára (1 méter fúrási költsége 40 Euró). Egy U-alakú csőben vizet keringtetnek, és az alsó, földtani rétegek magasabb hőjét a hőszivattyúval folyamatosan leveszik, és az így összeadódó hővel (kb. 80°C) fűtenek, melegvizet szolgáltatnak, de lehet hűteni is az áramot pocskoló légkondicionálók helyett. Az USA-ban IDAHO állam kapitóliumi épületét - a berlini parlamentéhez hasonlóan - így oldják meg, a fűtést és a hűtést szolgáltatva. Angliában átadták ebben az évben Southhampton-ban egy nagy szálloda geotermális fűtőrendszerét, csak földhőt használnak fel. Jelenleg a világon 73 milliárd termálkilowatt-óra az évi geotermális energia felhasználás, 27.800 MW beépített kapacitás van 71 országban. Mindenütt összevetik ennek az energiának a környezeti hatását, a hagyományos energia termelő rendszerekkel. (Hawaii szigeti 30 MW-os erőmű rendszerének léghűtését úgy alakították ki, hogy a létesítmény - zöld színével - teljesen beolvad a tájba.) A víz és kertészeti mezőgazdasági kultúrák leggyorsabban az USA-ban Colorádó államban fejlődtek. A villamos geotermális erőművek 3 típusa: a száraz-gőz, az ún. „Flashed-steam” rendszer (182°C feletti víz, a nyomáscsökkenéssel egy része gőzként a turbinába kerül) a másik; szeparálódott részt vízként, plusz a kondenzálódott vizet is visszainjektálódik a rezervoárba, a természetes tározóba. A harmadik megoldás a binary-cyc, ahol a termelő kút hőcserélőn keresztül adja át a turbinának (107-182°-os) hőt, míg a vizet a rezervoárba visszanyomják. Igen érdekesek a geotermális energia felhasználás és foglalkoztatottsági mutatók értékelései. Az USA-ban Új-Mexikó államban vizsgálták ezeket részletesen. 50 hektáros üvegházak termelését vizsgálva, 5,6 millió Dollár termelési költség mellett 20,6 millió termék eladási ár mellett (főleg virág) - elsősorban államon kívüli exporttal - ezek igen gazdaságosnak bizonyultak. Az állam úgy avatkozott be a folyamatba, hogy fedezte a beruházást, és így egy-egy egységnél 50 embernek biztosított munkát, az állam által beinvestált tőke pl. 21,5 millió Dollár volt. Egy Dollár beruházással 2 dollár nyereséget értek el. A hazai beruházók számára az amerikai tapasztalatok a legfigyelemre méltóbbak, mivel ők is 100°C alatti hévizek hasznosításával is dolgoznak. Nyíltszíni felszíni tárolókban a - mi klímánkhoz hasonló, sőt mostohább éghajlati feltételek mellett - állatfarmokat is létesítettek e vizes élőhelyekben (rák, hal, krokodil, stb.). Az új hőszivattyús megoldásokkal a német, svéd, svájci és osztrák

tapasztalatokat kell követnünk, egyszerű és gazdaságos megoldások különösen helyi, gázmotoros villanyerőművel összekapcsolva.

4. A Föld rétegszerkezete

Ha a Földünket megvizsgáljuk, akkor a felületét beborító kemény, egyenetlen réteg, a földkéreg, arányaiban nem vastagabb egy tojás héjánál. Vastagsága 5 km és 65 km között mozog. Nálunk, Magyarországon ez az érték átlagosan 25 km. A földkéreg egyébként a mélytengerek fenekén a legvékonyabb, szárazföldön a legvastagabb.



Mélység (km)	Föld felszíne		
	5 — 6	Óceáni kéreg	Föld kéreg
25 — 65	Kontinentális kéreg		
100	Mantle		Asthenosphere
200			
2900			
6370	Külső mag		
	Belső mag		

4.1. A geotermikus energia forrása

A hő az energia egyik formája. Ennek földbeli eloszlásával és mennyiségének vizsgálatával a geotermika foglalkozik. Föld belsejében a hőenergia eloszlása nem homogén ezért számolnunk kell ezek kiegyenlítésére törekvő hőáramokkal. A hőáramlás bizonyos körülmények mellett (pl. hőkonvekció esetén) egyben anyagáramlást is jelent. Ez a mozgás a felszín jelenségeire és a Föld alakjára is befolyással lehet. A Földmagban kb. 7000 °C hőmérséklet uralkodik. Ez az óriási hőmennyiség két módon keletkezik:

-Feltételezések szerint kb. 4600 millió éve, bolygónk anyagainak kondenzálódása idején a belső részek rendkívül gyorsan felmelegedtek, mivel a sűrűsödő anyagok kinetikus energiája hőenergiává alakult.

-Bolygónk belsejében hosszú bomlási idejű radioaktív izotópok találhatóak, mint a thórium 232, uránium 238, kálium 40. Ezek bomlása során hő szabadul fel, megközelítőleg 5×10^{20} Joule/év. Mivel a radioaktív bomlás mértéke exponenciálisan csökken, a Föld megalakulása után közvetlenül, a bomlásból származó hő ötszöröse lehetett a maénak. A Föld felszínén, illetve a felszín közelében levő kőzetek hőviszonyait két hőhatás együttesen befolyásolja. A földfelszín hőt vesz fel egyrészt a Nap sugárzásából, másrészt a Föld belsejéből hővezetés útján. Mivel a Naptól a felszínre érkező hőáramsűrűség kb. 10000-szerese a földi hőáramnak, ezért a felszíni kőzetek hőmérsékletváltozásait döntően a Nap hatása határozza meg. Ugyanakkor a hőfelvétel mellett a földfelszín hőt ad le egyrészt a légkör felé (részben kisugárzás, részben a víz elpárologtatása révén), másrészt az alsóbb földrétegek felé is, ha ezek hőmérséklete kisebb a felszínénél. Mivel a felszín hőmérséklete hosszú idő átlagában nem mutat egyirányú változást, feltételezhetjük, hogy a hőfelvétel és a hőleadás egymással egyensúlyban van. Az egyensúly természetesen csak hosszú időszakra érvényes, mert közismert, hogy ugyanazon területen napi és éves periódusban a Nap horizont feletti magasságának függvényében hol a hőfelvétel, hol a hőleadás kerül túlsúlyba. A továbbiakban vizsgáljuk meg, hogy a felszínen mérhető napi és évi hőmérsékletingadozás hogyan hatol le a mélyebb rétegekbe. A felszíni hőmérséklet változása a

$$T = T_0 + A \sin \omega t$$

alakú függvénnyel fejezhető ki. Ebben T_0 a közepes hőmérséklet, amely lehet a napi középhőmérséklet, ha a hőfolyamat napi lefolyásáról van szó és lehet az évi középhőmérséklet, ha az évi változást vizsgáljuk.

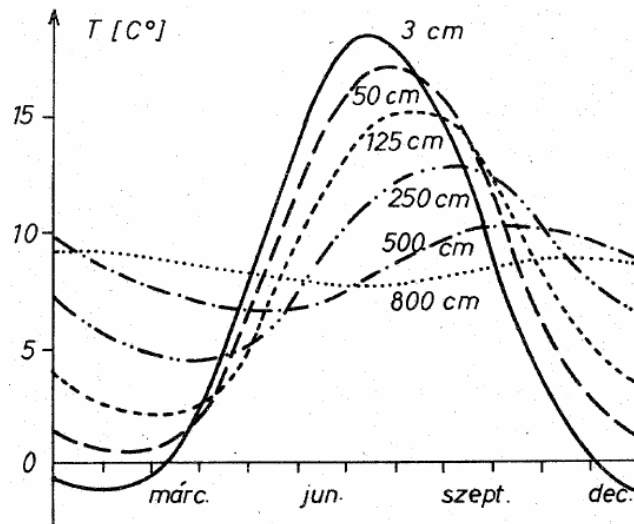
$$\omega = \frac{2\pi}{t_0}$$

ahol t_0 a periódus hossza, ismét a vizsgálat tárgya szerint egy nap vagy egy év; t ennek megfelelően 0^h -tól vagy a január 1.-től eltelt idő. Végül A a napi vagy az évi hőmérsékletváltozás amplitúdója, a sugárzás mennyiségétől függő állandó.

Gyakorlati szempontból fontos kérdés, hogy a felszínre érkező hőmennyiség milyen mélységig és mekkora amplitúdóval hatol le a talajba, valamint a behatolás során megváltozik-e a fázisa és hogyan. A hőváltozás felszín alatti lefolyását többek között azért kell ismernünk, mert ilyen módon kapunk felvilágosítást például arról, hogy a fagy milyen mélyen hatolhat le a talajba, vagy például arról, hogy a hőmérsékletváltozások milyen mélységig terjednek le.

A hőmérséklet z mélységbeli terjedésének vizsgálatakor próbálkozzunk azzal nyilvánvaló feltételezéssel, hogy a hőmérsékletváltozás amplitúdója a mélységgel exponenciálisan csökken, a hőkésés pedig lineárisan növekszik.

Nagyjából azt lehet mondani, hogy üledékes kőzetek esetén (átlagos magyarországi talaj és hőviszonyok mellett) a napi hőmérsékletingadozás kb. 80 cm; az évi ingadozás pedig kb.: 20 m mélységben már nem észlelhető.

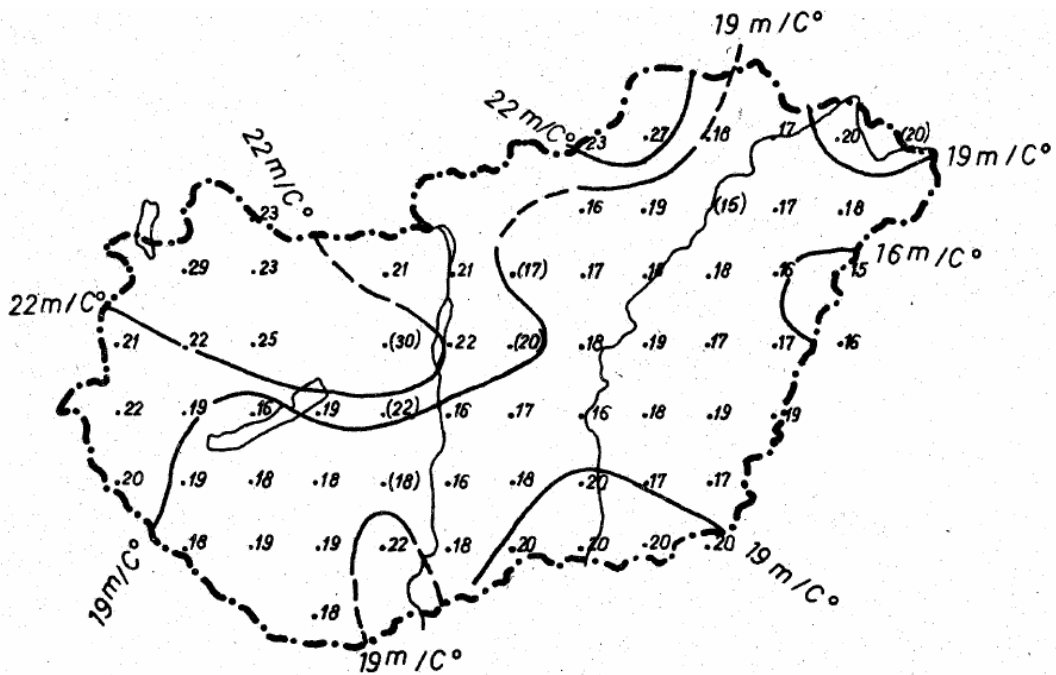


3. ábra A hőmérséklet évi változása a mélységgel

A 3. ábrán látható, hogy 800 cm mélységben a hőmérsékleti maximum decemberben van, tehát már fél évvel késik a felszíni júliusi maximumhoz viszonyítva. A fáziseltolódás következtében nyáron a hőáramlás a talaj felső rétegében kívülről befelé irányul, télen viszont fordítva, alulról felfelé. Azaz a talaj nyáron hőt tárol és azt télen adja le. Az végbemenő hőáramlás nem csekély, az egy év alatt egyik vagy másik irányban átáramló hőmennyiség átlagosan kb. $60 \cdot 10^6 J$ négyzetméterenként. Ezzel szemben az a hőmennyiség, amely a Föld belsejéből ered, évente kb. $2 \cdot 10^6 J$ négyzetméterenként.

4.2. A földkéreg hőmérsékletének meghatározása

A földfelszín hőingadozásai néhányszor 20 m mélységben már nem mutathatók ki, így az ennél nagyobb mélységekben uralkodó hőmérsékletet egyedül a Föld belső hőviszonyai szabják meg. A földkéreg hőmérséklete közvetlenül legfeljebb néhány km mélységig mérhető a mélyfúrásokban. Ezek a mérések a hőmérséklet emelkedését mutatják a mélység növekedésével. Ezt a hőmérsékletnövekedést a geotermikus gradienssel, vagy még inkább a reciprok gradienssel szokás jellemezni. A reciprok gradiens (vagy geotermikus mélységlépcső) átlagos értéke a földkéregben $33 m/^\circ C$; A geotermikus gradiens térbeli eloszlását geotermikus térképeken ábrázolják. Ha egy kisebb terület geotermikus gradiense eltér a tágabb környezet átlagától, geotermikus anomáliáról beszélünk. Az eltérés oka lehet a földkéreg kivékonyodása (pl. Kárpát-medence), közeli vulkáni tevékenység (pl. Izland) vagy vízszintes hévízmozgás. Egyes területeken a reciprok gradiens értéke mindössze $5 m/^\circ C$, de előfordulnak olyan



4. ábra. Átlagos geotermikus mélységlépcsők Magyarországon

vidékek is, ahol $120 \text{ m}/^\circ\text{C}$. Magyarország jelentős területén a 4. ábra tanúsága szerint az átlagosnál jóval kisebb: $16\text{-}20 \text{ m}/^\circ\text{C}$ gradiens-értékek mérhetők. Ez azt jelenti, hogy 1000 m -es mélységben kb. $60\text{-}70 \text{ }^\circ\text{C}$, 3000 m -es mélységben pedig már $160\text{-}190 \text{ }^\circ\text{C}$ hőmérsékletek mérhetők. (Főként ennek köszönhetjük a rendkívül gazdag hévízkészletünket.) A földkéreg felső részeiben tapasztalt átlagos gradiens-értékek esetén 160°C -os hőmérséklet kb. 5000 m -es mélységben adódik; míg a legmélyebb, $8000\text{-}10000 \text{ m}$ -es fúrások mélységében a hőmérséklet $250\text{-}300 \text{ }^\circ\text{C}$ körüli érték. Rendkívül helytelen lenne azonban a geotermikus gradiens értékéből a Föld mélyebb részeinek hőviszonyaira következtetni. Értelmetlen ugyanis néhány km -re érvényes adatokból több száz esetleg több ezer km mélységre extrapolálni. A meghatározott geotermikus gradiens értékek legfeljebb a földkéregre érvényesek.

4.3. Fizikai alapfogalmak

A hőterjedésnek három különböző formáját ismerjük. Ezek a hővezetés, a hőkonvekció és a hőszugárzás. A *hővezetés* során az energia az anyag részecskéi (atomjai vagy molekulái) rezgéseinek csatolásával terjed, miközben a részecskék a rácsszerkezetük által meghatározott helyükön maradnak. *Hőkonvekció* esetén a hőenergiát az áramló folyadék vagy gáz részecskéi viszik magukkal a melegebb helyről a hidegebb felé; végül a *hőszugárzás* során a hőenergia elektromágneses hullámok formájában terjed. A Földbelsejében a mélységtől függően a hőenergia terjedésének mindhárom módja lehetséges. A földkéreg szilárd közeiben a hővezetés útján terjed. A hővezetés elmélete FOURIER vizsgálatai alapján két alapvető összefüggéssel írható le. A tapasztalatok szerint ha valamely ℓ magasságú hasáb alsó és felső lapján T_2 illetve T_1 a hőmérséklet ($T_2 > T_1$), akkor a hasáb A felületén t idő alatt átáramló hőmennyiség:

$$\Phi = \frac{Q}{t} = \lambda \frac{T_2 - T_1}{l} A$$

Ahol λ az anyagi minőségre jellemző hővezetési tényező, vagy (fajlagos) hővezetési képesség. A $\frac{Q}{t} = \Phi$ hányadost az időegység alatt átáramló hőmennyiséget hőáramnak, vagy hőáramerősségnek, $\frac{\Phi}{q}$ -t hőáram-sűrűségnek hívják.

Differenciális alakban, egységnyi q felület esetén:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = \lambda \text{ grad} T$$

Ez a hővezetés első *Fourier-egyenlete*; amely kimondja, hogy az egységnyi felületen és egységnyi idő alatt átáramló hőmennyiség (a hőáramsűrűség) a hőmérséklet gradiensevel és az illető anyag hővezető képességével arányos.

Vektormennyiség, a földkéregben a hőmérséklet változását jellemző adat: az ún. *geotermikus gradiens*, amely megadja az egységnyi mélységnövekedésre eső hőmérsékletnövekedés értékét. Mivel a földkéregben a hőmérséklet vízszintes irányú változása általában elhanyagolható a függőleges irányú változás mellett, ezért a geotermikus gradiens jó közelítéssel:

$$G = \frac{\partial T}{\partial z} \approx \frac{\Delta T}{\Delta z}$$

A gyakorlatban a geotermikus gradiens helyett inkább a G^{-1} ún. *geotermikus mélységlépcső* (reciprok gradiens) értékét használják; amely megadja, hogy a földkéregben a hőmérséklet hány méterenként emelkedik 1°C -kal.

5. Geotermikus energiafelhasználás története

A "geotermikus" kifejezés görög eredetű, jelentése: földi hő. A geotermikus források felfedezése egészen a római időkig nyúlik vissza. Legelőször a termálvizet alkalmazták, elsősorban gyógyászati, háztartási és pihenési célokra. Egykoron a Britt római fürdővárosok a hévízforrásokat csőhálózat segítségével közvetlenül hasznosították. A rómaiak a hévizet a szem és bőrbetegségek kezelésére, míg Pompeiben az épületek fűtésére használták. Új-Zélandon az első polinéziai betelepülők akik az európai hatástól zavartalanul éltek ezer éven keresztül a 18. századig, a geotermikus hőforrások gőzét a főzésben, a termálvizet pedig a fürdésben, mosásban és a gyógyításban hasznosították. A hévizek fűtésben és gyógyászatban való alkalmazása a modern világban ismét aktuálissá vált.

A 19. században a technika fejlődésével lehetővé vált a felszín alatt rejlő termikus erőforrások felfedezése és feltárása. Toscanában a természetes geotermikus energiát a bór és az ammónium vegyületek feldolgozására használták. Itt a geotermikus folyadékok voltak a legfontosabb bór források, míg a hőenergia mellékes volt. Az elektromos energia termelése 1904-ben indult meg Piero Ginori Conti herceg munkássága által és 1913-ban a larderelloi erőműben 250 kW energiát állítottak elő. A larderelloi erőmű komplex jelenlegi teljesítménye meghaladja a 400 MW-ot és ezt egy fejlesztési program segítségével 880 MW-ra szeretnék növelni. Fanciaországban 1960 óta több, mint 200.000 lakás fűtését oldják meg termálvíz segítségével. Olaszország és Izland a vulkánikusan legaktívabb két európai ország, a Közép-Atlantikum vulkáni hátságán fekszenek ennek ellenére a legfőbb, geotermikus energiát hasznosító nemzetek a Csendes-óceáni lemezszegély mentén csoportosulnak. Japán, a Fülöp-szigetek és Mexikó a jelenlegi technológia fejlesztésén dolgoznak. Időközben tervek készültek a geotermikus hő közvetlen felhasználásának lehetőségére, a távfűtésben és a mezőgazdaságban. E téren Japán, Kína, a volt Szovjetunió utód

államai, Magyarország valamint Izland a fontosabb termelők. A hő, hőáramlás útján halad a felszín felé. A felszín közelében, úgy 100 km mélyen a föld anyagai hűvösebbek és túl kemények ahhoz, hogy létrejöjjön a hőáramlás, így a hő hővezetés által halad tovább. A világon számos olyan hely található, ahol a vékony kőzetrétegen át kellő mennyiségű hő áramlik fel 150-200 °C-os gőz formájában, hogy elektromos áram termelésére tudják hasznosítani. Ezek az ún. magas entalpiájú források. 1990-ben a világ geotermikus forrásokból történt elektromos áram termelése majdnem egészen 6 GigaWatt volt és újabb 4 GW-t pedig közvetlen felhasználás útján hasznosították a fűtésben, mezőgazdaságban, iparban. A mélyfizikai mérések szerint az Alföldön a földkéreg vastagsága csupán 22-28 km, és hazánk egyéb területein sem haladja meg sokkal a 30 km-t. Ennek következtében csupán a geotermikus gradiens 50° C/km, illetve ennek a gyakorlatban használt reciproka 18-26 m/°C, míg a világtálag 33 m/°C. a Pannon medence területén a hőáram értékek is magasabbak (90-100 mW/m²), mint az európai átlag (62 mW/m²).

6. Fizikája

A geotermikus energiaforrásoknak három fontos jellemzője van:

Az aquiferek / víztározó rétegek:

A természetes aquiferek általában porózus kőzetek, amelyek vizet tárolnak, illetve rajtuk a víz átjuthat. A kőzetekben tárolt víz fúrással könnyen feltárható. Ezen kőzetek fontos tulajdonsága a porozitás. Nagyon fontos, hogy a geotermikus folyadék tárolására alkalmas legyen az aquifer, ez pedig csak a nagy porozitású kőzetekben lehetséges. Adott kőzet permeabilitását hidraulikus konduktivitással lehet jellemezni (szivárgási tényező): k_w [m/s]. Darcy törvénye kimondja, hogy a porózus közegen áthaladó folyadék sebessége (v) arányos az áramlást okozó hidraulikus gradienssel. Hidraulikus gradiens (egységnyi hossza jutó potenciálkülönbség)

$$v = k_w \cdot \frac{\Delta h}{l}$$

L távolságban lévő víz, méterben. Azt hogy 1 s alatt hány m³ víz folyik át az áramerősség (I) adja meg.

$$I = v \cdot A$$

Így Darcy törvénye

$$I = k_w \cdot \frac{\Delta h}{l} \cdot A$$

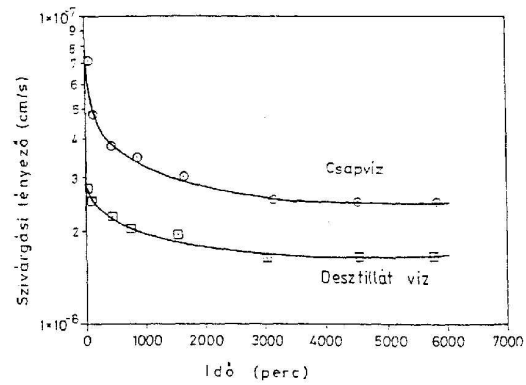
Ebből K_w interpretálható úgy, mint egységes idő alatt, egységes hidraulikus gradienssel jellemezhető, egy m²-en átfolyó térfogat.

A Darcy törvényben szereplő k tényezőt szivárgási tényezőnek nevezik. Meghatározása laboratóriumi méréssel, helyszíni vizsgálattal (próbaszivattyúzás, feltöltéses vizsgálatok) esetleg tapasztalati összefüggések felhasználásával történhet.

Laza kőzetekre Halek és Svec (1979) az alábbi szivárgási tényező értékeket adja meg:

Képződmény	Szivárgási tényező [m/s]
agyag	0,00000001 vagy kevesebb
homokos agyag	0,000001 vagy kevesebb
konzolidált agyagos homok	0,000001-0,000005
homok agyaggal	0,000001-0,000002
finom homok	0,00001-0,00005
durva homok	0,0001-0,0005
kavicsos homok	0,0002-0,01

A szivárgási tényező változásának kérdésére napjainkban figyeltek fel elsősorban a rossz vízvezető illetve vízzáró képződmények vizsgálatánál, minthogy a változás éppen ebben a sebességtartományban a legmarkánsabb. Dunn és Mitchell (1974) a szivárgási tényező változását vizsgálta az idő és a koncentráció függvényében desztillált vízzel és csapvízzel végzett kísérletek összehasonlításával.



Kísérletek bizonyítják, hogy a kőzetek agyagásvány tartalma, az áramló folyadék pH értéke, dielektromos állandója mind befolyásolja a k tényező értékét. Módosíthatja a szivárgási tényező értékét a kísérlet elvégzésének módja is: az alkalmazott hidraulikus gradiens, sőt a mérőeszköz típusa (ödométer, rugalmas falú permeabiméter stb.) is. Jó vízvezető képződmények esetén is bizonytalan a szivárgási tényező meghatározása, a tapasztalatok szerint a különféle módszerekkel meghatározott, vagy tapasztalati összefüggésekkel számított értékek eltérése akár nagyságrendnyi is lehet. A fentiek alapján megállapítható, hogy szinte minden képződmény szivárgási tényezőjének meghatározása bizonytalan, számos ható tényezőt figyelmen kívül hagy. Ez a bizonytalanság alapvetően befolyásolhatja a szennyeződésterjedési vagy szivárgáshidraulikai modell pontosságát.

6.1. A hidraulikus nyomás, a nyomómagasság és a potenciál

A víz mozgása a felszín alatt potenciálos szivárgás. A potenciált Hubbert úgy definiálta, mint egy olyan fizikai mennyiséget, amely egy áramlási közeg bármely pontjában meghatározható és amely nagyságával meghatározza térbeli irányultságtól függetlenül a szivárgás irányát oly módon, hogy a szivárgás mindig a nagyobb potenciálú hely felől a kisebb potenciálú hely felé történik. Valójában a potenciál abszolút nagysága önmagában nem mérhető, ugyanakkor annak változása igen. Tehát a potenciált mindig egy viszonyítási helyhez képest vizsgáljuk. A folyadék áramlása porózus közegben egy mechanikai folyamat. A folyadék mozgását előidéző erőknek le kell győzniük azt a súrlódási erőt, amely a mozgó folyadék és a közeg szemcséi között lépnek fel. A szivárgás folyamán a súrlódás következtében a mechanikai energia irreverzibilis hővé alakulása is fellép.

A szivárgás ezért nem lehetséges olyan irányba, ahol a folyadék tömegegységére eső mechanikai energiája az adott helynél magasabb, vagyis szükségszerűen olyan irányba történik, ahol a folyadék tömegegységére eső mechanikai energiája a vizsgált helynél alacsonyabb. A folyadék tömegegységére eső mechanikai energiáját a szivárgási tér bármely pontjára meghatározhatjuk úgy, hogy meghatározzuk azt a munkát, amit akkor kell végezni, amikor egy tetszőleges választott zérus helyről egy tömegegységnyi folyadékot a kérdéses pontra jutattunk el. Mint azt a korábbi definíció sugallja: a folyadék szivárgási potenciálját a porózus közegben a folyadék tömegegységére vonatkoztatott mechanikai energiájaként értelmezzük. Mivel ez abszolút értelemben nem meghatározható, helyesebb úgy fogalmazni, hogy a potenciál megváltozása az a munka, amit be kell fektetni vagy nyernünk, miközben a vizsgált folyadék az áramlási térben az egyik pontból egy másik pontba jut.

A potenciál fogalmának megértéséhez végezzünk el egy gondolkísérletet: tételezzünk fel egy olyan helyet az áramlási térben, ahol a z magasság zérus, a p nyomás a légköri nyomásnak felel meg, azaz $p = p_0$. A ρ_0 sűrűségű folyadék egy tömegegységnyi mennyisége $V_0 = 1/\rho_0$ térfogatot foglal el. Számítani kívánjuk azt W a munkát amely ahhoz szükséges, hogy a tömegegységnyi folyadékot egy olyan másik P helyre juttassuk el, amelynek magassága z és nyomása p. Ezen a

helyen a folyadék sűrűsége ρ , ezért a tömegegységnyi folyadék $V=1/\rho$ térfogatot foglal el. Továbbá tételezzük fel, hogy a folyadék sebessége kezdetben $v=0$, és a P helyen v . Az a W munka, amit el kell végezni az három komponensből tevődik össze. Egyrészt szükséges a tömeget a $z=0$ magasságról z magasságra emelni (w_1), másrészt a tömeget $v=0$ sebességről v sebességre kell gyorsítani (w_2), harmadrészt munkát kell végezni ahhoz, hogy a p_0 nyomású folyadékot p nyomásúvá alakítsuk (w_3), amit matematikai formában a következőképpen írhatunk fel:

$$W = w_1 + w_2 + w_3 = mgz + \frac{mv^2}{2} + m \int_{p_0}^p \frac{V}{m} dp = mgz + \frac{mv^2}{2} + m \int_{p_0}^p \frac{dp}{\rho}$$

Mivel a potenciál a tömegegységre vetített munka, ezért

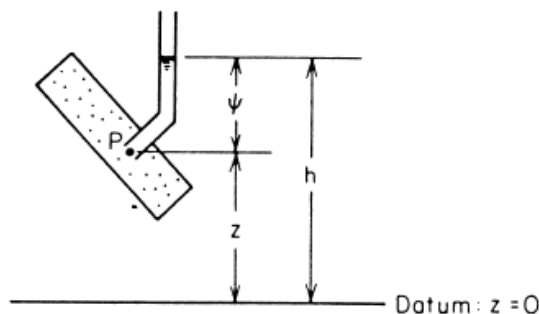
$$\phi = gz + \frac{v^2}{2} + \int_{p_0}^p \frac{V}{m} dp = gz + \frac{v^2}{2} + \int_{p_0}^p \frac{dp}{\rho}$$

Mivel a porózus közegbeli szivárgás sebessége mindig nagyon kicsi, ezért a második tag, a folyadék-gyorsításból eredő munka szinte mindig elhanyagolható. Összenyomhatatlan folyadékok esetében a sűrűség állandó, azaz a p nyomásának nem függvénye, ezért

$$\phi = gz + \frac{p - p_0}{\rho}$$

A potenciál és a hidraulikus nyomásszint kapcsolatának megértéséhez értelmezzük a ψ nyomómagasságot, z magasságot egy zérus dátumvonalhoz viszonyítva és a h hidraulikus nyomást a lenti ábra szerint. A P helyen a folyadék p nyomását a következő összefüggés szerint számíthatjuk:

$$p = \rho g \psi + p_0 = \rho g(h - z) + p_0$$



Számítva a potenciált a kapott összefüggéssel

$$\phi = gz + \frac{\rho g(h - z) + p_0 - p_0}{\rho} = gh$$

azaz a potenciál a hidraulikus nyomás és a nehézségi gyorsulás szorzata. Tekintettel arra, hogy a g gravitációs gyorsulás a vizsgált közegben általában állandónak tekinthető, ezért a hidraulikus nyomás gyakorlatilag a potenciál helyett használhatjuk. A hidrogeológiában a nyomásokat gyakran nyomásmérővel mérjük, amely a légköri nyomást meghaladó nyomásértéket mutatja, ekkor a p_0 nyomást zérusnak tekinthetjük, azaz alapján

$$\phi = gz + \frac{p}{\rho} = gh$$

amiből

$$h = z + \frac{p}{g\rho}$$

Mivel ha $p_0=0$ akkor $p = \rho g \psi$, ekkor ezt a fenti egyenletbe helyettesítve $h = z + \psi$. Ez azt jelenti, hogy a hidraulikus nyomásszint a z magasság és a nyomómagasság összege. Ennek a levezetésnek a telítetlen közegbeli vízmozgásnál van jelentősége.

6.2. A zárókőzet

A zárókőzet akadályozza meg, hogy a geotermikus folyadék az aquiferből elszökjön. A vulkanikus kőzetek, a mészkő és homokkő jó víztározó kőzetek, nagy permeabilitással rendelkeznek. A záróréteg fontosságát Olaszországban fedezték fel az 1980-as évek elején, amikor geotermikus források után kutattak a Vezúv környékén. Itt azonban csak kevés és kis nyomású geotermikus folyadékot találtak a sok vulkáni hamu miatt - hiszen teljesen permeábilis - ami a környéket borította.

A víztározó kőzet fölött a forró gőz vagy víz, agyag, esetleg só réteget hoz létre a pórusok helyén, kialakítva a vízzáró réteget. Vagyis a Föld mélyén rejlő termálvizek saját maguk hozzák létre vízzáró rétegeket. Így érthető, hogy a fiatal vulkanikus területek kevés geotermikus folyadékot tárolnak.

6.3. Hőforrás

A magas entalpiájú területeken bőven van vulkanikus hő, azonban az alacsony entalpiájú régiókban a hőforrások két típusát különböztetjük meg:

- Az üledékes medencékben a víztározó rétegek vizet szállítanak a mélybe, ami ott felmelegszik és hasznosíthatóvá válik.
- Léteznek forró, száraz kőzetek, ahol a természetes hőtermelés nagy ugyan, de ezekhez mesterségesen kell aquifert építeni, hogy az energiát hasznosítani tudjuk.

6.3.1. Vulkanál kapcsolatos hőforrások

A hő a kristályosodó magma tömegeből származik. Bizonyos esetekben a vulkánban fölfelé haladó magma nem tör ki, hanem egy bizonyos nagyságú felhajtó erő hatására sűrűsége olyan lesz, mint a magmát körülvevő kőzeteké. Az USA-ban kísérleteket végeztek, amelyek során a mélyen lévő magma közelébe fúrtak le, ahol a hőmérséklet elérheti az 1800°C-ot, és ezen a furaton át vizet cirkuláltatnak a geotermikus energia hasznosítására. A magma és a talajvíz között ritkán jön létre közvetlen interakció. A hő a közöttük lévő nagy geotermikus gradiensű kőzeten át közvetítődik. A világ legfejlettebb geotermikus régiói kialakult vulkáni területen találhatóak (Észak-Olaszország, Nyugat-USA). Ezek a területek különösen alkalmasak a hasznosításra, hiszen a felszíni kőzetek jó hőszigetelők és a felszín alatt rejlő magmatikus intrúziók csak igen lassan, úgy tíz millió év alatt fognak kihűlni. A magas entalpiájú területek feloszthatók gőz- és folyadék domináltakra, a rezervoár fő nyomásszabályozó fázisától függően. Azokat a rezervoárokat éri meg leginkább hasznosítani, amelyek gőzt tárolnak, hiszen a folyékony víztől mentes száraz gőz igen produktív. A gőzképződést elősegíti, ha a víztározó kőzetei hidrosztatikai nyomás alatt állnak (2 km mélyen a nyomás elérheti a 3-3,5 MPa-t) és ha beszívárgott talajvíz határolja. Larderello és a Gejzír mező ebbe a típusba sorolható. A folyadék dominált területek esetében a hidrosztatikus nyomás 1km-nél mélyebben már meghaladja a 10 MPa-t. Az elektromos áram folyadék dominált helyekről történő termelésének előnye, hogy a folyadék nagy hidrosztatikus nyomású, és az alacsonyabb nyomású felszín felé haladva a víz rögtön gőzzé alakul, amint eléri forráspontját. A híres Wairakei mező Új-Zélandon folyadék-dominált terület, de két fázisú folyadék-gőz területek is előfordulnak, mivel a hasznosítás során lecsökkent a nyomás és a gőz

egy része folyadékká alakult. Szerencsére a talajvíz zóna kis permeabilitású, így meggátolja a gőz kipárolgását.

6.4. Hőforrás üledékes medencékben

A geotermikus források megismerését nagyban segíti a már ismertetett hővezetési egyenlet. Ha a test valamely A keresztmetszetén t idő alatt Q hőmennyiség halad át, akkor a hőáram:

$$\Phi = \frac{Q}{t}$$

A hőáram egyenesen arányos a hővezető test végei között mért hőmérsékletkülönbséggel ($\Delta T = T_1 - T_2$), a test keresztmetszetével (A) és fordítva arányos a hosszúsággal.

$$\Phi = \lambda \frac{A \Delta T}{l}$$

osztva A -val

$$\frac{\Phi}{A} = \lambda \frac{\Delta T}{l}$$

ami Darcy törvényével analóg, de itt a Φ/A az egy dimenziós vertikális (függőleges) hőáramlás W/m^2 -ben megadva. ΔT a hőmérsékletkülönbség egy függőleges l távolságon és így $\Delta T/l$ a geotermikus gradiens. λ a kőzet anyagi minőségétől függő, ún. hővezetési tényező, (termális konduktivitás) $\frac{W}{m^{\circ}C}$ -ben megadva. λ számértéke megadja a kérdéses anyagból kihalasztott 1 m élhosszúságú kocka két szemközti lapja között 1 s alatt átvezetett hőmennyiség nagyságát, ha a két lap között $1^{\circ}C$ a hőmérsékletkülönbség, vagy másképpen λ egyenlő a másodpercenként $1m^2$ -en átáramló hő mennyiségével, ha a geotermikus gradiens $1^{\circ}C/m$, az áramlás iránya mentén. Így, ha az átlagos hő áramlás $60 mW/m^2$, el lehet érni a $50^{\circ}C$ -os hőmérsékletet 2 km mélyséig a földkéregben.

A legtöbb kőzet termális konduktivitása közel azonos $2,5-3,5 \frac{W}{m^{\circ}C}$ tartományban található, mint a homokkőnek, mészkőnek és a legtöbb kristályos kőzetnek általában. Az agyag és agyag palák kivételével az $1-2 \frac{W}{m^{\circ}C}$ értékkel és ezek a legimpermeábilisabb kőzetek is egyben. Így az agyag hozzájárul a geotermikus források két fontos tulajdonságához, egyrészt impermeábilis réteggé válnak, másrészt növelik a geotermikus gradiens-t a víztározó rétegek fölött.

6.5. Az üledékes medencék hasznosításának előnyei:

1. A geotermikus energia nem elektromos áram termelésre történő hasznosítására is alkalmas, ahol a háttér hőszigetelés nagyobb az átlagosnál. A vastag üledékréteg alatt elhelyezkedő kőzetréteget alulról az olvadt kőzetanyag cirkulációi vékonyítják. A Magyar Dél-alföld alatt a geotermikus gradiens több, mint $0,15^{\circ}C/m$ és 1 km mélyen már $120^{\circ}C$ -os termálvizet lehet találni.

2. Más területeken vastagabb üledékes réteget találhatunk. A mexikói Golf-öbölnél, Dél - Texasban és Luisianában 3-5 km mélyen $160-200^{\circ}C$ -os hévizet találhatunk. Mivel itt a víztározó rétegek mélyen találhatók és fölöttük vastag impermeábilis kőzet található, az itt uralkodó nyomás helyenként meghaladja a $100 MPa$ -t. A tárolt víz magas sótartalmú és metán gáz nyomásos. Ezek a "nagy hidrosztatikai nyomású sós vizek" különösen fontosak az energia termelésben hiszen háromféle energiát szolgáltatnak: geotermikus hőt hidraulikus energiát a nagy nyomás miatt nagy mennyiségű metánt, ami a vízben oldott állapotban található.

6.6. Forró száraz kőzetek

A forró száraz kőzet elnevezés a víztározó rétegek felett elhelyezkedő impermeábilis, vagy csak igen kis mértékben permeábilis kőzetrétegekben tárolt hőre utal. Ezen energia források hasznosítása a tárolt hő kinyerésére irányul.

Fontos hogy legyen egy mesterséges furat a megfelelően magas hőmérsékletű kőzetben, hogy rajta vizet tudjanak cirkuláltatni. A levezetett víz gőzzé alakul ami a felszínre áramoltatva elektromos áram termelésére hasznosítható. Ez a technológia azonban még csak elméletben létezik. Legalább 6 km mélyre kellene fúrni a földkéregben, ami egy igen költséges eljárás. A jelenlegi technológiával és gazdasági korlátozások között minimum 0,025°C/m-es geotermikus gradiens, $3 \frac{W}{m^{\circ}C}$ -os termikus konduktivitás és 75 mW/m²-es hőáramlás szükséges a gazdaságos hasznosításhoz.

Az Angliában, Franciaországban, Japánban és az USA-ban végzett kísérletek alapján a gránittömbök bizonyultak a legalkalmasabbnak az ilyen célú hasznosításra. Ezek a kőzetek nagy területeket foglalnak el a földkéregben, magmából kristályosodnak és természetesen nagy koncentrációban tartalmaznak kémiai elemeket, hosszú bomlási idejű radioaktív izotópokat uránt, thóriumot, káliumot. Jelentős kutatások folynak még a franciaországi Alsace vidéken Soultzban, a német Rajna-vidéken Urachban, az új-mexikói Fenton Hillben a Los Alamos National Laboratory (LANL) által. E három területen a geotermikus gradiens 0,05-0,07°C/m között van. Fenton Hill és Soultz területén a kristályos kőzet felett vastag üledékes réteg található. A geotermikus gradiens az üledékes rétegben 0,08-0,1 °C/m míg a kristályos kőzetben mindössze 0,028-0,05°C/m. Fenton Hill közvetlenül a Valles vulkáni kaldera külső oldalán található és a világ egyik legjobban fejlesztett geotermikus rendszere működik itt. Az itt folytatott kutatások eredményeiből tudjuk, hogy az ilyen aktív vulkanikus területen a geotermikus erőforrások 95%-a a forró száraz kőzetekből fakad, nem pedig a forró vízből.

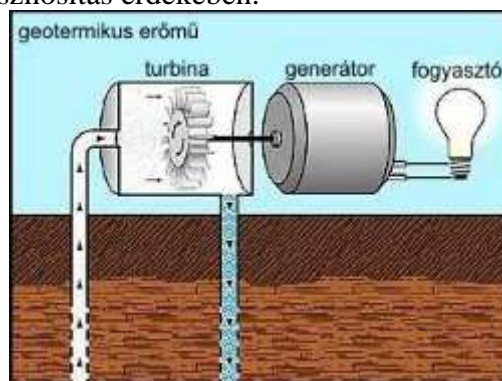
7. Felhasználási lehetőségek

7.1. Száraz gőz erőmű

Ez a típusú rendszer a gőz-dominált területek esetén alkalmazható, amikor a gőz hasznosítást semmilyen folyadék nem zavarja. A túlhevített 180-200°C-os, 0,8-0,9 MPa nyomású gőz néhány száz km/h-ás sebességgel érheti el a felszín.

300-350°C-os hőmérsékleten és megfelelően nagy nyomáson jobb hatékonyságú áram termelés érhető el. A turbinán áthaladó gőz kitágul és meghajtja a turbina lapátjait ami a tengelyt forgatja meg és így elektromos áramot termel.

A legtöbb helyen bevált gyakorlat a hasznosított víz reinjektálása, azonban az amerikai Gejzír mezőn ezt nem csinálták meg, bár a csökkenő folyadéknyomásból arra lehet következtetni, hogy a terület kezd túlzottan kiaknázottá válni, így itt is tervbe vették egy reinjektáló rendszer telepítését, a fenntartható hasznosítás érdekében.



Az erőmű működésének egyszerű vázlatja

7.2. Egyszerű gőz kiáramlásos erőmű

Az aknában fölfelé lövelt víz vagy nagy nyomású forró víz illetve nedves gőz formájában érheti el a felszínt. Első elemként egy szeparátor van beiktatva, hogy a turbinát nagy mennyiségű víz beömlésétől megvédje. A termálvízben számos ásványi só van oldva, amelyek az aknában való haladás során ott lerakódhatnak és elzárhatják azt, ezért az aknát rendszerint nyomás alatt tartják.

7.3. Kettős ciklusú erőmű

Az erőművek ezen fajtája egy a víznél alacsonyabb forráspontú másodlagos folyadékot (mint a pentán vagy bután) hőcserélőn keresztül gőzzé alakít, ami meghajtja a turbinát. Legnagyobb előnye, hogy az alacsonyabb hőmérsékletű források is hasznosíthatóvá válnak. Ezen felül a kémiaiilag nem tiszta geotermikus folyadékok is hozzáférhetővé lesznek, főleg, ha nyomás alatt tartják.

A geotermikus sós vizet a reservoár nyomásával szivattyúzzák át egy hőcserélőn, ahol ideális esetben a termikus energia túlhevíti a másodlagos folyadékot, majd reinjektálják. Noha így magasabb teljesítmény érhető el, mint az alacsony hőmérsékletű gőz kiáramlású erőművekben, jelenleg hatvan ilyen berendezés üzemel, mivel rendkívül költséges a beruházásuk. A geotermikus folyadék nyomás alatt tartása és a másodlagos folyadék visszanyomása, a rendszer teljes teljesítményének 30%-át emészt fel, mivel ehhez nagyteljesítményű szivattyúk szükségesek. Ezek az erőművek nagy mennyiségű folyadékot igényelnek, pl. Kaliforniában a Mammoth Geotermikus erőmű 700 kg/s-ot igényel, 30 MW termeléséhez.

7.4. Kettős gőz kiáramlású erőmű

Jelenleg különböző kísérletek folynak a gőz kiáramlású technológia fejlesztésére, különösen azért, hogy kiküszöböljék a kettős ciklusú erőmű magas beruházási költségeit. Ez a fajta rendszer jól alkalmazható azokon a helyeken, ahol a geotermikus folyadék kis mennyiségű szennyező anyagot tartalmaz, így a vízkő leválás és a nem kondenzálható gázok - amelyek a hasznosíthatóságot befolyásolják az itt alkalmazott módszer segítségével a minimumra szoríthatók.

A kezdeti nagynyomású befecskendezés után visszamaradt folyadék egy alacsonyabb nyomású tartályba áramlik, ahol egy újabb nyomás csökkentés hatására addicionális gőzzé alakul. Az így keletkezett gőz keveredik a nagy nyomású turbinát elhagyó gőzzel és a kettő együtt egy újabb turbinát is képes meghajtani. Ezzel a módszerrel ideális esetben 20-25%-kal növelhető a teljesítmény és mindössze 5%-kal növeli az erőmű üzemi költségeit. Így azonban rendkívül nagy mennyiségű folyadék szükséges a rendszer működtetéséhez. Például az 1988-ban megnyitott East-Mesa erőmű Dél-Kaliforniában 1000 kg/s sósvizet hasznosít 16 aknából és 37 MW villamos energiát termel. Ez tízszer nagyobb folyadék mennyiség, mint a száraz gőz erőmű esetében.

7.5. Környezetet érintő hatása

A geotermikus folyadékok a víz és a kőzet kölcsönhatásától függően gyakran tartalmazhatnak szennyező gázokat, mint a szén-dioxid, kén-hidrogén, kén-dioxid, metán, nitrogén, hidrogén ezen kívül Na- és K- kloridokat illetve karbonátokat, nehézfémeket és szilícium-dioxidot. A felhasznált vizet a folyamat végén reinjektálják abba a mélységbe, ahonnan kitermelték. A vízből felszabaduló kén-hidrogén a légkörbe távozik. Érdekes, hogy a Gejzír mező erőmű megépítése előtt, míg a hőforrásokból és gejzírekből szabadon távozott a H₂S, légköri szintje sokkal magasabb volt, mint ma. Ezt főleg a gáz extrakcióval (eltávolítással), vagy kémiai átalakítással érték el beleértve a nem kívánt nagy mennyiségű kén vegyületek keletkezését. A hagyományos energiatermelő rendszerekkel szemben ezeknek a rendszereknek sokkal kisebb a szennyező anyag kibocsátása. Egy geotermikus erőmű a legtisztább fosszilis energiahordozót hasznosító

erőművel összehasonlítva 0,2%-kal kevesebb CO₂-t bocsát ki. A savas esőt okozó SO₂-re nézve 1%-kal kevesebb.

7.6 Sűrített levegő tározó - Compressed Air Energy Storage (CAES)

A berendezések a villamos hálózatok "fölsleges", csúcsidőn kívüli energiáját tárolják, és annak a veszteséggel csökkentett részét (kb. 20%) a csúcsidőben a hálózatra visszatermelik. A rendszer az elektromos hálózat többletkapacitását a föld alá sajtolt levegővé konvertálja át. A művelethez szükséges egy olyan mészkőbarlang, ami elég mélyen van és nincs külső bejárata. A barlang a külvilágtól teljesen szeparált kell, hogy legyen, a lesajtolt levegőnek nem szabad belőle elszivárognia. A rendszer a tárolási időszakban egy kompresszorral a levegőt lesajtolja a föld alá, csúcs időszakban pedig egy generátorral összekapcsolt turbinára vezetve a termelt áramot visszatáplálják a hálózatba. A visszatérő levegőt a dekompresszió miatt a hőcserélőn keresztül melegíteni kell. A barlangban a tárolási nyomás általában 75 bar, a CAES rendszerek jellemzően 50 - 300 MW teljesítményűek. A berendezés tárolás módban kb. 9 perc alatt tehető üzemképessé, a visszatermelési módban ez az idő kb. 20-30 perc. Jelenleg 2 ilyen létesítmény üzemel, A német CAES Huntorf-ban található, 290 MW teljesítményű, az amerikai McIntosh-ban, Alabamában, és 110 MW a teljesítményű. A legnagyobb, tervasztalon lévő berendezés a Norton Energy Storage LLC in America. Ez egy 700 méter mélységben található, 10,000,000 m³ tárolókapacitású barlangba tárolná 100 bar nyomáson a levegőt. Az első fázis teljesítménye 200 és 480 MW közé esne. Négy további tervezett berendezéssel az USA CAES kapacitása elérné a 2.500 MW teljesítményt.

7.7. Közvetlen felhasználásra alkalmas források

Vannak országok, ahol nem áll rendelkezésre elérhető mélységben a gőztermeléshez szükséges hőmérséklet. Japánban, Új-Zélandon, Izlandon és Olaszországban a nedves gőz vagy meleg víz egy bizonyos hőmérséklet tartományban alkalmas háztartási, szabadidei és ipari felhasználásra. Ezek a helyek az üledékes medencékben alacsonyabb hőmérsékletű és nyomású energia források találhatóak, mint a forró gőz mezőkön és általában szivattyúkat kell alkalmazni a folyadék felszínre juttatásához. Gyakran a forró víz túl sós és korrózív ahhoz, hogy közvetlenül fel lehessen használni, ezért korrózió mentes hőcserélőket alkalmaznak. Ezután a nyert hőt hatalmas üvegház komplexekben hasznosítják lég vagy talajfűtés által. Háztartási alkalmazás esetén hagyományos radiátoros vagy padlófűtésre alkalmas. Párizsban a többemeletes épületek fűtésére a helyi forrásokat hasznosítják. A párizsi-medencében az elmúlt 30 évben nem kevesebb, mint 55 fűtési tervezetet fejlesztettek ki, az alacsony entalpiájú források hasznosítására és még jó néhányat Dél-Nyugat Franciaországban.

7.8. Geotermikus Hőszivattyúk - hőpumpák (GHP)

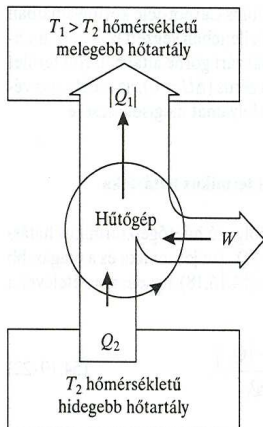
Egyes állatfajok (például az ürge, vagy a mezei pocok) a talajba vájt üregeikbe bújnak vissza a téli hideg, vagy éppen a nagy nyári meleg elöl, mivel a föld hőmérséklete sokkal stabilabb a levegőéhez képest. Őseink is barlangokba húzódtak az időjárás viszontagságai elöl. A geotermikus hőszivattyúk segítségével téli időszakban lakásunk belső hőmérsékletét tehetjük komfortosabbá ill. melegvíz igényünket elégíthetjük ki. A hőszivattyú sok szakértő szerint reneszánszát éli. Működési elve lényegében azonos a hűtőszekrényével, hasznosítási módja azonban annak éppen a fordítottja. Mivel e két berendezés felépítésében és alkatrészeit tekintve csak méreteiben tér el egymástól, a hőszivattyút meleg nyári napokon adott esetben hűtésre is fel lehet használni. Meleg éghajlatú fejlett régiókban gyakran használják is erre a célra. A berendezés a működtetésére felhasznált energiát nem közvetlenül hővé alakítja, hanem a külső energia segítségével a hőt az alacsonyabb hőfokszintről egy magasabb hőfokszintre emeli, legtöbbször a föld, a levegő és a víz által eltárolt napenergiát hasznosítva. A geotermikus hőszivattyú például a talaj, talajvíz és a ház belső terei között szállít hőt. A talaj mélyebb

régeinek hőmérséklete télen-nyáron állandó (pl. 6 méter mélyen átlagosan +12 °C): télen melegebb, nyáron hidegebb, mint a levegő hőmérséklete.

7.8.1 Hőszivattyúk csoportosítása működési elvük szerint:

A hőszivattyúk döntő többsége kompressziós elven működik elektromos vagy gázmotor segítségével, de létezik abszorpciós elven működő hőszivattyú, vagy a kettőt kombináló berendezés, ezek legtöbbje még kísérleti stádiumban van, vagy kevéssé elterjedt.

7.8.2. Hűtőgépek hatásfoka



Hűtőgépek és hőszivattyúk $Q_2 > 0$ hőt vonnak el a T_2 hőmérsékletű hidegebb hőtartályból és $W > 0$ külső munkával $|Q_1| = Q_2 + W$ hőt juttatnak a $T_1 > T_2$ hőmérsékletű hőtartályba.

Termikus hatásfokuk:

$$\eta = \frac{W}{|Q_1|} = \frac{|Q_1| - Q_2}{|Q_1|} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

Az ideális (Carnot) körfolyamat hatásfoka, illetve teljesítménytényezője csupán az ún. két hőtartály (hőforrás és hőelnyelő, illetve a hőszolgáltatás) abszolút hőmérsékletétől (T_1 és T_2) függ, ahol

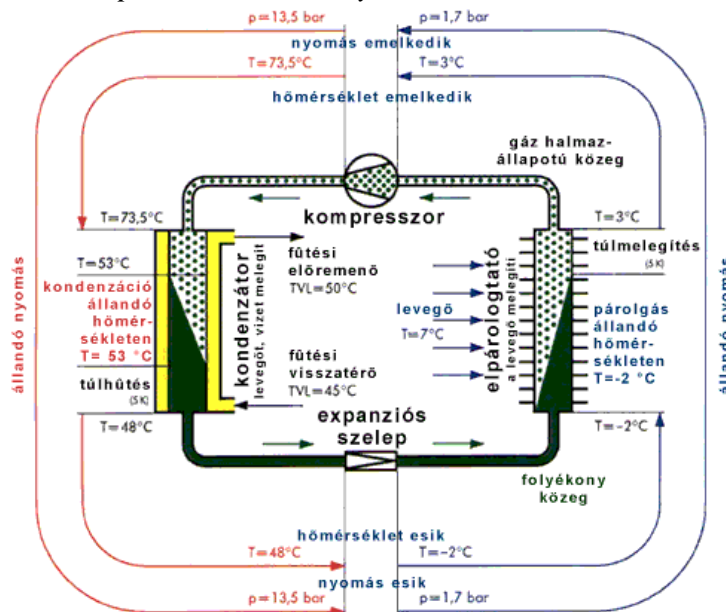
$$T [K] = t [°C] + 273$$

A hőszivattyúra jellemző elméleti (reverzibilis) un. $CARNOT_{COP}$ a kondenzátor és az elpárologtató hőmérséklet adataiból kiszámolható (gyakorlati értéke kb. az elméletinek az 55-65%-a, ez elsősorban a kompresszorok rohamos fejlődése miatt állandóan javul):

$$CARNOT_{COP} = T_{KONDENZATOR} / (T_{KONDENZATOR} - T_{ELPÁROLOGTÁTO})$$

A hő szállításához folyamatosan elektromos energiát kell a rendszerbe táplálni. A rendszer hatékonyságát az ún. munkaszámmal (COP=Coefficient of performance) jellemezhetjük, ami azt mutatja meg, hogy a hőszivattyú által leadott hasznos hőteljesítmény hányszorosa a működtetéshez felhasznált hajtási teljesítménynek. Ez azonban az év folyamán változhat a hőforrás hőmérsékletének változásával, ezért az egy évre vonatkozó energiaszám (JAZ - Jahresarbeitszahl: éves munkaszám) pontosabb képet ad a hőszivattyú teljesítményéről.

7.8.3 Hogyan működik a kompressziós hőszivattyú:



Két hőcserélőt egy körvezeték köt össze. Egy kompresszor a csővezetékben olyan munkaközeget keringet, melynek igen alacsony a forráspontja, csak nagy nyomás alatt cseppfolyósodik. Korábban freont használtak erre a célra, a légköri ózonpajzs kímélése végett ma már különböző, veszélytelen, nem mérgező, nem robbanó gázkeverékeket alkalmaznak. A hideg oldali hőcserélő előtt a folyékony halmazállapotban lévő munkaközeg nyomását egy nyomáscsökkentő szelep leejti 1,7 bar nyomásra. Ekkor a munkaközeg hevesen elpárolog, -2°C -ra lehűl és a párologáshoz szükséges hőt a hőcserélő másik oldalán átfolyó környezeti közegből (talajból, levegőből, de lehet vízből, termásvíz hulladékból, szennyvízből, stb) vonja el, annak lehűtésével. A 3°C - re felmelegedett munkaközeget a kompresszor elszívja, besűríti 13,5bar nyomásra, melytől a lecsapódó munkaközeg felmelegszik $73,5^{\circ}\text{C}$ -ra. A lecsapódásnál felszabadul az a hő, melyet a környezetből elvont, megnövelve a kompresszorba betáplált és hővé átalakult energiával. Mindezt az energiát a másik hőcserélőn áthaladva átadja a fűtési rendszerben keringő fűtőközegnek.

7.8.4. *Hogyan működik az abszorpciós hőszivattyú*

Ettől a kompresszoros rendszertől lényegesen eltérő az abszorpciós rendszer. Ennél a közvetítő közeg felmelegítését nem a kompresszióval, hanem a közvetítő közeg oldatának közvetlen felmelegítésével eszközöljük. Rendkívül nagy előnye a kompresszoros berendezésekkel szemben, hogy működtetése nem igényel jelentősebb mennyiségű villamos áramot. Az egyszerű abszorpciós berendezéshez két folyadékra van szükségünk; elnyelő és elnyelődő anyagokra. A leggyakoribb elnyelő folyadék a víz, a lítium bromid pedig az elnyelődő (abszorbens). Az abszorpciós ciklusban az alacsony nyomású víz elnyeli az abszorbenst, ami nagy mennyiségű hőt bocsát ki. A kettő elegyét az abszorber szivattyú egy nagy nyomású generátorba továbbítja. A generátorban a nyomás és a bevezetett hő hatására az abszorber elpárolog. A kondenzátorban a külső hűtés hatására az abszorber ismét cseppfolyóssá válik. A kondenzátorban nagy nyomás uralkodik, innen egy fojtószelepen keresztül jut el az abszorber a párologtatóba, ahol az alacsony nyomás hatására gáz halmazállapotba lép át, és ezzel jelentős hőt von el az itt elvezetett hűtőfolyadékból. Működésük szerint lehetnek direkt vagy indirekt fűtésűek. A direkt fűtésű hűtőt lehet gázzal vagy egyéb tüzelőanyaggal működtetni, az indirekt változat pedig gőzzel vagy valamilyen közvetítő közeggel kerül fűtésre. Ebben a változatban a hő érkezik kazánból vagy bármilyen hőtermelő technológiából.

7.8.5. *Hőszivattyús fűtési rendszer*

A rendszer főbb építőelemei: két hőcserélő: elpárologtató és kondenzátor, kompresszor és expanziós szelep

A hőnyerés történhet talajból illetve külső levegőből, a hőleadás történhet vízzel illetve levegővel. Eszerint különböztetjük meg az alábbi működési elveket:

- Levegő-levegő rendszerű (pl. a split klímaberendezések)
- Levegő-víz rendszerű (hűtőrendszerekben célszerű)
- Víz- levegő (az USA-ban népszerű légfűtésre használják)
- Víz-víz rendszerű. (Magyarországon a leggyakrabban használt fűtési hőszivattyú rendszer)




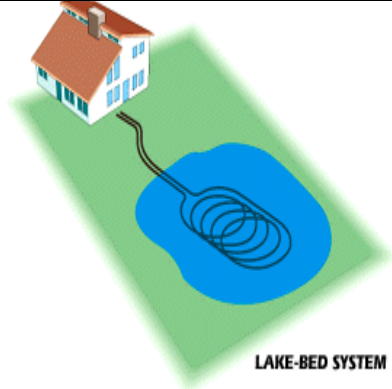
A hőszivattyú alacsony hőmérsékletű fűtőrendszer, ami azt jelenti, hogy maximum 60°C hőmérsékletű fűtővizet lehet vele termelni. Emiatt célszerű padlófűtést vagy falfűtést alkalmazni, ahol pedig hűtési üzemmódban is használják fan-coil (ventillátoros radiátor) vagy falfűtés javasolt. Egy hőszivattyú berendezés várható élettartama 8 – 12 év. A működéséhez lényeges karbantartást nem igényel, mindössze a vízszűrők tisztítását kell évente elvégezni. A helyiségek hőmérsékletének szabályozása a hagyományoshoz hasonló módon helyiség termosztáttal történik. A hűtés és fűtés átváltása rendszerint egy elektromos kapcsolóval történik.

7.8.6. A hőnyerés módjai

A víz keringhet egy zárt csőrendszerben amely a föld alatt, tó felszíne alatt, vagy folyóvízben van elhelyezve. A hő kinyerése a földből rendszerint víz vagy fagyálló vízdát közvetítésével történik. Illetve megfelelő kezelés mellett felhasználhatjuk közvetlenül a talajból származó vizet vagy természetes vizet. A hőnyerés módját a fentieknek megfelelően nevezzük zárt vagy nyitott hőcserélőnek.

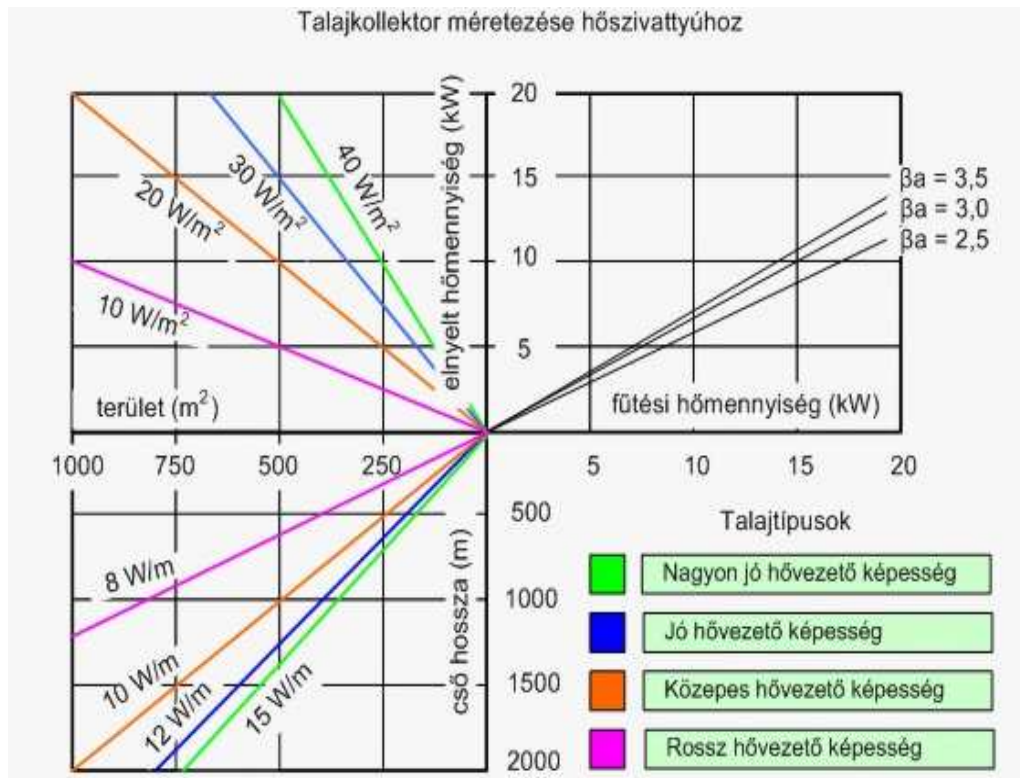
7.8.7. Zárt talaj-kollektoros hőnyerő rendszerek

Kialakításuk oly módon történik, hogy egy csőkígyót fektetnek a földbe vagy szabad vízbe (folyó, tó), és ebben a csőkígyóban keringtetik a vizet. A földre fektetett cső mind vízszintesen, mind függőlegesen elhelyezhető.

	
Horizontálisan elhelyezett talaj kollektor	Spirálisan lefektetett árok kollektor
	
Vertikálisan elhelyezett kollektor	Tóban elhelyezett kollektor

Talajkollektor méretezése hőszivattyúhoz:

Az SPF (seasonal performance factor) szám a COP egész évre levetített korrekciós értéke (általában β_a - val jelölik). A COP-vel a hőszivattyú ideális hatásfokát lehet kiszámítani, míg az SPF egy kissé „kritikusabb” érték. Ebbe bele kell számolni az évszakos változásokkal hűlő és melegedő talaj COP-t befolyásoló értékeit, a hűtési/fűtési igények évszakos váltakozásait, illetve a jégtelenítési fázisokat is.



Forrás: www.kekenergia.hu

A táblázat jobb felső részén lehet a SPF tényező alapján kiszámolni, hogy a várt fűtési teljesítményhez mekkora hőmennyiséget szükséges kisajtolnunk a talajból. Ha például 15 kW fűtési energiát igényel házuk (vízszintes skála), és az SPF (β_a) 3.5 környékén van, akkor a fűtéshez a talajból kb. 10.7 kW-ot kell kinyernünk (függőleges skálán a felső vonal vetülete). Ha az előbb elkezdett vonalat tovább húzzuk a bal felső táblázatba, és tudjuk, hogy a talajunk hővezető képessége közepes (20 W/m²), akkor a narancssárga vonalat keresztezve függőlegesen megkeressük az ide tartozó értéket, az 550 m²-t. Ez a szám azt jelenti, hogy gazdaságosan 550 m²-en tudjuk talajszondával kitermelni a nekünk szükséges hőmennyiséget. Ha az előbbi függőleges vonallal tovább haladunk lefelé, és a másik narancssárga vonalat elérve jobbra fordulunk, a függőleges tengelyen megkapjuk a talajkollektor-cső várható hosszát. Esetünkben ez úgy 1100 m-re jön ki. Ez természetesen függ a talajkollektor típusától (a táblázat a vízszintes elrendezésű talajkollektorra vonatkozik), a cső átmérőjétől, anyagától.

A zárt rendszer előnye, hogy a rendszer állandóan ugyanazzal a folyadékkal (vízzel, fagyállóval, hűtőfolyadékkal) van feltöltve, így a berendezés kevésbé korrodálódik, élettartama hosszabb. Hátránya, hogy nagyobb a beruházási költsége és rosszabb a hatásfoka, mint egy nyitott rendszernek.

A földben elhelyezett csőkígyó mélységét úgy kell megválasztani, hogy a leghidegebb téli napokon is elegendő hőmennyiséget tudjon felvenni, Magyarországon 1,2 m-nél mélyebbre célszerű telepíteni. Minél mélyebbre kerül a csővezeték annál egyenletesebb és jobb hatásfokú hőenergia nyerhető. A vízszintes hőnyerő esetében 1 kW teljesítményhez 15 – 25 m árok árktot kell készíteni kialakítástól függően 1 – 6 csővezetékkel. A függőleges fűrt hőnyerő 1 kW teljesítményéhez 15 – 20 m fűrt lyuk szükséges, 2 – 4 csővel lyukanként. Tóba helyezett hőnyerő esetében 2,5 – 3 m mély, 100 m² / kW felületű tó kell, kb. 100 m / kW hosszúságú csővezetékkel. A csőben fagyálló folyadék kering a hőátadás szempontjából legoptimálisabb sebességen. A fagyálló azért szükséges, mert kritikus esetekben a hőszivattyú fagypont alá is lehűtheti a folyadékot, ami visszatér a csőhálózatba.

7.8.8. Nyitott, talajvizes hőnyerő rendszerek

A rendszer nyitott, amikor egy kút, folyó vagy tó vizét szivattyúzzák fel, majd a hőelvétele után visszaengedik a szabadba. A környezetvédelem szempontjából, a mélyből nyert rétegvizet a vízzáró réteg alá kell visszajuttatni, hogy az ökológiai egyensúlyt ne bontsák meg. Ennél a megoldásnál plusz energiát kell befektetnünk a környezet kémelése érdekében. A nyitott rendszer kialakításánál, ügyelni kell a vonatkozó környezetvédelmi, illetve szakterületi előírások betartására.

7.8.9. Nyitott hőnyerés módjai

Kútból nyert víz elvezetéssel, vagy visszapréseléssel. Szabadvízből (tó, folyó) közvetlenül nyert és visszajuttatott folyadék. A nyitott rendszerek óriási előnye, hogy amennyiben rendelkezésre áll elegendő mennyiségű víz, nagyon jó hatásfokú (kb. 500%) energia nyerhető. Hátránya, hogy a szabad vízből lerakódhatnak a hőcserélőre szennyeződések, oldott ásványi anyagok. Ilyen esetben vízszűrő berendezés alkalmazásával ellensúlyozható.

7.9. Felhasználási lehetőségek

A geotermikus energiát sokféleképpen lehet hasznosítani: belső terek fűtésére, melegvíz-szolgáltatásra, termálfürdőkben, ipari célokra és a mezőgazdaságban. A termálvíz fűtési és melegvíz-szolgáltatási hasznosítása általános és a mezőgazdaságot is érinti (p. növényházak, fóliaházak, baromfitelepek, istállók stb. fűtése), de ebben az ágazatban lehetőség nyílik speciális alkalmazásokra a fűtési időszakon kívül is (terményszárítás, haltenyésztés). Ezeknél az alkalmazásoknál a termálvíz előnye nem csupán fűtőolaj vagy földgáz megtakarításában jelentkezik, hanem a koncentráltág és a sokrétű hasznosíthatóság miatt vállalkozások alapítására, kereskedelmi tevékenység indítására is alkalmat nyújt, valamely térség komplex fejlesztéséhez (termelés, kommunális ellátás, termálfürdő, sportuszoda) járul hozzá. Másrészt az előkezelés és szükség esetén a hő kicserélés lehetővé teszi a hagyományos fűtő- és melegvízhálózatok üzemeltetését magas hőmérsékletű hévízzel, így nincs szükség külön átviteli rendszerek kiépítésére.

7.10. Hőszivattyú előnyei:

- Nincs környezetszennyező gázkibocsátás
- Fűtés gombnyomásra (nincs szükség olajra, fára)
- Halk üzem mód
- Veszélymentes üzemeltetés (égésvédelem és füstgáz)
- Alacsony karbantartási költségek, magas üzembiztonság (égési zavarok)
- Az alacsony hőmérsékletű fűtés kellemes klímát ad
- Adott a lehetőség a helyigés hűtésére
- Állami támogatás

7.11. Jelenlegi kihasználása

Nézzük meg, hogyan viszonyul egymáshoz a különböző energiahordozók ára és a hasznosítható hőtartalmuk. A hőszivattyúnál figyelembe vettük a villamos energia előállításánál keletkező veszteséget.

Fűtőanyag	Egység	Egységnyi Ft	kWh	Tüzelési hatásfok	Ft/kWó	200 m ² -es lakás fűtési költsége (eFt/év)
Tüzelőolaj	liter	140	9,22	0,7	21,69	843
Fűtőolaj	kg	80	11	0,65	11,19	435
Földgáz (mai ár)	m ³	38	9,03	0,8	5,26	205
Földgáz (EU-ár)	m ³	120	9,03	0,8	16,61	646
PB gáz tartályos	kg	180	12,8	0,8	17,58	683
PB gáz palackos	kg	220	12,8	0,8	21,48	835
Magyar szén	kg	40	5,5	0,6	12,12	471
Import szén	kg	50	7	0,65	10,99	427
Villamos fűtés	kWh	16	1	0,96	16,67	648
Éjszakai áram	kWh	11	1	0,96	11,46	446
Távfűtés (gázzal)	Ft/m ³ /év	1100	9,03	0,74	16,46	640
Hőszivattyú kútvízből	kWh	16	0,96	4	4,17	162
Hőszivattyú levegőből	kWh	16	0,96	3	5,56	216

Jól látható, hogy azonos mennyiségű fosszilis energia felhasználásával a hőszivattyú 2-3-szor annyi hasznos energiát tud leadni, mint bármely más hő termelő technika. A hazánkban bőségesen fellelhető termálvíz és talajvíz kiváló médium a hőszivattyús hőtermelésre.

Csak a vezetékes gáz mai költsége versenyképes a hőszivattyúval. Ez az irreálisan nyomott ár soká nem tartható, mert pazarlásra ösztönöz, különösen az energiaigényes iparágakban. További kérdés, hogy érdemes-e a viszonylag drága gépet, kutat, szerelést beruházni? A mai gázzal szemben tényleg nem. De ahol nincs vezetékes gáz, az ország háztartásainak 30%-ánál, vagy új lakóház építésénél, már igen. Világszerte törekszenek környezetvédelmi, gazdasági megfontolásból a megújuló energiaforrások kihasználására. Nálunk támogatást, kedvezményes hitelt kaptak a hőszivattyúhoz az önkormányzatok, és a gazdasági társaságok, háztartások.

7.12. A geotermikus energia magyarországi hasznosítási lehetőségei

Magyarország adottságait tekintve geotermikus nagyhatalom, a talpunk alatt megbúvó potenciális energiamentiség az USA és Kína társaságába repít minket a statisztikákban. Ezeknek a tényeknek az ellenére Magyarország nem él ezzel a villamos energia termelési módozattal, és ez feltehetően a tájékoztatatlanságra és a fosszilis-energia lobbierőteljes működésére vezethető vissza. Magyarországon a geotermikus energiák kiaknázása gyakorlatilag csak a termál fürdők körében terjedt el, és néhány szórványos próbálkozástól eltekintve a hazai villamos energia szektor gyakorlatilag kizárólag fosszilis- és atomenergián alapul.

Ország	1990 (MW)	1995 (MW)	2000 (MW)	2003 (MW)
Argentína	0,7	0,7	-	-
Ausztrália	0	0,2	0,2	0,2
Kína	19	29	29	28
Costa Rica	0	55	143	162
El Salvador	95	105	161	163
Etiópia	-	-	-	7
Franciaország (Guadeloupe)	4	4	4	15
Guatemala	0	33	33	29
Magyarország	0	0	0	0
Izland	45	50	170	200
Indonézia	145	310	590	807
Olaszország	545	632	785	791
Japán	215	413	547	561
Kenya	45	45	45	121
Mexikó	700	753	755	953
Új-Zéland	283	286	437	421
Nicaragua	35	70	70	78
Pápua - Új Guinea	-	-	-	6
Philippines	891	1227	1909	1931
Portugália (Azori-szigetek)	3	5	16	16
Oroszország (Kamcsatka)	11	11	23	73
Tájföld	0,3	0,3	0,3	0,3
Törökország	20	20	20	20
USA	2775	2817	2228	2020
Összesen	5831 (MW)	6833 (MW)	7974 (MW)	8402 (MW)

Geotermikus villamos-energia termelés a világban

A geotermikus erőmű stabil energiaellátó, és valóban alternatívát jelent a szénerőművek uralta hazai piacon. Az emissziós előírások szigorodása, a kiotói konvenció is a geotermikus erőműveknek kedvez, hiszen gázkibocsátásuk jelentősen kisebb a fosszilis energiával üzemelő erőművekénél.

A kedvező geotermális adottságunk okai. A Kárpát-medence alatt a földkéreg csak 24-26 km vastag ez kb. 20 km-rel vékonyabb a világ más területeihez képest. Az a távolság, amelyen belül lefelé haladva a hőmérsékletemelkedés 1°C, a világtalánban 33 m, a Kárpát-medencében csak 15-18 m. A földhőt a kőzetváz és a benne lévő rétegvizek hordozzák. A Kárpát-medencét 5-10 km vastagságban kitöltő üledékes kőzetekben igen jelentős mennyiségű rétegvíz-készletek találhatóak.

Magyarország geotermikus energiavagyonát a felszín alatti kőzeteknek a geológiai korok idején kialakult hőtartalma adja. Hazánk a kedvező geotermikus adottságokkal rendelkező országok csoportjába tartozik. A világtalánnál jobb geotermikus gradiens, nagy vízvezető köztömeg és nagy tárolt hőtartalom egyszerre van jelen. A földi hőáram nálunk átlagosan 100 mW/m² - a világtalánban csaknem másfélszerese. A geotermikus gradiens értéke a medenceüledék rossz hővezető képessége miatt is nagy értékű. Az átlagos geotermikus gradiens 20 m^oC, a Dél-Dunántúlon és az Alföldön nagyobb értékű 1000 m mélységben 70°C, 2000 m mélységben 120°C középhőmérséklet uralkodik. Baranya megyében szintén megtalálhatóak a termálenergiák, és egyes helyeken, mint például Harkányban már hasznosítják is.

Amennyiben a feltárt geotermikus energiákat mind felhasználnánk Baranya megyében, ebben az esetben 5 milliárd forint értékű kőolajat és földgázt tudnánk megtakarítani. 555 MW a Baranya megyei becsült teljesítmény geotermikus energiája. Baranya megye mind földtanilag, mind pedig a munkaerő piac területén nagyon jól áll, a geotermikus energiák tekintetében szintén jók az adottságok. Több befektetési szándékkal jelentkező külföldi cég is jelezte, hogy befektetne Baranya megyében geotermikus energiába, ilyen példa például egy ausztriai magánynyugdíj pénztár, valamint egy izraeli meglegházakkal foglalkozó cég is. A talajvíz tekintetében figyelembe kell venni a vízhozamot és a talajvíz körzeteit. A mélységi és talajvizek tekintetében Baranya megye jól feltárt, és feltérképezett. Baranya megye bánya ipara a gazdaságtalan kitermelés miatt

visszaszorult, azonban a sok elhagyott bányá rengeteg geotermikus energiát rejt. A szénbányák esetén a tönkrement kőzetekből nyerhető ki az energia, az urán bányák esetében pedig a vájatokból. A bányák esetében 30-50 fokos hőmennyiség vonható el a kőzetektől.

8. Diploma munka témájának pedagógiai felhasználása

Az éghajlatváltozás globális probléma, de a hatékony tájékoztatás, az éghajlat-tudatosságra nevelés közösségi, helyi szinten kezdődik, már az általános iskolában. Feladatunk tájékoztatni a tanulókat az éghajlatváltozás főbb kérdéseiről, a kiváltó okokról és várható hatásokról. A fizika tantárgynak is jelentős szerepe lehet ebben, de fontos, hogy az elméletet a lehető legnagyobb mértékben közelítsük a hétköznapi életünkben is megfogalmazódó kérdések felé, és próbáljunk a gyermekekkel közösen választ találni rájuk a fizika segítségével. Kiemelten foglalkoznunk kell azzal, hogy mi egyénenként mit tehetünk az éghajlatváltozás mérséklése érdekében, azaz hogyan csökkenthetjük az éghajlatváltozást okozó üvegházgázok (pl. szén-dioxid) kibocsátását.

1. Feladatok 7-8 osztályos tanulók részére

A, Feladat: Olvasd el a következő szöveget és válaszolj a kérdésekre!

Az ember 18-20 °C közötti hőmérsékletű levegőben érzi legjobban magát. Télen amikor a külső levegő hőmérséklet ennél jóval hidegebb. Az épületet 20 °C-on való tartásához az helyiségeket valamilyen fűtési eszközzel fűteni kell. Fűtésre még most is általában a tüzelést alkalmazzuk, vagyis valamilyen vegyileg kötött energiát szabadítunk fel oxidációval. Tehát földgázt, olajat, szenet, esetleg fát vagy egyebet égetünk el egy erre kialakított berendezésben. Az itt keletkező hőt általában víz "közvetítésével" juttatjuk el a szükséges helyre. A levegő hőmérsékletének 1%-kal történő csökkentése 5% fűtőenergia-megtakarítást jelenthet. 20 °C helyiség-hőmérsékletnél az energiafelhasználás egyötöd résszel kisebb, mint 24 °C-nál.

A helyiségek határoló felületeinek (falak, födémek, ablakok, ajtók, belső-külső átvezetések, szellőzők) hőmérséklete: Minél hidegebbek a határoló felületek, (hideg sugárzás) annál melegebbnek kell a helyiség levegőjének lennie, hogy azonos hőérzetet biztosítson. Ez a jelenség erősen észrevehető az ablakoknál. A hideg levegővel nem szabad a helyiség falait erősen lehűteni, ezért kedvezőbb az intenzív, de rövid ideig tartó szellőztetés.

A nem megfelelően tömített nyílászáró szerkezeteken át légáramlás indul. A falak lehülése miatt a helyiség hőmérsékletét meg kell emelni, amely megnöveli a fűtési energiaszükségletet és ezzel a költségeket.

A frisslevegő-szükséglet pótlása megfelelő szellőztetéssel: a helyiség levegőjét óránként legalább egyszer meg kell újítani, ha több ember tartózkodik a helyiségben. Ennek a szellőztetésnek rövid ideig tartónak kell lennie,(5-10 perc) hogy a falakat és a mennyezetet ne hűtsük át, mert ezek tárolják a helyiség hőtartalmának kb. 25%-át.

A levegő nedvességtartalma befolyásolja hőérzetünket, ezért a száraz levegő növeli a fűtési költségeket is. Egy vízpárolgató megtöltése és a fűtőtestre helyezése beállítja a levegő légnedvesség-tartalmát. A túlzottan meleg ruházat kellemetlen érzést kelthet. Ideális fűtési energia-megtakarítási lehetőség a megfelelő öltözet.

- I. Mekkora az ember számára az ideális levegő hőmérséklet?
- II. Milyen tüzelőanyagot ismerhettünk meg?
- III. Hogyan pótolhatjuk az elhasznált levegőt?
- IV. Milyen módon szellőztessük a helyiséget?
- V. A levegő hőmérsékletének 1%-kal történő csökkentése mekkora fűtőanyag megtakarítást eredményez?

B, Feladat: Bekapcsolva felejtettünk egy 100 watt teljesítményű izzót 10 óra időtartamra. Hány forinttal növelte ez meg villanyszámlánkat? (1 kWh elektromos energia ára 38 Ft.)

Megoldás:

$$P = 100 \text{ W} = 0,1 \text{ kW}$$

$$t = 10 \text{ h}$$

$$38 \text{ Ft/kWh}$$

$$\text{ára} = ?$$

$$W = P \cdot t = 0,1 \text{ kW} \cdot 10 \text{ h} = 1 \text{ kWh, amelynek ára } 38 \text{ F}$$

C, Feladat: Egy 4,5 voltos zseblep mintegy tíz óráig működtetne egy 0,2 amper erősségű áramot igénylő izzólámpát. A telep ára 250 forint. Mennyibe kerül ebben az esetben 1 kWh elektromos energia?

Megoldás:

$$U = 4,5 \text{ V}$$

$$t = 10 \text{ h}$$

$$I = 0,2 \text{ A}$$

$$\text{elem ára} = 250 \text{ Ft}$$

$$\text{ára} = ?$$

$$W = U \cdot I \cdot t = 4,5 \text{ V} \cdot 0,2 \text{ A} \cdot 10 \text{ h} = 9 \text{ Wh}$$

$$W = 9 \text{ Wh} = 0,009 \text{ kWh (Ez kerül 150 Ft-ba)}$$

$$1 \text{ kWh ára: } 250 \text{ Ft} : 0,009 = 27778 \text{ Ft.}$$

D, feladat: Adjon válaszokat az alábbi energiatakarékossággal kapcsolatos kérdésekre!

- Melyek a háztartásban használatos nagy villamos energiát használó berendezések?
- Hogyan lehet ezeket leggazdaságosabban üzemeltetni?
- Ismertesse az általa ismert fűtésre használt berendezéseket!
- Hogy lehet a fűtési költségeket csökkenteni?
- Milyen alternatív energiákat ismer?

2 Feladatok 9.-12. évfolyamos diákoknak

A, feladat: 5 g szén elégetésével 1kg víz 10°C -ról 47°C -ra melegíthető. Határozzuk meg a szén égéshőjét!

Megoldás:

$$m_{szén} = 0,005 \text{ kg}$$

$$m_{víz} = 1 \text{ kg}$$

$$T_1 =$$

$$T_2 = 47^\circ\text{C}$$

$$c = 4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$L = ?$$

A szén elégetése során felszabaduló hő egyenlő a víz energiájának változásával.

$$\Delta T = 47^\circ\text{C} - 10^\circ\text{C} = 37^\circ\text{C}$$

$$L \cdot m_{szén} = c_v \cdot m \cdot \Delta T \rightarrow L = \frac{c_v \cdot m_{víz} \cdot \Delta T}{m_{szén}} = 31,08 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}}$$

B. Feladat: Mennyi hőt von el a hűtőgép a 8 g tömegű, 18 °C hőmérsékletű vízből, miközben -5 °C hőmérsékletű jégkockát fagyaszt belőle?

$$m = 8 \text{ g} = 0,008 \text{ kg}$$

$$T_1 = 18^\circ\text{C}$$

$$T_2 = -5^\circ\text{C}$$

$$c_v = 4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$c_j = 2,1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$L_0 = 333,7 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$Q = ?$$

Megoldás:

A hűtőgépnek el kell vonni a 18 °C-ról 0°C-ra lehűlés folytán keletkezett hőt Q_1 , másrészt a fagyás során felszabadult Q_2 , hőt, valamint 0°C-ról -5°C-ra való hűlés során felszabadult hőt.

$$\Delta T_v = 18^\circ\text{C} - 0^\circ\text{C} = 18^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_j = 0^\circ\text{C} - (-5)^\circ\text{C} = 5^\circ\text{C}$$

$$Q_1 = c_v \cdot m \cdot \Delta T_v = 604,8 \text{ J}$$

$$Q_2 = L_0 \cdot m = 2669,6 \text{ J}$$

$$Q_3 = c_j \cdot m \cdot \Delta T_j = 84 \text{ J}$$

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 3358,4 \text{ J}$$

C. Feladat:

Mekkora hőmennyiséget ad át a gőzfűtéses radiátor egy nap alatt a teremnek, ha az óránként beérkező 2 kg 105 °C hőmérsékletű vízgőz 60 °C-os vízként távozik el a radiátorból? Mennyibe kerülne ez, ha ugyanennyi hőt elektromos energiával kellene biztosítani? 1 kWh elektromos energia ára 38 Ft

$$T = 1 \text{ h} = 3600 \text{ s}$$

$$m = 2 \text{ kg}$$

$$T_g = 105 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_v = 60 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$c_g = 1,9 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{ }^\circ\text{C}}$$

$$c_v = 4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{ }^\circ\text{C}}$$

$$L_f = 2256 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$Q = ?;$$

$$\text{ára} = ?$$

A leadott összes hő a gőz lehűléséből, a vízgőz lecsapódásából és a 100 °C-os víz hőmérsékletének 60 °C-ra való csökkenéséből származik:

$$Q = Q_g + Q_{le} + Q_v$$

$$\text{Részletezve: } Q = (c_g \cdot m \cdot \Delta T_g) + (L_f \cdot m) + (c_v \cdot m \cdot \Delta T_v) = 4867 \text{ kJ}$$

Naponta ez 24-szer ennyit, azaz 116 808 kJ jelent. Ez kb. 32,5 kWh-val egyenlő.

Ennek ára naponta 1233 Ft; ez mintegy 37000 forintos havi fűtésszámlát jelent.

D. Feladat:

Egy épület külteret határoló falfelületének nagysága 214 m^2 . A falba épített nyílászárók 22 m^2 felületűek. A külső hőmérséklet -2°C . Mekkora teljesítményű legyen a fűtőberendezés, hogy a belső hőmérsékletet állandó 20°C -on tudja tartani? A fal hőátbocsátási tényezője: $k_{fal} =$

$$0,32 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}, \text{ a nyílászáró hőátbocsátási tényezője: } k_{ny} = 1,1 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}, L = 16,91 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}}$$

b, Mekkora a hőveszteség 24h alatt?

c, Fával történő fűtés esetén, hány kg fát használnánk el havonta

$$A_{fal} = 214 \text{ m}^2 - 22 \text{ m}^2 = 192 \text{ m}^2$$

$$A_{ny} = 22 \text{ m}^2$$

$$\Delta T = 22^\circ\text{C}$$

$$k_{fal} = 0,32 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$k_{ny} = 1,1 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$\Delta t = 1 \text{ s}$$

$$Q = ?;$$

Megoldás:

A feladatot a $\frac{\Delta Q}{\Delta t} = k \cdot A \cdot \Delta T$ egyenlet segítségével tudjuk megoldani. Mivel két különböző hőátbocsátási tényező szerepel, ezért külön-külön ki kell számítanunk a fal és nyílászárókon átáramló energia mennyiségét.

$$\Delta Q_{fal} = k_{fal} \cdot A_{fal} \cdot \Delta T \cdot \Delta t = 1351,68 J$$

$$\Delta Q_{ny} = k_{ny} \cdot A_{ny} \cdot \Delta T \cdot \Delta t = 532,4 J$$

$$\Delta Q_{össz} = \Delta Q_{fal} + \Delta Q_{ny} = 1884 J$$

$$P = \frac{\Delta Q_{össz}}{\Delta t} = \frac{1884 J}{1 s} = 1884 W$$

$$b. Q_{24} = 1884 J \cdot 86400 s = 162777,6 kJ$$

$$c. L = 16,91 \frac{MJ}{kg}$$

$$Q = Q_{24} \cdot 30 = 4883 MJ$$

$$L \cdot m_{fa} = Q \quad \rightarrow m_{fa} = \frac{Q}{L} = \frac{4883 MJ}{16,91 \frac{MJ}{kg}} = 288,8 kg$$

Irodalom jegyzék

Budó Ágoston: Kísérleti Fizika 1.

David Pearson: A természetes ház kézikönyve

Energia felhasználói kézikönyv Szerkesztette: dr. Barótfi István

Gööz Lajos: A természeti erőforrásokról, Nyíregyháza, 1999

Erostyák János és Litz József: A fizika alapjai, Szeged 2002

www.kwm.hu

www.gkm.gov.hu

www.energiaklub.hu

www.kekenergia.hu

www.zöldtech.hu

www.foldho.lap.hu

www.eghajlatvaltozas.hu

www.reak.hu