
HAFFNER TAMÁS***A MEGÚJULÓ ENERGIAFORRÁSOK ALKALMAZÁSA
A VILLAMOSENERGIA- ÉS HŐTERMELÉSRE II.
GEOTERMIKUS ENERGIA ÉS BIOMASSZA*****APPLICATION OF RENEWABLE ENERGY SOURCES TO POWER
AND HEAT GENERATION II.
GEOTHERMAL ENERGY AND BIOMASS*****ABSTRACT**

Renewable energy sources can be used to generate electricity, heat energy and combined heat and power. Despite several technological and other barriers, use of renewable energy is constantly growing worldwide thus we can expect further expansion of renewable energy sources and the increase of their importance in energy supply. Geothermal energy means the internal heat present in the Earth's crust that enables utilization of heat energy and electricity production. There is no example of the latter in Hungary. The internal heat of the Earth is some fifty thousand times the amount of energy obtained from the use of known oil and natural gas reserves. Biomass can be classified based on several criteria; vast majority thereof is formed in the sea, which is used only in an insignificant amount. Further problem of use of biomass is that in addition to energy utilization, it is an important raw material of agriculture and food industry thus its excessive use may lead to major food problems. We can find several examples of both the utilization of geothermal energy and of biomass in Hungary, the operation thereof is illustrated through South-Transdanubia examples in the study.

1. Bevezető

Tanulmányom első részében a megújuló energiaforrások öt típusa közül a napenergia, a szélenergia és a vízenergia hasznosítását mutattam be. A tanulmány második részében a geotermikus energia és a biomassza alkalmazásával foglalkozom. Ez utóbbi esetén külön megvizsgálásra kerülnek a biomassza három típusának, a szilárd biomasszának, a bioüzem-anyagnak és a biogáznak a hasznosítási lehetőségei. A geotermikus energia és a biomassza mind villamosenergia, mind hőenergia termelésére is használhatók, továbbá a biomassza folyékony változata gépjármű hajtóanyagként is alkalmazható. Biomassza esetén felmerül azonban a kérdés, hogy egyáltalán a megújuló energiaforrások között szabad-e számba venni, hisz például az erdészeti fa elégetése során felszabaduló CO₂ több évtized alatt kerül ismételtlen megkötésre. Bár biomassza teljesíti az újratermelődésre/újratermelhetőségre vonatkozó kritériumot, viszont a többi megújuló energiaforrással ellentétben ez időben akár is késleltetve történik meg. Az időbeliségben rejlő probléma miatt a biomasszát megújuló erőforrás helyett sokkal inkább megújítható erőforrásnak tekinthetjük, alkalmazását kritikus szemmel kell vizsgálnunk.

* Haffner Tamás PhD-hallgató, Pécsi Tudományegyetem Természettudományi Kar Földtudományok Doktori Iskola, doktorjelölt PTE Közgazdaságtudományi Kar Regionális Politika és Gazdaságtan Doktori Iskola.

2. Geotermikus energia felhasználás

A geotermikus energia vagy földhő alatt a földkéregben jelen lévő belső hőt értjük. A földfelszínt geotermikus szempontból aktív és passzív övezetekre oszthatjuk annak megfelelően, hogy a területen élő vulkáni és/vagy tektonikus tevékenység zajlik-e. A földkéreg meghatározó része a passzív kategóriába tartozik. A felszín adott térségeinek geotermikus adottságát elsődlegesen a földkéreg ottani vastagsága határozza meg. Kárpát-medencében ennek a vastagsága 24–26 km, mely közel fele akkora, mint a földkéreg átlaga.² Minél kisebb a földkéreg vastagsága, annál gyorsabban növekszik a föld középpontja felé haladva a geotermikus gradiens, azaz a föld belső hőjének az értéke. Minél magasabb a geotermikus gradiens értéke, annál alkalmasabb a terület a geotermikus energia hasznosítására.³ Ez az érték Magyarország területén 45 °C/km , amely több mint másfélszerese a Földön átlagos $20\text{--}30\text{ °C/km}$ értéknek.⁴ Ennek megfelelően Magyarország kiemelten kedvező geotermikus adottságokkal rendelkezik, amely kiváló lehetőséget jelent a geotermikus energia energetikai hasznosításához.

Az energetikai hasznosításra alkalmazható geotermikus energia összmenyiségét hozzáférhető földtani készletnek nevezzük. Ebbe a fűréssel, egyezményesen 10 km mélységig elérhető geotermikus energia tartozik bele. A Föld hozzáférhető földtani készlete – különböző számítások alapján – 324 700 000 és 553 000 000 PJ közötti energiamennyiség,⁵ mely mintegy ötvenezeresére az ismert kőolaj- és földgázkészletek felhasználása során nyerhető energia mennyiségének.⁶ Magyarország jelentős, becslések szerint 343 000 PJ kiaknázzható geotermikus energia készlettel rendelkezik,⁷ ebből jelenleg mindösszesen 3,6 PJ kerül hasznosításra.⁸ A geotermikus energia pozitívuma, hogy a többi megújuló energiaforrással ellentétben nem szakaszosan, hanem folyamatosan, időjárástól függetlenül, magas, 72 százalékos kapacitásfaktorral,⁹ ugyanakkor korlátozottan, idővel csökkenő mennyiségben és hőmérsékleten, valamint alacsony fajlagos energiatartalommal áll rendelkezésre. Míg 1 kg földgáz elégetésével 50 MJ energia szabadul fel, addig 1 kg 100 °C hőmérsékletű fluidum energiatartalma mindösszesen 356 kJ.¹⁰

A geotermikus rendszerek hőforrásból, víztározóból, hőhordozó fluidumból (hőhordozó folyadékból, gőzökből és gázokból) és egy a fluidum számára áthatolhatatlan közetrétegből áll. A geotermikus energia kinyerése legtöbb esetben hordozó közeg, a fluidum kinyerésével történik. Itt érdemes megjegyezni, hogy a hőenergia kinyerésére a természetben jelen lévő fluidum nélkül is van lehetőség. Az úgynevezett „Hot-dry-rock” eljárás során a nagymélységben lévő nagyhőmérsékletű közetre „injekciózott” fluidum kinyerésével is lehetséges a geotermikus energia nagymélységből történő kinyerése.¹¹

A geotermikus energia tiszta, környezetkímélő energiaforrás, azonban nem megfelelő hasznosítása komoly környezeti károkat okozhat. Az alkalmazás után visszamaradó termálvíz a környezetbe kerülve hő- és sószennyezést okoz, mely azonban hőforrásba történő visszasajtolással megelőzhető. A visszasajtolás nemcsak környezetvédelmi szempontból fontos eleme a geotermikus energia hasznosításának, hanem szükséges része a hőforrás alkalmazhatóságának fenntartásához.¹² Bár a geotermikus energia használata is jár mindenképpen valamekkora környezetszennyező hatással, azonban az 1. táblázat tanulsága szerint ennek mértéke elenyésző a fosszilis energiaforrások alkalmazásának környezet-szennyező hatásától.

1. táblázat. Különböző erőműtípusok fajlagos emissziója
Table 1. Specific emissions of different plant types

Erőműtípus	Fajlagos emisszió (kg/MWh)			
	CO ₂	SO ₂	NO _x	Por
Szénüzelésű	994	4,71	1,96	1,01
Olajüzelésű	758	5,44	1,81	—
Gázüzelésű	550	0,10	1,34	0,06
Hidrotermális geotermikus	27,2	0,16	0	0
Dináris vagy EGS geotermikus	0	0	0	0

Forrás: Bobok-Tóth (2010)

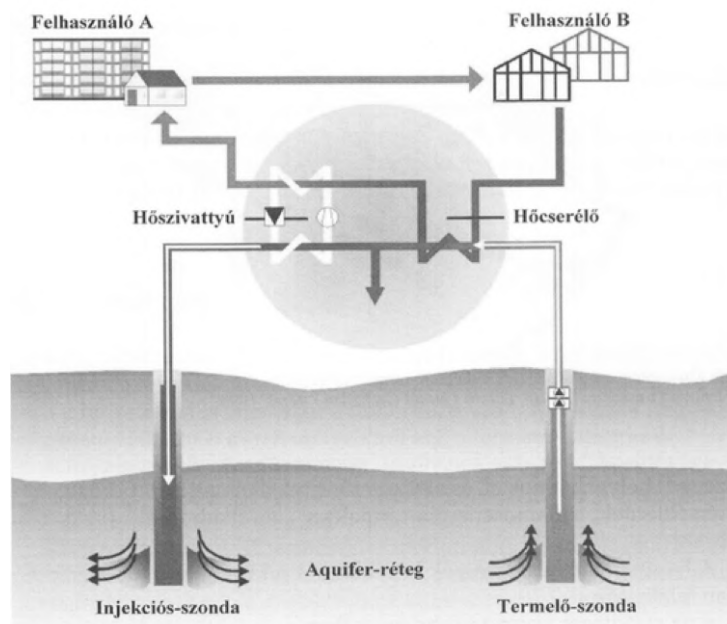
A geotermikus energia hasznosítása során megkülönböztetjük a közvetlen hőhasznosítást és az elektromosenergia-termelést. Előbbi a geotermikus energia leggyakrabban alkalmazott hasznosítási módja, mely mezőgazdasági és ipari termelésben történő, továbbá gyógyászati és turisztikai célú hasznosítás mellett kommunális és ipari fűtési célú hasznosítást tesz lehetővé.

A geotermikus energiát hőmérséklete szerint 4 kategóriába sorolhatunk. A 30 °C-nál kisebb hőmérsékletű, maximum 400 m mélységben elérhető geotermikus energia hasznosítására hőszivattyúk segítségével szinte korlátlan mértékben van lehetőség. Az ennél magasabb, de kis hőmérsékletű (40–80 °C) termálvíz részben közvetlen, részben hőszivattyús továbbhűtéssel használható távhőtermelésre.

A hőszivattyú közvetlenül nem hasznosítható hőfokú geotermikus energiát összegyűjti, s fűtésre hasznosítható hővé alakítja,¹³ melynek két módját különböztetjük meg. A zárt rendszerű hőszivattyúk csak a hőt hozzák felszínre, termálvizet nem. Előnye, hogy nem bolygatja meg a talaj vízháztartását, ugyanakkor a hőkihozatal jelentős beruházást igényel. Nyílt rendszer esetén a talajvíz kiszivattyúzására kerül sor, mely használat után vagy visszasajtolásra kerül, vagy a lehűtött víz használat után felszíni vízbe kerül bevezetésre. Nyílt rendszerű hőszivattyúk kis teljesítményűek (15–25 kW), alapvetően családi házak hőellátására és nyári hűtésére alkalmasak, nagyobb épületek esetén több hőszivattyú alkalmazására van szükség.

A 80–120 °C közötti termálvíz és vízgőz hasznosításának számos lehetősége van, melyek közül meghatározó a balneológiai, turisztikai-, a fűtési célú közvetlen-, valamint a fűtési célú, hőcserélőn keresztül történő alkalmazás. A geotermikus energia ilyen módú felhasználását ugyanakkor számos tényező hátráltathatja, illetve növelheti a hasznosítás költségvonzatát. Közvetlen hőhasznosítás esetén szükséges a kitermelt termálvíz előzetes kezelése, illetve visszasajtolás előtti tisztítása. Előbbire a távhőrendszer, illetve balneológiai hasznosítás esetén a fürdőrendszer korrózió elleni védelme, utóbbira a geotermikus energiaforrás szennyeződések általi eltömődések megakadályozása érdekében van szükség. Fűtési célú hasznosítás esetén kitermelt termálvíz só-, illetve gáztartalmának függvényében szükségessé válhat a közvetlen hasznosítás helyett hőcserélőn keresztüli alkalmazás, továbbá az az egyenletes hőkihozatal és a napon belül is szezonálisan változó hőigény közötti időbeli eltérést ellensúlyozó hőtárolók beépítése, mely tovább növelheti az amúgy is magas fajlagos beruházási költséget.¹⁴

1. ábra. Geotermikus fűtőrendszer sematikus ábrája
Figure 1. Schematic diagram of geothermal heating systems



Forrás: Giber (2005)

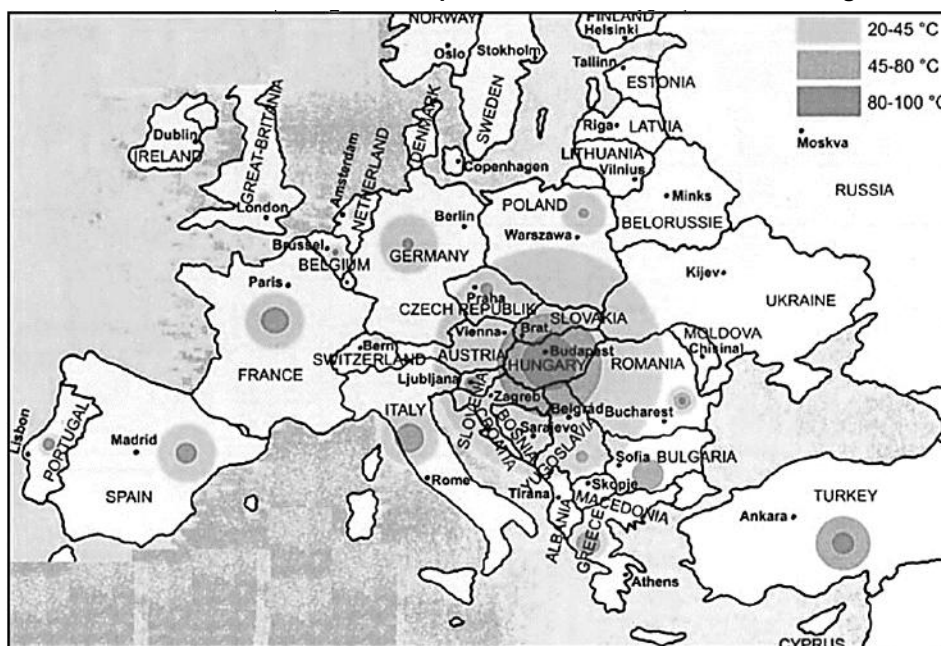
A 120 °C feletti hőmérsékletű fluidum kapcsolt hő- és villamosenergia termelésre hasznosítható.¹⁵ Egy villamosenergia-termelést végző geotermikus erőmű megközelítőleg 10 Kg gőzt igényel 1 kWh villamosenergia előállításához, melynek következtében nagy mennyiségű fluidum szükséges a villamosenergia termeléshez.¹⁶ Ez alapján kérdésként merül fel, hogy a nagy hőmérsékletű termálvizet, illetve vízgőzt hőenergiaként, vagy villamos energiaként hasznosítjuk. A hőenergia hátránya a villamosenergiával szemben, hogy nagyrészt csak szezonálisan (kommunális fűtés) hasznosítható, s szállítása nagy fajlagos veszteséggel jár, míg a villamos energia relatív könnyen és kis veszteséggel szállítható, hasznosítása kisebb szezonalitást mutat. Az MTA Munkabizottsága által végzett kutatás szerint villamosenergia termelés fajlagos fölgázkiváltása csak 17,1 százaléka a közvetlen hőhasznosítás fölgázkiváltásának. A Regionális Energiagazdasági Kutatóközpont (REKK) kutatása alapján csak nagy teljesítményű (3300 kW) geotermikus villamosenergia erőmű tud nyereségesen működni, mely alapján egyértelműen kijelenthető, hogy a geotermikus energia optimális hasznosítási módja a hőenergia közvetlen fűtési célú hasznosítása. Érdeemes ugyanakkor megfontolni a kapcsolt villamosenergia- és hőtermelést, melynek fajlagos fölgázkiváltása 67,6 százaléka a közvetlen hőhasznosítás fölgázkiváltásának. Kapcsolt termelés esetén a REKK kutatása alapján kis (440 kW) és közepesen nagy (2000 kW) kapacitású erőmű is nyereséges lehet, ugyanakkor ez esetben folyamatos problémaként merülhet fel a villamosenergia- és hőigények eltérő szezonálisából adódó termelési igény eltérések, ami negatív irányba billentheti ezen erőműtípusok megtérülését.¹⁷

2. Geotermikus energia felhasználás Bóly, Szentlőrinc és Szigetvár városokban

Magyarországon a geotermikus energiával történő villamosenergia-termelésre nem találunk példát, ugyanakkor az országban szép számmal találhatók kisebb települések távhőigényeit biztosító geotermikus energiát használó távhőrendszerek, illetve mezőgazdasági-, balneológiai geotermikus energiahasznosítások. A geotermikus energia energetikai hasznosítása 1904-ben kezdődött az olaszországi Lardellóban. Itt helyezték üzembe az első geotermikus gőz hajtotta, villamosenergiát termelő gőzmotort. Két évtizeddel később az izlandi Reykjavikban épült ki az első geotermikus energiát használó távhőrendszer. Az 1950-es évektől fokozatosan nőtt a geotermikus energia szerepe. 2008-ban a geotermikus energia hasznosítása 41 millió tonna olaj felhasználását váltotta ki, mely a CO₂ kibocsátást 118 millió tonnával, az SO₂ kibocsátást pedig 800 ezer tonnával csökkentette évente.

Magyarországon a geotermikus energia mezőgazdasági felhasználása világviszonylatban is kiemelkedő.

2. ábra. Az európai termálvízkincs mennyisége a meglévő termálkutak száma alapján
Figure 2. Amount of thermal waters in Europe based on the numbers of existing thermal wells



Forrás: Országos Egészségturizmus Fejlesztési Stratégia (2007)

2010-ben 193 működő termálkúttal 67 ha üvegház és 232 ha fóliasátor fűtése volt biztosított, míg 52 helyszínen valósult meg a geotermikus energia közvetlen hasznosítása állattartás során.¹⁸ Magyarország kiemelkedő a geotermikus energia balneológiai és turisztikai hasznosítása területén.¹⁹ Az ország területén az Országos törzskönyvi nyilvántartás alapján 95 gyógyfürdő és 203 törzskönyvezett gyógyvizes kút található (2016),²⁰ köztük olyan nemzetközileg is ismert és leismert gyógyfürdőkkel, mint Harkány, Hévíz vagy Bükkfürdő.

3. ábra. A termálgyógyhelyek és a termálvíztestek kapcsolata Magyarországon
Figure 3. Relationship of thermal health resorts and thermal waters in Hungary



Forrás: Székely (2010)

A Nemzeti Megújuló Energia Cselekvési Terv 700 új termál kút megnyitását tervezi, melyekből nyerhető geotermikus energiát fűtésre, hűtésre és villamosenergia termelésre kívánják használni. 2020-ig 4,229 PJ (2010) geotermikus energia kapacitás 16,423 PJ-ra bővítése a cél, melyből 1,42 PJ kapacitás villamosenergia-termelésre kíván az ország felhasználni. Ez a legnagyobb tervezet növekedés a régió országai közül.²¹

2. táblázat. Közép-Európa országainak tervezett geotermikus energia kapacitása a nemzeti megújuló energia cselekvési tervek alapján (PJ)

Table 2. Planned geothermal energy capacity of the countries of Central Europe based on the national renewable energy action plans (PJ)

Ország	2010	2020
Ausztria	0,803	1,682
Csehország	0,0	0,694
Magyarország	4,229	16,423
Románia	1,047	3,349
Szlovénia	0,754	0,837
Szlovákia	0,126	3,876

Forrás: saját szerkesztés Nádor–Árvai (2015) alapján

A Dél-Dunántúlon elsődlegesen a korábbi olaj és uránérc kutatások során, majd az elmúlt évtizedekben tudatosan energetikai hasznosítás céljából több mint 150 hévízkutat tártak fel, melyek jelentős részét nem hasznosítják. A régióban a geotermikus energia legszembetűnőbb hasznosítási formája a gyógyászati és turisztikai célú hasznosítás. A nemzetközileg is ismert Harkányfürdő mellett a régió számos városában (Siklós, Szigetvár, Kaposvár, Marcali, Dombóvár-Gunaras, Tamási stb.), található regionális jelentőségű gyógyhely. A geotermikus energia távhőrendszerben történő, fűtési célú hasznosítására Bóly, Szentlőrinc és Szigetvár városokban került sor, de emellett a régió számos területén találunk mezőgazdasági célú, illetve hőszivattyús geotermikus energia hasznosításra példát.

A geotermikus energia hasznosításának egyik úttörője Bóly városa. A 2000 fő alatti kisvárosban az 1983-ban talált hőforrás került hasznosításra. A település 1996-ban kezdte meg a kút kiaknázásához szükséges tervezést. Az elkészült tanulmányok rendkívül kedvező hasznosítási lehetőséggel kecsegtettek, azonban az első fúrásra csak 2003-ban, az Európai Unió SAPARD programjának²² keretében került sor. A projekt keretében egy 1500 m mély termálkút fúrását, a fogyasztókat ellátó távvezeték rendszert, hozzá tartozó hőközpontokat, valamint az automatikus vezérlés megvalósulását tervezték. A projekt azonban részben sikertelenül zárult, 1800 méter mélységig nem találtak termálvizet. A fúrás közben 650 és 750 méter közötti úgynevezett szarmata vízáradó mészköréteg feltárását elvégezve alacsony hőmérsékletű, 40,2 °C vizet találtak, mely 2005-től több közművelődési intézmény padlófűtését biztosította. Az alacsony hatásfokú rendszer visszasajtoló kút hiányában jelentősen terhelte a városi szennyvíztelep működését, továbbá jelentős járulékos költségeket (bányajáradék, vízkészlet járulék) eredményezett. A negatív tapasztalatok ellenére a város nem a rendszer felszámolása, hanem továbbfejlesztése mellett döntött. Az Európai Unió támogatás segítségével megkezdtek a termálprojekt második ütemének megvalósítását. Az új fúrás során a korábbinál magasabb hőmérsékletű és hozamú (72–80 °C; 60,0 m³/h) vízforrást találtak. A pályázat keretében kialakításra került egy visszasajtoló kút, mely költséghatékonyabbá és környezetkímélővé tette a rendszert. A tervezetthez képest 20 százalékos többletkapacitással rendelkező kút kihasználása érdekében a város 2010-ben megkezdte a termálprojekt harmadik ütemét, melynek keretében a település ipari parkjában található üzemcsarnokok fűtését biztosították a kút többlethozamának felhasználásával. Emellett a harmadik ütem keretében az önkormányzat valamennyi intézményében kiépült a geotermikus alapú fűtési rendszer. A beruházás három ütemét összesen 627 millió forint költséggel valósította meg a bolyi önkormányzat, melynek éves működési költsége hozzávetőlegesen 9,5 millió forintot (2011) emészt fel. A település ezzel hozzávetőlegesen több mint 650 000 m³ (2011) földgázt takarít meg, melynek költségmegtakarítása meghaladja a 2 millió eurót (2011). Emellett a település a földgáz teljes fűtési célú kiváltásával éves szinten hozzávetőlegesen 1373 tonna CO₂-kibocsátást takarít meg, mely nemzetgazdasági szinten több százezer euró értékű értékesíthető CO₂ kvóta megtakarítást jelent.²³

A bolyi geotermikus energia hasznosítás mellett figyelmet érdemel a régió másik kisvárosában, Szentlőrincen kiépített rendszer. Szentlőrinc közel 6500 fős, agrárjellegű kisváros Baranya megyében, ahol az 1990-es évek elején merült fel geotermikus energia hasznosításának lehetősége. Több tanulmány készült a település alatti meleg víz kiaknázására, s a település távhőellátásában való felhasználására. A próbafúrások azonban csak 800 m mélységig történtek, míg a keresett melegvíz 1500 m-es mélységben található, amely feltárásának költségét a település önerőből nem tudta megvalósítani. Ennek következtében a geotermikus energia szentlőrinci kiaknázása bő 20 évet várattott magára. Az 1992-ban a Pannonplast jogutódjaként létrejött, Budapesti Értéktőzsdén prémium kategóriában jegyzett Pannergy Nyrt. a hazai geotermikus energia felhasználásából adódó lehetőséggel élve hő- és elektromos energiát előállító projektek megvalósításával foglalkozik az ország több pontján. A cég és a település önkormányzata által létrehozott Szentlőrinci Geotermia Zrt. 2009-ben kezdte meg a kutatásokat a településen, amelynek során 83 °C hőmérsékletű, a már létező távhőrendszerben hasznosítható termálvizet találtak. Hozzávetőlegesen 1,3 milliárd forintos projekt keretében, melynek 34%-át a Környezet és Energia Operatív Program pályázaton nyert támogatás biztosította, hozták létre az 590 háztartást és számos önkormányzati intézmény távhőellátását biztosító geotermikus fűtési rendszert. Ezzel a korábban felhasznált szén, majd fűtőolaj, majd végül földgáz helyett 100%-ban megújuló energiaforrással, a korábbiakhoz képest jelentősen alacsonyabb díjon szolgálják kis a település jelentős részének távhő- és melegvíz-igényét. Kiemelendő, hogy a bolyihoz hasonlóan a szí-

vattyúzással felszínre hozott, a felhasználás után is 60–75 °C hőmérsékletű termálvizet visszasajtolják, ezzel biztosítva, hogy gazdaságos és környezetkímélő módon hosszú időn keresztül használható legyen a rendszer.²⁴

A szentlőrincinél is régebbi gyökerekkel rendelkezik a szigetvári geotermikus energia hasznosítás, ahol már az 1980-as években megkezdődött az akkor újépítésű Szent István lakótelep geotermikus energiával történő fűtési rendszerének kialakítása, melyet akkor még csak a társasházak lépcsőházainak fűtésére használtak. A lakótelep ellátását az 1966-ban uránérc feltárása során talált pozitív nyomású, 60–62 °C-os hőmérsékletű vizet adó I. számú termálkút biztosította. Pozitív nyomású lévén a kútból történő vízkivételhez nincs szükség szivattyúra. A lakótelep elkészültét követően ezt a rendszert leállították, helyette a klasszikus 90/70-es, alsó elosztású kétcsöves fűtési rendszer került kialakítása kazánokról megtáplálva, ugyanis a nagy sótartalmú víz szétmarta a vezetékhálózatot. A lakótelepen a termálvizet jelenleg hozzávetőlegesen 570 háztartás (2012) melegvízellátására hasznosítják.

A kút hozamának jelentős részét balneológiai, turisztikai hasznosítás keretében a Szigetvári Gyógyfürdőben alkalmazzák. A kút vize jóval melegebb a fürdőben szükséges 40–41 °C-nál, így a víz hűtése folyamatos feladatot jelent a gyógyfürdő számára. A balneológiai hasznosítás számára felesleges hő hőcserélőkön keresztül a gyógyfürdő és a közeli létesítmények (szálloda, tanműhely, sportöltöző) fűtésére tudják szezonálisan használni, míg nyáron csak hűtővíz segítségével tudják a termálvíz hőmérsékletét csökkenteni. Problémát jelent, hogy a használat után megmaradó, 32–35 °C hőmérsékletű meleg víz visszacsajtolása nem megoldott, annak elvezetése az Almás-patakba és a közeli csónakázó tóba történik, hő- és sószennyezést okozva.

A gyógyfürdő 1,3 milliárd forintos beruházási költséggel épült, működése évi 117 millió forint (2011) költséggel jár, melyhez az üzemeltető Sziget-víz Kft. további 56,5 millió forint (2011) közvetett költsége²⁵ társul. A gyógyfürdő összes árbevétele 154,5 millió forint (2011), így a működés a csak közvetlen költségeket számolva nyereséges, az üzemeltető cég központi költségeit is hozzászámolva azonban veszteséges a működés.²⁶

3. Biomassza felhasználás

Biomassza alatt a szárazföldön és vízben található, minden élő, s nemrég elhalt szervezetek összességét, a mikrobiológiai iparok termékeit, valamint transzformációt követően keletkező valamennyi organikus eredetű terméket és hulladékot értjük, mely a biológiai rendszerben, az ökoszisztémában jön létre.²⁶ Keletkezése alapján megkülönböztetjük az elsődleges biomasszát (természetes vegetáció, többek közt a mezőgazdasági növények, erdők és vízben élő növények), a másodlagos biomasszát (állatvilág és az állattartás fő- és melléktermékei és szerves hulladékai), valamint a harmadlagos biomasszát (feldolgozó ipar és az emberi életműködés mellékterméke).²⁷ A biomassza túlnyomó többsége a tengerekben képződik, melynek csak elenyésző részét használjuk fel.²⁸

A biomassza kiemelkedik a többi megújuló energiaforrás közül, ugyanis ezekkel ellentétben a biomasszában nem jelentkezik az energia tárolásának problémája. A biomassza anyagtárolóként raktározza a zöldenergiát, lehetővé téve annak a szükséges időben történő felszabadítását és hő-, illetve villamos energiává alakítását.²⁹ Ugyanakkor kérdésként merül fel, hogy tekinthetjük-e egyáltalán a biomasszát megújuló energiaforrásnak. Bár a biomassza teljesíti az újratermelődésre/újratermelhetőségre vonatkozó kritériumot, ugyanakkor a többi megújuló energiaforrással ellentétben ez időben késleltetve történik meg. Kukoricát évente, repcét vetésforgó végett 4 évente lehet betakarítani. Energiaerdők esetén 3–

5 évente lehet vágni, ugyanakkor hagyományos erdő esetén ez az idő akár száz évet meghaladó is lehet. Ez alapján joggal merül fel a kérdés, hogy a biomasszát tekinthetjük-e CO₂ kibocsát szempontjából semlegesnek, hisz például az erdészeti fa elégetése során felszabaduló CO₂ több évtized alatt kerül ismételtlen megkötésre.³⁰ Az időbeliségben rejlő probléma miatt a biomasszát megújuló erőforrás helyett sokkal inkább megújítható erőforrásnak tekinthetjük.

A biomassza-felhasználás további problematikája, hogy erősen korlátozott mértékben áll rendelkezésre, energetikai hasznosítása mellett a mezőgazdaság és az élelmiszeripar fontos alapanyaga. Ennek megfelelően energetikai hasznosítása során kiemelt figyelmet kell fordítani arra, hogy csak a mezőgazdaság és az élelmiszeripar által fel nem használt, vagy e tevékenységek során feleslegessé vált, vagy melléktermékként megképződött biomasszát hasznosítsuk energetikai célokra.³¹ Részben ebből eredeztethető a biomassza-felhasználás fenntarthatóságának fő problémája. A biomassza erőművek folyamatosan igénylik az erőforrást (szezonális mellett) az energiatermelés, ugyanakkor annak rendelkezésre állását a mezőgazdaság természeti kitettsége befolyásolja. Kedvezőtlen időjárás, vagy természeti katasztrófa következtében egész termések, ültetvények semmisülhetnek meg, mely az energiatermelést, vagy a mezőgazdasági termények egyéb felhasználását veszélyeztethetik.³²

Biomasszát halmazállapota és energetikai hasznosíthatósága alapján három csoportba sorolhatjuk. A szilárd biomassza hő- és villamosenergia-termelésre, a folyékony biomassza (bio üzemanyag) hajtóanyagként, míg a biogáz hajtóanyagként, valamint hő- és villamosenergia-termelésre is használható.³³ Az elégetéssel történő energiatermelés a biomassza legelterjedtebb, ősidőig visszanyúló hasznosítási módja. A szilárd biomassza, azon belül is a fa fűtőanyagként történő hasznosítása az ipari forradalomig szinte egyeduralkodó volt, ilyen célú hasznosítása az elmúlt évszázadban szorult vissza,³⁴ azonban a fejlődő országok energiafelhasználásának továbbra is 30–35 százalékát biztosítja (Pintér 2015). Napjainkban elsősorban a mező- vagy erdőgazdálkodási és faipari mellékterméke és e folyamatok hulladéka kerül energetikai célú hasznosításra, legnagyobb földgázkiváltás ennek közvetlen hőellátásra és kapcsolt villamosenergia-termeléssel érhető el.³⁵

Mezőgazdasági melléktermékek közül érdemes kiemelni a szántóföldi növénytermesztés melléktermékeit, azok közül is a szalmát. A szalmafélék jelentős részét a mezőgazdaság almózásra, istállótrágya készítésre használja, míg több növény szalmája állati takarmánnyként is hasznosítható. az ipar cellulóz-előállításra, és papírgyártásra használja. A felsorolt hasznosítási módok mellett a szalma szántón hagyása és beszántása fontos eleme a termőtalaj termőképességének megőrzése céljából, ezért egyes vélemények szerint a mezőgazdaság és az ipar által nem hasznosított szalma termőterületről történő kivonása és energetikai célú hasznosítása ezen erőforrás felhasználásnak kevésbé hatékony módja.

Az erdőgazdálkodás során a nevelővágások (tisztítások, gyérítések), az ipari felhasználásra szánt faelőkészítés mellékterméke és a kifejezetten energetikai hasznosításra termelt célültetvények faanyaga jelenthet energetikai célú erőforrást. A mező- és erdőgazdálkodásból származó különböző fajtájú biomassza tulajdonsága, fűtőértéke és szennyező anyagtartalma eltérő, így a biomassza energetikai hasznosítása során számolni kell annak potenciálisan környezetszennyező jellegével, mely ugyanakkor jelentősen elmarad a szén erőművek környezetszennyező hatásától. A biomassza erőművek kén-dioxid kibocsátása jóval alacsonyabb,³⁶ továbbá kisebb a biomassza-hasznosítás salak- és hamuképződése, mely egyben természetes műtrágyaként hasznosítható. A környezetszennyező hatás megfelelő technológia alkalmazása mellett jelentősen csökkenthető.³⁷

3. táblázat. A biomassza tüzeléstechnikai jellemzői
Table 3. Combustion technology characteristics of biomass

Szilárd biomassza	Kémiai összetevők					Fűtőérték MJ/kg	Hamu %	Illóanyag %
	C	H	O	N	S			
Búzaszalma	45	6	4	0,6	0,12	17,3	74	6
Kukoricaszár	n. a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	17,5	76	3,5
Fa	47	6,3	46	0,16	0,02	18,5	85	0,5
Kéreg	47	5,47	40	0,4	0,06	16,2	76	9
Fa, kéreggel	47	6	44	0,3	0,5	18,1	82	0,8

Forrás: Saját szerkesztés Barótfi (1998) alapján

A szilárd biomassza égetéssel történő felhasználásának alternatíváját a folyékony halmazállapotú energiahordozó előállítása jelenti. Ezek előnye, hogy a szilárd biomasszához képest jóval nagyobb energiasűrűséggel rendelkeznek, így tárolása, szállítása jóval kedvezőbb. A folyékony biomassza származása szerint növényi, állati és egyéb (mikrobák, gombák stb.) eredetű, fajtája szerint pedig alkohol, olaj vagy zsír lehet.

Az etanolt nagyrészt cukorból vagy keményítőből, ritkábban cellulóztartalmú anyagból állítanak fermentációval, vagy desztillációval.

4. táblázat. Bioetanol előállítás különböző növényekből
Table 4. Bioethanol production about different plants

Növény megnevezése	Cukortartalom %	Fajlagosan kinyerhető szesz hektoliterfok/kg	Keményítőtartalom %
Cukorrépa	16–17	0,09	–
Melasz	42–50	0,3–0,31	–
Cukornád	11–12	0,07	–
Melasz	35–40	0,26–0,28	–
Batáta	6–8	0,12	14–16
Édescirok	15–16	0,09	–
Burgonya	0,5–1,5	0,1–0,115	12–20
Kukorica	2–3	0,33–0,35	65
Rozs	4	0,36	65
Búza	1,4	0,35–0,36	65
Zab	–	0,28	53
Rizs	–	0,4–0,45	70
Árpa	–	0,36	58
Csicsóka	16	0,06–0,09	–
Vadgesztenye	–	0,25	50
Napraforgóhéj	0,09–0,1	0,09–0,1	25–28
Rizshéj	0,11	0,11	28–30
Kukoricacsutka	0,07–0,08	0,07–0,08	18–22
Búzaszalma	0,12–0,14	0,12–0,14	34
Fenyőhulladék	0,2	0,2	56
Lombos fa hulladék	0,16–0,17	0,16–0,17	47

Forrás: Saját szerkesztés Barótfi (1998) alapján

Trópusi és szubtrópusi országokban elsősorban cukornádból, Észak-Amerikában pedig kukoricából állítják elő, melyet hajtóanyagként, illetve adalékanyagként használnak fel, melyek 2009-ben kőolaj-egyenértéken a kőolajtermelés 1,5 százalékát váltották ki.³⁸ Ezek mellett érdemes megemlíteni a cukorrépát és az édescirokot, melyekből bár fajlagosan kevés szesz nyerhető ki, azonban az 1 hektár termőterületre vetített létrehozható folyékony biomassza mennyisége.³⁹

A növényi olajokat főképpen sajtolással és oldószeres reakcióval nyerik ki a szilárd biomasszából, elsődlegesen napraforgóból (430 L/t), repceből (420 L/t) és szójából (400 L/t).⁴⁰ Üzemanyaggá alakításukra többféle technológia létezik, mely során előállított

biodízel üzemanyagként, vagy üzemanyag adalékként hasznosítható. Kiemelendő részterülete az étkezési növényi olaj üzemanyagként történő hasznosítása, mely nemcsak a környezetszennyező használt olaj környezetbe jutását akadályozza meg, de egy értéktelenné váló háztartási és vendéglátó ipari melléktermék energetikai hasznosítását teszi lehetővé.

A biomassa légnemű típusa, a biogáz hozzávetőlegesen a földgáz fűtőértékének kétharmadával bír, melyet energetikai célú hasznosítás során villamos- és hőenergia, illetve ezek kapcsolt módon történő előállítására lehet felhasználni. A biogáz előállítható szerves anyagok anaerob erjesztése, többek közt kommunális szennyvíz kezelése során, a szennyvíztelepen keletkező szennyvíziszap felhasználásával. Egy kilogramm szárazanyagból hozzávetőlegesen 0,2–0,4 m³ biogáz nyerhető ki.⁴¹ Ennek mértéke függ a szerves anyag összetételétől, az erjesztési technológia jellegétől, a biomassa szárazanyag-tartalmától, és a hőmérséklettől. A biomassa jellege és az alkalmazott technológia függvényében a bomlás folyamata 2 óra (biogáz reaktor) és 25 év (szemétdépónia) között változhat.⁴² A bomlás során a szerves anyag hozzávetőlegesen fele használható fel biogáz előállítására, a szerves anyag többi része szerves komposztként visszamarad, mely biotrágyaként a mezőgazdaságban hasznosítható.

A biogázgyártás során alkalmazott technológia jellegét elsődlegesen a felhasznált biomassa szárazanyag-tartama határozza meg. A nedves biogázgyártás alapanyaga az emberi és állati eredetű hígtrágya, valamint az élelmiszeripari szervesanyag-tartalmú folyadék, melynek szárazanyag-tartalma 2–8 százalék, szervesanyag-tartalma 40–60 százalék között mozog.⁴³ A felszáras eljárás esetén a biomassa jellege és összetétele nem tér el a nedves eljárástól, azonban a biomasszát különböző mezőgazdasági melléktermékekkel, főképpen szalmával vegyítik. Kiemelendő a biogáz termelésnek az a speciális esete, mikor a depónált kommunális lerakóhelyen a természetes bomlás során keletkező biogáz begyűjtésére kerül sor a telepek megfűrésével, s a kiáramló biogáz begyűjtésével. Érdemes pár szót említeni a biomassa háztartási méretű hasznosítási lehetőségéről, a kerti szerves hulladék energetikai felhasználását lehetővé tevő biogáz reaktorokról, melyek mikroorganizmusok segítségével anaerob erjesztéssel természetes módon állítanak elő biogázt.⁴⁴

A biogáz közvetlenül, égetéssel, a fölgázhálózatba történő betáplálással, vagy gázmotorban történő elégetéssel használható fel. 1 m³ biogáz felhasználásával hozzávetőlegesen 1,8 KWh értékesíthető villamosenergia és 5,5 MJ hőenergia állítható elő.⁴⁵

5. táblázat. Az első generációs bioüzemanyagok termelése
Table 5. Production of first-generation biofuels

	Bioetanol 2009 (MI)		Biodízel 2009 (MI)		Biogáz/biométán* 2008
	termelés	kapacitás	termelés	kapacitás	termelés
Világ	73 000	n. a.	17 000	n. a.	n. a.
EU	3600 (2,6 e%)	6800	9000 (4 e%)	23 200	7542/230
Mo.	150 (4–5 e%)	210	120 (3–4 e%)	207	11,1/0

Forrás: Bai (2011)

4. Biomassa hasznosítás a Dél-Dunántúlon

Magyarország természeti adottságai kedveznek a biomassa energetikai célú hasznosításának, ez az erőforrás rendelkezik az országban a legnagyobb energetikai potenciállal. Az ország teljes biomassa készlete mintegy 350 millió tonna, a magyarországi elméleti energetikai biomassa potenciál 417 PJ.⁴⁶ A hazai erdők átlaghozama 5 m³/ha/év (energia-tartalma 45–50 GJ/ha), így a magyar erdők évenkénti energiaproduktuma a hazai biomass-

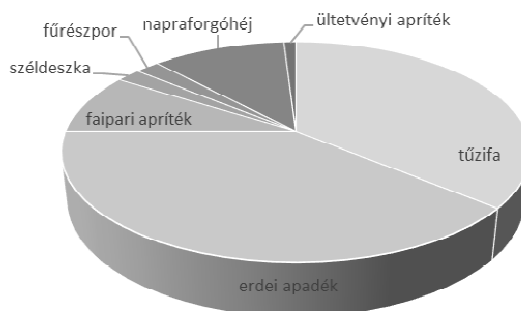
szá potenciál mintegy negyedét adja.⁴⁷ A rendelkezésre álló változatos technológiáknak köszönhetően a biomassa sokrétű módon használható fel energetikai hasznosítás céljára, melyre számos példát találunk a Dél-Dunántúlon.

A szilárd tüzelőanyag hasznosítás tekintetében szemléletes példa a pécsi erőmű, melynek tervezését a dél-dunántúli fogyasztók növekvő fogyasztási igényének kielégítése érdekében kezdték meg 1951-ben.⁴⁸ A mecseki kőszén felhasználásával üzemeltetni kívánt erőmű helyszínének kiválasztásakor meghatározó szempont volt a napi 5–6000 tonna szén felhasználó erőmű az energiaforráshoz minél közelebb történő telepítése. A kapcsolt termelést végző erőmű a villamosenergia-termelés mellett biztosította a város új részeinek központifűtés-ellátását, valamint a város ipari üzeleinek gőzellátását. A 96 MW névleges teljesítményű erőművet 1955 októberében kezdték építeni, s a sikeres tesztek követően 1959 decemberében kezdte meg a folyamatos termelést. 1965-ig több szakaszban került sor az erőmű kapacitásbővítésére, mellyel először 30 MW, majd további 100 MW névleges teljesítménnyel nőtt az erőmű kapacitása.⁴⁹ Ekkor 27 534 lakás, 511 közintézmény és 79 ipari hőfogyasztó igényét, valamint az ország villamosenergia-igényének közel 12%-át biztosította. 1983-tól a 1990-es évek elejéig került sor az erőmű rekonstrukciójára, melynek legfontosabb célja az energetikai szénfűlésegek gazdaságos felhasználása, valamint a pécsi távhőellátás hosszú távú biztosítása érdekében, a technikai színvonal emelése, valamint környezetvédelmi célok megvalósítása volt.⁵⁰ Az erőmű 1992-ben egyesült a Mecseki Szénbányákkal, melyet követően immár az erőműhöz tartozó komlói bányauzem, és két külszíni fejtés biztosította továbbra is az erőmű energiahordozó szükségletét.⁵¹ 1995 elején kezdődött meg az erőmű új blokkjának tervezése, melynek során egy 100–150 MW-os új blokk építését látták indokoltnak. Az új blokk az eredeti tervek szerint széntüzelésűek lett volna, de már 1995-ben felmerült a földgázfelhasználás lehetősége. 1996 májusára készültek el a tervek, melyek egy új 150 MW-os széntüzelési blokk megvalósítását tartalmazták. E helyet végül forrás hiányában a meglévő blokkok élettartalmának meghosszabbítását hajtották végre.⁵²

A privatizációt követően meginduló, 2004-ben befejeződő rekonstrukciót követően két szén kazánt földgáz, illetve olajtüzelésűvé alakítottak át, illetve létrehoztak egy új. 49,9 MW névleges teljesítményű biomassa tüzelésű blokkot, ahol tűzifát, erdei apadékból gyártott aprítékot, fűrészipari mellékterméket, napraforgóhéjat, valamint az cégesoort tulajdonában álló energiaültetvényen megtermelt nyárfaaprítékot használnak fel. Az erőmű 2004-ben egy 45 hektáros területen pilot jelleggel hozta létre energiaültetvényét, melynek területe az elmúlt egy évtizedben tízszeresére növekedett. Az átlagosan 20–30 t/ha/év hozamú, 95 százalékos megeredési arányú energiaültetvény az erőmű biomassa blokkjának 1 százaléknyi energiaforrás-igényét volt képes kielégíteni.

Az átalakítást követően az erőmű szennyezőanyag kibocsátása látványosan csökkent. Az egységnyi villamosenergia-termelésre jutó szén-dioxid-, nitrogén-dioxid- és szilárd károsanyag-kibocsátás a harmadára, a kén-dioxid- és szén-monoxid-kibocsátás közel a huszadára csökkent.

4. ábra. Pécsi Erőmű biomassza kazánjában felhasznált energiaforrás összetétele
Figure 4. Composition of energy sources used in the biomass boilers of Pécs Power Plant



Forrás: saját szerkesztés Pannonpower csoport adatai alapján

6. táblázat. 1 MW villamosenergia-termelésre jutó szennyezőanyag kibocsátás (t)
Table 6. Pollutant emissions per 1 MW electricity production

Szennyezőanyag	1995	1999	2000	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Kén-dioxid	33,94441	28,88868	31,17831	21,2173	19,98962	11,72621	1,431067	n.a.	1,431067
Szén-monoxid	1,836071	1,622371	0,275847	0,328181	0,409954	0,152642	0,02028	0,017445	0,02028
Nitrogén-oxidok	3,552208	3,047398	3,138983	2,148988	2,476079	1,483903	0,758546	0,224602	0,758546
Szilárd	1,667074	0,757761	0,765393	1,035788	1,144818	1,04233	0,036274	0,400141	0,036274
Szén-dioxid	1311,635	1161,173	1342,163	981,273	1088,123	902,1137	281,8216	227,8494	281,8216

Forrás: Saját szerkesztés MEKH adatai alapján

A rekonstrukciós projekt lezárását követően az erőmű megkezdte egy bálázott lágyszárú mezőgazdasági melléktermékek felhasználására alkalmas kazán építésének előkészítését, melyet a használaton kívüli, megmaradt szenes kazánok helyén felépült a 70 MW hő- és 35 MW-nyi névleges villamosenergia-termelő kapacitással rendelkező szalmatüzelésű blokk. Az új biomassza blokk 2013 végi átadását követően az erőmű teljes villamosenergia- és hőtermelését biomassza-felhasználás adja, a gázfelhasználású kazánok tartalékként funkcionálnak.

A Pécsi Erőmű átalakítása példaként szolgálhat az összes olyan magyarországi erőmű tekintetében (pl. Mátrai Erőmű), amely fosszilis tüzelőanyag felhasználásával termel villamos energiát, vagy látja el a környező települések hőenergia szükségletét. Jól példázza, hogy megújuló energiával nemcsak háztartások, csak kistelepülések, hanem százezer fő feletti nagyváros energiaszükségletét is lehet részben, vagy egészben biztosítani. A számos előny mellett azonban szükséges hangsúlyozni a termeléshez kapcsolódó negatív externális hatásokra. A szalma felhasználásával a talajból kieső tápanyag pótlása, illetve a szalma akár 80–100 kilométer távolságból történő szállítása, mely ellentmond a biomasszával szemben támasztott követelményeknek, olyan káros anyag kibocsátással jár, ami például földgázfelhasználás esetén nem jelentkezik, ezzel árnyalva a megújuló (megújítható) biomassza-erőforrás felhasználásának előnyeit.⁵³

Magyarországon az 1950-es években kezdődtek kutatások az állattartás során keletkező szennyvíz energetikai hasznosítására. A Pécsi Állami Gazdaság telepén végzett kutatásokhoz a sertéslepen keletkező napi 4–5 tonna trágyatermést használták fel, ami napi 200 m³ biogáz előállítására volt elegendő. A felszár az eljárással végzett kutatás során sikeresen állították elő a biogázt, mely biztosította a telep villamos- és hőenergia szükségletét. A mezőgazdasági biogáz előállítás és felhasználás fokozatosan terjedt el az országban egészen az 1980-as évekig, amikor elkészült az ország földgázhálózatának jelentős része, mely a biogáz előállítás jelentőségét csökkentette. A biogáz hasznosítás jelentős fellendü-

lését az Európai Unióhoz történő csatlakozást követően, a vidékfejlesztési célt szolgáló uniós fejlesztési források adta lehetőségek adták. Az Új Magyarország Vidékfejlesztési Program keretében 40–70 százalékos uniós támogatásintenzitással nyílt lehetőség biogáz üzem létesítésére. A támogatás keretében a Dél-Dunántúlon Kaposváron, Kaposszekcsőn, Bicséren és Bonyhádon létesült mezőgazdasági mellékterméket hasznosító biogáz üzem.

Kaposszekcső Baranya és Tolna megye határán elhelyezkedő, hozzávetőlegesen 1500 lakosú agrártelepülés. 2010-ben 1,23 milliárd forintos beruházással a település ipari parkjában hozták létre a Dél-Dunántúl első villamosenergiát is termelő biogáz erőművét. Az üzem három, összesen 7500 m³ kapacitású erjesztőiben a település állattartó telepein keletkező trágyát és hígtrágyát használják fel. Az üzem névleges villamosenergia-termelő teljesítménye 0,84 MW. A területen a biogáz üzem mellett bioetanol gyár működik, mely termelése során keletkező mellékterméket szintén a biogáz üzem hasznosítja, melynek hulladékhőjét pedig a bioetanol üzem használja termelése során. A bioetanol gyár évente hozzávetőlegesen 30 000 tonna kukorica felhasználásával átlagosan 12 ezer m³ bioetanol állít elő, melyet üzemanyag adalékként értékesítenek.⁵⁴

5. Összefoglalás

A megújuló energiaforrások részaránya a bruttó végső energiafelhasználásban – a számos gátló tényező ellenére – folyamatosan növekszik világszerte. Ezt az utóbbi időkből kidolgozott, vagy kidolgozásra váró technológiai innovációk segítik. A tanulmány két részében bemutatott öt megújuló energiaforrás (napenergia, szélenergia, vízenergia, geotermikus energia, biomassza) hasznosítása számos kiaknázatlan, vagy csak részben kiaknázott lehetőséget jelent a fosszilis energiahordozóktól történő függőség teljes megszüntetésében. Magyarország a bemutatott három megújuló energiaforrás közül egyedül a napenergia elterjedését támogatja annak ellenére, hogy mind szél-, mind pedig vízenergia tekintetében atomerőműi blokkok teljesítményét meghaladó kiaknázatlan kapacitással rendelkezik. Mindez megfontolásra ad okot annak tekintetében, hogy valóban jó úton jár-e Magyarország villamosenergia-termelő portfóliójának kialakításában.

JEGYZETEK

1. Haffner (2017).
2. Lukács (2010).
3. Signanini et al. (2012).
4. Gööz (2015).
5. Lukács (2010).
6. Bobok-Tóth (2010).
7. Gööz (2015).
8. MTA (2010).
9. Fischer et al. (2009).
10. Bobok-Tóth (2010).
11. Giber (2005) és Crabbe–McBride (1978).
12. Árpási (2004).
13. Beke (2004).
14. MTA (2010).
15. Fischer et al. (2009).
16. Signanini et al. (2012).
17. MTA (2010) és REKK (2009).

18. Bobok-Tóth (2010).
19. Székely (2010).
20. Országos törzskönyvi nyilvántartás a magyarországi gyógyfürdőről www.antsz.hu, Országos Gyógyhelyi és Gyógyfürdőügyi Főigazgatóság által elismert gyógyvizek adatbázisa (www.mkbep.hu)
21. NCsT (2010) és Gööz (2015) és Nádor-Árvai (2015)
22. A SPARAD program az Európai Unióhoz csatlakozni kívánó 10 közép- és kelet-európai ország a mezőgazdasági és a vidékfejlesztési fejlesztéseit támogatta a csatlakozás előtt.
23. Pálné Schreiner (2013).
24. Haffner (2013).
25. Ágazatokra nem bontható központi kiadások (vezetői bérek, központi adminisztráció működése stb).
26. Haffner (2013) és Pálné Schreiner (2013).
27. Pecznik (2004) és Lukács (2010).
28. Bai (2002).
29. Bai-Kormányos (2005).
30. Somogyvári (2007).
31. Barótfi (1998).
32. Somogyvári (2007).
33. Pintér (2015).
34. Giber (2005).
35. MTA (2010).
36. Somogyvári (2007).
37. Barótfi (1998) és Giber (2005) és Pecznik (2004).
38. Bai (2011).
39. Lakner (2002).
40. Barótfi (1998).
41. Bai (2005).
42. Barótfi (1998)
43. Barótfi (1998) és Bartha (2007).
44. Giber (2005).
45. Bai (2005).
46. Lukács (2010).
47. Barótfi (1998).
48. Cserta (1999).
49. Cserta (1999a).
50. Csávolszky (1996) és Braun-Rudolf (2003).
51. ÚDN 1992. augusztus 7. 3. old
52. ÚDN 1995. január 14. 9. old; ÚDN 1996. május 24. 1. és 7. old.; ÚDN 1996. szeptember 13. 6. old.; ÚDN 1999. február 27. 1. old.
53. Haffner (2016).
54. Pálné Schreiner (2013).

FELHASZNÁLT IRODALOM

- Acker, Fabian (2009): Taming the yantze. In: Engineering & Technology Volume 4. Issue 4. pp 48–51.
- Árpási Miklós (2004): Geotermikus energia In: Sembery Péter–Tóth László (szerk.) Hagyományos és megújuló energiák. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest. pp. 399–428.
- Bai Attila (2002): A biomassza jelentősége. In: Bai Atilla et al. (szerk.) A biomassza felhasználása. Szaktudás ház Kiadó. Budapest. pp. 13–29.
- Bai Attila (2005): Biomassza előállítása – Jelen és jövő, Szaktudás Kiadó Ház, Budapest,.
- Bai Attila (2011) Újabb generációs bioüzemanyagok perspektívái. In: magyar tudomány 2011/7.

- Bai Attila–Kormányos Szilvia (2005): A biodízel felhasználása a városi tömegközlekedésben. In: Tóth Tamás et al. (szerk.): *Eurega-Res – A megújuló energiák kutatása és hasznosítása az Európai Unió újonnan csatlakozott országaiban*. Magyar Szélerenergia Társaság és DE TEK TTK. Debrecen.
- Barótfi István (1998): A biomassza energetikai hasznosítása. Energiagazdálkodási kézikönyv. Energiaközpont Kht. Budapest.
- Bartha István (2007): A nedves és felszáraz eljárások összehasonlítása gyakorlati tapasztalatok alapján. In: Bai Attila et al. (szerk.): *A biogáz. Száz magyar falu könyvesháza* Kht. Budapest. pp. 59–64.
- Beke János (2004): *Hőenergetika* In: Sembery Péter–Tóth László (szerk.) *Hagyományos és megújuló energiák*. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest. pp. 35–114.
- Bobok Elemér–Tóth Anikó (2010): A geotermikus energia helyzete és perspektívái. In: *Magyar Tudomány* 2010/8.
- Braun Attila–Rudolf Péter (2003): A Pannonpower (Pécsi Erőmű) fejlesztése. *Magyar Energetika*. Dr. Büki Gergely (főszerk.) 2003/6 szám.
- Csávolszky Jenő (1996): Energiafejlesztés, -termelés In: Kassai Miklós (szerk.) *Pécs-Baranya 100 éve a műszaki és természettudományos folyamatok történetében 1896–1996* Pécs: Baranya Megyei Műszaki és Természettudományi Egyesületek Szövetsége 1996. 250–260. old.
- Cserta Péter (1999): A pécsi erőművek története. (I. rész). *Pécsi szemle* 1999 tél 93–108. old.
- Cserta Péter (1999a): A pécsi erőművek története. (II. rész). *Pécsi szemle* 2000 tavasz 64–77. old.
- Crabbe, David–McBride, Richard (1978): *The World Energy Book*. Kogan Page, London.
- Fischer et al. (2009): Geotermikus villamosenergia-termelés lehetőségei Magyarországon. Regionális Energiagazdasági Kutatóközpont, Budapest.
- Giber János (2005): *Megújuló energiák szerepe az energiaellátásban*. B+V Kiadó, Budapest.
- Göőz Lajos (2015): Utilizing Geothermal Energy in Hungary today. In: Ortiz, Willington et al. (szerk.) *Perspectives of Renewable Energy in the Danube Region*. MTA KRTK RKI. Pécs. pp. 251–256.
- Haffner Tamás (2013): A közösségi energiapolitika helyzete és kihívásai – a megújuló energiaforrások alkalmazásának lehetőségei In: *II. Interdiszciplináris Doktorandusz Konferencia 2014, Konferenciakötet*.
- Haffner Tamás (2016): A Pécsi Erőmű korszakváltásai – szénfelhasználástól a biomasszáig In: Gulyás L. (szerk.) *Közép-Európai Közlemények*, 2016/1. szám, Egyesület Közép-Európa Kutatására, Szeged 2016, pp. 49–56.
- Haffner Tamás (2017): A megújuló energiaforrások alkalmazása a villamosenergia és hőtermelésre I. – napenergia, szélenergia, vízenergia. In: Gulyás L. (szerk.) *Közép-Európai Közlemények*, 2017/2. szám, Egyesület Közép-Európa Kutatására, Szeged 2017.
- Lakner Zoltán (2002): Bioetanol. In: Bai Atilla et al. (szerk.) *A biomassza felhasználása*. Szaktudás ház Kiadó. Budapest. pp. 153–172.
- Lukács Gergely Sándor (2010): *Megújuló energiák könyve*. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest.
- MTA Energiastratégia Munkabizottság (2010): *Megújuló energiák hasznosítása*. Magyar Tudományos Akadémia, Budapest.
- Nemzeti Megújuló Energia Hasznosítási Cselekvési Terv (2010).
- Országos Gyógyhelyi és Gyógyfürdőügyi Főigazgatóság által elismert gyógyvizek adatbázisa (www.mkbep.hu)
- Országos törzskönyvi nyilvántartás a magyarországi gyógyfürdőkről www.antsz.hu
- Pálné Schreiner Judit (2013): Alternatív energiák hasznosítási megoldásainak vizsgálata. In: Buday-Sántha Attila (szerk.) *Dél-dunántúli Régió fejlesztési II. kötet*, Pécs, Hungary. pp. 466–505.
- Pintér Gábor (2015): Biomass transportation into power plants – calculation. In: Ortiz, Willington et al. (szerk.) *Perspectives of Renewable Energy in the Danube Region*. MTA KRTK RKI. Pécs.
- Peczник Pál (2004): A biomassza energetikai hasznosítása In: Sembery Péter–Tóth László (szerk.) *Hagyományos és megújuló energiák*. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest. pp. 235–279.
- Signanini, Patrizio et al (2012): Geotermikus energia In: Laczó Dániel (szerk.) *A Megújuló energiaforrások kézikönyve*. Környezettudományi Központ, Budapest.
- Somogyvári Márta (2007): A biomassza energetikai felhasználásának etikai vonatkozásai. A biomassza alapú energiatermelés. Pécs, Hungary pp. 10–22.
- Székely Ferenc (2010): Hévizeink és hasznosításuk. In: *Magyar Tudomány* 2010/12.
- Új Dunántúli Napló cikkei: ÚDN 1992. augusztus 7. 3. old, ÚDN 1995. január 14. 9. old; ÚDN 1996. május 24. 1. és 7. old.; ÚDN 1996. szeptember 13. 6. old.; ÚDN 1999. február 27. 1. old.