

A geotermia jelene és jövője Hazai helyzetkép és nemzetközi kitekintés

NÁDOR Annamária

Szabályozott Tevékenységek Felügyeleti Hatósága, Földtani Szolgálat
annamaria.nador@sztfh.hu

Present and future of geothermal energy State-of-art in Hungary and international outlook

Abstract

The article reviews the role and opportunities of geothermal energy utilization in Hungary and Europe, which, despite its numerous advantages and favourable geological conditions, falls short of its potential. This is being addressed by several EU climate and energy policies, which encourage the utilization of geothermal energy through the expansion of renewable energy sources, with the aim of reducing emissions and strengthening security of supply. In line with international efforts, Hungary also intends to increase the role of geothermal energy, planning a significant expansion of its use and an enhanced replacement of natural gas by 2030. The policies also highlight the importance of the availability of geological data and expert knowledge.

The article also outlines the state-of-art of the European and domestic geothermal utilization, emphasizing the recognized role of Hungary in direct use. It also briefly presents the legislative, data management and government research activities that are intended to serve the enhanced use of the domestic geothermal energy resources.

Looking ahead, both policy and industry scenarios predict significant growth in the field of geothermal energy. To achieve these goals, the development of new technologies – such as EGS and AGS systems – is necessary, which offer great potential, but are currently limited by high costs and technical uncertainties.

Keywords: *geothermal energy, energy policy, new technology*

Összefoglalás

A cikk a geotermikus energiahasznosítás jelenlegi helyzetét és jövőbeli szerepét tekinti át Magyarországon és Európában. Az erőforrás hasznosítása számos előnye és a kedvező földtani adottságok ellenére elmarad a lehetőségekhez képest. Ezt több EU-s klíma- és energetikai szakpolitika igyekszik orvosolni, amelyek a megújuló energiaforrások bővítésén keresztül ösztönzik a geotermikus energia hasznosítását mint a dekarbonizációs célkitűzések elérésének egyik fő eszközét, és célul tűzik ki a kibocsátáscsökkentést és az ellátásbiztonság erősítését is. A nemzetközi törekvésekkel összhangban Magyarország is növelni kívánja a geotermia szerepét, 2030-ig jelentős felhasználásbővítést és földgáz kiváltást tervezve. A szakpolitikák mellett kiemelik a földtani adatok hozzáférhetőségének és a szakértői tudásnak a fontosságát.

A cikk felvázolja az európai és a hazai geotermikus hasznosítások helyzetképét is, hangsúlyozva hazánk elismert szerepét a közvetlen hőhasznosításban. Emellett röviden bemutatja azokat a jogszabályi, adatgazdálkodási és állami kutatási tevékenységeket, amelyek szintén a hazai geotermia fellendülését hivatottak szolgálni.

A jövőt tekintve a szakpolitikai és iparági forgatókönyvek egyaránt jelentős növekedést prognosztizálnak a geotermia területén. E célok eléréséhez új technológiák – például EGS- és AGS-rendszerek – fejlesztése szükséges, amelyek ugyan nagy potenciált kínálnak, de jelenleg a magas költségek és műszaki bizonytalanságok korlátozzák elterjedésüket.

Tárgyszavak: *geotermikus energia, energiapolitika, új technológia*

Bevezetés

Jelen kötet a geotermikus energiahasznosítás évszázadok óta ismert és széleskörűen alkalmazott formáját, a termálvíz-kitermeléssel együtt járó közvetlen hőhasznosítás komplex kérdéskörét vizsgálja. Ezen belül annak egyik kritikus területére összpontosít: hogyan érvényesíthetők szakmailag összehangoltan egy adott földtani rendszeren belül az energetikai (hőhasznosítás) és a vízgazdálkodási (a Víz Keretirányelv célkitűzéseinek megfelelő jó mennyiségi és minőségi állapot elérése és fenntartása) szempontok. A geotermikus energiahasznosításnak azonban ennél a hagyományos szerepkörnél jóval tágabb alkalmazási területei terjedtek el napjainkban, és az új, még kísérleti stádiumban levő innovatív technológiákkal együtt ezek egyre hangsúlyosabb szerepet töltenek be az energiarendszerek zéró kibocsátását célzó zöld átmenetben.

A cikk célkitűzése, hogy átfogó ismertetést adjon a geotermia szerepéről és jövőbeli lehetőségeiről az energiaellátásban, röviden ismertesse a nemzetközi és hazai szakpolitikákat és azok célkitűzéseit, valamint hangsúlyozza a földtudományok és a földtani ismeretesség fontosságát a teljes geotermikus értékláncon belül. A cikk ezt követően felvázolja a geotermia jelenlegi hasznosítási helyzetképét Európában, majd röviden bemutatja a Magyarországon az elmúlt években bekövetkezett legfontosabb jogszabályi változásokat, a geotermia fellendülését célzó egyéb állami támogató tevékenységeket, valamint áttekintést ad a geotermikus energiahasznosítás főbb területeiről. Legvégül – a teljesség igénye nélkül – ismerteti azokat a legújabb technológiai trendeket és egyéb ösztönző megoldásokat, amelyek hozzájárulhatnak a geotermikus energiahasznosítás valós áttörést okozó fellendüléséhez.

A geotermikus energia legnagyobb előnyét – a többi megújuló energiaforrással szemben – egyrészt időjárás-független, folyamatosan rendelkezésre álló (*base-load*) jellege adja, másrészt azon tulajdonsága, hogy többféle felhasználási lehetőséget biztosít: széles hőmérséklet-tartományon belüli fűtésre (sőt hűtésre), villamosenergia-termelésre, sőt egyes esetekben kritikus ásványi nyersanyagok (pl. lítium) kinyerésére is alkalmas. Emellett helyi erőforrásként jelentősen csökkentheti a fosszilis tüzelőanyagoktól való függést, biztosítva ezzel az egyre hangsúlyosabb szerepet kapó energiaszuverenitást és közel zéró kibocsátású energiaként hozzájárul a globális klímapolitikai célokhoz is.

Mindezen előnyök ellenére a geotermikus energiahasznosítás hazánkban, de Európában is messze elmarad a földtani adottságokhoz képest, a geotermikus energia 2021-ben az EU megújuló primer energiaforrásainak mindössze 2,8%-át tette ki (EC 2024). Számos tanulmány és szakpolitikai háttéranyag (pl. EP 2023, ETIP-G 2023, 2024, EC 2024, EGE 2024a, IEA 2024, GEOTHERMFORA 2025) elemezte ennek okait, a leggyakrabban azonosított hátráltató tényezők az alábbiak:

– magas kezdeti tőkeigény, amely az első fúrás lemélyítésekor a felszín alatti térrész kisfokú ismertségéből adódóan magas földtani kockázattal párosul,

- a kutatást, kivitelezést és üzemeltetést szabályozó komplex jogi környezet, amelynek külön kiemelt eleme az időigényes, több hatóságon átívelő engedélyeztetési rendszer,
- a fosszilis tüzelőanyagok árával (különösen ártámogatott rendszerek esetében) szembeni versenyhátrány,
- egyes esetekben környezeti kockázatok, például mesterségesen továbbfejlesztett földhőrendszerek esetében indukált földrengés,
- a geotermia föld alatti, „láthatatlan” jellegéből adódóan a társadalmi elfogadottság hiánya,
- képzett szakemberek hiánya.

Mindezen akadályok leküzdésére a hivatkozott anyagok számos megoldási javaslatot adnak (pl. geológiai kockázatkezelő pénzügyi konstrukciók létrehozása, a vonatkozó jogszabályi környezet harmonizálása és egyszerűsítése az engedélyezési folyamatok felgyorsításával, az árszabályozás kérdéskörének felülvizsgálata és versenyképes támogatási rendszerek kialakítása, célorientált képzési rendszerek megteremtése stb.). Mindezek elsősorban nem műszaki, földtani, hanem jogi, pénzügyi-gazdasági kérdéseket feszegetnek, ezért részletes ismertetésük túlmutat ezen cikk határain.

EU és nemzeti szakpolitikai keretrendszer, célkitűzések

A geotermikus energiában rejlő előnyök kiaknázását – különösen az elmúlt évek energiaválságára tekintettel – kiemelten kezelik az EU-s klíma- és energetikai szakpolitikák. Ezek általában nem geotermia-specifikusak, hanem a megújuló fokozott hasznosítására ösztönöznek. Ennek első fontos állomása volt a 2015-ben létrehozott Európai Energiaunió (*Energy Union*) (EU 2018) mint keretstratégia, amely öt átfogó dimenziót határozott meg az éghajlat- és energiaügyi területén: (1) energiabiztonság, (2) integrált belső energiapiac, (3) energiahatékonyság, (4) a gazdaság dekarbonizálása a megújuló fokozottabb felhasználásával, (5) kutatás, innováció és versenyképesség támogatása az alacsony szén-dioxid-kibocsátású és tiszta energiatechnológiák terén. Az előrehaladás nyomon követése érdekében minden évben jelentést tesznek közzé az elért eredményekről. A 2024-es jelentés kiemelte a megújuló energia bővítése és az alacsonyabb energiaszükséglet terén elért jelentős uniós előrelépéseket.

A megújuló fokozottabb felhasználását ösztönző másik fontos lépés a Nemzeti Energia- és Klímatek (National Energy and Climate Plans – NECP) bevezetése volt 2019-ben, amelyet a „Tiszta energia minden európainak” (*Clean Energy for All Europeans*) (EU 2019) csomag részeként fogadtak el. A nemzeti tervek felvázolják, hogy az uniós országok hogyan kívánják kezelni az Energiaunió fent felsorolt 5 dimenzióját. A tagállamoknak 2023-ban kellett frissíteniük NECP-dokumentumaikat, illetve 2 évente kell jelentést készíteniük az abban foglalt vállalások teljesítéséről.

A következő jelentős mérföldkő a 2020-ban jóváhagyott Európai Zöld Megállapodás (*European Green Deal*) volt (EU 2020), amelynek átfogó célja az EU klímasemlegességének biztosítása 2050-re. A Zöld Megállapodás megvaló-

sítása érdekében a 2021-ben elindított „Irány az 55%” (*Fit for 55*) (EU 2021) csomag keretében felülvizsgálták a meglévő jogszabályokat, és új jogalkotási kezdeményezéseket vezettek be, amelynek célja annak biztosítása volt, hogy az EU 2030-ra elérje az 1990-es szinthez képest 55%-os kibocsátáscsökkentési célt. A csomag elindította a geotermikus ágazatra vonatkozó kulcsfontosságú jogszabályok, például a Megújulóenergia Irányelv (RED), az Energiahatékonysági Irányelv (EED) és az Épületek Energiahatékonyságáról szóló Irányelv (EPBD) felülvizsgálati folyamatát.

2022 májusában a Bizottság bemutatta REPowerEU tervét (EU 2022) amely válaszul szolgált az orosz–ukrán háború okozta nehézségekre és globális energiapiaci zavarokra. A terv fő célja az energiatakarékosság, a tiszta energia termelése és az EU energiaellátásának diverzifikálása volt. Ez a terv többek között további intézkedéseket is eredményezett, amelyek a RED, az EED és az EPBD felülvizsgálatokba épültek be.

A felülvizsgált Megújuló Energia Irányelv (RED III) (EU 2023a) kötelezi a tagállamokat, hogy közösen biztosítsák, hogy a megújuló energiaforrásokból előállított energia részaránya az Unió bruttó végső energiafogyasztásában 2030-ban legalább 42,5% legyen, és törekedjenek arra, hogy ezt az arányt 45%-ra növeljék. Ezen belül a nemzeti részarányvállalásokat a NECP-ek tartalmazzák (Magyarország esetében ez 30%). A felülvizsgált irányelv a fűtésre és hűtésre vonatkozó megújuló energiaforrásokra vonatkozó célértékek fokozatos növelését is előírja nemzeti szinten, évi 0,8%-os kötelező növekedéssel 2026-ig, és 1,1%-kal 2026 és 2030 között. Az Irányelv továbbá kimondja, hogy a tagállamoknak fel kell mérniük a megújuló forrásokból származó energiaforrásokban rejlő potenciáljukat (pl.: „országos geotermikus potenciál felmérés”), valamint bevezeti az ún. „megújuló energia projektek számára alkalmas területek” (*renewable go-to areas*) fogalmát, ahol az engedélyezési folyamatok felgyorsítása és leegyszerűsítése a cél a zöldenergia-beruházások gyorsabb megvalósítása érdekében. Ezen területek feltérképezése és kijelölése szintén tagállami feladatként jelenik meg.

A felülvizsgált Energiahatékonysági Irányelv (EED) (EU 2023b) új elemként bevezette az „első az energiahatékonyság” elvet (a legolcsóbb energia a fel nem használt energia), valamint előírja a tagállamok számára, hogy 2030-ra közösen biztosítsák az energiafogyasztás további 11,7%-kal való csökkentését a 2020. évi előrejelzésekhez viszonyítva. Emellett új rendelkezést vezetett be, amely szerint a 45 ezer főnél nagyobb településeknek helyi fűtési és hűtési terveket kell készíteniük, amelyben kiemelt szerepet kell kapni az alacsony hőmérsékletű fűtési–hűtési rendszereknek, valamint a megújulóknak; ebben a geotermikus energiának szintén kiemelt szerepe lehet. A felülvizsgált Irányelv másik fontos új eleme, hogy az új vagy jelentősen felújított távhőrendszereknek 2030-ig meg kell felelniük a hatékony távhő fogalmának (legalább 50% megújuló energia, vagy 50% hulladékhő, vagy 75% kapcsolt áram- és hőtermelés); ez szintén jelentős lehetőséget biztosít a geotermikus alapú távhőrendszerek további elterjedéséhez.

A felülvizsgált Épületek Energiahatékonyságáról szóló Irányelv (EPBD) (EU 2024a) célja az épületfelújítások arányának növelése az EU-ban. Az épületek az energiafogyasztás 40%-ért és az energiával kapcsolatos közvetlen és közvetett üvegházhatású gázkibocsátás 36%-ért felelősek. Az EU-ban a fűtés, a hűtés és a használati melegvíz-termelés a háztartások által fogyasztott energia 80%-át teszi ki. A felújítás ezért kulcsfontosságú az épületek energiafogyasztásának csökkentése, a kibocsátások mérséklése érdekében, ezzel összhangban az irányelv egyik kiemelt célja a „nulla kibocsátású épület” (Zero Emission Building – ZEB) bevezetése 2030-tól. Mindezen célok elérésében, különösen a felújított épületek alacsony hőmérsékletű fűtési rendszereinek kiépítésében egyes geotermikus technológiáknak szintén jelentős szerepük lehet.

2024-től az „Irány az 55%” intézkedéscsomag részeként további három – a geotermia szempontjából fontos – intézkedéscsomag lépett életbe.

A Villamosenergia-piac tervezéséről szóló rendelet (EU 2024b) célja a megújuló energia hálózatban való részesedésének növelése, a fogyasztók erősebb védelme és az EU energiapiaca ellenálló képességének megerősítése pl. hosszú távú áramvásárlási megállapodások révén. Az új szabályok a rugalmasság és a tárolás révén megkönnyítik a megújuló energiaforrások, így például a geotermia által termelt áram rendszerbe való integrálását is.

A Nulla Kibocsátású Iparágakról szóló Rendelet (EU 2024c) célja a dekarbonizációhoz kulcsfontosságú iparágak és technológiák európai versenyképességének fokozása. A rendelet nevesítetten szerepelteti a geotermikus technológiákat mint az e cél eléréséhez szükséges stratégiai eszközöket, és sürgeti az ehhez kapcsolódó engedélyezési folyamatok felgyorsítását.

A Kritikus Nyersanyagok Rendelet (EU 2024d) célja, hogy biztosítsa az EU hozzáférését a kritikus fontosságú nyersanyagok biztonságos és fenntartható ellátásához. A törvény 34 kritikus fontosságú nyersanyag listáját határozza meg, amely tartalmazza a geotermikus fluidumokból kinyerhető lítiumot is, amely elengedhetetlen az akkumulátorok gyártásához. A rendelet többek között előírja az e nyersanyagok felmérését célzó nemzeti kutatási programok végrehajtását.

A fenti kulcsfontosságú jogszabályok mellett az Európai Parlament 2024-ben elfogadott indítványában (EP 2023) külön foglalkozott a geotermiával, beleértve a finanszírozás, kutatás és engedélyezés felgyorsítását. Erre alapozva a 2024-es magyar EU-elnökség egyik kiemelt eredménye volt a Tanácsi Következtetések (EC 2024) elfogadása, amely a geotermikus energiának mint fontos megújuló energiaforrásnak az előmozdítására irányul. A Tanács hangsúlyozza, hogy a geotermikus energia sokkal nagyobb szerepet játszhat az EU energiatermelésében és fűtés–hűtés ellátásában, mint jelenleg, ezért kéri a tagállamokat, hogy egyszerűsítsék és gyorsítsák fel a geotermikus projektek engedélyezési folyamatait, távolítsanak el minden olyan jogszabály- és adminisztratív akadályt, amelyek lassítják az új beruházásokat, segítsék a geotermikus projektek finanszírozását (pl. állami ösztönzők, hitelek, támogatások) és a szakemberek képzését. A dokumentumban a Tanács javasolja egy uniós

szintű együttműködési platform (European Geothermal Alliance) létrehozását, amely összefogja a politikai döntéshozókat, iparági szereplőket, befektetőket és kutatókat, valamint felszólítja a Bizottságot, hogy dolgozzon ki egy átfogó geotermikus stratégiai tervet és egy Európai Geotermikus Akciótervet, amely konkrét intézkedéseket és ütemtervet tartalmaz a szektor gyorsabb növekedésére. Ez utóbbi kulcsfontosságú dokumentum 2026 második negyedévére volt várható, azonban megjelenése folyamatos halasztást szenved. Az Akciótervvel kapcsolatos részletes háttérelmést, célkitűzéseket és ezek lehetséges megvalósítási forgatókönyvét az EGEK 2025-ös dokumentuma összegzi (EGEK 2025).

A nemzetközi folyamatokkal összhangban a geotermikus energia fokozottabb hasznosítására vonatkozó politikai-gazdasági ambíciók Magyarországon is felerősödtek az utóbbi években. Hazánk 2024-ben tette közzé a Nemzeti Földhő Hasznosítási Konceptióját (ENERGIAÜGYI MINISZTERIUM 2024), amely stratégiai célkitűzésként fogalmazta meg, hogy 2026-ig a 2022. évi 6,4 PJ bázisértékhez képest 20%-kal, azaz 8 PJ-ra, 2030-ig pedig megkétszerezze, azaz 12–13 PJ-ra növelje a geotermikus energia hazai felhasználását. Ezzel a geotermia részesedése 2030-ig mintegy 12%-ra, 2035-ig pedig 25–30%-ra növelhető a bruttó hőenergia-termelésben. Az új hasznosítások révén 2030-ig 0,5–0,7 milliárd m³, 2035-ig pedig összesen 1–1,2 milliárd m³ földgáz kiváltása prognosztizálható.

A földtudományok szerepe a geotermikus értékláncban

A geotermikus projektfejlesztés hosszú és több szakterületet integráló, összetett folyamat, amely magába foglalja az erőforrások mélyföldtani kutatását és fúrásokkal történő feltárását, a felszíni rendszer elemek (erőművek, vezetékek stb.) kiépítését és az energia integrálását a meglévő villamosenergia-hálózatokba vagy fűtési-hűtési rendszerekbe, valamint a hosszú távú fenntartható működés biztosítását. Mindegyik fázisnak megvannak a maga műszaki-gazdasági-jogi és technológiai kihívásai, amelyek közül sok kérdés csak szilárd földtudományi adatok biztosításával és ehhez kapcsolódó szakértői ismeretekkel küzdhető le. Ezek közül értelemszerűen a kutatási fázisban a legjelentősebb a földtudományok szerepe, ahol a felszín alatti térrész minél magasabb szintű ismertsége nagymértékben tudja csökkenteni a geológiai kockázatot (annak kockázatát, hogy a kutatófúrás nem tárja fel a tervezett célrezervoárt, vagy annak hőmérséklet- és hozamparaméterei nem megfelelőek a tervezett hasznosításhoz), amely jelentősen befolyásolja a beruházás legjelentősebb pénzügyi tételét jelentő fúrások sikerességét. Más típusú, de ugyancsak megbízható földtani ismeretek szükségesek a felszíni rendszerek tervezéséhez, az energetikai infrastruktúra egyes elemeihez történő kapcsolódáshoz és a rendszerek hosszú távú és biztonságos üzemeltetéséhez. Ez utóbbira kiváló példák a használt termálvizek visszasajtolásához nélkülözhetetlen földtani-hidrogeológiai tudás, a rezervoárok ismerete a fenntartható üze-

léshez, hidrogeokémiai tudás a vízkezeléshez, valamint a geofizikai-geológiai tudáseggyüttes alkalmazása a szeizmikus monitoring rendszerek üzemeltetéséhez.

Mindezekkel összhangban a különböző EU szakpolitikai dokumentumok (pl. EC 2024, EGEK 2024a, 2025, ETIP-G 2024) hangsúlyozzák a geológiai adatok nyilvánosan hozzáférhetővé tételének fontosságát, valamint az ezek értelmezését segítő földtudományi szakértelem létfontosságú szerepét a geotermikus energia szélesebb körű alkalmazásában. Ennek a törekvésnek az egyik zászlóshajója az egyes országok nemzeti földtani szolgálatait tömörítő, az Európai Földtani Szolgálatok szövetsége keretében futó „Geological Service for Europe” nevű projekt, amelynek célkitűzése olyan páneurópai harmonizált földtani adat- és információszolgáltatások és ezek nyilvános hozzáférhetőségének biztosítása, amelyek támogatják a társadalmat, a döntéshozókat és az ipart a fenntartható fejlődésben és gazdasági tervezésben. Ezen belül kiemelt szerepe van az energetikai vonatkozású tematikáknak (geotermia, CO₂ és energiatárolás), az ezekre vonatkozó első eredmények harmonizált adatbázisok és páneurópai online atlaszok formájában már elérhetőek az Európai Geológiai Adatportálon keresztül (1. ábra).

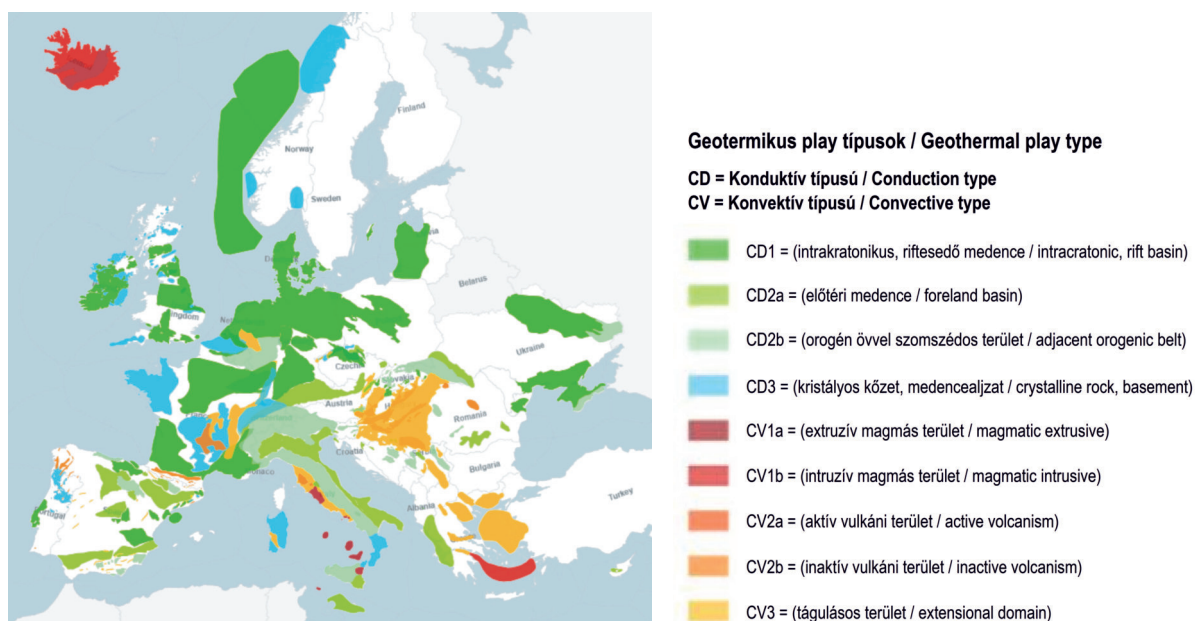
A geotermikus energiahasznosítás helyzete Európában

Az alábbi áttekintés két mértékadó forrás, az Európai Geotermikus Szövetség által évente készített piaci jelentés (EGEK 2024b), illetve a 2025 őszén megrendezett Európai Geotermikus Kongresszus országjelentései alapján (SANNER et al. 2025) került összeállításra.

Áramtermelés

Az európai geotermikus áramtermelés jelenleg 3580,26 MW_e beépített kapacitással rendelkezik, összesen 10 országban van jelen, azonban csak Izland (755 MW_e), Olaszország (915,8 MW_e) és Törökország (1759,5 MW_e) vonatkozásában számottevő. 2024 végére Európában összesen 147 geotermikus erőmű működött, amelyek közül 21 több mint 25 éve működik, ami kiemeli ezen geotermikus beruházások tartósságát és hosszú távú értékét. Emellett mintegy 50 további erőmű van fejlesztés alatt különböző szakaszokban (kutatás / fúrás / engedélyezés / tervezés), a legtöbb Németországban (17 projekt kivitelezési, 18 projekt kutatási fázisban).

2032-re az előrejelzések szerint a beépített kapacitás csaknem megduplázódik, és újabb 8–10 ország jelenik meg a geotermikus áramtermelés palettáján. A legnagyobb növekedés a kiváló potenciállal és piacserkentő mechanizmusokkal (pl. állami áramvásárlási garancia) rendelkező Törökországban várható körülbelül 3 GW_e tervezett emelkedéssel. Emellett Horvátország, Franciaország, Izland, Olaszország és Magyarország is érdemi növekedést prognosztizál. Érdekes megemlíteni, hogy a mesterségesen továbbfejlesztett földhőrendszerek (EGS) által kínált hatalmas elvi potenciál (lásd Jövőkép fejezet) nem tükröződik a 2032-ig terjedő nö-



1. ábra. Európa geotermikus play-alapú térképe (forrás: EGDI)

Figure 1. The play-based geothermal atlas of Europe (source: EGDI)

vekedési várakozásokban. A jelentett és várható geotermikus energiatermelés nagy része a jelenleg rendelkezésre álló nagy entalpiájú erőforrásokon (vulkáni területek) és az alacsony-közepes hőmérsékletű bináris erőműveken alapul. A geotermikus villamosenergia-termelésben egyre nagyobb szerepet kapnak a kis, moduláris ORC (Organic Rankine Cycle) egységek (pl. Climeon, Inepact, Enogia rendszerei), amelyek már alacsonyabb hőmérsékletű (kb. 55–120 °C-os) geotermikus hőforrásokból is képesek villamos energiát előállítani. Ezek előnye, hogy konténeres, szabványosított kialakításuk miatt gyorsan telepíthetők, igény szerint bővíthetők, és kisebb geotermikus kutaknál is gazdaságosan alkalmazhatók. Ezek jövőbeni elterjedését a fenti jelentések nem tartalmazzák.

A geotermikus alapú áram hozzájárulása a nemzeti villamosenergia-termeléshez a legtöbb európai országban elhanyagolható, kivéve Izlandot, ahol a villamosenergia több mint 30%-a geotermikus forrásokból származik. Izlandon kívül csak Törökországban és Olaszországban adják a geotermikus erőművek a nemzeti villamosenergia-termelés több mint 1%-át. Nagyobb országokban, például Németországban, a meglévő geotermikus energiatermelés ugyan jelentős lehet, de alig észrevehető a hatalmas mennyiségű, országosan termelt és fogyasztott egyéb forrásból származó villamosenergia mellett.

Közvetlen hőhasznosítás (fűtés, mezőgazdaság, ipar, balneológia)

A közepes és alacsony hőmérsékletű forrásokból származó közvetlen hőhasznosítás beépített kapacitása Európában meghaladja a 15,3 GW_t-t, amelynek közel 40%-át távfűtésben hasznosítják. Fontos megemlíteni, hogy ezen statisztikák a „távfűtést” tágan értelmezik, és ide sorolják az

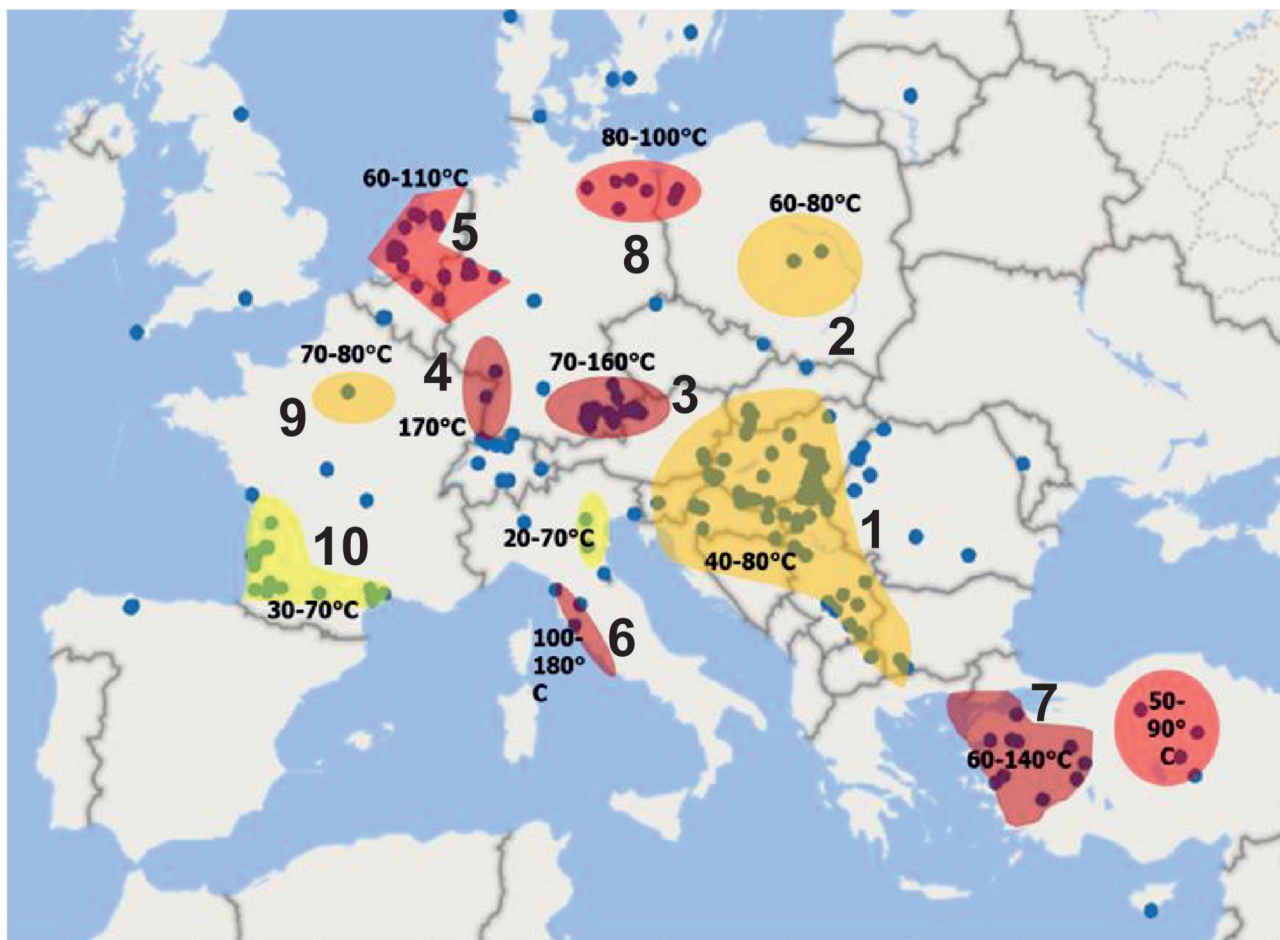
egyéb kommunális típusú fűtési rendszereket is (pl. Magyarországon a termálvizes városfűtési rendszereket).

Európa legtöbb országában a geotermikus energia szilárd eleme a fűtési szektornak. A mélygeotermikus erőforrások közvetlen felhasználása regionálisan koncentrált, mivel a termálvíztermeléssel történő, klasszikus felhasználás megfelelő geológiai adottságoktól függ, így főleg a nagy üledékes medencék (Párizsi-medence, Alpi Molassz-medence, Rajna-árok, Pannon-medence) területére korlátozódik (2. ábra).

A közvetlen hőhasznosítás tekintetében Európa öt vezető országát és az egyes részarányokat az I. táblázat foglalja össze.

Ezek a számok összességükben azonban sokszor nem pontosan tükrözik a valóságot, mivel az egyes hasznosítási kategóriákban jelentős eltérések tapasztalhatók az egyes országok között, továbbá az idetartozó balneológia vonatkozásában gyakran csak becslést számértékeket tartalmaznak. Németországban a geotermikus hő 87%-a, Izlandon 79%-a hasznosul távfűtésre. A mezőgazdasági célú geotermikus hőhasznosítás részaránya Magyarországon a legmagasabb (41%), de Törökországban is számottevő (39%). Olaszországban az egyedi épületek fűtése áll az élen 53%-kal, a távfűtés pedig csak 13%-ot tesz ki. A hő több mint 20%-át balneológiára használják fel Magyarországon, Olaszországban és Törökországban. Összeurópai átlagban a távfűtés a mélygeotermikus hőfelhasználás 39%-át, a mezőgazdasági/ipari felhasználás pedig 27%-át teszi ki.

2024-ben az európai geotermikus távfűtési szektor stabil, de ugyanakkor diverzifikált növekedést mutatott: a feltörekvő piacokon jelentős előrelépés történt, míg az érett piacokon lassú vagy nulla növekedés volt tapasztalható. A legnagyobb fejlődés Lengyelországban, az Egyesült Királyságban, Franciaországban, Görögországban és Romániában történt. Az új létesítményekkel az Európában működő geoter-



2. ábra. A fűtés(hűtés) célra alkalmas geotermikus régiók elterjedése és jellemző hőmérséklete Európában (forrás: EGEC 2024b). 1: Pannon-medence és tágabb térsége, 2: Lengyel alföld, 3: Alpi Molassz-medence, 4: Rajna-árok, 5: Holland alföld, 6: Toszkán régió, 7: Közép- és Kelet-Anatólia, 8: Észak-Német-medence, 9: Párizsi-medence, 10: Akvitániai-medence

Figure 2. Location and characteristic temperature of geothermal regions suitable for heating (cooling) in Europe (source: EGEC 2024b). 1: Pannonian Basin and its surroundings, 2: Polish Plain, 3: Alpine Molasse Basin, 4: Rhine Graben, 5: Dutch Plain, 6: Tuscany, 7: Central and Eastern Anatolia, 8: North German Basin, 9: Paris Basin, 10: Aquitanian Basin

mikis távhőrendszerek teljes száma 412-re emelkedett, amelyek közül 308 az EU országaiban található. Ezek összes beépített kapacitása több mint 6 GW_t volt.

Egész Európában jelenleg további kb. 400 geotermikus (táv)fűtési és -hűtési rendszer van fejlesztés alatt 27 különböző országban. Mindezek az előkészítés különböző stádiumaiban álló projektek a jelenleg működő rendszerek számának megduplázódásához vezetnének, és a geotermikus fűtési rendszerek összes kapacitását több mint 100%-kal növelnék. A legnagyobb fejlődés Németországban várható, ahol

közel 170 rendszer áll fejlesztés-előkészítés alatt, de Lengyelország, Magyarország, Hollandia, Franciaország is jelentős előrelépésekkel számol.

Sekélygeotermia

A sekélygeotermikus energiát gyakorlatilag mindenhol használják Európában (földhőszivattyús rendszerek – *ground-source heat pump / GSHP*). A növekedés folyamatos az egyes országok között eltérő sebességgel és részletekkel, amelyek 2024 végére összesen körülbelül 33,5 GW_t beépített kapacitást képviseltek, amely több mint 2,4 millió berendezés között oszlik meg. A létesítmények számát, a beépített kapacitást és a termelt energiát tekintve ez messze a legnagyobb geotermikus energiafelhasználási ágazat Európában, a sekélygeotermikus részesedés az összes beépített geotermikus kapacitás mintegy 64%-át teszi ki.

I. táblázat. Az öt vezető európai ország mélygeotermikus beépített kapacitása a főbb felhasználási területek szerint (forrás: EGEC 2024b, SANNER et al. 2025)

Table I. Installed capacity according to main utilization categories of the top5 European countries in direct use (source: EGEC 2024b, SANNER et al. 2025)

Ország	Beépített kapacitás (MW _t)				
	Távfűtés	Mezőgazdaság	Balneológia	Egyéb fűtés	Összesen
Törökország	1542	2609,5	1780	714	6645,5
Izland	2015	125	415		2555
Olaszország	172	117	340	853	1482
Magyarország	283,4	452,5	268	86	1089,9
Franciaország	688	27	6	3	724

II. táblázat. Az vezető európai országok sekélygeotermikus beépített kapacitása és a földhőszondák darabszáma (forrás: EGEC 2024b, SANNER et al. 2025)

Table II. Installed shallow geothermal capacity and number of ground-source heat pumps in leading European countries (source: EGEC 2024b, SANNER et al. 2025)

Ország	GSHP (darab)	Beépített kapacitás (MW _{th})	Terület (km ²)	Lakosok száma (ezer fő)
Svédország	690 000	8120	450 295	10 686 973
Németország	481 000	5423	357 683	83 785 770
Franciaország	209 021	2293	543 965	66 746 401
Finnország	200 000	2500	338 145	5 627 000
Hollandia	163 169	2486	33 943	18 419 115
Svájc	127 611	2822,8	41 285	8 995 144

A beépített kapacitás és a földhőszondák száma tekintetében Svédország messze a vezető helyen áll, ezt követi Németország. A harmadik helyen Franciaország és Finnország áll nagyjából holtversenyben, míg ezeket Hollandia és Svájc követi (II. táblázat).

Ugyanakkor a II. táblázatban megadott GSHP-darabszám vagy beépített kapacitás szerinti rangsor semmilyen módon nem veszi figyelembe az adott ország méretét és lakosság-számát (II. táblázat utolsó 2 oszlopa), így önmagában kevésbé alkalmas a sekélygeotermikus piac érettségnek megítéléséhez. A területarányos GSHP-darabszám tekintetében Hollandia áll az első helyen, ezt követi Svájc, míg a lakosonkénti GSHP-egységek számát tekintve a legnagyobb piaci részesedéssel rendelkező skandináv és a balti országok vezetik a rangsort (Svédország, Finnország).

Felszín alatti hőtárolás

A sekélygeotermia kapcsán feltétlenül említést érdemel a Magyarországon ugyan még kevésbé elterjedt, de nemzetközi viszonylatban egyre nagyobb szerepe kapó felszín alatti hőtárolás (*underground thermal energy storage / UTES*) (DINCER & ROSEN 2011). A föld alatti hőtárolás egy olyan technológia, amely a hő szezonális tárolására összpontosít a föld alatt. A különböző forrásokból származó hőt (pl. napenergia, hulladékhő) alacsony kereslet (nyár) idején vízzel vagy egyéb munkafolyadékok segítségével betáplálják a föld alá, és akkor nyerik ki, amikor fűtésre (tél) van szükség. A technológia (fordított irányban) hűtési igények kielégítésére is alkalmas.

A felszín alatti hőtárolás európai piacát különösen a fúrólyukalapú hőenergia-tárolás (*borehole thermal energy storage / BTES*) uralja, ahol a furatokban elhelyezett csővezetékben víz vagy víz–glikol keverék kering, így a folyadék nem kerül a talajba, csak hőt ad át a környező kőzetnek. Ezen rendszerekkel jellemzően 50–90%-os szezonális tárolási hatásfok érhető el, amely a rendszer méretétől és többéves üzemelésétől függ (CABEZA 2021). Európa-szerte több ezer BTES-berendezés működik, elsősorban épületek kis méretű fűtési és hűtési alkalmazásait szolgálják ki, amelyek a földhőszondás alkalmazásokkal együtt főként Svédországban és Németországban elterjedtek. Hollandia jelentős előrelépést tett a víztartó réteg hőenergia-tárolási (*aquifer thermal energy storage / ATES*) technológiáiban, ahol a felszín alatti térrész vízzel telítődött rétegeibe betáplált víz hőenergia-tartal-

mát hasznosítják. Ez a technológia kedvező hidrogeológiai adottságok mellett általában 70–90%-os energiavisszanyerési hatásfokot biztosít, ezért a távfűtési és távhűtési rendszerek egyik leghatékonyabb hőtárolási megoldása (BLOEMENDAL et al. 2015). A bányaalapú energiatárolás (*mine thermal energy storage / MTES*) estében a nagy hőkapacitású, elhagyott bányákat vagy bányajáratokat használik hőtárolónak, ennek jövőbeli potenciálja elsősorban a felhagyott szénbányászati régiókban lehet jelentős.

Ezen rendszerek hatékonysága erősen helyszíntől függő, de megfelelő geológiai adottságok esetén az ATES-rendszerekhez hasonló nagyságrendű energiavisszanyerés érhető el.

Az UTES-rendszerek kulcsfontosságúak az energiaellátás és -kereslet közötti eltérés rugalmas és megbízható kezelésében, a rendszerek kiegyenlítésében és stabilizálásában. Az UTES egyike azon kevés hosszú távú tárolási technológiáknak, amelyek képesek hatalmas mennyiségű – akár több tíz GW_h – energia tárolására is ciklusonként.

Geotermikus helyzetkép Magyarországon

Hazánk kiváló geotermikus adottságait számos szakcikk tárgyalta, ezért – a jelen cikk fókuszát tekintve – ezek ismertetésétől eltekintek. A különböző szempontú megközelítések alapján – a teljesség igénye nélkül – az elmúlt évtizedek legfontosabb munkái az alábbiak: *tektonikai-földtani keret*: CSONTOS et al. (1992), HORVÁTH (1993), TARI et al. (1999), SCHMID et al. (2008), MATENCO & RADIVOJEVIC (2012), TARI et al. (2023), CSONTOS et al. (2024); *geotermikus adottságok és hőáram-fluxus*: DÖVÉNYI & HORVÁTH (1988), HORVÁTH et al. (2015), BÉKÉSI et al. (2017), LENKEY et al. (2017, 2021); *medenceléptékű hidrogeológiai megközelítés*: TÓTH & ALMÁSI (2001), TÓTH (2003), MÁDL-SZÖNYI & SIMON (2016), TÓTH et al. (2016), ALMÁSI & SZANYI (2024); *geotermikus rezervoárok*: HORVÁTH et al. (2015), ROTÁR-SZALKAI et al. (2017), NÁDOR et al. (2019), NÁDOR & LENKEY (2024); *határon átnyúló, közös erőforrás-gazdálkodási kérdések*: RMAN et al. (2015), TÓTH et al. (2016), SZŐCS et al. (2018); *hasznosítási kérdések*: SZANYI & KOVÁCS (2010), NÁDOR et al. (2022, 2025), SZANYI et al. (2015), MÁDLNÉ SZÖNYI et al. (2024). A hazai geotermia elmúlt 150 évének történeti áttekintését SZANYI et al. (2021) adta.

Új szabályozási és pénzügyi környezet

A geotermikus szektor fellendülését hátráltató egyik fő tényező, a komplex és időigényes engedélyeztetési rendszer egyszerűsítését számos nemzetközi stratégiai anyag (lásd EU-szakpolitikák fejezet rész) szorgalmazza. Ezekkel összhangban jelentős lépés volt a Bányatörvény 2023. március 1-jei módosítása, amelynek célja a geotermikus kutatás és kitermelés egyszerűsítése volt. Az új eljárásrendben minden geotermikus energetikai célú projektet – a korábbi gyakor-

latban levő -2500 m-es mélységtől függetlenül – a Bányafelügyelet engedélyez, kivéve a mezőgazdasági és gyógyászati célú hasznosítást, amelyek továbbra is a Vízügyi hatóság (Kormányhivatalok) hatáskörébe tartozik. Az új engedélyezési rendszer három fő szakaszt azonosított. Az első (kutató) szakasz legfeljebb 4 évig tarthat, amikor a projektfejlesztőnek részletes kutatási programot kell végrehajtania megfelelő pénzügyi biztosíték adása mellett. A kutatási blokkok száma és mérete korlátozott (kérelmezőnként max. 8 blokk, max. 400 km²/blokk). A sikeres kutatás befejezése után a második szakaszban geotermikus védőidomot kell kijelölni, amelyet numerikus hő- és áramlási modell alapján határoznak meg, amely azonosítja a megengedett maximális hőmérséklet- és nyomásváltozásokat a későbbi termelés során. A harmadik szakaszban a Bányafelügyelet egy maximum 35 évre szóló (17,5 évvel meghosszabbítható) kizárólagos hasznosítási szerződést köt, amely meghatározza a hasznosítás pontos módjait, az éves energiatermelési rátákat, a visszasajtolást stb.

A törvénymódosítás után robbanásszerűen megnőtt a benyújtott kutatási engedélykérelmek száma (2026. május végéig összesen 144 engedélykérelmet nyújtottak be), ennek ellenére aktív kutatás jelenleg (2026. június) mindössze 29 területen zajlik több mint 30 kút lefűrésével, mindeddig egy projekt zárult sikeresen hasznosítási szerződés megkötésével. Ennek oka igen sokrétű (NÁDOR 2025): számos engedélyt a Bányafelügyelet vont vissza (pl. pénzügyi garancia teljesítésének hiánya, a munkaprogram nem megfelelő végrehajtása), de sok esetben maguk a vállalkozók adták vissza kutatási engedélykérelmüket. Az új rendszert – bár számos területen jelentős előre lépéseket tett – több bírálat is érte (VARGHA 2025, SZANYI 2025). A leggyakrabban kifogásolt elem továbbra is a megosztott engedélyezés, ezúttal nem mélység, hanem hasznosítás szerint, amely egyrészt akadályozza az egységes szemléletű geotermikus energia/termálvíz-gazdálkodási szempontok érvényesülését, másrészt a korábbi – vízjogi engedély alapján – kitermelési joggal rendelkezők védelmét sem látja kellően megalapozottnak. További gyakran sérelmezett elem a jogszabályi lehetőségekhez (4 év) mérten engedélyezett rövidebb kutatási időtartam.

A geotermikus energiahasznosítás másik fő hátráltató tényezője általánosságban a tőkehiány és ezzel szoros összefüggésben a projektek nem kellően biztosított és előre tervezhető megtérülése. Ezen a téren egyértelműen pozitív változást hozott a 2025–2026-os év, hiszen a közelmúltban három egymásra épülő pályázati felhívást hirdettek meg: (1) Megújult geológiai kockázatsökkentési program az első kút fűrésére (KEHOP Plusz 4.2.4.), sikertelen kutak esetén 45–50%-os, sikeres kutak esetén pedig 10%-os visszatérítési rátával, összesen 10 milliárd forint költségvetéssel; (2) kedvezményes hitelkonstrukció (Jedlik Ányos Energetikai Program), amely finanszírozási keretet biztosít geotermikus kút fűréséhez, felszíni berendezések, csővezetékek, erőművek és hőközpontok építéséhez, összesen 20,32 milliárd forint költségvetéssel, (3) geotermikus alapú, kapcsolt hő- és villamosenergia-termelő rendszerek hálózati csatlakozásának fejlesztése (már meglévő termelő-visszasajtoló kúttal

rendelkező projektek számára) (KEHOP Plusz 4.2.3.-25), összesen 12 milliárd forint költségvetéssel.

A geotermikus energiahasznosítás hazai fellendülését ösztönző egyéb állami tevékenységek

A Szabályozott Tevékenységek Felügyeleti Hatósága (SZTFH), illetve az ennek keretében működő Földtani Szolgálat az elmúlt években számos olyan tevékenységet végzett, amelyek szintén a hazai geotermikus potenciál jobb kiaknázását, a geotermikus projektfejlesztők szakmai támogatását célozzák. Az alábbiakban ezeket ismertetem röviden.

A tervezett geotermikus projekt jellege, mérete előre vetíti az előzetesen elvárt hozamot és hőmérsékletet mint a projekt működőképességének két fő meghatározó paraméterét. A tervezett helyszín és a fenti paraméterek függvényében körvonalazható, hogy milyen típusú (porózus vagy repedezett/karsztos) és mélységű célrezervoár jöhet számításba az adott területen. Ennek előzetes értékelésében nagy segítséget nyújthat a 2019-ben kifejlesztett és évente frissülő Országos Geotermikus Rendszer (OGRE, <https://map.hugeo.hu/ogre>), amely egységes szerkezetben, egy könnyen kezelhető és mindenki számára elérhető internetes felületen keresztül szolgáltat áttekinthető léptékű, hiteles és naprakész földtani, vízföldtani, geofizikai információkat, adatokat az ország geotermikus energiavagyonával, megkutatottságával kapcsolatban.

Magyarország – hála a közel 9000 szénhidrogén-kutató és tízezres nagyságot meghaladó, 500 m-nél mélyebb, egyéb célú mélyfűrésnek, a közel 1700 hévízkútnak, az ország 22%-át lefedő 3D szeizmikus adattömböknek és a kb. 93,6 ezer km hosszúságú ~6700 db 2D reflexiók szelvénynek, valamint a nagyszámú egyéb geofizikai mérésnek – kiemelkedően jól megkutatott területnek számít. Ennek ellenére vannak kevésbé ismert területek (különösen a medenceperemi részek, valamint a magas hőmérsékletet és hozamot elvileg biztosítani képes nagymélységű aljzati rezervoárok), ahol a megkutatottság nem elégséges. E hiányt orvosolja a 2023-ban elindított Országos Geotermikus Kutatási Program, amelyet az SZTFH a 1509/2022 (X. 21.) Korm. határozat alapján dolgozott ki és valószínűleg meg az elmúlt három év során.

A program átfogó célja, hogy a hőpiac és földtani adottságok együttes értékelése alapján (NÁDOR 2023) előzetesen azonosított, kedvező adottságú területeket megfelelően előkészítse a beruházók számára, hogy azok a lehető legkisebb kockázat mellett minél hamarabb kijelölhessék a tervezett kutatófűrészt. Ezt a célt legjobban az ún. adatsomagok szolgálják, amelyek egy-egy területre célzottan rendszerezik az SZTFH országos földtani–geofizikai és vízföldtani adattárában, valamint tematikus adatbázisaiban rendelkezésre álló információkat, valamint az olajipari kutatások jelenleg elérhető adatait. Az elmúlt három évben összesen 200 területre készültek el az ún. „alapadatsomagok” és további 54 területre ún. „fejlesztett adatsomagok”, ez utóbbiak a legperspektivikusabb területeken további kiegészítő adatértékeléseket (pl. szeizmikus adatok modern újraértékelését) is

tartalmaznak, így a pontosabb földtani-tektonikai értelmezés által jelentősen pontosítják a célrezervoár geometriáját és a jövőbeli fúrások lehetséges helyszíneit.

Az adatcsomagok és a geotermikus szempontból releváns országos adatok, térképek egységes térinformatikai rendszerben történő megjelenítése egy erre a célra kialakított és folyamatosan üzemelő adatszobában történik (<https://dataroom.geoservices.hu/>), ahol a regisztrált felhasználók az erre dedikált, internetes hozzáféréssel nem rendelkező gépen (offline) egy zárt, biztonságos platformon saját fejlesztésű webes felületen és professzionális szoftverek segítségével tekinthetik meg az összes rendelkezésre álló adatot és metaadatot (pl. 2-3 D szeizmikus adatok, fúrások rétegsorai, kútönyvek, karottázások, vízföldtani naplók, szénhidrogén-kutatási jelentések, országos geofizikai térképi adatbázisok stb.). A geotermikus adatszobából az adatok kivitelére kizárólag megvásárlásukat követően van lehetőség.

Az Országos Geotermikus Kutatási Program másik kiemelt eleme a földtani kockázatot csökkentő állami kutatások végzése. Ennek célja a geotermikus beruházások támogatása azon perspektivikus területeken, ahol megfelelő lakossági vagy ipari hőpiac van, ám a nem megfelelő sűrűségű földtani információ miatt magas földtani kockázat áll fent, amely a nagy tökeigényű geotermikus beruházások megtérülése miatt nem perspektivikus a beruházók számára. Az ezeken a területeken elvégzett szeizmikus mérések és azok kiértékelése által nő a terület ismeretessége, ezáltal alacsonyabb kockázat mellett végezhető el a kutatófúrás későbbi kijelölése. 2023 és 2025 között a Földtani Szolgálat összesen 6 területen (Mályi, Dombóvár, Bóly, Budapest, Zalaegerszeg, Székesfehérvár) végzett ilyen méréseket.

Az Országos Geotermikus Kutatási Program a 1592/2025. (XII. 30.) Korm. határozat alapján 2026 és 2029 között folytatódik.

Hasznosítási helyzetkép

Az előzőekben tárgyalt európai hasznosítási helyzetképhez hasonlóan a geotermikus energia hazai hasznosításának alábbi áttekintése NÁDOR et al. (2025) és NÁDOR & MARKÓ (2026) munkái alapján történik.

Áramtermelés

A 2018 óta üzemelő turai geotermikus erőmű Magyarország első villamosenergia-termelésre létesített, geotermikus erőműve, amely alacsony entalpiájú geotermikus készletet hasznosító ORC (Organic Rankine Cycle) technológiával működik. Az elmúlt mintegy nyolc év üzemeltetési tapasztalatai igazolták a technológia hazai alkalmazhatóságát, ugyanakkor rámutattak arra is, hogy az alacsony hőmérsékletű (125 °C körüli) geotermikus rendszerek esetében a tényleges villamosenergia-termelés jelentősen függ a kútrendszerteljesítménytől, a visszasajtolás hatékonyságától és a segédüzemi energiaigénytől. Az erőmű telepített bruttó villamos teljesítménye 3,0–3,5 MW_e, míg a nettó (hálózatra táplálható) teljesítménye mintegy 2,3–2,7 MW_e, a többéves átlagos hálózatra táplált teljesítmény megközelítőleg 1,6 MW_e volt.

Hazánkban emellett több potenciális, jövőbeli bináris erőmű helyszíne is körvonalazható például a Dél-Alföldön (Tótkomlós), ahol a 2019–2020-ban fúrt (eredetileg hőellátást célzó) kutak magas hőmérsékletű (122–142 °C) termálvizet tártak fel az 1600–2100 m mélységű, triász dolomit-tárolóból. Emellett az új engedélyezési eljárásban számos kezdeményezés irányult geotermikus áramtermelésre (főként kapcsolt áram- és hőtermelésre): a turai rendszer bővítése mellett potenciális helyszínek merültek fel Budapesttől DK-re, a Zalai-medencében és Kelet-Magyarországon is. Amennyiben ezek a projektek sikeresek lesznek, a geotermikus forrásokból származó beépített kapacitás elérheti a 10–15 MW_{el}-ot is (NÁDOR 2025).

Közvetlen hőhasznosítás (fűtés, mezőgazdaság, ipar, balneológia)

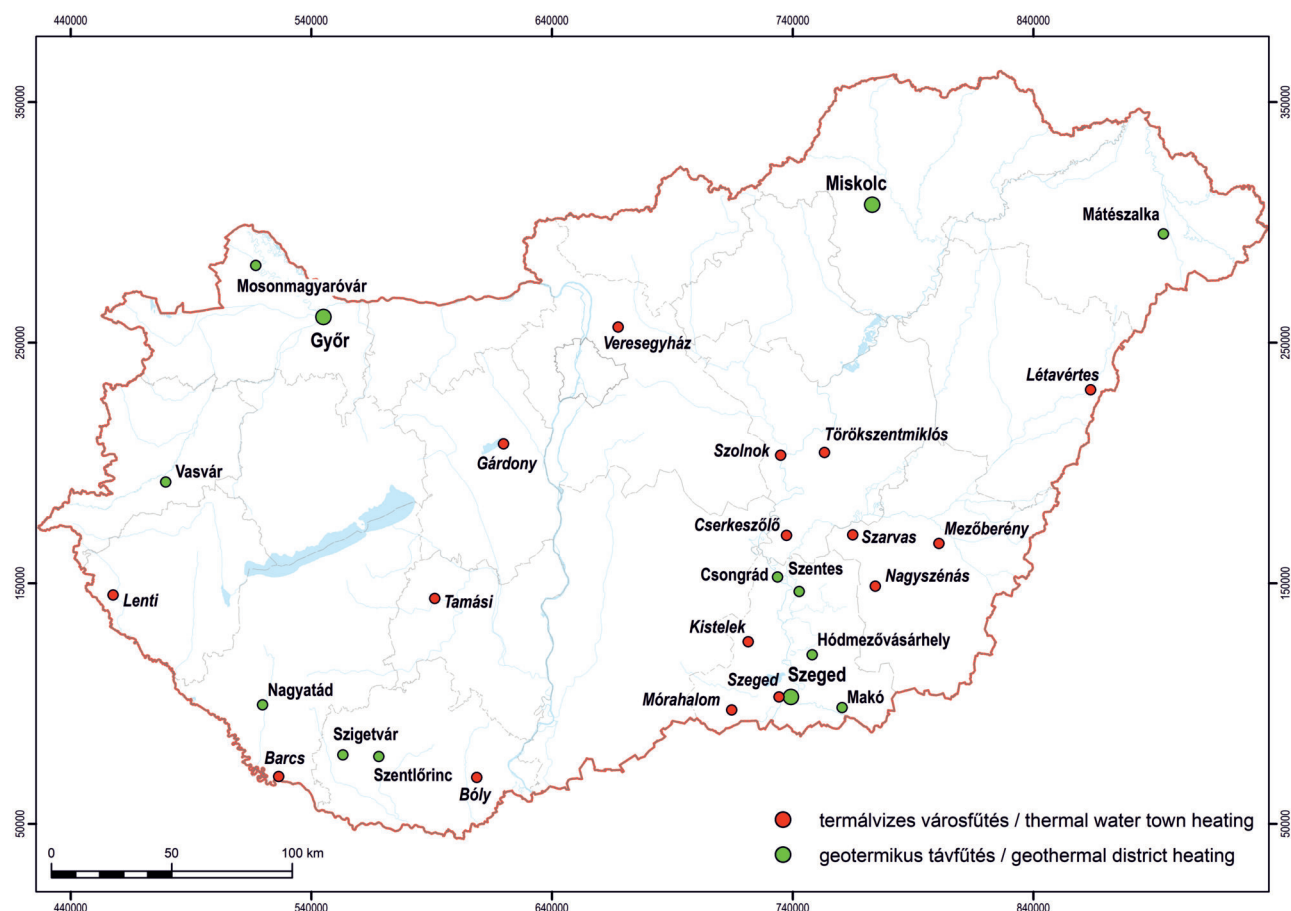
2024-ben hazánk 29 városában volt elérhető geotermikus „távfűtés”, amelyek összesen 280,12 MW_l beépített kapacitást és 753,6 GWh/év termelést jelentettek (3. ábra). Ezek részben geotermikus távfűtési rendszerek (13 városban 215,27 MW_l-al), ahol a geotermikus energia 30–100%-os arányban járul hozzá a már meglévő (egyébként gázzal működő) távfűtési infrastruktúrához; részben úgynevezett „termálvizes városfűtési rendszerek” (16 városban 64,85 MW_l-al), ahol egyes középületek (városházak, könyvtárak, iskolák, kórházak stb.) gázalapú fűtését váltják ki geotermikus energiával.

Az elmúlt évek legjelentősebb fejlesztése Szegeden történt, ahol a 23 gázzal táplált távfűtési körből 9-et váltottak ki geotermikus energiával. Minden fűtési körhöz egy kúthármaszt fúrtak, egy termelő kúttal (1700–2000 m mélységben, 90–95 °C-os termálvizet feltárva) és két visszasajtoló kúttal. A 2018-ban indult projekt 2026 elejére fejeződött be a Rókus II. hőkörzetben levő geotermikus fűtési rendszer kialakításával, amely révén 40%-ra emelkedett a geotermikus energia felhasználásának részaránya a szegedi távhőrendszerében. Emellett kisebb rendszer került átadásra Mosonmagyaróváron (6,6 MW_l) és Lentiben (1,4 MW_l), valamint újabb kutakkal bővült Bóly, Mórahalom és Veresegyház termálvizes városfűtési rendszere is.

A közvetlen hőhasznosítás másik fő ágazata Magyarországon a mezőgazdaság. Az üvegházak és fóliasátrak fűtése, valamint egyéb energetikai célok (pl. állattenyésztés fűtése) ~ 424,5 MW_l beépített kapacitást és körülbelül 915 GWh/év termelést jelentenek. A fő felhasználók Délkelet-Magyarországon találhatók.

Az elmúlt években nem történt jelentős változás az ipari alkalmazások területén, a teljes becsült beépített kapacitás továbbra is körülbelül 28 MW_l, a termelés pedig körülbelül 45 GWh/év. Mindazonáltal számos új kutatási engedély ipari komplexumok hőellátását (épületek fűtése, valamint technológiai hő) célozza, így ez a szám várhatóan a közeljövőben növekedni fog (NÁDOR 2025).

A közvetlen hőhasznosítás másik jelentős és tradicionális szegmense a balneológia. Az e célra használt kutak az ország szinte teljes medence- és medenceperemi területein megtalálhatók, kifolyó hőmérsékletük jellemzően 30 és 50 °C



3. ábra. Termálvizes városfűtési és geotermikus távfűtési rendszerek Magyarországon

Figure 3. Thermal water town heating and geothermal district heating systems in Hungary

között mozog, de vannak kimondottan „forró” kutak is (pl. Zalaegerszeg: 95 °C, Gyula: 89 °C). A balneológiai célú kutak becsült beépített kapacitása körülbelül 268 MW_t, éves felhasználásuk pedig körülbelül 780,5 GWh/év. Óriási és kiaknázatlan potenciál rejlik az elfolyó termálvizek hőszivattyús hőhasznosításában (SZANYI et al. 2025), erre jó hazai példa Nagyatád, ahol az elfolyó termálvíz hőjét hőszivattyúval közösségi helyiségek fűtésére hasznosítják (MÁRTON & FODOR 2023).

Sekélygeotermia

Az elmúlt években a hazai szabályozási változások gyorsabbá és könnyebbé tették a földhőszondás rendszerek telepítését. 2022 előtt a fúrás előtt létesítési engedélyt, majd a befejezés után üzemeltetési engedélyt kellett szerezniük a beruházóknak. A Bányatörvény módosítása értelmében jelenleg a hőcserélők elhelyezésére alkalmas, 150 méternél sekélyebb fúrólyukak már nem igényelnek engedélyt, azonban azokat továbbra is be kell jelenteni a Bányahatóságnak a megfelelő dokumentációval együtt. Tekintettel arra, hogy ezen rendszerek átlagos mélysége 80-120 méter között mozog, ez a módosítás egyszerűsítette a tervezési és telepítési folyamatokat.

Egy nemrégiben készült felmérés (SZTFH 2025) összesen 2112 földhőszondás projektet azonosított az országban,

beleértve a kiadott telepítési engedélyeket (2022 előtti), illetve jelentéseket (2022 utáni) és az üzemeltetési engedélyeket/jelentéseket a 2007–2025 közötti időszakra vonatkozóan. A telepítések tényleges száma valószínűleg magasabb a jelentéstételi hiányosságok miatt. A rendszerek összes beépített kapacitását a 2010 és 2025 között jelentett rendszerek telepített kapacitásadatai alapján becsülték meg. A befejezettként megerősített (azaz üzembe helyeztként engedélyezett vagy telepítettként bejelentett) projektek alapján a telepített kapacitás 55,5 MW_t-ra becsülhető (alsó becslés). Felső becslésként 121,4 MW_t beépített fűtési kapacitás adható meg, ami figyelembe veszi az összes olyan projektet, amely létesítési engedélyt kapott vagy telepítésre bejelentett. Mindez évi 2000 óra üzemidőt feltételezve 399,6–874,08 TJ/év hőtermelésnek feleltethető meg. A telepített hűtési kapacitás a fenti módszer alkalmazásával 7,0 MW_t-ra (alacsony becslés) és 21,41 MW_t-ra (magas becslés) tehető.

A földhőszondák számának növekedése az értékesítési adatok szerint az elmúlt években folytatódott, a nagyobb – lakóházakat, irodákat, logisztikai központokat és ipari létesítményeket ellátó – rendszerek száma is jelentősen bővült. A földhő és a levegő-víz hőszivattyúkat kombináló, hibrid rendszerek is egyre gyakoribbak a magas hatásfok, a csökkentett helyigény és a változó éghajlati viszonyok közötti (fűtésre és hűtésre egyaránt alkalmas) optimális működés miatt.

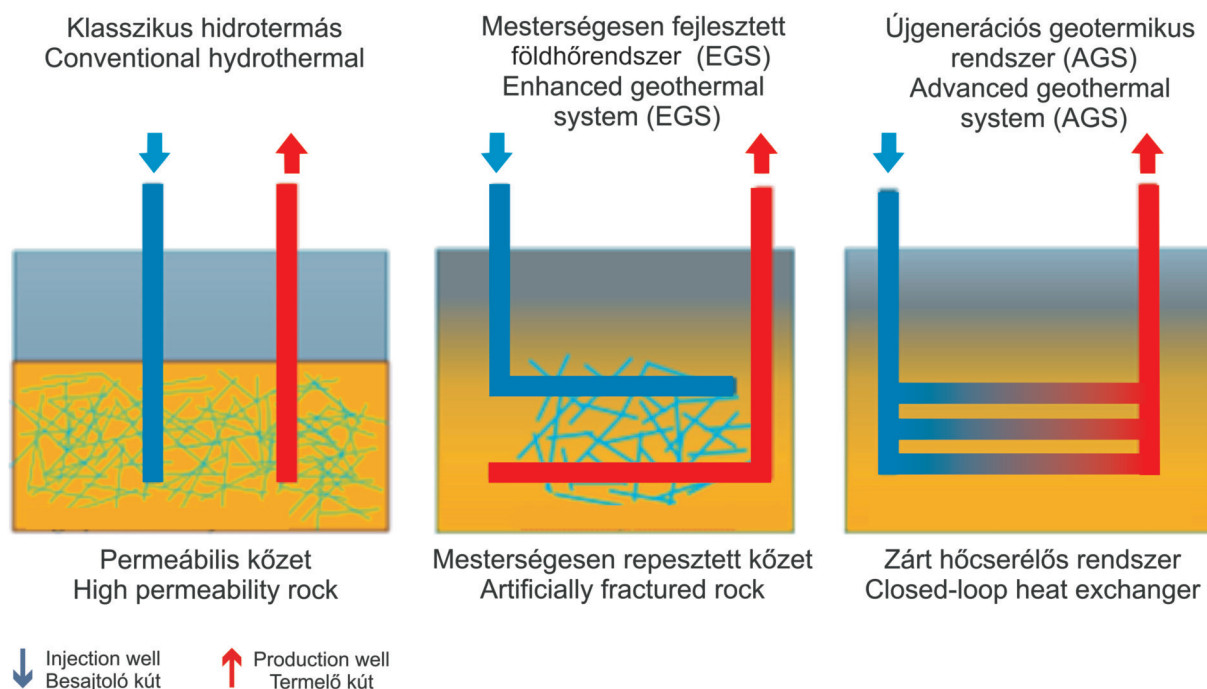
Jövőkép

A kontinens változatos földtani felépítésének köszönhetően (1. ábra) Európa hatalmas kiaknázatlan geotermikus potenciállal rendelkezik mind a fűtés-hűtés, mind az áramtermelés terén, de a mélybeli fluidumokból kinyerhető kritikus nyersanyagok (pl. lítium) kivonása is ígéretes új alkalmazási terület (SZANYI et al. 2023), mivel az „együtt-termelés” jelentősen növelheti a geotermikus projektek gazdasági megtérülését, noha ennek engedélyezési gyakorlata Európában nem egységes. A növekedés mértékére különböző ambíciós forgatókönyvek születtek, amelyek számos támogató intézkedést is megfogalmaztak (lásd nemzetközi keretrendszer fejezet rész). Mindezek eredményeképp politikai célkitűzésként fogalmazódott meg, hogy 2050-re az európai villamosenergia-fogyasztás több mint 10%-át geotermiából nyert áram fedezze, illetve a geotermikus hő (távfűtés, ipari hő, mezőgazdasági hő, épületek fűtése/hűtése) 2050-re az európai fűtés-hűtés igények több mint 30%-át képes legyen fedezni (ETIP-G 2024). A geotermikus szektor műszaki elemzésekre alapozott iparági előrejelzése (EGEC 2024a) ennél még becsülványabb: a tanulmány szerint 2040-re a geotermikus energia az EU fűtési és hűtési igényeinek akár 75%-át is fedezheti lakó-, köz- és kereskedelmi épületekben, az agrár-élelmiszeripari ágazat hőigényének 65%-át, és az EU villamosenergia-termelésének 15%-át.

Ezen célszámok elérése paradigmaváltást és az új kutatási-termelési technológiák fejlesztését igényli; e tekintetben a hangsúly a klasszikus hidrotermás rendszerekről egyre inkább a mesterségesen továbbfejlesztett földhőrendszerek (EGS) és az ún. újgenerációs technológia (Advanced

Geothermal Systems – AGSS) (IEA 2024) irányába tolódik el (4. ábra). Ez utóbbi az eddig elérhetetlen, mélyebb és forróbb földrétegeket célozza a nagy mélységben kialakított, zárt hurkú hőcserélők kiépítésével, ahol a keringetett folyadék nem lép közvetlen kapcsolatba környezetével, csak annak magas hőtartamát veszi fel, ezáltal kiküszöböli az EGS-rendszerek rétegstimulációval kapcsolatos, magas földtani kockázatát. Ez jelentősen kitágítja a geotermia földrajzi alkalmazhatóságát: az AGS technológia nem csak a hagyományosan geotermikusan perspektivikus területeken, hanem „gyakorlatilag bárhol” megvalósítható.

Az AGS-rendszerek ugyan kimagasló potenciállal bírnak, de az igen magas beruházási költségek és a kezdeti szakaszban járó technológiai fejlesztések miatt egyelőre csak néhány kísérleti fázisban levő projekt ismert (USA, Németország). Az IEA (2024) jelentés elemzései szerint technikailag a globális AGS-potenciál hatalmas, az újgenerációs rendszerek révén akár 600 TW_e geotermikus kapacitás is elérhető lenne, ha a forrásokat 8 km mélységig kihasználnák. Ugyanakkor a jelenlegi kísérleti projektek (Gerestried, Németország) eddigi eredményei messze nem adnak okot ilyen optimista feltételezésekre: a jelenleg működő 1 hurok mindössze 0,5 MW teljesítményű, noha a teljes – közel 360 km hosszúságú, 4 hurokból álló – rendszert 8,2 MW-ra tervezték (GEOEXPRO 2026). És ez csak egy projekt, amelynek költségére ugyan nincs nyilvános adat, de az iparági elemzők százmillió eurós nagyságrendbe sorolják. A vizionált 600 TW_e eléréséhez megszámlálhatatlan sikeres projekt kellene, amelynek egyrészt műszaki kivitelezhetősége, másrészt pénzügyi háttére egyelőre inkább utópisztikus elképzelés.



4. ábra. A különböző geotermikus rendszerek termelési technológiáinak áttekintése (forrás: IEA 2024)

Figure 4. Schematic overview of the production technologies of the different geothermal systems (source: IEA 2024)

Sajnos megalapozatlan és túlzó becslések más területeken is napvilágot látnak. A 2026 februárjában a magyar sajtóban is hivatkozott EMBER jelentés (EMBER 2026) szerint az Európai Unióban körülbelül 43 GW_e mesterségesen fejlesztett geotermikus áramkapacitás (EGS) lenne termelhető, amelynek jelentős hányada (28 GW_e) Magyarország területére prognosztizálható. Az említett szám itt is technikai potenciál, ami nagyságrendekkel nagyobb a reálisan kitermelhető energia (RYBACH 2010) mennyiségénél. Ezen túlmenően az elemzés nem mérlegeli az EGS-rendszerek esetében kulcsfontosságú rezervoáristimuláció sikerének magas kockázatát, túlzóan optimista termelési hozam adatokkal (100 kg/s) számol, amit a szintén kísérleti fázisban levő projektek nem igazolnak. Mindezekon felül a tanulmány is kijelenti, hogy a célszámok elérése csak nem megújuló termelés mellett lenne lehetséges, ahol a rendszerek „visszamelegezése” kb. 20 000 évre prognosztizálható, a kitermeléshez pedig a 7000 m mélység körüli kútpárokat 1,5-2 km-re kellene egymástól elhelyezni az arra alkalmas területeken, ami többzetes nagyságrendű termelő-visszasajtoló kútpárt, illetve sikeresen stimulált rezervoárt jelentene. Itt kell azt is megjegyezni, hogy az EGS-projektek „sorsfordító” szerepéről a korai kísérleti projektektől (Fenton Hill, USA, POTTER et al. 1974), a globális potenciált felvázoló MIT-tanulmányon át (KUBIK 2006) a jelenlegi legújabb technológiákat felvonultató FERVO és Utah-FORGE projektekig számos átfogó elemzés készült (pl. BREEDE et al. 2013), azonban a néhány speciális földtani és földrajzi (nagyreszt lakatlan (fél)sivatagi) környezetben működő pilotprojekt eredményeit a sűrűn lakott és változatos földtani felépítésű európai kontinensre extrapolálni erősen megkérdőjelezhető.

Mindezzel szemben rövid és középtávon (~2035) a mértékadó iparági előrejelzések (ETIP-G 2024) szerinti növekedési várakozások továbbra is a jelenleg rendelkezésre álló, nagy entalpiájú erőforrásokon (vulkáni területek) és az alacsony-közepes hőmérsékletű bináris erőműveken, illetve a hagyományos alapú hőtermelési technológiákon alapulnak, ahol a technológiai innováció a nagy hőszivattyúk elterjedése, a különböző mélységű zárt hurkú rendszerek, a felszín alatti hőtárolás, az új fűrészi technológiák irányába halad. Emellett a geotermia új területeken történő térhódítására is számítani lehet. A klímaváltozás következtében egyre gyakoribb és intenzívebb hőhullámok miatt a települések hűtési energiaigénye folyamatosan növekszik, így a távhűtési rendszerek szerepe várhatóan jelentősen felértékelődik. A geotermikus energia ezen a területen is fontos szerepet tölthet be: egyrészt közvetlenül biztosíthatja az abszorpció vagy adszorpció hűtőberendezések működéséhez szükséges hőenergiát, másrészt a föld állandó hőmérsékletét kihasználó rendszerek hatékony hőelvonást tesznek lehetővé. A geotermikus alapú távhűtés különösen olyan városi környezetben előnyös, ahol a fűtési és hűtési igények szezonálisan kiegyensúlyozhatók, illetve ahol a hőenergia kaszkád jellegű hasznosítása megvalósítható. Az ilyen rendszerek csökkentik a villamosenergia-igényes kompresszoros klímaberendezések használatát, mérsékelik a városi hőszigetelést, és hozzájárulnak a települések dekarbonizációjához, ezért a

fenntartható városfejlesztés egyik ígéretes eszközének tekinthetők.

A geotermikus erőforrások előzetes felmérése területén a földtudományok szintén jelentős kihívások elé néznek. Kulcsszerepe lesz a költségghatékony geológiai, geokémiai és geofizikai kutatási módszerek fejlesztésének, amelyben a mesterséges intelligencia egyre nagyobb szerepet kap majd. Emellett egyre inkább előtérbe kerül a rezervoárok műszaki-gazdasági alapú „teljesítményértékelése”, valamint a hosszú távú, fenntartható működés biztosítása érdekében az életciklus-elemzés szemlélet elterjedése.

A szénhidrogénipar és a geotermikus energiaágazat közötti szinergiák kiaknázása a geotermikus fejlesztések egyik legfontosabb jövőbeli lehetőségét jelenti. A lehetőségek túlmutatnak a felhagyott szénhidrogénkutak geotermikus célú átalakításán, amely megfelelő műszaki és földtani feltételek mellett csökkentheti a beruházási költségeket és a fejlesztési időt. Kiemelt jelentőségű a szénhidrogéniparban évtizedek alatt felhalmozott mélyföldtani, geofizikai, fűrésstechnológiai és rezervoármérnöki tudás hasznosítása, valamint a meglévő földtani adatbázisok, szeizmikus felmérések és kútúrési adatok geotermikus célú újraértelmezése. Emellett a fűrészerendezések, kútkiképzési technológiák, felszíni létesítmények és magasan képzett szakembergárda is közvetlenül hozzájárulhat a geotermikus projektek hatékonyabb megvalósításához.

A prognosztizált növekedési potenciál – az egyedi technológiai fejlesztéseken túl – a holisztikus szemléletben és a rendszerek integrálásban is rejlik. Az ún. „geotermikus ipari völgyek” koncepciója olyan regionális övezeteket vizionál, ahol a geotermikus energia, áram-, hőtermelés, ipari és lakossági hőigény, energiaelosztás, -tárolás és nyersanyag-kitermelés integrált rendszerként működnek. Az ilyen „völgyek” olyan korábban fosszilisalapú ipari régiók (pl. egykori szénrégiók) rehabilitációját és zöld átstrukturálását eredményezhetik, ami a munkahelyek teremtése mellett a helyi gazdasági fellendülését is eredményezheti a CO₂-kibocsátás drasztikus csökkentése mellett.

Összegzés

A geotermikus energia mint időjárás-független, folyamatosan rendelkezésre álló és többféle felhasználási lehetőséget biztosító megújuló energiaforrás egyre hangsúlyosabb szerepet kap a globális dekarbonizációs célok elérésében. Ennek ellenére mind az európai, mind a hazai hasznosítások messze elmaradnak a lehetőségekhez képest, aminek okai elsősorban jogi-gazdasági jellegűek. A 2026 tavaszára várt Európai Geotermikus Akcióterv ezek orvoslására vélhetően konkrét javaslatokat fog megfogalmazni, amelyek között a földtudományok hangsúlyos szerepe a geotermikus értéklánc egyes fázisaiban, különösen a földtani kockázatsökkentő kutatásokban is megjelenik majd. Európa hatalmas, kiaknázatlan geotermikus potenciáljának kiaknázására számtalan forgatókönyv készült, amelyek jelentős növekedést prognosztizálnak mind az áramtermelés, mind a közvetlen hőhasznosítás területén, de hangsúlyos szerepet kap a mélybe-

li sós oldatokból kinyerhető kritikus nyersanyagok (pl. lítium) kinyerése is. A célok elérése érdekében egyre inkább előtérbe kerülnek a földtani adottságoktól (vulkáni területek, nagy üledékes medencék) mentes technológiák (EGS, AGS). Ezek bár nagy potenciált kínálnak, de a jelenlegi magas költségek és műszaki bizonytalanságok korlátozzák elterjedésüket, épp ezért a túlzott elvárásokat vizionáló tanulmányok kellő óvatossággal kezelendők.

Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnénk köszönetet mondani MÁRTONNÉ SZÉK-SZÁRDI Adriennek, MARKÓ Ábelnek és SZANYI Jánosnak a kézirat gondos átnézéséért és lektorálásáért. Észrevételeik és javaslataik jelentősen hozzájárultak a cikk szakmai minőségének javításához.

Irodalom – References

- ALMÁSI, I. & SZANYI, J. 2024: *Hydrogeology of the Pannonian Basin*. – The Groundwater Project, Guelph, Ontario, Canada, 72 p. <https://doi.org/10.21083/978-1-77470-044-0>.
- BÉKÉSI, E., LENKEY, L., LIMBERGER, J., PORKOLÁB, K., BALÁZS, A., BONTÉ, D., VRIJLANDT, M., HORVÁTH, F., CLOETINGH, S. & VAN WEES, J.-D. 2017: Subsurface temperature model of the Hungarian part of the Pannonian Basin. – *Global and Planetary Change* **171**, 48–64. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2017.09.020>
- BLOEMENDAL, M., OLSTHOORN, T. & BONTE, M. 2015: Thermal energy storage in aquifers: Developments and applications in the Netherlands. – *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **43**, 1240–1254. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101977>
- BREDE, K., DZEBISASHVILI, K., XIAOLEI, L. & FALCONE, G. 2004: A systematic review of enhanced (or engineered) geothermal systems: past, present and future. – *Geothermal Energy* **1**, Article 4, 27 p. <https://doi.org/10.1186/2195-9706-1-4>
- CABEZA, L. F. 2021: *Advances in Thermal Energy Storage Systems – Methods and Applications*. (2nd ed.). – Woodhead Publishing Series in Energy, 37–54. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819885-8.00002-4>
- CSONTOS, L. & VÖRÖS, A. 2004: Mesozoic plate tectonic reconstruction of the Carpathian region. – *Palaeogeography, Paleoclimatology and Palaeoecology* **210**, 1–56. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2004.02.033>
- CSONTOS, L., NAGYMAROSY, A., HORVÁTH, F. & KOVAC, M. 1992: Tertiary evolution of the Intra-Carpathian area: a model. – *Tectonophysics* **208**, 221–241. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(92\)90346-8](https://doi.org/10.1016/0040-1951(92)90346-8)
- DINCER, I. & ROSEN, M. A. 2011: *Thermal Energy Storage – Systems and Applications* (2nd ed.). – Wiley, 599 p. <https://doi.org/10.1002/9780470970751>
- DÖVÉNYI, P. & HORVÁTH, F. 1988: A review of temperature, thermal conductivity, and heat flow data from the Pannonian Basin. – In: ROYDEN, L. H. & HORVÁTH, F. (eds): *The Pannonian Basin – a study in basin evolution*. AAPG Memoir **45**, 195–235. <https://doi.org/10.1306/m45474>
- EC 2024: Council Conclusions on the promotion of geothermal energy. 16939/24 <https://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-16939-2024-INIT/en/pdf>
- EGDI: https://maps.europe-geology.eu/#baselay=baseMapGEUS&extent=-58107.189189189114,1155970.0000000002,8563087.189189188,5309410&layers=gseu_wp3_level01geothplaytypesv2
- Energiaügyi Minisztérium 2024: Nemzeti Földhő Hasznosítási Koncepció (“National Geothermal Energy Utilization Concept”). – <https://kormany.hu/dokumentumtar/nemzeti-foldho-hasznositasi-koncepcio>
- European Geothermal Energy Council (EGEC) 2024a: Geothermal Now Manifesto. – <https://www.egec.org/media-publications/geothermal-now-priorities-for-the-eu-2024-2029-mandate/>
- European Geothermal Energy Council (EGEC) 2024b: Market report 2024. – <https://www.egec.org/media-publications/egec-market-report-2024-key-findings/>
- European Geothermal Energy Council (EGEC) 2025: The European Geothermal Strategy and Action Plan Making Europe competitive, secure and affordable. – <https://www.egec.org/wp-content/uploads/2025/12/EGEC-European-Geothermal-Strategy-and-Action-Plan-2025.pdf>
- European Technology and Innovation Platform on Geothermal (ETIP-G) 2023: Strategic research and innovation agenda. – https://etip-geothermal.eu/publication/strategic-research-and-innovation-agenda_2023/
- European Technology and Innovation Platform on Geothermal (ETIP-G) 2024: Geothermal Horizons: From Cities to Regions. – <https://etip-geothermal.eu/publication/geothermal-horizons-from-cities-to-regions-is-now-live/>
- European Parliament 2023: INI – Own-initiative procedure, report on Geothermal Energy – 2023/2111(INI). – [https://oeil.europarl.europa.eu/oeil/en/procedure-file?reference=2023/2111\(INI\)](https://oeil.europarl.europa.eu/oeil/en/procedure-file?reference=2023/2111(INI))
- EU 2018: Energy Union. – https://energy.ec.europa.eu/strategy/energy-union_en#regulation-on-the-governance-of-the-energy-union-and-climate-action
- GeothermaFORA 2025: European Geothermal Industrial Strategy. Project report D.4.4. – https://etip-geothermal.eu/front/wp-content/uploads/GEOTHERM-FORA_D4.4_European-Geothermal-Industrial-Strategy.pdf
- HORVÁTH, F. 1993: Towards a mechanical model for the formation of the Pannonian Basin. – *Tectonophysics* **225**, 333–358. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(93\)90126-5](https://doi.org/10.1016/0040-1951(93)90126-5)

- HORVÁTH, F., MUSITZ, B., BALÁZS, A., VÉGH, A., UHRIN, A., NÁDOR, A., KOROKNAI, B., PAP, N., TÓTH, T. & WÓRUM, G. 2015: Evolution of the Pannonian basin and its geothermal resources. – *Geothermics* **53**, 328–353. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2014.07.009>
- International Energy Agency (IEA) 2024: The Future of Geothermal Energy. – <https://www.iea.org/reports/the-future-of-geothermal-energy>
- EMBER 2026: Hot stuff: geothermal energy in Europe. – <https://ember-energy.org/latest-insights/hot-stuff-geothermal-energy-in-europe/>
- EU 2019: Clean energy for all Europeans package. – https://wayback.archive-it.org/12090/20241209144917/https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-strategy/clean-energy-all-europeans-package_en
- EU 2020: The European Green Deal. – EUR-Lex - 52019DC0640 - EN - EUR-Lex
- EU 2021: Fit for 55. – Completion of key 'Fit for 55' legislation
- EU 2022: REPowerEU. – https://commission.europa.eu/topics/energy/repowereu_hu
- EU 2023a: RED III Irányelv. – https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202302413
- EU 2023b: Energiahatékonysági Irányelv. – https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=OJ%3AJOL_2023_231_R_0001&qid=1695186598766
- EU 2024a: Épületek energiahatékonyságáról szóló irányelv. – Directive - EU - 2024/1275 - EN - EUR-Lex
- EU 2024b: Villamosenergia-piac tervezéséről szóló rendelet. – <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1747/oj/eng>
- EU 2024c: Nulla kibocsátású iparágakról szóló rendelet. – https://commission.europa.eu/topics/competitiveness/green-deal-industrial-plan/net-zero-industry-act_en
- EU 2024d: Kritikus nyersanyagok rendelete. – Regulation - EU - 2024/1252 - EN - EUR-Lex
- GeoExPro 2026: A very expensive fart in the wind. – <https://geoexpro.com/a-very-expensive-fart-in-the-wind/>
- KUBIK, M. 2006: *The future of geothermal energy: Impact of enhanced geothermal systems (EGS) on the United States in the 21st Century*. – Massachusetts Institute of Technology, 209 p. <https://doi.org/10.2172/1220063>
- LENKEY, L., MIHÁLYKA, J. & PARÓCZI, P. 2021: Review of geothermal conditions of Hungary. – *Földtani Közlöny* **151/1**, 65–78. <https://doi.org/10.23928/foldt.kozl.2021.151.1.65>
- MATENCO, L. & RADOJEVIC, D. 2012: On the formation and evolution of the Pannonian Basin: constraints derived from the structure of the junction area between the Carpathians and Dinarides. – *Tectonics* **31/6**, 31 p. <http://dx.doi.org/10.1029/2012TC003206>
- MÁDL-SZŐNYI, J. & SIMON, S. 2016: Involvement of preliminary regional fluid pressure evaluation into the reconnaissance geothermal exploration – Example of an overpressured and gravity-driven basin. – *Geothermics* **60**, 156–174. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2015.11.001>
- MÁDLNÉ SZŐNYI J., MARKÓ Á. & TÓTHI T. 2024: Nem lehet mindenhol mindent, de mindenhol lehet valamit – A geotermikus energia hasznosításának lehetőségei a hazai ellátás diversifikálása érdekében. – *Scientia et Securitas* **4/3**, 153–168. <https://doi.org/10.1556/112.2023.00198>
- MÁRTON Gy. & FODOR Z. 2023: Termálvizek hulladékhőjére alapozott geotermális fűtési rendszer. – *Épületgépész* **12**, 34–38.
- NÁDOR, A. 2023: Science-based data service to accelerate geothermal developments in Hungary. – *European Geologist* **56**. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10463604>
- NÁDOR, A. 2025: The geothermal grow path in Hungary – experiences of the new licensing system. – *Proceedings, European Geothermal Congress 2025, Zurich, Switzerland, October 6–10, 2025*.
- NÁDOR, A. & LENKEY, L. 2024: Geothermal resources of Hungary – a play-based review. – In: TARI, G. C., KITCHKA, A., KRÉZSEK, C., LUCIC, D., MARKIC, M., RADIVOJEVIC, D., SACHSENHOFER, R. F. & SUJAN, M. (eds): *The Miocene Extensional Pannonian Superbasin, Vol. 2: Geoenergy Exploration*. – Geological Society London Special Publications 555. <https://doi.org/10.1144/sp555-2024-43>
- NÁDOR, A. & MARKÓ, Á. 2026: Country update. Hungary. – *Proceedings World Geothermal Congress 2026, Calgary, Canada, June 8–11, 2026*.
- NÁDOR, A., ZILAHÍ-SEBESS, L., ROTÁR-SZALKAI, Á., GULYÁS, Á. & MARKOVIC, T. 2019: New methods of geothermal potential assessment in the Pannonian Basin. – *Netherlands Journal of Geosciences* **98**, 9 p. <https://doi.org/10.1017/njg.2019.7>
- NÁDOR, A., KUJBUS, A. & TÓTH, A. 2022: Geothermal Energy Use, Country Update for Hungary. – *Proceedings, European Geothermal Congress 2022, Berlin, Germany*.
- NÁDOR, A., KUJBUS, A. & PÁSZTOR, D. 2025: Geothermal Energy Use, Country Update for Hungary. – *Proceedings, European Geothermal Congress 2025, Zurich, Switzerland*.
- POTTER, R. M., ROBISON, E. S. & SMITH, M. C. 1974: Method of extracting heat from dry geothermal reservoirs. – United States Patent, 3786858, Filed Mar. 27, 1972, Appl. No. 238,435. <https://patentimages.storage.googleapis.com/be/9f/c4/b16ec4685598bd/US3786858.pdf>
- RMAN, N., GÁL, N., MARCIN, D., WEILBOLD, J., SCHUBERT, G., LAPNJE, A., RAJVER, D., BENKOVÁ, K. & NÁDOR, A. 2015: Potentials of transboundary thermal water resources in the western part of the Pannonian Basin. – *Geothermics* **55**, 88–98. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2015.01.013>
- ROTÁR-SZALKAI, Á., NÁDOR, A., SZÓCS, T., MAROS, Gy., GOETZL, G. & ZEKIRI, F. 2017: Outline and joint characterization of transboundary geothermal reservoirs at the western part of the Pannonian Basin. – *Geothermics* **70**, 1–16, <http://dx.doi.org/10.1016/j.geothermics.2017.05.005>
- RYBACH, L. 2010: The Future of Geothermal Energy. – *Proceedings of World Geothermal Congress, Bali, Indonesia, 25–29 April 2010*.
- SANNER, B., ANTICS, M., BARESI, M., URCHUEGUÍA, J. F. & DUMAS, P. 2025: Summary of EGC 2025 Country Update Reports on Geothermal Energy in Europe. – *Proceedings, European Geothermal Congress, Zurich, Switzerland, October 6–10, 2025*. https://europeangeothermalcongress.eu/wp-content/uploads/2025/11/00-CUR-Summary-EGC-2025_compressed.pdf

- SCHMID, S. M., BERNOULLI, D., FÜGENSCHUH, B., MATENCO, L., SCHEFER, S., SCHUSTER, R., TISCHLER, M. & USTASZEWSKI, K. 2008: The Alpine–Carpathian–Dinaridic orogenic system: correlation and evolution of tectonic units. – *Swiss Journal of Geosciences* **101**, 139–183. <https://doi.org/10.1007/s00015-008-1247-3>
- SZANYI J. 2025: Vitairat a geotermikus energiahasznosítás fellendítéséről. – *Földtani Közlöny* **155/3**, 257–263. <https://doi.org/10.23928/foldt.kozl.2025.155.3.257>
- SZANYI, J. & KOVÁCS, B. 2010: Utilization of geothermal systems in South-East Hungary. – *Geothermics* **39**, 357–364. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2010.09.004>
- SZANYI, J., MEDGYES, T., KÓBOR, B. & PÁL-MOLNÁR, E. 2015: *Technologies of Injection into Sandstone Reservoirs: Best Practices, Case Studies Institute of Geosciences*. – University of Szeged, Szeged, GeoLitera, 156 p.
- SZANYI J., NÁDOR A. & MADARÁSZ T. 2021: A geotermikus energia kutatása és hasznosítása Magyarországon az elmúlt 150 év tükrében. – *Földtani Közlöny* **151/1**, 79–102. <https://doi.org/10.23928/foldt.kozl.2021.151.1.79>
- SZANYI, J., RYBACH, L. & ABDULHAQ, H. A. 2023: Geothermal Energy and Its Potential for Critical Metal Extraction – A Review. – *Energies* **16/20**, Article no 7168, 28 p. <https://doi.org/10.3390/en16207168>
- SZANYI, J. D., KOVÁCS, B. & ABDULHAQ, H. A. 2025: Harnessing geothermal energy in Hungary. – *Geological Society, London, Special Publications* 555, <https://doi.org/10.1144/SP555-2024-22>
- SZŐCS, T., RMAN, N., ROTÁR-SZALKAI, Á., TÓTH, Gy., LAPANJE, A., CERNÁK, R. & NÁDOR A. 2018: The upper Pannonian thermal aquifer – Cross border cooperation as an essential step to transboundary groundwater management. – *Journal of Hydrology – Regional Studies* **20**, 128–144. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2018.02.004>
- TARI, G., DÖVÉNYI, P., DUNKL, I., HORVÁTH, F., LENKEY, L., STEFANESCU, M., SZAFIÁN, P. & TÓTH, T. 1999: Lithospheric structure of the Pannonian basin derived from seismic, gravity and geothermal data. – In: DURAND, B., JOLIVET, L., HORVÁTH, F. & SERRANE, M. (eds): *The Mediterranean Basins: extension within the Alpine Orogen. Special Publications. Geological Society of London* **156**, 215–250. <https://doi.org/10.1144/gsl.sp.1999.156.01.12>
- TARI, G., BADA, G., BOOTE, D. R. D., KREZSEK, Cs., KOROKNAI, B., KOVÁCS, G., LEMBERKOVICS, V., SACHSENHOFER, R. F. & TÓTH, T. 2023: The Pannonian Super Basin – A brief overview. – *AAPG Bulletin* **107/8**, 1391–1417. <https://doi.org/10.1306/02172322098>
- TÓTH, Gy., RMAN, N., ROTÁR-SZALKAI, Á., KERÉKGYÁRTÓ, T., SZŐCS, T., LAPANJE, A., ČERNÁK, R., REMSÍK, A., SCHUBERT, G. & NÁDOR, A. 2016: Transboundary fresh and thermal groundwater flows in the west part of the Pannonian Basin. – *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **57**, 439–454. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.021>
- TÓTH, J. 2003: Fluid-potential patterns and hydrocarbon deposits in groundwater flow-fields induced by gravity and tectonic compression, Hungarian Great Plain, Pannonian Basin. – *Journal of Geochemical Exploration* **78**, 427–431. [https://doi.org/10.1016/s0375-6742\(03\)00024-4](https://doi.org/10.1016/s0375-6742(03)00024-4)
- TÓTH, J. & ALMÁSI, I. 2001: Interpretation of observed fluid potential patterns in a deep sedimentary basin under tectonic compression – Hungarian Great Plain, Pannonian Basin. – *Geofluids* **1**, 11–36. <https://doi.org/10.1046/j.1468-8123.2001.11004.x>
- VARGHA B. 2025 (szerk.): *Elemzés – A geotermikus energia hasznosítása Magyarországon – Stratégiai, jogi és pénzügyi feltételrendszer.* – Állami Számvevőszék. 63 p. https://www.asz.hu/dokumentumok/Geotermia_ELEMZES.pdf

Kézirat beérkezett: 2026. 03. 16.

