

A hazai fosszilisszénhidrogén-vagyonban rejlő lehetőségek

Velledits Felicitász^{1*} , Kiss Károly² , Baracza Mátyás Krisztián² 

¹Miskolci Egyetem, Műszaki Föld- és Környezettudományi Kar, Nyersanyagkutató Földtudományi Intézet, Miskolc, Magyarország

²Miskolci Egyetem, Műszaki Föld- és Környezettudományi Kar, Alkalmazott Földtudományi Kutatóintézet, Miskolc, Magyarország

*Levelező szerző, e-mail: felicitasz.velledits@uni-miskolc.hu

Beérkezett: 2023. november 22.; elfogadva: 2023. december 18.; Online megjelent: 2024. március 28.

Összefoglalás

Hazánk szénhidrogén-kutatás és -termelés szempontjából érett területnek számít. A jelentős méretű előfordulások felfedezése és termelésbe állítása már megtörtént. A közelmúlt felfedezései azonban azt bizonyítják, hogy további felfedezések tehetőek az országban. A 3D szeizmikus mérések, a számítástechnikai eszközök és a mérőműszerek fejlődése lehetővé tette, hogy új, kisebb telepeket fedezzünk fel. A pettendi felfedezés 30 kútja akár napi 14,2 ezer hordó olajat is termelhet, amely jelentősen növeli a magyarországi olajtermelést. A Vecsés-2-es kút napi 600 hordó olajat termel. A két Komádiiban és egy Álmosdon lefúrt sekély kút naponta 750 hordó egyenérték szénhidrogén-termelést produkál. A Nyékkpusztai tömött homokkőből (nem hagyományos tároló) évente 45 millió köbméter gázt és 45 ezer köbméter kondenzátumot terveznek a felszínre hozni. Az új találatok bizonyítják azt, hogy van lehetőség az energiahordozó kutatásában, a felfedezett mennyiségek azonban csak a termelés csökkenését tudják ellensúlyozni. Fontos lenne, hogy más energiaforrásokkal, például a geotermikus energia fokozásával pótoljuk a hiányzó energiamennyiséget.

Kulcsszavak: energiabiztonság, konvencionális/nem konvencionális kitermelhető szénhidrogén-vagyon, szénhidrogén-kutatás/-termelés, sekély gáz, geotermális energia, a Miskolci Egyetemen folyó fejlesztések

The potential of the domestic hydrocarbon stock

Felicitász Velledits¹, Károly Kiss², Mátyás Krisztián Baracza²

¹Faculty of Earth and Environmental Sciences an Engineering, Institute of Exploration Geosciences, University of Miskolc, Miskolc, Hungary

²Faculty of Earth and Environmental Sciences an Engineering, Research Institute of Applied Earth Sciences, University of Miskolc, Miskolc, Hungary

Summary

In hydrocarbon exploration and production terms Hungary is a mature area. The significant deposits have already been brought into production. Hungary now is only able to meet a small part of its fossil fuel needs from existing fields in the country, and therefore our supply largely depends on imports. The modern tools such as 3D seismic measurements and geophysical methods to detect seismic anomalies have allowed us to achieve a higher success rate with fewer drillings. New discoveries have also been made recently with the methodology used.

The Hungarian Horizon Energy Ltd. and TDE Services Ltd. in a US/Hungarian cooperation discovered a significant amount of hydrocarbons in the Dráva Basin near Pettend. The development of the discovered oil and gas deposits found in Lower Pannonian formations, Badenian carbonate rocks and Palaeozoic successions doubled the Hungarian oil production.

The planned production of 700-1000 barrels from the Vecsés-2 well drilled by MOL will increase Hungary's oil production by 5%.

MOL's shallow gas program aims to discover gas fields at depths of 1,500 up to 2,000 meters. Two wells drilled near Komádi and one at Álmosd could contribute up to 750 barrels of oil equivalent per day for the MOL's production. This means an annual production of about 44 million cubic meters of gas from these wells.

The Nyék-6 well, located in the northern part of the Békés basin, has the potential to produce 1,6 Bcf (billion cubic feet) of gas and 283 thousand bbl (barrel) of condensate per year, according to production data from the first months of operation. It is estimated that up to ten times of the amount already recovered could be produced from this well.

Exploration and production will be carried out under the five-year Corvinus project, which has been declared a priority investment by the government. The exploration and production will be carried out in a joint venture structure with MVM CEnergy Zrt. and Horizont General LLC. as 50-50% shareholders.

At the University of Miskolc three research projects on the evaluation and extraction of unconventional hydrocarbons with significant industrial potential are being carried out, which are novel in Hungary. 1) Investigation of unconventional hydrocarbon reservoirs by interval inversion. 2) Investigation of hydraulic fracturing technologies and fracture support systems. 3) Investigation and analysis of low permeability marls, and massive sandstone deposits, research into the operation of unconventional hydrocarbon reservoirs.

Given Hungary's energy needs, it would be essential to fill the gap with other energy sources. Increasing the domestic geothermal energy production would be a significant step because Hungary has favorable natural conditions in comparison to most foreign countries as the geothermal gradient is about double the average.

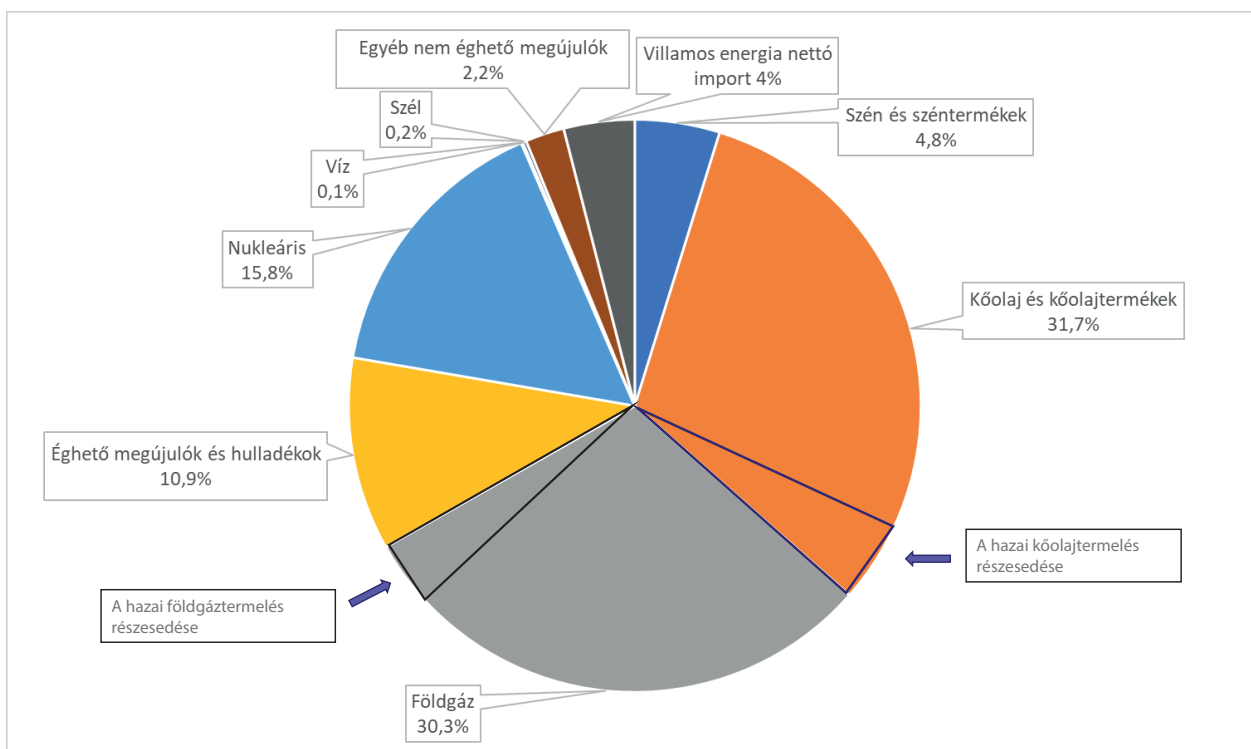
Keywords: energy security, conventional/unconventional hydrocarbon reservoirs, recoverable hydrocarbon assets, hydrocarbon exploration/production, shallow gas, geothermal energy, developments at the University of Miskolc

1. Bevezetés

A fosszilis energiahordozók szerepe és fontossága egy ország energiafelhasználási szerkezetében (1. ábra) rövid és középtávon jelentős mértékű, ezek fenntartható és megújuló energiaforrásokkal való gyors kiváltása pedig nagy kihívást jelent. Ez egyben azt jelenti, hogy amennyiben az ország adottságai és lehetőségei ezt megengedik, az ország energiabiztonságának fenntartása érdekében a fosszilis energiahordozók kutatását és termelését legalább középtávon érdemes és szükséges fenntartani.

Az ország ismert szénhidrogénvagyon, valamint -termelése (2. ábra) az SZTFH (Szabályozott Tevékenység-

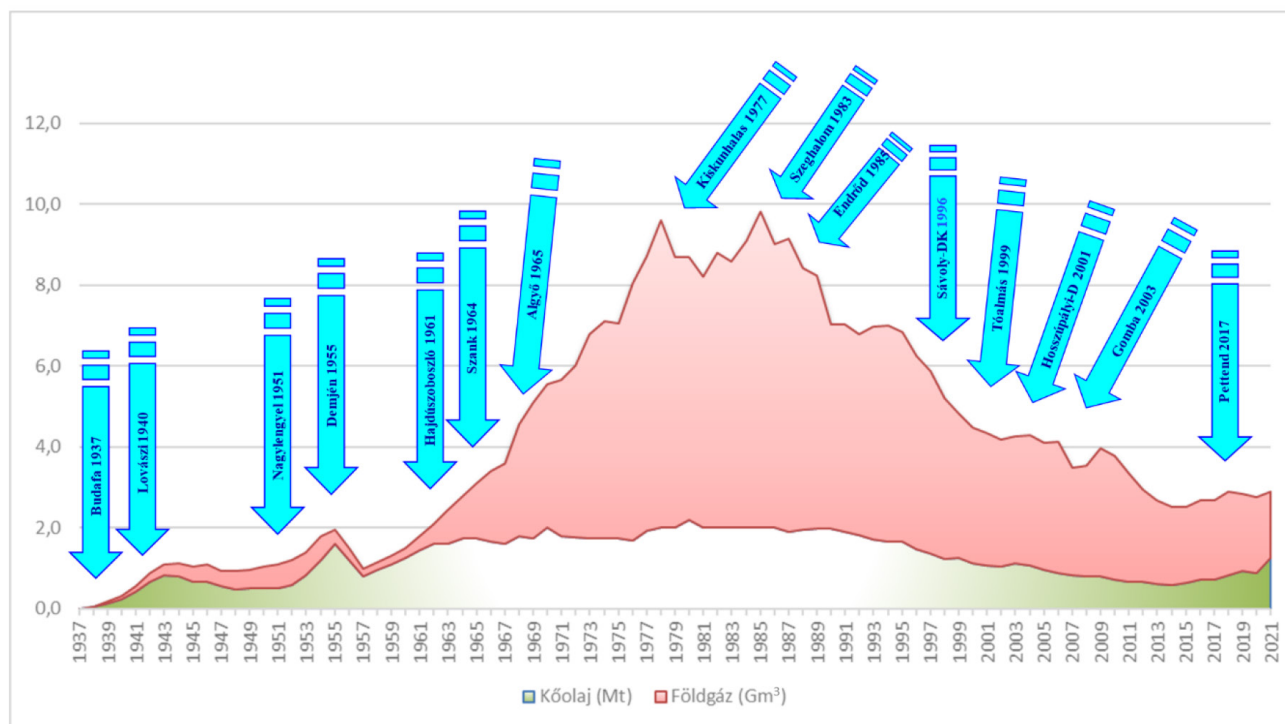
gek Felügyeleti Hatósága) által nyilvántartott és éves szinten kiadott összesítések alapján ismert. Figyelembe véve az éves fogyasztási adatokat, könnyen felismerhető, hogy Magyarország fosszilis energiahordozó-igényének ma már csak egy kis részét képes kielégíteni az ország területén felfedezett termelő mezőkből, vagyis ellátásunk nagyrészt importfüggő. Az igény természetesen megvan arra, hogy az ország területén még fel nem fedezett, illetve ki nem termelt szénhidrogén-mennyiségek hasznosításra kerüljenek, de a jelenlegi igények mellett, az ország megkutatottsági állapotát, szénhidrogén-földtani érettségét tekintve ez a függő helyzet kis eséllyel változtatható meg érdemben.



1. ábra

A primer energiafelhasználás szerkezete 2022-ben

Forrás: KSH (Központi Statisztikai Hivatal, https://www.ksh.hu/stadat_files/enc/hu/enc0005.html)



2. ábra Magyarország szénhidrogén-termelése 1937–2021 között.

Forrás: módosított ábra Lemberkovics et al. 2020 után, adatforrás: SZTFH: <https://sztfh.hu/nyilvantartasok/asvanyvagon-nyilvantartas/>

Jelen cikkünkben a magyarországi szénhidrogénipari lehetőségekkel foglalkozunk általánosan. Szeretnénk röviden bemutatni, hogy hol tart a magyarországi szénhidrogén-kutatás és -termelés, amely egyben előrevetíti, hogy energiabiztonság szempontjából mi várható el ettől az ipártól Magyarországon. A cikkben a közelmúlt eredményeinek megemlékezésével szeretnénk fókuszban tartani azokat a realizálható lehetőségeket, amelyek meghatározzák a hazai fosszilis energiahordozók mennyiségi szerepét az energiabiztonság területén.

2. Vizsgálati anyag és módszer

A cikk megírását nehezítette, hogy a különböző szénhidrogén-kutató cégek nem közlik sem az újonnan felfedezett kőolaj- és földgáztelepek termelési adatait, sem a telepek geológiai leírásait. Cikkünkben ezért a hétköznapi sajtóban és az interneten megjelent információkra támaszkodtunk az új felfedezésekre vonatkozó információk összefoglalása során.

Az éves termelésre vonatkozóan pontos adatokat találunk az Állami Ásványi Nyersanyag és Geotermikus Energiavagyon Nyilvántartásában a Szabályozott Tevékenységek Felügyeleti Hatósága (SZTFH) honlapján. A nyilvántartás a bányavállalkozók kötelező éves adatszolgáltatásain és az SZTFH Országos Bányakapitányság határozatain alapulnak. A nyilvántartás kiterjed az ásványvagyontermelésre és minőségére, az ásványvagyontermelésben bekövetkezett évenkénti változás (termelés, kutatás, átminősítés stb.) az éves jelentések szerint, val-

mint a bányabezárásakor, illetve mezőfelhagyáskor visszahagyott ásványvagyont.

Jelen cikkünkhöz a legfrissebb elérhető, a 2021. évről szóló nyilvántartást használtuk fel (Magyarország ásványnyersanyag-vagyona 2022. január 1., <https://sztfh.hu/nyilvantartasok/asvanyvagon-nyilvantartas/>.)

A 312 nyilvántartott kőolaj- és földgáz-előfordulás (+16 kutatási terület) esetében a 2021. év során bekövetkezett ásványvagyontermelési változásokat 26 bányavállalkozó tevékenysége eredményezte. A tárgyévben felszínre hozott szénhidrogén-ásványvagyont túlnyomórészt hagyományos (ún. konvencionális) előfordulásokból termelték ki a vállalkozók. A nem konvencionális előfordulások kitermelhető kőolaj és szénhidrogén-földgáz-előfordulások vagyonadatai érdemben nem változtak. A kitermelt kőolaj mennyisége az előző évhez képest mintegy 34%-kal nőtt, ezzel szemben a földgáztermelés mértéke kb. 10%-kal csökkent. (Magyarország ásványnyersanyag-vagyona 2022. január 1., <https://sztfh.hu/nyilvantartasok/asvanyvagon-nyilvantartas/>.)

A számok feketén-fehéren mutatják a szénhidrogénipar helyzetét.

A termelt szénhidrogén-mennyiségek mellett ki kell emelni a földtani mennyiségeket, amelyek – amennyiben ez technikailag lehetséges és gazdaságosan művelhető – a jövőbeli termelés alapját képezik. Az ismert előfordulások túlnyomó része Magyarországon már termelés alatt áll, kevés az olyan telep, amely még mezőfejlesztésre vár.

1. tablázat | Magyarország asvanyinyersanyag-vagyon, 2021. januar 1.

Nyersanyag	Termelés 2020-ban		Földtani vagyon 2021. I. 1.		Kitermelhető vagyon 2021. I. 1.	
	Mm ³	kt	Mm ³	kt	Mm ³	kt
Kőolaj*						
Konvencionális kőolaj	1,02	848,8	286,65	237 920	24,73	20 526
Nem konvencionális kőolaj	<0,001	<0,001	537,11	445 801	58,52	48 572
Földgáz**						
Konvencionális földgáz	1886,38		185 793,32		73 790	
Nem konvencionális földgáz	1,64		3 923 313,95		1 565 324,39	
Szén-dioxid gáz	128,53		44 268,75		28 392,05	

*1000 m³ gáz ~ 1 tonna**1 m³ kőolaj ~ 0,83 tonnaForrás: <https://sztfh.hu/nyilvantartasok/asvanyvagyon-nyilvantartas/>

A működő mezők termeltetése, a termelés intenzifikálása, a kihozatali tényezők növelése, de olykor csak a gazdaságos termeltethetőség elérése is folyamatos feladat és kihívás a bányavállalkozók számára.

Figyelembe véve, hogy a hazai termelés aranykora a 70-es, 80-as évekre esett, kijelenthető, hogy a Magyarországon ez idáig megismert kitermelhető szénhidrogén-vagyon döntő része már a felszínre került. A földtani vagyonok tekintetében kivételt a dokumentált, jelentős nem konvencionális szénhidrogén-vagyon jelent, azonban ennek a több előfordulást is magába foglaló vagyon-kategóriának a fejlesztésére csak igen kevés működő projekt vállalkozott ez idáig sikerrel (*Lemberkovics et al. 2020*).

Ki kell emelni továbbá, hogy mindezek a számok nem tartalmazzák a még felfedezésre váró mennyiségeket. Új, a jelenlegi állapotot akár jelentősen megváltoztató kutatási eredmények pedig időről időre születnek.

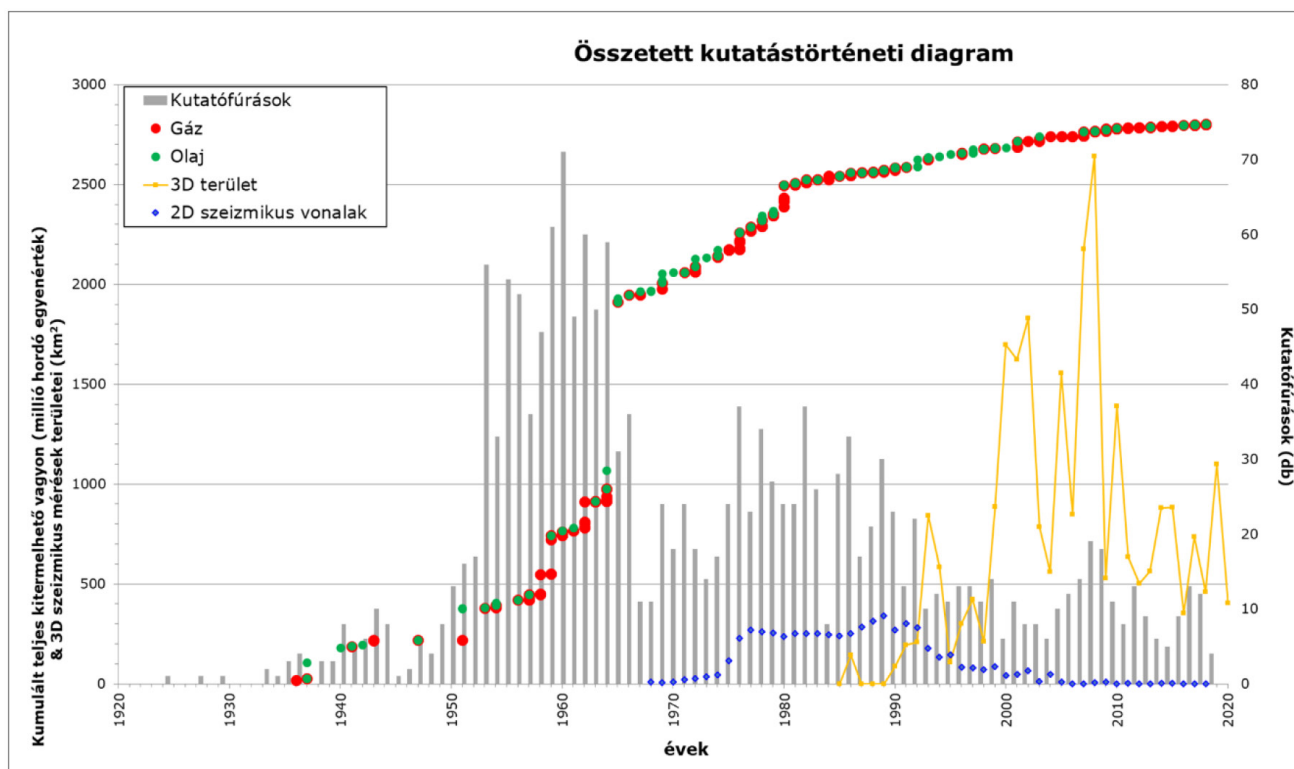
3. A hazai szénhidrogén-kutatás és -termelés rövid története a kezdetektől napjainkig

Ahhoz, hogy megértsük a szénhidrogénipar jelenlegi állapotát és lehetőségeit, érdemes és szükséges áttekinteni röviden a múltját és történetét, belehelyezni abba a „természetes” folyamatba, amely egy-egy szénhidrogén-provincia életútját jellemzi.

Az országban már több mint 100 éve folyik szénhidrogén-kutatás, és az első, ipari értékű felfedezés termelésbe állítása is közel 90 évvel ezelőtt történt (Budafa–I, 1937). Az azóta eltelt időszakban folyamatos szénhidrogén-kutatási és -termelési tevékenység zajlott, melynek eredményeként mára kimondható, hogy az ország megkutatottsági szintje magas. A fejlődő mérőeszközök, a fúrás technológia fejlődése, a geológiai-geofizikai módszertani ismeretek bővülése, az egyes fúrásokkal, mérésekkel megszerzett tudás- és adatbázis alapján nagyrészt

ismertek a fő szénhidrogénrendszerek, a jelentős előfordulási területek. Ennek a helyzetnek az előnye, hogy mára az ismert szénhidrogén-földtani rendszerekben a kutatási sikerarány magas, de ezzel együtt hátrányként azt is ki kell emelni, hogy előrehaladott kutatás következtében az újonnan felfedezett előfordulások számossága és nagysága általánosan kisebb a korábbiaknál.

A bemutatott ábrákon látható, hogy a jelentős méretű, a magyarországi olajipart meghatározó előfordulások felfedezésére és termelésbe állására a 60-as, 80-as években került sor, a termelés csúcsideje pedig a 70-es évek közepétől a 80-as évek végéig tartott. A 90-es évek elejére a ma ismert összes kitermelhető mennyiség túlnyomó része már felfedezésre került. Egy-egy terület kutatásának elején természetes folyamat, hogy a kezdeti tapogatózó lépéseket követően a legnagyobb előfordulások felfedezése történik meg. Magyarországon ez az említett időszakra esik, amikor az alkalmazott erőtér-geofizikai, valamint 2D szeizmikus mérési módszerek már elégséges adatokat szolgáltatottak ahhoz, hogy a nagyobb szénhidrogén-tároló szerkezetek kimutathatók legyenek. Ahogy a későbbiekben – természetes módon – fogynak a nagyobb lehetőségek, a közepes, majd egyre kisebb előfordulások felfedezése is sorra kerül. A (relatív) kisebb méretű objektumok kimutatására Magyarországon a 90-es évek elejétől a technológiai – főként digitális – fejlődés adta meg a szükséges hátteret. A digitalizáció elterjedésével, a modern mérőműszerek megjelenésével, a 3D szeizmikus mérések térhódításával, illetve a rohamosan fejlődő számítástechnikai eszközök segítségével részletes geológiai és szénhidrogén-földtani modellek készültek, melyek integrált rendszerbe foglalták az addigi adatokat és eredményeket, és megmutatták a további kutatási lehetőségeket. A fejlődéssel növekvő hatékonyság jelentkezett, kevesebb fúrással nagyobb sikerarány volt elérhető. Ismét meg kell azonban jegyezni, hogy a felfedezések átlagos mérete is csökkenni kezdett. Ezek között a felfedezések között természetesen voltak



3. ábra

Összetett kutatástörténeti diagram

Forrás: módosítva Lemberkovics et al. 2020 után, az SZTFH, IHS/Information Handling Services (<https://sztfh.hu/nyilvantartasok/asvanyvagonyilvantartas/>) alapján

olyanok, amelyek érdemben befolyásolták az össztermelést, és hozzáadtak a felfedezett összvagyonhoz. Ezekre példák a 2000-ben az ország keleti szélén felfedezett Hosszúpályi-Dél gázmező és a Budapesttől keletre található, ún. paleogén-medencében felfedezett kőolaj-előfordulások (Tóalmás, Gomba).

A 2000-es évek elejétől általánossá vált a 3D szeizmikus mérés alkalmazása kutatási feladatok elvégzésére Magyarországon, amelyet szeizmikus anomáliák kimutatására alkalmas geofizikai módszerekkel dolgoztak fel és értékelték ki. Ez elsősorban a legfiatalabb (pannon) rétegek gázkutatásában nagyon sikeres módszer a mai napig, alkalmazásával akár 80-90%-os kutatási sikerarányt értek el a cégek. Az említett módszertannal lehetővé vált az is, hogy a lehető legkisebb, ipari-gazdasági értelemben véve értékes telepek is felfedezhetővé váljanak. Ezek hatása a felfedezett összes kitermelhető mennyiségre és az ország energiaszükségletére nézve nem túl jelentős. A kutatástörténeti eredményeket összefoglaló 3. ábrán piros és zöld körökkel került megjelenítésre az adott évben felfedezésre került kitermelhető, a szénhidrogénipar kezdetétől kumulált mennyiség. Ahogy az látható, a 2010-es években az évenkénti növekmény alig érzékelhető. Erre a képre mondhatjuk, hogy az ország nagyon érett kutatási állapotban van.

Amennyiben ezt a folyamatot végignézzük, akkor esetleg ki lehet mondani, hogy a kutatás befejezettnek tekinthető, és nincs további jövőkép a hazai „upstream” szénhidrogén-szektorban (Lemberkovics et al. 2020).

4. A közelmúlt felfedezései

A kutatás azonban nem mondható befejezettnek, ami annak köszönhető, hogy továbbra is vannak bizonyított, működőképes új lehetőségek.

A kutatási területeken felsorolt lehetőségek jelentős részéhez lehetséges a közelmúltból olyan, akár a sajtóban is megjelent előfordulásokat társítani, amelyek pozitív képet adnak a felvetett energiabiztonsági szempontokhoz. A következőkben röviden, felsorolásszinten említjük meg ezeket az előfordulásokat és eseteket.

4.1. Új megközelítések

A 90-es évektől már nem a MOL és jogelődje volt az egyetlen kutatással, majd termeléssel foglalkozó cég Magyarországon. Az ideérkező befektető cégek újfajta megközelítéseket alkalmaztak sikerrel. Egy-egy új gondolat, kutatási megközelítés olykor igen jelentős eredményeket is hozott. Erre kiváló példák az elmúlt években a Dráva

medence és az országhatár peremén felfedezett pettendi és sellyei mezők, amelyek korábban kevésbé kutatott geológiai környezetben és helyzetben találhatók. Ezen találatok jelentőségét mutatja, hogy a termelésbe állított kutakkal szinte meg tudta az ország duplázni az olajtermelését. Ennek hatása a termelési és a kutatástörténeti diagramokon (2. és 3. ábra) is megfigyelhető, amire régen volt példa.

Pettend

A Dráva-medence magyarországi részén (északi peremén) a Barcs szeizmikus 3D méréssel lefedett területen ún. attribútum vizsgálatok alapján 2016–17-ben megkezdett kutatással Jánosmajor, Istvándi, Fannimajor, Kétújfalu környezetében jelentős kőolaj- és gázfelfedezésekre került sor. Az előfordulások termeltetése során nemcsak gáz-, hanem olajtermelés is történt (Lemberkovichs et al. 2020).

A találatról nagyon kevés a publikált adat, de a G7 a nyilvános iratok és a műszaki dokumentáció segítségével az alábbi következtetésre jutott (Domokos 2019). Az amerikai Aspect Energyhez tartozó Magyar Horizont Energia Kft. (angol rövidítéséből HHE Kft.) és a TDE

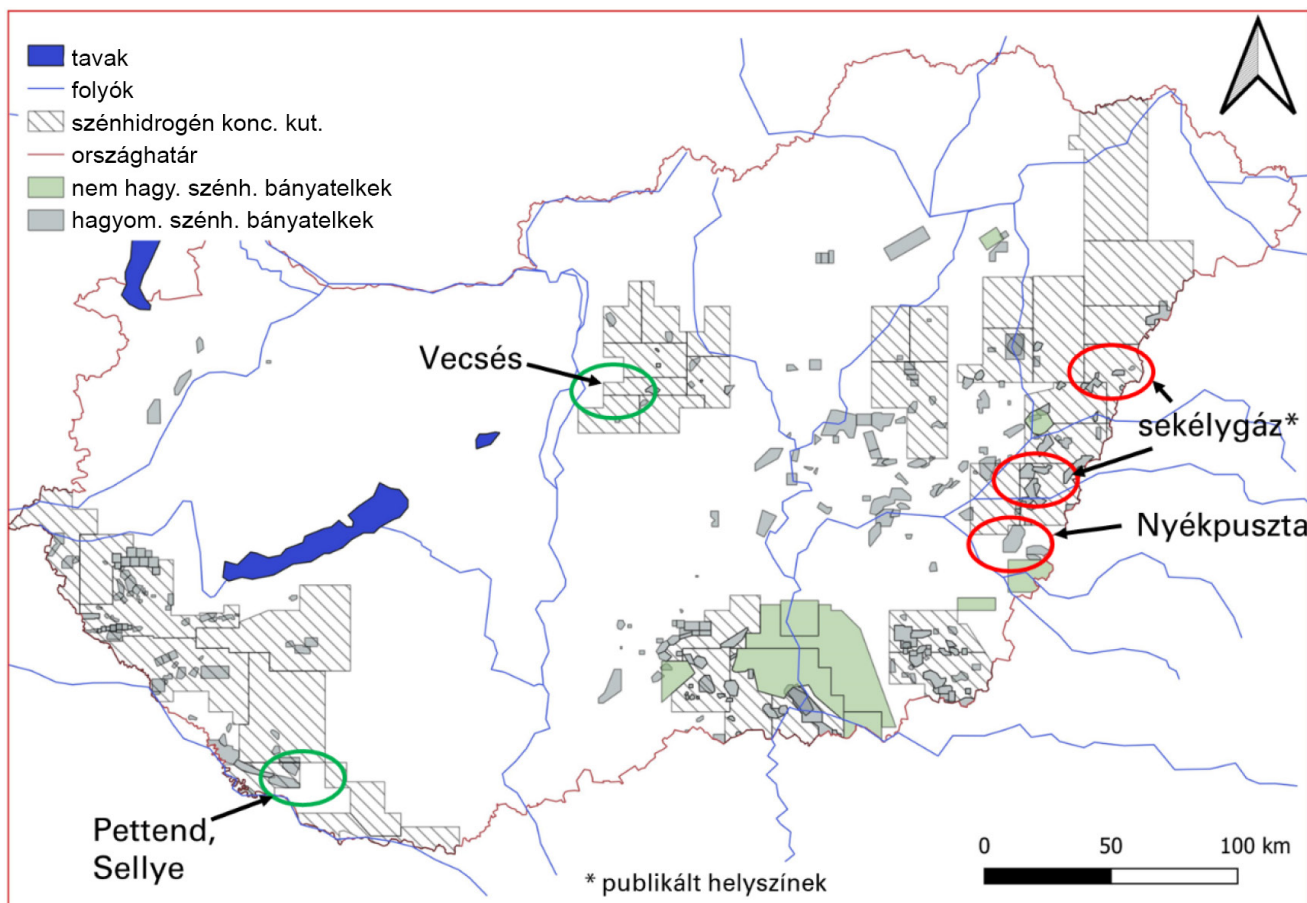
Services Kft. amerikai–magyar együttműködésben találta meg a jelentős mennyiségű szénhidrogént (Domokos 2019).

Az új 3D szeizmikus mérések eredményei alapján a lemélyített hét kutatófúrás közül a HHE–Istvándi–1, –2, –4 és a HHE–Jánosmajor–2 fúrásokkal kőolaj-, illetve földgáz-telepeket fedeztek fel alsó-pannóniai képződményekben, bádeni karbonátos kőzetekben és paleozoós összletben (Kasnyik 2019).

A felfedezés gyors és intenzív fejlesztése (>20) termelő kút eredményeként napi 10–11 ezer hordó mennyiséget hoznak a felszínre. Ez a mennyiség pedig megduplázta a magyarországi termelést (Domokos 2019).

Bár a pontos termelési adatok nem ismertek, a G7 információi alapján a beruházás részeként Szigetváron egy tízállásos olajlefejtőt építenek, hogy vonaton szállíthassák tovább a kőolajat. Az Istvándi és Kálmánca mellett már korábban megindított kutakból több tíz kilométernyi kőolajvezeték szállítja majd az olajat egy Kétújfalu külterületéhez tartozó főgyűjtőbe, hogy onnan egy további tíz kilométeres vezetéken vigyék tovább a termelvényt Szigetvárra.

A HHE-K-3 nevű főgyűjtőnél már adalékanyagokkal kezelik a nyers kőolajat, ami számos szeparátoron és tar-



4. ábra

A közelmúlt jelentősebb találatai

Forrás: https://sztfh.hu/downloads/banyaszat/SZTFH_BATER_20230706.pdf alapján

tályon folyik keresztül. A fűgyűjtőbe érkezik a délkeletre lévő, szintén a HHE birtokában lévő drávapalkonyai koncessziós területéről származó földgáz is (Kasnyik 2019). A fűgyűjtő kapacitása a beruházás második lépésőjében már napi 2250 tonna lenne, azaz 15 ezer hordó kőolajra (és még 360 ezer köbméter földgázra) bővül. A kutak pedig egyenként 60-70 tonna, azaz 475 hordó olajat tudnak termelni egy nap, amiből kiszámolható, hogy harminc kút esetén akár napi 14,2 ezer hordó is lehet a termelés (Domokos 2019).

4.2. „Tradicionális” tárolótípusok

Az elmúlt időszakban a találatok számának zömét adó pannon előfordulások mellett jelentősek voltak a „tradicionális” tárolótípusokban történt találatok. A vastag miocén üledékek, a paleogén képződmények, illetve aljzati, aljzaton belüli szintek kutatása koránt sincs ennyire előrehaladott állapotban. Ezek kutatása azonban magasabb kockázattal jellemezhető, és ezeket a „play”-eket, részben a pannon rendszerek sikeres kutatása miatt a cégek az elmúlt időszakban kevésbé kutatták. Erre kiváló példa a paleogén-medence kutatása, mely ebbe a „tradicionális” play típusba tartozik. A terület a 90-es évekig gyakorlatilag alulkutatott volt, a 90-es évek második felétől azonban intenzív és folyamatos kutatás kezdődött el, amely a mai napig tart. Ennek utolsó ismert eredménye a Vecsés környékén felfedezett és bővítés alatt álló olajtelep.

Vecsés

A Budapesttől keleti irányban, egészen a Bükk aljáig, Mezőkeresztes-Demjén területig tartó, ún. Paleogén-medence területén főként a 2000-es évek elején vált aktívvá a szénhidrogén-kutatás. A sikeres kutatás következményeként Tóalmás, Nagykáta, Gomba, Sülysáp környezetében jelentős mennyiségű olaj került felfedezésre, a terület pedig ez idő tájt a második legnagyobb olajtermelő volt Algyó után. Vecsés környezetében a közelmúltban felfedezett olajtelep ehhez a hagyományos, jól ismert szénhidrogén play-hez tartozik. A vecsési találat azt igazolja, hogy a terület kutatása korántsem tekinthető befejezettnek, további előfordulások feltárása is várható.

A MOL Nyrt. által mélyített Vecsés-2 számú kútját 2022 második felében állították termelésbe. Az új kút napi 600 hordó termeléssel indul, későbbi tervezett 700-1000 hordós termelése mintegy 10%-kal növeli a MOL Magyarország, és 5%-kal Magyarország kőolaj-kitermelését.

Ezzel a Vecsés-2 nevű olajkút a MOL harmadik legnagyobb hozamú magyarországi kútja lett, amely egyedül képes kiváltani az előregedő algyői mező teljes éves természetes hozamcsökkenését (Sipos 2022). Az olaj mezozoos és eocén korú karsztosodott mészkőtárolókban van, mintegy 2100 m mélységben (Sipos 2022).

Tóalmás Észak 1

„A Tóalmás Észak 1-es kút a MOL Magyarország legjobban termelő olajkútja, mintegy 160 köbméter/nap teljesítménnyel. A kutat 2016-ban nyitották meg, kutatási lehetőség a koncessziós területen 2024 végéig tart.” (Sipos 2022)

4.3. Régi területek újrakutatása (sekélygáz)

Ahogy azt korábban már említettük, a szénhidrogén-kutatások már több mint 100 éve folynak az országban. Ez alatt a hosszú idő alatt igen nagy számú fűrásra, mérésre került sor, amelyek az adott időszak technikai szintjén történtek. Ezek a régi mérések, a fűrási információk, lyukszelvényezési adatok jó alapot adnak egy-egy terület/fűrás újravizsgálatára és az elfeledett, felhagyott telepek, előfordulások, új kutatási lehetőségek kimutatására. Ennek sikerességére számos példa akad az ország területén (pl. Penészlek környezete), és a régi adatok feldolgozottsága egyáltalán nem tekinthető teljesnek.

A pannon üledékekben működő metodika alkalmazásával továbbra is történnek felfedezések. Erre nagyszerű példát jelentenek a MOL Nyrt. által is kommunikált, az ország különböző területein végzett sekélygáz programjában felfedezett gáztelepek, de ide tartoznak a teljesség igénye nélkül a más bányavállalkozók által, elsősorban Kelet-Magyarországon felfedezett gázelőfordulások is.

Sekélygáz-előfordulások

A MOL 2019-ben indította útjára sekélygáz programját. A fűrásokkal megcélzott gáztelepek a szokványosnál sekélyebb mélységben, általában 1500-2000 méter közelében találhatóak, a program innen kapta a nevét.

A nagyszámú találatot a modern (3D) szeizmikus mérések speciális kiértékelése tette lehetővé, amelynek segítségével pontosabb képet kapnak a kutatási szakemberek arról, hogy hol van nagy eséllyel gáz a föld mélyén. A projekt jellemzően kis méretű előfordulások felfedezését eredményezi.

Az elmúlt években 18 fűrásból 16 hozott sikert. A MOL a legnagyobb földgáz-kitermelő Magyarországon. 2022-ben a vállalat által termelt évi 1,4 milliárd köbméter gáz a hazai termelés 90%-át adta, a sekélygáz-előfordulások aránya pedig nagyjából 5%-os a teljes mennyiségen belül.

Hasonló eredményeket természetesen más cégek is értek Magyarországon. Kellő méretű és helyzetű kutatási terület, valamint megfelelő mérési és fűrási adatok alapján ez a program sikerrel folytatható.

A MOL 2023-ban három sikeres sekélygázfűrást mélyített Kelet-Magyarországon, kettőt Komádi közelében, egyet pedig Álmosdon (Százhalombattai Hírtükör, 2023. 02. 28.).

A három új kút akár napi 750 hordó egyenértékkel járulhat hozzá a MOL napi mintegy 32 000 hordó egyenértékes magyarországi gáz- és olajtermelésének

szinttartásához, ez évente körülbelül 44 millió köbméter gázt jelent.

Az eddig termelésbe állított sekélygázkutak kb. 30-40 ezer átlagos családi ház földgázigényét tudják biztosítani, ez a szám az új kutak termelésbe állításával hamarosan eléri az 50 000-et.

A kelet-magyarországi sekélygázkutak nagyban hozzájárulnak ahhoz, hogy a kimerülőben levő mezőink termelésének természetes csökkenését ellensúlyozni tudjuk.

Más kutatási projektekhez viszonyítva alacsony kockázattal, jól tervezhetően, jó megbízhatósággal járulhat hozzá a hazai szénhidrogén-termelés csökkenésének mérsékléséhez (*Százhalombattai Hírtükör*, 2023. 02. 28.).

A MOL ambiciózus beruházási tervekkel rendelkezik a területen, az elkövetkező öt évben mintegy 200 Mrd Ft-ot tervez befektetni Magyarországon a kőolaj- és földgázbányászatba. Ennek közel 60-65%-a földgáz, 20-25%-a kőolaj célú, a maradék pedig az infrastruktúra biztonságos fenntartását, pótlását célozza (*Százhalombattai Hírtükör*, 2023. 02. 28.).

4.4. Nem konvencionális szénhidrogének

A 2000-es évek olajiparában globális változást hoztak az ún. nem konvencionális előfordulások, amelyek termelése alapjaiban változtatta meg a szénhidrogénipar jelenét és előrejelzéseit. Ilyen típusú előfordulások kutatása Magyarországon is ismert. Leghíresebb a Makói-árokban zajlott kutatás, amelynek során a fiatal pannon üledékek ilyen irányú, jelentősnek mutató potenciáljának a meghatározása és lehetőség szerint termelésbe állítása volt a cél. A projektben ugyan a 2010-es évek elejétől nincs érdemi előrelépés, de részben ennek hatására az ország több területén, eltérő geológiai közegben is zajlottak és zajlanak jelenleg is további kutatások. Ilyen a Kiskunhalasi-, valamint a Derecskei-árok, továbbá a Békési-medence ÉK-i peremén található vastag, középső-miocén korú üledékes rendszerek kutatása. Bár az ezekhez a medencékhez tartozó méretek a Makói-árok méreténél kisebbek, ezek a projektek mégis sikeresebbnak bizonyultak. A kutatási programok eredményeként bizonyított, ipari értékű termeléseket értek el cégek, amely igazolta ezeknek az előfordulásoknak az értékét. A Nyékpusztai területen futó Corvinus projekt ennek a projektsornak az eddigi legsikeresebb tagja, és remélhetőleg utat mutat majd további hasonló lehetőségek számára.

Nyékpusztai

A Békési-medence ÉK-i részén található Nyékpusztai-mező ún. nem hagyományos szénhidrogénmező. A gáz és a kondenzátum ún. tömött homokkövekben tárolódik. A tömött homokkövek a nem hagyományos szénhidrogén-tárolók egy csoportját képezik. Nem hagyományos tárolókról akkor beszélünk, ha az olaj vagy a gáz

rossz átteresztőképességű/permeabilitású és alacsony porozitású tárolóban található. Mivel ezen tárolókban a szénhidrogén nagyon kicsi, egymással limitált összeköttetésben lévő pórusokban található, ha belefúrunk, a kőolaj vagy földgáz nem, illetve kis mennyiségben és relatíve rövid ideig áramlik a kútba.

Ahhoz, hogy ezekből a nem konvencionális tárolókból termelni lehessen, speciális technikákat, például hidraulikus repesztést, horizontális fúrást kell alkalmazni.

Az 50-es évektől alkalmazott repesztés során mesterséges repedéseket hozunk létre a kőzetben, így az egymástól elszigetelt pórusok a repedésrendszer által elért térfogatban összeköttetésbe kerülnek, és a szénhidrogén ezeken a mesterséges útvonalakon keresztül a kútba áramlik. (Energy Education, https://energyeducation.ca/encyclopedia/Conventional_vs_unconventional_resource.)

A vízszintes fúrások feladata az, hogy a tárolóképződeményt horizontálisan tárja fel, ezáltal pedig nagy felületet biztosítson a kút és a tároló között. A nagyobb terület nagyobb beáramlási lehetőséget és ezzel több termelést eredményez. A vízszintes kutak és a rétegrepesztések kombinációja biztosítja a maximális kitermelhetőséget a kút körzetében található tárolóból.

A nem hagyományos szénhidrogének fejlesztési költsége jelentősen meghaladja a hagyományos szénhidrogénekét. Egy hagyományos előfordulás esetében a mezőfejlesztés jól behatárolható munkaprogramot tartalmaz, meghatározott számú termelő kútra és felszíni rendszerekre van alapvetően szükség, amelyek kiépítését követően a mező relatív hosszú ideig folyamatosan képes termelni. A nem hagyományos mezők esetében a tárolótulajdonságok miatt a kút a hagyományos tárolóknál sokkal kisebb térfogatot képes elérni, ezáltal sokkal több kút mélyítésére, valamint rétegkezelésre van szükség, ami arányaiban jelentősen több és a fejlesztés menete szerint szinte folyamatos beruházást igényel a tárolóban található szénhidrogén kitermelésére.

Magyarországon a nem hagyományos előfordulások dedikált kutatása a 90-es évek végén, a 2000-es évek elején kezdődött. „Ikonikus” helye a Makói-árok volt, ahol a medencekitöltő pannon üledékekben történtek fúrások és rétegkezelések. Az eredmények pontosan nem ismertek, de a fejlesztési munka 2010 után már nem folytatódott egyetlen pannóniai korú képződésben sem. Idősebb, középső-miocén üledékekben az országban több helyen, így a Kiskunhalasi-árokban, a Derecskei-árokban, valamint a Békési-medence peremén indultak hasonló projektek. Közös eredmény, hogy ezen projektek mindegyike képes volt ipari léptékű kezdeti termelés elérésére. A Békési-medence peremén található Nyékpusztai előfordulás ebbe a kategóriába tartozik, ahol az elmúlt időszakban az ott bizonyított szénhidrogénvagyont kitermelésére projekt indult. A projektben lemélyült kutakban termelés is realizálható volt. 2023. február 13-án elkezdődött a Sarkad melletti Nyékpusztán a Nyék-6 kút termeltetése. A kúton végzett termeltetési tesztek ipari

mennyiségű földgáz és kondenzátum beáramlását eredményezték (Előd–Presinszky 2023; MVM CEEnergy 2022: https://ceenergy.hu/hu-HU/Hirek/20220816_Corvinus_hir/). Az első kút idén februárban állították üzembe. A kút négy hónap alatt 15 millió köbméter földgázt és nagyjából 15 ezer m³ kondenzátumot termelt. Ez éves szintre kivetítve 45 millió köbméter gázt és 45 ezer köbméter kondenzátumot jelent.

Becslések szerint a már felszínre hozott mennyiségeknek akár a tízszerese is hozzáférhető lehet az első kútból – ismertette a minisztérium. A második kút fúrását a 4500 méteres kúttalpmélység elérése után júniusban fejezték be, de megindult a harmadik kút fúrása is (MVM CEEnergy 2022: https://ceenergy.hu/hu-HU/Hirek/20220816_Corvinus_hir/). A kutatás és a termelés az öt évre tervezett Corvinus projekt keretében valósul meg. A projektet a kormány kiemelt beruházássá nyilvánította. A kutatás és a termelés vegyesvállalati struktúrában valósul meg, melyben az 50-50%-ban MVM CEEnergy Zrt. és a Horizont General LLC. rész tulajdonnal rendelkezik. A Horizont General LLC. az amerikai székhelyű Aspect Holdings LLC. leányvállalata (MVM CEEnergy 2022: https://ceenergy.hu/hu-HU/Hirek/20220816_Corvinus_hir/).

Tudomásunk szerint jelenleg ez az egyetlen fejlesztés alatt álló nem hagyományos előfordulás Magyarországon, melynek eredményei bizonyítják, hogy ipari értékkel bíró, termelhető szénhidrogénvagyon található ezekben a tárolókban. Remélhetőleg ez a pozitív eset alkalmazható lesz más területrészekben bizonyított, illetve kutatható szénhidrogénvagyonok fejlesztésére is.

Jelen cikkünkben elsősorban a kutatási aspektusok szerint vizsgáltuk az energiabiztonság fenntartására irányuló lehetőségeket, ugyanakkor nem vizsgáltuk a termelő mezőkben rejlő további potenciálokat. A magyarországi termelést adó mezők jelentős része régi, idős, a kitermelhető vagyon nagyobb része már felszínre került. Fontos feladat ezekben a mezőkben a kihozatali tényező növelése, vagyis az olaj esetében a földtani mennyiség átlagosan 30-40%-os kitermelésének növelése. Erre vonatkozóan Magyarországon előrelépések és fejlesztések történtek, legyen szó akár felszíni, felszín alatti technológiai fejlesztésekről, másod-harmadlagos művelési megoldásokról. Figyelembe véve, hogy az érintett mezők relatíve nagy földtani vagyonnal rendelkeznek, az elérhető növekmény is jelentős lehet.

5. A Miskolci Egyetemen folyó, fosszilis energiahordozók hasznosításához kapcsolódó fejlesztések

A Miskolci Egyetemen folyó, sok évtizedre visszavezethető kutatások a legtöbb esetben a szénhidrogéniparral együttműködve zajlanak. Ezek az ipar által megrendelt kutatások sok esetben az ipari titok kategóriájába sorol-

hatók, azonban előfordulnak olyan kutatási projektek is, amelyek ettől függetlenül zajlanak és előre mutatnak egyes előfordulások értékelése, hasznosíthatósága irányába.

Ebbe a kategóriába tartozik a 2021-ben befejeződött PULSE projekt keretében folytatott fejlesztési munka és azok eredményei.

A projektben jelentős hangsúlyt kaptak a magyarországi viszonylatban újszerű, fontos ipari potenciállal bíró, nem konvencionális szénhidrogén-előfordulások értékeléséhez, kitermeléséhez kapcsolódó kutatások. A kutatási eredmények számos cikknek, tanulmánynak képezték alapját, illetve hozzájárultak a – szakértői tevékenységgel és fokozatszerzéssel párosuló – tudásbázis építéséhez.

5.1. Nem konvencionális szénhidrogén-tárolók vizsgálata intervallum inverziós eljárással

A kutatás Szabó Norbert Péter és Dobróka Mihály professzorok vezetésével valósult meg. Célja egy olyan automatizált fűrólyukszelvény értelmezési eljárás fejlesztése volt, ami a tömött szénhidrogén-tároló képződményeknek a tárolás és termelés szempontjából fontos paramétereit tudja nagyobb pontossággal meghatározni. Ilyen fontos paraméterek a porozitás, agyagtartalom, kőzetmátrix részarányok, a kispert és érintetlen zóna víztelítettsége, a kerogéntartalom. Az egyes tárolótulajdonságok, mint az alacsony áteresztőképességű tárolók telítettségi viszonyainak meghatározása nemzetközi szinten is hiányterület, így ez a fejlesztés nemzetközi érdeklődésre tart számot. A kifejlesztett módszer pontosabb és megbízhatóbb eredményt szolgáltat, mint a hagyományos mélységpontonkénti inverziós módszer, valamint alkalmas a legfontosabb zónaparaméterek (a tároló zóna mátrix- és fluidumjellemzőinek) becslésére is. Az inverziós eredményeket összehasonlítva a magadatokkal jelentős egyezést tapasztaltak (Dobróka et al. 2016; Szabó–Dobróka 2020; Szabó et al. 2022), amely az eljárás megbízhatóságát igazolja.

5.2. A hidraulikus rétegrepeztesztési technológiák és repedéskitámasztó rendszerek vizsgálata

A kutatások Dr. Lengyel Tamás és Pusztai Patrik közreműködésével folytak. Kutatási eredményeiket mind a konvencionális és a nem konvencionális fluidumbányászatban, geotermikus energiatermelésben, mélyfúrásokban, hozamnövelő eljárásokban lehet hasznosítani.

Projektjükben az általuk továbbfejlesztett modellek és a kidolgozott mérési protokollok segítségével lehetőség nyílt a Miskolci Egyetem Alkalmazott Földtudományi Kutatóintézetében az alacsony porozitású és nanoDarcy-tartományba eső áteresztőképességű márgák hiányos, sérült maganyagának széles körű elemzésére.

A kutatási irány középpontjában a növelt hatékonyságú rétegkezelésekkel (hidraulikus rétegrepesztés és rétegcsúsztatás) létrehozott, kitámasztó anyag nélküli, vagy ún. proppanttal kitámasztott repedésrendszerekben kialakuló transzportfolyamatok álltak. A jelenségeket leíró fizikai és matematikai modellek fejlesztése kiterjedt a repesztési műveletet követő, úgynevezett kőzetzárodás jelenségére, a proppant szemcsék deformációjára, illetve a kőzetbe történő proppant beágyazódására, anyag- és hőtranszportfolyamatok szempontjából a repedésben végbemenő hőátadási, valamint nyomásviszonyok leírására.

A kutatás tárgyát képező folyamatok feltárása és megismerése hozzájárul a nem konvencionális szénhidrogén-előfordulások termelésintenzifikációs eljárásainak hatékonyabbá tételéhez, a klímavédelmi célokat megvalósító földtani közegben történő tárolási folyamatok biztonsági kérdéseinek kezeléséhez, valamint nem utolsósorban a megújuló növelt hatékonyságú geotermikus rendszerek kialakításához (*Jobbik–Lengyel–Pusztai 2015; Pusztai–Jobbik 2017; Lengyel–Jobbik 2017*).

5.3. Alacsony áteresztőképességű tárolók vizsgálata

A Remeczki Ferenc által vezetett kutatás fő célja a kis áteresztőképességű, illetve rossz kizozatali tényezővel rendelkező hazai márgák és tömött homokkő előfordulások, a nem konvencionális szénhidrogén-tárolók, rezervoárok működésének elemzése és kutatása volt. A termeltethetőségi szempontból kedvezőtlen tulajdonságokkal és rossz kizozatali tényezővel rendelkező rezervoárok között is az egyik legnagyobb kihívást a márga típusúak jelentik. Az Alkalmazott Földtudományi Kutatóintézet kutatói egy rendkívül összetett, részletes mérési programot dolgoztak ki és hajtottak végre agyagmárga, márga és mészmárga mintatestek elemzésére, amely egyedülálló a magyarországi nem konvencionális rezervoárok kutatási területén. A projektben sor került a mérési technológia matematikaimodell-alapú bővítésére, valamint a permeabilitás meghatározására a nem konvencionális tárolók esetében (*Remeczki–Horváth 2021*).

6. Geotermia

Részben a fenntarthatósági célok elérése, részben a rendelkezésre álló tudás/ismeretek, valamint a rendelkezésre álló kúthálózat alapján szükségesnek tartjuk megemlíteni ezen cikken belül a geotermikus lehetőségeket, amelyek energetikai szempontból alternatívát szolgáltathatnak Magyarországnak számára. A következőkben ennek a lehetőségnek egy rövid összefoglalását mutatjuk be.

Magyarország geotermikus adottságai európai, de világvizonylatban is kiemelkedők, ami több tényezőre vezethető vissza:

- 1) A geotermikus gradiens (a hőmérséklet mélységgel történő emelkedése kilométerenként) kb. duplája (45 °C/km) az átlagnak, ami $20\text{--}30\text{ °C/km}$. 500 m mélységben az átlaghőmérséklet már $35\text{--}40\text{ °C}$, 1000 m-ben $55\text{--}60\text{ °C}$, 2000 m mélységben $100\text{--}110\text{ °C}$, a melegebb területeken pedig akár $120\text{--}130\text{ °C}$ is lehet (Magyar Geotermikus Energia honlapja, <https://mgte.hu/geotermikus-energia-magyarorszagon/>).
- 2) Másrészt a geotermikus hő felszínre hozatalához fluidumra is szükség van. Magyarországon a földhő közvetítő közege, a termálvíz – amely legalább 30 °C -os a hazai definíció szerint – az ország területének több mint 70%-án rendelkezésre áll.
- 3) A további kedvező természeti adottság, hogy az ország területének jelentős részén a felszín alatt törmelékenyes üledékek vagy karsztosodott, repedezett mészkő, dolomit található, melyek vízzel telítettek, és számottevő a vízvezető képességük.

Hazánk területén a hőáram $90\text{--}100\text{ mW/m}^2$, ami durván másfélszerese a kontinentális átlagnak (65 mW/m^2).

Ennek oka, hogy a Pannon-medence alatt a földkéreg vékony, csak kb. 25 km. A magas hőmérsékletű asztenoszféra a kéreg elvékonyodása miatt közelebb került a felszínhez, ez okozza a földkéregben a megemelkedett geotermikus gradienst, és vele együtt a hőáram jelentős megnövekedését is (Magyar Geotermikus Energia honlapja, <https://mgte.hu/geotermikus-energia-magyarorszagon/>).

A Pannon-medence átlagos hőárama kb. 90 mW/m^2 , $93\,000\text{ km}^2$ -nyi felszínen ez a hőáram $8,37\text{ GW}$ hőteljesítményt jelent. A hőáram által szállított éves geotermikus hőmennyiség 264 PJ . Ennyi lenne a magyarországi hőáramból származó utánpótlódó hővagyon. A Központi Statisztikai Hivatal adatai alapján 2021-ben az összes primer energiafelhasználás az országban $1154,8\text{ PJ}$ volt, amelyből a geotermikus energia mindössze $6,6\text{ PJ}$ -t tett ki (Magyar Geotermikus Energia honlapja, <https://mgte.hu/geotermikus-energia-magyarorszagon/>).

Hazánkban kb. 800 termálvíz-kút működik. Ennek nagy részét ma balneológiai célra használják. Ugyanakkor ezekben a kutakban jelentős kiaknázatlan energiapotenciál is rejlik (*Tóth 2019*).

Magyarország körülbelül 10 milliárd köbméter földgázt használ fel évente, amiből a geotermikus energia $1\text{--}1,5$ milliárd köbméternyit tudna kiváltani ($40\text{--}60$ petajoule-t). Ez $10\text{--}15\%$ százalékot jelent, ami egy jelentős részarány. Magyarországon a termálvizek hasznosításában rejlő geotermikus potenciál tehát évi mintegy 60 petajoule. Ha ehhez hozzáadjuk a kevésbé mély fúrásokat igénylő hőszivattyúkat is, akkor nagyságrendileg 100 petajoule megtermelhető energiáról beszélhetünk. Ehhez képest jelenleg mintegy 6 PJ/év hasznosításnál tartunk (Magyar Geotermikus Energia honlapja, <https://mgte.hu/geotermikus-energia-magyarorszagon/>).

A geotermikus energia előnyei: 1) Szemben a nap-, szél- vagy hullámenergiával, független az időjárástól. 2) Csökkenti a függést a folyamatosan növekvő energia-áraktól, valamint a geopolitikai helyzetétől.

A geotermikus energia kiaknázásával növelhető lenne Magyarország energiabiztonsága. Az orosz–ukrán háború előtt Magyarországon a földgáz több mint 90 százaléka importból származott, és ennek 95 százaléka volt orosz import. A háború kitörése óta minden olyan intézkedés felértékelődik, amellyel csökkenteni tudjuk a földgázfelhasználást, valamint a földgáz importját, ha pedig ezt megújuló energia segítségével tesszük, akkor egyúttal csökkentjük a klímaváltozást okozó üvegházhatású gázok kibocsátását (Geotermia SZTFSC honlapja, <https://sztfh.hu/tevekenysegek/foldtani-tevekenyseg/geotermia/>). Az sem mellékes szempont, hogy a több mint 100 éves magyarországi szénhidrogén-kutatás során, a nagyszámú fúrás segítségével jelentős ismereteket gyűjtöttünk a Pannon-medencét felépítő kőzetekről, a 3D szeizmikus mérések segítségével a kéreg szerkezetéről. Ezek az ismeretek mind felhasználhatóak a geotermikus energia kiaknázásának tervezésénél.

7. Konklúzió

Jelen ismereteink szerint Magyarország szénhidrogén-kutatás és -termelés szempontjából érett területnek számít, ami azt jelenti, hogy a magyar szénhidrogén-kutatás/-termelés virágkora már elmúlt. Az elmúlt évek találatai vagy ellensúlyozzák a termelés csökkenését, vagy jó esetben megduplázzák a hazai kőolajtermelést (Pettend).

A hazai energiafelhasználás 33%-át fedezzük kőolajból és 32%-át földgázból. A felhasznált kőolajszükségletnek (33%) csak mintegy 15%-a származik hazai termelésből (1. ábra), ami a hazai összenergia-szükségletnek csupán $33 \times 0,15$, azaz 5%-a. A felhasznált földgázszükségletnek (32%) csak mintegy 13%-a származik hazai termelésből (1. ábra), ami a hazai összenergia-szükségletnek csupán $32 \times 0,13$, azaz kb. 4%-a.

Magyarország energiaszükségletét figyelembe véve elengedhetetlen lenne, hogy más energiaforrásokkal pótoljuk a hiányzó mennyiséget. Erre nagyszerű lehetőséget nyújtana a hazai geotermikus energia fokozása, amihez világviszonylatban is kedvező természeti adottságokkal rendelkezünk.

8. Irodalomjegyzék

- Dobróka M., Szabó N. P., Tóth J., & Vass P. (2016) Interval inversion approach for an improved interpretation of well logs. *Geophysics*, Vol. 81. No. 2. pp. 63–175. <http://dx.doi.org/10.1190/GEO2015-0422.1>
- Domokos L. (2019) Óriási magyar olajmezőt találtak, de titkolják. <https://www.economx.hu/magyar-vallalatok/magyar-olaj-mezoitok-energia.685881.html> [Letöltve: 2023. 11. 07.]

- Előd F., Presinszky J. (2023) Bízunk benne, ha az alvó gázmező most felébred, akkor itt beindul az élet. <https://telex.hu/belfold/2022/08/18/foldgaz-gazmezo-nyekpuszta-bekes-megye-kisnyek-sarkadkeresztur-kitermeles-kiemelt-beruhazas> [Letöltve: 2023. 11. 15.]
- Energy Education: https://energyeducation.ca/encyclopedia/Conventional_vs_unconventional_resource [Letöltve: 2023. 11. 15.]
- Geotermia SZTFSC honlapja: <https://sztfh.hu/tevekenysegek/foldtani-tevekenyseg/geotermia/> [Letöltve: 2023. 11. 15.]
- Jobbik A., Lengyel T., & Pusztai P. (2015) Összetett matematikai modell hidraulikus rétegrepesztés optimalizálására. *Műszaki Földtudományi Közlemények*, Vol. 85. No. 1. pp. 97–105.
- Kasnyik M. (2019) Nem reklámozzák a nagy magyar kőolajtálatot, pedig harminc éve nem fedeztek fel ekkora mezőt. <https://g7.hu/vallalat/20190611/nem-reklamozzak-a-nagy-magyar-koolajtalalatot-pedig-harminc-eve-nem-fedeztek-fel-ekkorai-mezot/> [Letöltve: 2023. 11. 07.]
- KSH (Központi Statisztikai Hivatal honlapja): https://www.ksh.hu/stadat_files/ene/hu/ene0005.html [Letöltve: 2023. 11. 15.]
- Lemberkovic V., Kiss K., Váry M., Kiss B., & Kovács G. (2020) A jó, a rossz és a csúf – avagy a szénhidrogén-kutatás múltja, jelene és jövője a Kárpát-medencében – Szemle. *Földtani Közlemények*, Vol. 150. No. 4. pp. 571–610.
- Lengyel T. & Jobbik A. (2017) Proppant-optimalizálás a repedés-konduktivitást befolyásoló tényezők figyelembe vételével. *Műszaki Földtudományi Közlemények*, Vol. 86. No. 2. pp. 76–86.
- Magyar Geotermikus Energia honlapja: <https://mgte.hu/geotermikus-energia-magyarorszagon/> [Letöltve: 2023. 11. 15.]
- Magyarország ásványi nyersanyag-vagyona 2022. január 1. <https://sztfh.hu/nyilvantartasok/asvanyvagyon-nyilvantartas/> [Letöltve: 2023. 11. 07.]
- MVM CEEnergy (2022) Nem hagyományos földgázmezőt kutat az MVM. https://ceenergy.hu/hu-HU/Hirek/20220816_Corvinus_hir/ [Letöltve: 2023. 11. 15.]
- Pusztai P. & Jobbik A. (2017) Rendkívül kis porusterekben történő gázáramlások vizsgálata. *Műszaki Földtudományi Közlemények*, Vol. 86. No. 2. pp. 131–140.
- Remeckzi F. & Horváth G. (2021) Laboratory experiment to investigate permeability change in tight sand-stone samples in case of water-based formation damage. *Multidiszciplináris Tudományok*, Vol. 1. No. 1. pp. 50–57. <https://doi.org/10.35925/j.multi.2021.1.5>
- Sipos I. (2022) Mol és Vecsés: minden csepp kőolaj segít, a település 20 milliós bevételre számít. <https://infostart.hu/belfold/2022/11/29/mol-es-vecsés-minden-csepp-koolaj-segit-a-telepules-20-millios-bevetelre-szamit> [Letöltve: 2023. 11. 07.]
- Szabályozott Tevékenységek Felügyeleti Hatóságának nyilvántartása (2023) https://sztfh.hu/downloads/banyaszat/SZTFH_BAT-ER_20230706.pdf [Letöltve: 2023. 11. 15.]
- Szabó N. P., Dobróka, M. (2020) Interval inversion as innovative well log interpretation tool for evaluating organic-rich shale formations. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, Vol. 186. 106696. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2019.106696>
- Szabó N. P., Remeckzi F., Jobbik A., Kiss K., & Dobróka M. (2022) Interval inversion based well log analysis assisted by petrophysical laboratory measurements for evaluating tight gas formations in Derecske through, Pannonian basin, east Hungary. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, Vol. 208. 109607. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2021.109607>
- Százhalombattai Hírtükör (2023) Új sekélygáz-kutakat állít termelésbe a MOL Kelet-Magyarországon. <http://www.hirtukor.hu/bel.php?ssz=36220> [Letöltve: 2023. 11. 15.]
- Tóth A. N. (2019) Magyarország geotermikus felmérése a magyar energetikai és közmű-szabályozási hivatal geotermikus projektjei tükrében. *Magyar Tudomány*, Vol. 180. No. 12. pp. 1822–1833. <https://doi.org/10.1556/2065.180.2019.12.8>

A cikk a Creative Commons Attribution 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) feltételei szerint publikált Open Access közlemény, melynek szellemében a cikk bármilyen médiumban szabadon felhasználható, megosztható és újraközölhető, feltéve, hogy az eredeti szerző és a közlés helye, illetve a CC License linkje és az esetlegesen végrehajtott módosítások feltüntetésre kerülnek. (SID_1)