

# Magyarország szénhezkötött metánvagyona

## *Coalbed methane in-place resources in Hungary*

FODOR Béla<sup>1</sup>

(5 ábra, 8 táblázat)

*Tárgyszavak: szénhezkötött metán, sújtólég, adszorpciós/deszorpciós izoterma, készletbecslés*  
*Keywords: coalbed methane, firedamp, absorption/desorption isotherm, resource estimation*

### Abstract

This study summarizes the genesis and accumulation of coalbed methane (CBM). It presents the Hungarian coal basins with respect to geological conditions and firedamp hazard. The (former) underground coal mines of Hungary were grouped in classes according to the specific emission of methane in any ventilating district of the mines. The estimation of methane gas in-place was performed by ventilating data, but in the case of the Mecsek Coal Basin underground programmes were used to drain methane from the coal prior to mining; absorption/desorption tests and other analyses, as well the results of former attempts and studies were also applied.

The preliminary estimates cited in this report show the total in-place gas contents (hypothetical + speculative) of Hungarian coal basins ranging from 152–159 billion cubic metres. This amount is near to the identified Hungarian conventional natural gas in-place (174 billion cubic metres).

The largest part (92–94%) of the in-place coalbed methane potential exists in the Mecsek Coal Basin, from which about 29–50 billion cubic metres are recoverable. The previous attempts to drain CBM from the surface through wells have not been successful in the Mecsek because of the low permeability of the coal and the type of technology applied.

The coalbed gas (methane) resource potential of Hungary should be further investigated in order to evaluate its potential impact on the future energy budgets of the nation.

### Összefoglalás

A cikk összefoglalja a szénhezkötött metán keletkezésének és felhalmozódásának viszonyait. Bemutatja Magyarország szénmedencéinek teleptani és sújtólég-veszélyességi jellemzőit, a sújtólég-veszély történeti adatait. Bányaszellőztetési és sújtólég-veszélyességi osztályok alapján becsli az egyes szénmedencék metánvagyont. A mecseki feketekőszén medence esetén a becslés már konkrét kutatási eredményeken alapul. A hazai szénmedencék földtani metánvagyont 152–159 Mrd m<sup>3</sup>-ben valószínűsíti, majdnem eléri a hazai konvencionális földgáz mennyiségét (174 Mrd m<sup>3</sup>). A metánvagyont mintegy 90–92%-a (közel 143 Mrd m<sup>3</sup>) a Mecsekben található, melyből 29–50 Mrd m<sup>3</sup> ítéhető kitermelhetőnek. Részletesen ismerteti a mecseki metán-rezervoár paramétereit, a korábbi mélyművelésű szénbányászat sikeres földalatti gázlecsapolási munkálatait, és a metán hasznosítását. A felszínről mélyített mecseki fúrásokkal történt gázlecsapolási kísérletek – a szén alacsony permeabilitása és az alkalmazott technológiák miatt – nem vezettek eredményre. E jelentős nemzeti vagyon kiaknázásához új módszerek kifejlesztése szükséges.

### Bevezetés

A szénhezkötött metán (angol nyelvű megfelelője: coalbed methane, rövidítése: CBM) elnevezés a széntelepekben (esetenként kísérőkőzeteiben) elhelyezkedő nem konvencionális földgázra vonatkozik. A CBM a szénülési folyamat során keletkezett, nagyrészt metánból álló, de nitrogént, szénhidrogénféleségeket, szén-

<sup>1</sup>Magyar Geológiai Szolgálat, 1143 Budapest, Stefánia út 14, e-mail: drfodorbela@t-online.hu

dioxidot stb. is tartalmazó gáz. Alapvetően a szénrétegekben helyben marad, de bizonyos esetekben a fedő- és fekküszetekbe is migrál. Egy része szabad gáz formájában, más része szorbeált formában van jelen. A szorpció nem csupán felületkitöltést, hanem teljes térbeli kitöltést is jelent. Adott hőmérsékleten és nyomáson meghatározott mennyiségű metán szorbeálódik. A nyomás csökkenésével a metán felszabadul, deszorbeálódik. Ezt a jelenséget (adott hőmérsékleten) írja le a Langmuir és több más egyenlet, illetve mutatják be a szorpció-deszorpció görbék, az izotermák (BARKER 1996). A deszorbeált metán diffúzió révén hagyja el a szénmátrixot és a mikropórusokat, ezután a természetes törési hálózatba kerül, ahol áramlással jut az esetleges megcsapoló helyhez.

A világ számos országában (USA, Kanada stb.) termelnek szénhez kötött metánt. 2000-ben az USA teljes földgáztermelésének közel 7%-a, 36 milliárd m<sup>3</sup> a szénhez kötött metánból származott. A szén jó gáztároló rezervoár. Az USA CBM-t termelő mezőiben található szén, mely vízszint alatt helyezkedik el, permeabilitása 1–10 mD, ritkán az 1 D értéket is eléri. A CBM termelés technológiája: a felszínről kutakat mélyítenek a széntelepek fekéjéig, a vizet folyamatosan szivattyúzzák. Ezáltal a szénben a nyomás csökken, a metán deszorbeálódik, s a vízzel együtt a kutakon távozik. A metán leválasztása a felszínen szeparátorokkal történik (HARRIS et al. 1990).

Összehasonlításként: Magyarországon a szénhez kötött metán szempontjából kiemelkedő helyen szereplő mecseki feketekőszén medencében a szén permeabilitása csupán 10<sup>-1</sup>–10<sup>-3</sup> mD, a széntelepek és a kísérő kőzetek vízmentesek. Más hazai szénmedencék zöme is csak minimális víztartalommal rendelkezik. Ezért a vízszint-süllyesztéses módszer Magyarországon nem alkalmazható. Kivételt képez a réteg-vizek alatti pannon korú lignit (melynek metántartalma gyakorlatilag zérus) és a dorog-szertermomi szénmedence egyes, karsztvízszint alatti széntelepei. Az utóbbi esetben azonban a vízszint-süllyesztés környezetvédelmi okokból nem valósítható meg. A szénhez kötött metán jellemző mérőszáma az *in situ* szénben tárolt fajlagos gázmennyiség: m<sup>3</sup>/tonna.

A szénbányászattal összefüggő metán (Coal Mine Methane, CMM) a szénhez kötött metánnal genetikailag azonos fogalom. Míg a CBM a még nem bányászott széntelepekben található, addig a CMM a széntermelés folyamán a szénből (és kísérőkőzeteiből) szabadul fel. Jellemző mérőszáma a kitermelt szénre vonatkoztatott fajlagos gázmennyiség: m<sup>3</sup>/tonna). Mivel ennek értéke nem csak az *in situ* (gas in place) metántartalomtól, hanem a széntermelés volumenétől is függ, nem azonos a szénben tárolt fajlagos gázmennyiséggel. Kis vagy nagy mennyiségű termelés esetén – ugyanolyan mértékű szellőztetést feltételezve – megtevesztő is lehet.

A mélyművelésű szénbányászatban bányahatósági előírások alapján (KOVÁCS & ERNEI 1982) kötelező légméréseket végezni, melynek során meg kell határozni a levegő CH<sub>4</sub> tartalmát is m<sup>3</sup>/nap és a széntermelésre vetített m<sup>3</sup>/t dimenzióban. Ezek alapján történt a bányák sújtólégveszélyességi osztályokba sorolása. E történeti adatok felelhetők, és indirekt módon felhasználhatók a metánvagon becslésére.

A mecseki feketekőszén medence kivételével (ahol konkrét mérések állnak rendelkezésre) a hazai szénelőfordulások metánvagonjának meghatározásánál (más információ hiányában) kénytelenek voltunk figyelembe venni a m<sup>3</sup>/tonna széntermelés értékeket (bányaszellőztetési adatok, sújtólég-veszélyességi osztályok).

Magyarországon – a Márkushegyi Bányáüzem kivételével – már nem működik mélyművelésű szénbánya, ezért a CMM hasznosítása nem jöhet szóba.

A világ egyes helyein azonban – a bányagázoktól szétválasztva – kommunális vagy ipari célra, ill. villamos áram termelésre használják a CMM és AMM gázt. Ezek fűtőértéke – az oxidáció következtében – alacsonyabb, mint a CBM gázé (SOMOS 1991).

A felhagyott bányák/bányamezők metánvagyonát (Abandoned Mine Methane, AMM) az öregségi műveletekben csapdázódott szabad gáz alkotja, mely utánpótlást kaphat a szénben szorbeált metánból. A nemzetközi szakirodalom GOB-gázként is definiálja. A „GOB” kifejezés felhagyott, összetöredezett bányatértséget jelent. az AMM mérőszáma:  $m^3$ ; illetve a visszahagyott szénre vonatkoztatva  $m^3/t$ . Magyarországon AMM metán termelés elsősorban a mecseki feketekőszén medencében kerülhet szóba, de a többi (lignit kivételével) szénelőfordulásokon sem kizárt (bár kis metánkészletre számíthatunk).

Szénbányászati külfejtések esetén – részben a földtörténet során, részben a termeléssel egy időben – a kigázosodás miatt CBM; CMM; AMM gáz kinyerésének nincs létjogosultsága.

### A széntelepek és a szénhezkötött metán keletkezése, a metán felhalmozódása

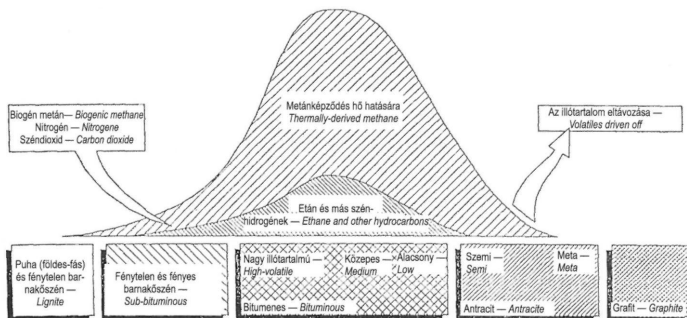
Mint ismeretes, a kőszén szerves eredetű kőzet, mely képződése során bonyolult fizikai és kémiai folyamatok eredményeképpen változatos kémiai összetételű, többnyire rendkívül porózus, nagy fajlagos felületű anyaggá vált. A kőszén növényi maradványokból keletkezett, melyek mocsarakban, lápokban rakódtak le a földtani korszakok folyamán. Ezek idővel, földtani hatások következtében jelentős mélységbe kerültek, s a nagy nyomás és a hőmérséklet hatására kolloidális szerkezetük megváltozott. Az évmilliókig tartó szénülési (diagenetikus) folyamatban a nyomás elősegíti a fizikai-szerkezeti szénülést, a hőmérséklet növekedése meggyorsítja a kémiai szerkezeti változásokat (RADNAINÉ 1991). A szénülés kétfázisú folyamat: kezdő szakasza biokémiai, befejezése geokémiai átalakulás (VADÁSZ 1952).

A növényi anyagban a lép fenekén, a levegőtől elzárva indul meg a tőzegképződés, mely a kőszénképződés biokémiai-diagenetikus bevezetője, normális hőmérsékleten, jelentősebb nyomás nélkül lezajló bomlási-redukciós folyamat. A mikrobák kolloid oldatokat eredményeztek, melyekből a víz jelentős része fokozatosan eltávozik, a kolloid megkeményedik, a szén alapanyaga tömörül. A további szénülés során – melyet geokémiai-dinamomechanikai szakasznak nevezünk – a nyomás és hő hatására a már kialakult tőzeg, ill. barnakőszén feketekőszénné, majd antracitá alakul (RADNAINÉ 1991).

A szénülés során az illó anyag mennyisége csökken, és reflektáló képesség nő.

A cellulóz- és ligninmolekulák (főleg ezekből állnak a növényi sejtek) a szénképződési folyamat során metán, széndioxid és víz alakjában elvesztették hidrogénjük és oxigénjük egy részét. Hozzávetőleges számítások azt mutatják, hogy a szénülés folyamán tonnánként 100–200  $m^3$  metánnak kellett felszabadulnia (SZIRTES 1971).

A gázképződést a szénülés függvényében szemlélteti az 1. ábra (ICF Resources Incorporated 1992). A vízszintes tengelyen a szénülési fok látható az USA American Society for Testing and Materials (ASTM) szabvány szerint. A legalacsonyabb



1. ábra. Gázfejlődés a kőszénben

Fig. 1. Gas generation in coal

szénülésnél, a lignitnél biogén eredetű metán képződik, melynek szerepét a mélyre került szenes formációban a hőmérséklet hatására keletkező metán (valamint kisebb mennyiségben etán és egyéb szénhidrogének) veszi át. A metánképződés maximumát a közepesen bitumenes szeneknél éri el, a további szénülés során a keletkezett metánmennyiség csökken, az illótartalom távozása után a meta-antracitnál már zérus.

A szénülés közben képződött gázokból – a migráció korlátozott volta miatt – a széntelepekben és kísérő közeiteiben nagymennyiségű gáz halmozódhatott fel.

A szén sok esetben jobb metán rezervoár, mint egy porózus homokkő, vagy valamilyen repedezett mészkő. A metán a szén repedéseiben és makropórusaiban szabad gáz formájában fordul elő. A repedések felületén adszorpciósan, a mikropórusokban szorpciósan kötött formában, míg a szén molekuláris szerkezetében szilárd oldatként van jelen.

A pórusok besorolása méretük alapján:

mikropórusok	$<10^{-5}$ mm
átmeneti pórusok	$10^{-5}$ – $10^{-4}$ mm
szubmakro-pórusok	$10^{-4}$ – $10^{-3}$ mm
makropórusok	$10^{-3}$ – $10^{-1}$ mm

1. táblázat. A meddőközetek részaránya a Mecseki Kőszén Formációban

Table 1 Proportion of barren rocks in the Mecsek Coal Formation

Megnevezés	Részarány %
Közzettörmelékes homokkő	1,0–2,7
Homokkő	22,5–54,5
Aleurolit	9,9–20,3
Agyagkő	39,5–15,7
Agyagvaskő (András akna)	4,0
Márga, mészkő (András akna)	10,7
Vulkanitok	0,2–0,4

A mecseki feketekőszén medencében – hazánk legnagyobb szénhezkötött metán előfordulásán – a szén porozitása az erősebben szénült pécsi területeken 5–15%, a komlói szeneknél 1–7% (RADNAINÉ 1991). A meddőközetek összpórozitása 5,7%-tól 8,9%-ig változik.

A mecseki medence meddőközeteinek a Mecseki Kőszén Formáción belüli részvételi arányát mutatja be az 1. táblázat (Kiss 2002)

2. ábra. A szénülés különböző fokozatai, német, észak-amerikai és francia osztályozás szerint (FÜCHTBAUER 1988 nyomán)

Fig. 2 The different stages of coalification according to the German, North American and French classification, after FÜCHTBAUER (1988)

Szénülési fok			Vitrinit-reflexió Rm.%	Állagos illótart. %
Németország	USA	Franciaország		
T ő z e g			0,2	68
Puha-	Lignit	Lignite tendre	0,3	60
Fénytelen-		Lignite mat		
Fényes-	Sub-bitumen C	Lignite brillant	0,4	52
	bitumen B			
Láng-	C	A	0,5	48
			0,6	44
Gázláng-	B	Nagy illótartalmú bitumenes	0,7	40
Gáz-			A	0,8
	Zsír-	Közepes illótartalmú bitumenes	Flambants Secs	1,0
Gras B			1,2	28
Kovács-	Kis illótartalmú bitumenes	Gras A	1,4	24
		Gras a courte		
Sovány-	Szemiantracit	1/2 gras	1,6	20
		1/4 gras	1,8	16
Antracit	Antracit	Maigre	2,0	12
		3,0	8	
Metaantracit	Metaantracit	Perantracite	4,0	4

A 2. ábra a szenesülés fokozatait a német, USA és francia osztályozási rendszer szerint szemlélteti. (BELLÁNÉ in BALOGH 1992). A Methane Master (1994) zárójelentésében a német rendszerbe illesztette be a mecseki kőszeneket (gázlángszéntől a kovácsszén utolsó harmadával bezárólag). Az USA rendszerében lignitként definiált szénhez tartozik a magyar rendszer szerinti lignit (pannon és miocén földes-fás barnakőszén), az észak-magyarországi miocén széntelepek, a dunántúli felső-kréta széntelepek. Az ASTM szerinti sub-bituminous osztályba sorolhatók eocén széntelepeink. A mecseki alsó-jura (liász) kőszéntelepek a nagy, közepes és alacsony illótartalmú (high-, medium-, low volatile) bituminous csoportba tartoznak (2. táblázat).

Mint az előzőekből kitűnik, a széntelepek egyrészt generálják a metán keletkezését, másrészt tárolják azokat. A tárolt/kötött gáz részben spontán szabadul fel, más esetben a kigázoltatáshoz serkentés, stimuláció szükséges.

2. táblázat. Néhány magyarországi szénminta ASTM szerinti besorolása (LANDIS et al. 2002a)  
Table 2 ASTM rank of selected Hungarian coals (LANDIS et al. 2002a)

Mintavétel helye	Széntelep kora	ASTM szerinti besorolás
Zobák-akna	kora-jura (liász)	High-volatile bituminous
Ármin-akna	késő-kréta	Lignite A
Balinkai bányauzem	eocén	Sub-bituminous C
Putnok	miocén	Lignite A
Visonta	pliocén (pannóniai)	Lignite B

### Magyarország szénmedencéinek rövid földtani ismertetése

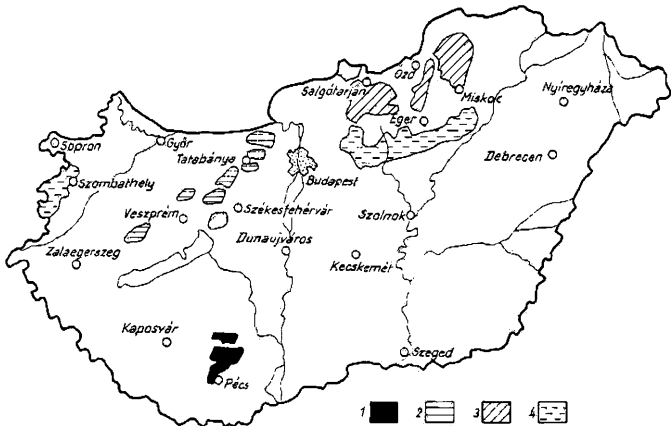
Hazánk szénbányászata 1745-ben Vértessomlyón (tatabánya–oroszlányi szénmedence) kezdődött, ahol oligocén korú szenet fejtettek. Brennbergbányán 1759-ben, Csolnokon (dorog-esztergomi szénmedence) 1781-ben, a Mecsekben Vasason 1782-ben, Sajókázán (borsodi szénmedence) 1786-ban indult meg az iparszerű széntermelés. A szénbányászat az igények következtében mennyiségében, térben és időben bővült. A XIX., majd a XX. század során, a kutatások következtében az ismert szénlelőhelyek, valamint a működő bányák száma és a termelés rohamosan növekedett. A magyarországi szénbányászat csúcspontja 1961–1965 között volt, több mint 30 Mt/év termeléssel. A hazai szénbányászat hanyatlása – elsősorban a belső és külső gazdasági környezet megváltozása miatt a XX. század utolsó harmadában következett be. A termelés a külfejtéses lignitbányászatban viszont nőtt. Napjainkban az éves széntermelés mindössze 13,4 Mt/év, melynek jelentős része (8,6 Mt/év) a külfejtéses lignit.

Már csak egyetlen mélyművelésű bánya üzemel: a Márkushegyi Bányüzem. Éves termelése 1,5 Mt. A széntermelés fennmaradó része kisebb külfejtésekből származik.

Magyarország kőszénterületeinek áttekintő térképét a 3. ábra szemlélteti (BELLÁNÉ in BALOGH 1992).

#### Mecseki feketekőszén medence

Magyarország egyetlen feketekőszén előfordulása. A kőszénből kinyerhető kokszszén koncentrációjának aránya 25%. A medence tartalmazza Magyarország leg-



3. ábra. Magyarország kőszénterületeinek áttekintő térképe (JÁMBOR nyomán BELLÁNÉ in BALOGH 1992). 1. alsó-liász feketekőszén, 2. eocén kemény barnakőszén, 3. miocén barnakőszén, 4. pannóniai barnakőszén (lignitek)

Fig. 3 Coal resource areas of Hungary (after JÁMBOR, BELLÁNÉ in BALOGH 1992). 1 Lower Jurassic Mecsek Coal Form., 2 Eocene brown coal, 3 Miocene brown coal, 4 Pannonian Lignite

nagyobb szénhezkötött metán készletét, ezért földtanát a többi medencéhez képest bővebben tárgyaljuk.

A Mecseki Kőszén Formáció késő-triász–kora-jura korú, de fő tömegében kora-jura. Vastagsága Pécs környékén eléri a 900 m-t, majd É–ÉK felé haladva fokozatosan elvékonyul. A kőszénösszlet fedőjében előbb 50–200 m vastag homokkő, majd 70–500 m vastag márgaösszlet helyezkedik el. Felette a további teljes jura rétegsor megtalálható. A kőszén-előfordulás teljes területe (mintegy 350–400 km<sup>2</sup>) a Keleti-Mecsekben található. Határai: Pécs, Komló, Magyaregregy, Szászvár, Máza, Nagymányok, Hidas, Mecseknádasd, Hird. A területen belül a bányászatra érdemesnek tartott széntelepek 70 km<sup>2</sup>-en helyezkednek el, melyből a korábbi bányászat 20–25 km<sup>2</sup>-t érintett. A medencében az 5 cm-t elérő vastagságú telepek száma 175, melyek közül mintegy 30 telepet bányásztak. A pécsi bányák összegzett művelhető telepvastagsága mintegy 25 m, Komló környékén 30–35 m, a Mecsekben átlagosan 30 m. A rétegsor erősen gyúrt, töréses és pikkelyes szerkezetű. A kéregmozgások a telepeket morzsalékosá tették. A telepeket szenes agyagkő, homokkő, aleurolit és agyagkő rétegek, továbbá alkáli bazalt teleptelerek (trachidolerit, diabáz) választják el. A feketekőszén átlagos szénülési foka délről, Pécsbánya körzetétől (soványkőszén) észak felé haladva csökken, a minimumot Komlón (lángkőszén, gázkőszén, gázköszkőszén) és a Keleti-Mecsek északi részén (Nagymányok) éri el (NÉMEDI VARGA 1995). A hegység északi részén Nagymányoktól nyugat felé haladva a szénülés ismét – erőteljesen – növekszik, így Szászvárnál zsirkőszén és kovácskőszén állapotot is eléri.

A többi magyarországi kőszénmedencét – mivel iparilag felhasználható metánt csak kis mértékben tartalmaznak – csupán röviden tárgyaljuk.

#### Ajkai medence (Ajka–Padrag–Csékút)

Felső-kréta (senon) barnakőszén előfordulás. A kőszéntelepek három telep-csoportban találhatóak. Jelenleg már valamennyi bánya bezárt.

#### ÉK-dunántúli eocén barnakőszén terület

Ide tartoznak a következő szénmedencék: Dorog–Esztergom–Pilis, Tatabánya–Nagygyeháza–Mány, Oroszlány, Balinka–Kisgyón–Dudar. Valamennyi limnikus eredetű barnakőszén terület. Jellemző rájuk a töréses szerkezet. A bányászat fő központjai Tatabánya, Dorog, Tokod, Balinka, Pustavám, Mór, Dudar, Nagygyeháza, Csordakút és Mány volt, de a Budai-hegységben is folyt széntermelés. A Márkus-hegyi Bányüzem kivételével valamennyi szénbánya bezárt. Korábban a területen vékony oligocén széntelepeket is műveltek (Vértessomlyó, Mogyorósbánya stb.)

#### A nógrádi és a borsodi-ózdvidéki barnakőszén terület

A széntelepek az kora-középső-miocén korban keletkeztek, limnikus jellegűek. Jelenleg csupán néhány kisebb külfejtésben folyik termelés.

#### Brennbergbánya

A szén kora-miocén korú. A kőszéntelepess összlet a paleozoos kristályos alaphegység lepusztult felszínére települt. Az előfordulás jelentősebb része Ausztriához tartozik. Nincs működő bánya.

#### Várpalota, Hidas

E területeken középső-miocén korú lignitlepek találhatóak. Mindkét területen bányászták a lignitet, jelenleg nincs széntermelés.

3. táblázat. A magyarországi szénmedencék földtani vagyona  
 Table 3 In situ coal resources of the Hungarian coal basins

Kőszénmedence neve	Földtani (in situ) szénvagyon (Mt)
Mecseki feketekőszén-medence*, egyben Magyarország összes feketekőszén vagyona	1597
Dorog–Pilisi barnakőszén medence	426
Tatabánya–Nagyaegyháza–Mányi barnakőszénmedence	427
Oroszlányi barnakőszénmedence	157
Bakonyi barnakőszénmedencék (eocén–oligocén, miocén, kréta)	837
Nógrádi barnakőszénmedence	211
Borsodi és ózdvidéki barnakőszénmedence	1153
Magyarország összes barnaszénvagyon	3211
Mátra–Bükkaljai és Nyugat-Magyarországi lignitterületek, egyben Magyarország összes lignitvagyon	5812
<b>Magyarország összes ismert szénvagyon</b>	<b>10620</b>

\*A mecseki medence nyilvántartott szénvagyon 1100 m mélységig került kiszámításra. Ha a számítást további mélységekre is kiterjesztjük, úgy 1500 m mélységig mintegy 3,3 Mrd tonna, a teljes mélységig (kb. 3000 m) legalább 4 Mrd tonna földtani vagyon adódik.

### Mátra- és Bükkalja

A pannóniai korú lignit a kiszélesedő Pannon-beltenger partszegélyi, mocsaras vidékein jött létre. A lignitvagyon kiemelkedően nagy. Jelenleg a visontái és a bükkábrányi külfejtésben folyik (jelentős volumenű) termelés.

### Szombathely–Torony

A mátrai- és bükkaljai telepekhez hasonlóan ez is pannóniai korú lignit-előfordulás, mely Szombathelytől nyugat felé Ausztriába is áthúzódik. A lignit a Pannon-beltenger partszegélyi üledéke. Készlete jelentős. A területen korábban kis mértékű bányászat folyt.

Az egyes szénmedencék ismert földtani (*in situ*) vagyonát (MGSz, 2004) a 3. táblázat szemlélteti. a táblázatban nem szerepeltettük a kitermelhető szénvagyon (földtani vagyon mínusz pillérek vagyona mínusz tervezett termelési veszteség plusz tervezett termelési hígulás), mivel a szénhez kötött metán hordozója a földtani, és nem a kitermelhető vagyon.

### A sújtólégveszély története a magyar mélyműveléses kőszénbányászatban

A magyar mélyműveléses kőszénbányászat közel 200 éves története során gyakran került szembe a bányatérsegekbe beáramló metánnal, mely a levegővel keveredve 5–15%-os koncentráció esetén robbanóképes elegyet, sújtóléget alkot. A



sújtólégveszély kisebb-nagyobb mélységben (a pannóniai korú lignittelepek kivételével) szinte valamennyi kőszénmedencében fennállt. Ezt tetézte a mecseki liász korú szénmedencében a hirtelen kőzetfeszültség-átrendeződés hatására bekövetkező gázkitörés, amikor is több ezer m<sup>3</sup> metán robbanásszerű hevességgel tört a bányatérsegekbe. A sújtólégveszély elhárításának alapvető módszere a bányák jó szellőztetése volt.

A következőkben – a teljesség igénye nélkül – ismertetjük a metánnal kapcsolatos legfontosabb eseményeket (BENKE & REMÉNYI 1996).

Brennbergbányán a régi fejtési üregekben halmozódott fel sújtólég abban az esetben, ha azok vízzel telítődtek. Ilyen jellegű sújtólég kiáramlást több ízben is megfigyeltek, de ezek szerencsétlenséget nem okoztak.

A Dorogi-medencében az első tömeges baleset a tokodi Gusztáv-aknában 1871-ben következett be. A felhagyott bányatérsegekben összegyűlt metánt egy nagyobb omlás préselte a nyitott bányatérsegekbe, ahol az levegővel keveredve sújtóléget alkotott, amely a nyílt lángú lámpáktól robbant be. A legsúlyosabb tömegszerencsétlenség 1942-ben az Erzsébet-aknában történt. Egy robbantás hatására omlás, majd jelentős metánkiáramlás történt, melyet szintén nyílt lángú lámpa robbantott be. Ez újabb metánkiáramlást idézett elő, így többközpontú robbanássorozat következett be. 1963-ban a Reimann-aknán volt súlyos sújtólégrobbanás, melyet követően az üzemet I-es sújtólég-veszélyességi osztályba sorolták. (sújtólég-veszélyességi osztályokat a 4. fejezetben tárgyaljuk). A Lencse-hegyi szénbánya – bár 1989 előtt I-es sújtólég-veszélyességi osztályba volt besorolva – nem tartalmazott metánt. Dorog XXI. aknán a fekü triász mészkőben egy kavernára fúrtak, a fúrásból 1–2 napig jött a metán.

A Pilisi-medence Szent István-aknájában lezárt feltörés megnyitásakor robbant be a metán, ezt követően a bányát I-es sújtólég-veszélyességi osztályba sorolták.

A Tatabányai-medencében az első nagyobb metánrobbanás az ún. II. aknában 1897-ben következett be. A robbanás dinamitos robbantás után történt. A legnagyobb katasztrófa a XII. akna nyugati bányamezejében 1950-ben történt, 81 bányász halálát okozva, ugyanis a sújtólégrobbanást szénporrobbanás követte. 1978 folyamán a XII./a. akna egyik frontfejtésében volt katasztrófális sújtólégrobbanás.

Az Oroszlányi-medencében 1948-ban a XVII. aknán vágathajtás során, 1970-ben ugyancsak a XVII. aknán volt sújtólégrobbanás. A legsúlyosabb metánrobbanás a Márkushegy-i bányáuzemben 1983-ban következett be.

Balinkán sújtólégrobbanás nem történt. Metán jelenlétét azonban észlelték az öregségi műveletekben.

A várpalotai miocén lignit-előfordulás valamennyi bányájában (SI., SII., Bántabánya) a mélység felé haladva észlelték a metánt, mely halálos balesetet is okozott.

Az ajkai késő-kréta korú szénmedencében három metánfellobbanás ismert: 1965-ben Padrag-bányán, 1966-ban Jókai-bányán, és 1971-ben Ármin-bányán. Ezt követően sorolták az ajkai bányákat az I-es sújtólég-veszélyességi osztályba.

A nógrádi kőszénmedencében először 1887-ben volt sújtólégrobbanás: a mizserfai János-akna mélyítésével kapcsolatban a légakna tengelyében a külszínről indított fúrásra föld alatt rályukasztottak, a bányában összegyűlt metán a fúrólukon keresztül kiáramlott a szabadba, s ott felrobbanva tönkretette a mélyépítő vitlát és a gépházat. A Gyula-lejtakna vágataiban 1920-ban metángázt észleltek. Metángáz

jelenlétét mutatták ki a kisterenyei körzetben is. Az egyik kisterenyei bányában 1943-ban történt sújtólégrobbanás. 1961-ben a mizserfai bányauzemben (Duclos VII. bánya) a II. telep fejtése során a korábban már lefejtett I. telepből metángáz áramlott be, a robbanás 8 emberéletet követelt. A nagybányai bányák sújtólégveszélyesek voltak. A Nógrádi-medencére jellemző, hogy a metánveszély nyugat felé haladva növekedett, de a gáz mennyisége általában nem haladta meg az I. sújtólégveszély osztályra előírt értéket. Nem képezi jelen dolgozat tárgyát, de említésre méltó, hogy a Vizslás- és a Tiribes-bányákban jelentős mennyiségű szén-dioxid-beáramlás volt.

A mecseki feketekőszén medence kiemelkedő jelentőségű a metántartalom és a sújtólégveszély szempontjából.

A mecseki bányászkodás természeti környezetét jelentősen meghatározta a széntelepek metántartalma. A zárórétegektől és a későbbi tektonikai hatásoktól függően a telepek gáztartalma változó, de egyértelműen kimutatható, hogy a mélység felé haladva növekedett. Dr. RADÓ Aladár mérései szerint 1976 és 1981 között éves átlagban  $46 \text{ Mm}^3$  gázfelszabadulás jelentkezett a művelt bányákban. A sújtólégveszély és a gázkitörésveszély minden földalatti mecseki szénbányára jellemző volt. Már az 1870-es években is voltak áldozatot követelő sújtólégrobbanások. A leg súlyosabb metánrobbanás 1910-ben Szászvár bányában történt.

A metán veszélytelen mértékű felhígításához erőteljesen növelték a szellőztetési kapacitást. A sújtólégrobbanás-veszély elleni védekezést hatékonyan segítette a földalatti gázcsapolás, mely több évtizeden keresztül üzemszerűen működött. Az első gázlecsapoló berendezést Vasas-bányán 1957-ben létesítették (RADÓ 1958). A folyamat során a nagy fajlagos metántartalmú telepekből még a művelés megkezdése előtt bányabeli fúrásokból a gáz egy részét zárt csőrendszeren keresztül elszívták, majd a felszínen – csővezetéken eljuttatva a fogyasztókhoz – hasznosították. A medencében öt gázlecsapoló berendezést helyeztek üzembe, összesen  $325 \text{ Mm}^3$  metánt szívtak le és részben hasznosítottak.

A mecseki szénbányászatban az első gázkitörés 1894-ben történt a pécsi Schroll-aknán. Az É-i területen az első gázkitörés 1902-ben következett be Szászvár-bánya VIII. szintjén. A gázkitörést sújtólégrobbanás kísérte. A komlói területen Zobák-bányauzemben 1964-ben a Diagonális-akna mélyítésekor az aknatalpon, 286 m mélységben volt gázkitörés. A mecseki szénbányászatban összesen 574 gázkitörés történt, mely 89 halálos áldozattal járt.

A gázkitörések elleni védekezés során provokációs robbantásokat és/majd védőtelepes művelést alkalmaztak. Az utóbbi során a gázkitörés-veszélyes telep fekéjében vagy fedőjében lévő nem gázkitörés-veszélyes telepet lefejtették, melynek hatására a védett telepben a fellazulási zónában a gázkitörés-veszély megszűnt. A gázkitörések oka vágathajtás esetén a vájvég előtt fellépő nagymértékű feszültség-torlódás (SZIRTES 1971). A veszélyes feszültség csökkentése előzetes anyagkivétellel, szénkimosatással történt.

### A magyarországi bányák minősítése sújtólégveszély szempontjából

A mélyművelésű szénbányák nagy részében a termelés során kisebb-nagyobb metán-felszabadulás ment végbe. Az „Általános bányászati biztonsági szabályzat” (KOVÁCS & ERNEI 1982) rendelkezése szerint a bányákat sújtólégveszély szempont-

4. táblázat. Sújtólég szempontjából minősített bányák Magyarországon  
 Table 4 Mines grouped in classes according to the firedamp hazard, Hungary

Szénmedence	Bánya	Sújtólég-veszélyességi osztály
Borsod, miocén barnaköszén	Lyukóbánya	I.
Dorog–Pilis eocén barnaköszén	XXI. akna, X. akna, Lencsehegy (1989-ig), Új-ebeszőnyi bányák, Reimann-akna, pilisi Szent István-akna	I.
	tokodi Erzsébet-akna, csolnoki X., XII. akna, dorogi XIX. akna	II.
Nógrád, miocén barnaköszén	Szorospatak-bánya	I.
	Kányás-, Ménkes-, Tiribes-bánya	II.
Oroszlány, eocén barnaköszén	A medence valamennyi mélyművelésű bányája (Márkushegyi-bánya, XVI., XVII., XX., XXI., XXII., XXIII. aknák)	I.
Tatabánya–Nagygyháza–Mány eocén barnaköszén	A medence valamennyi mélyművelésű bányája (XIV., XV/c, Csordakút, Nagygyháza stb.)	I.
	a II. osztályú sújtólégveszélyes bányák kivételével VII/a., XII. XII/a., XV., XV/a. aknák	II.
Balinka, eocén barnaköszén	Balinkai bányáüzem	I.
Ajka, kréta barnaköszén	Armin, Jókai, Padrag	I.
Várpalota, miocén lignit	SI., SII. és Bánta-bánya	I.
Mecseki alsó-jura feketek szén	A medence valamennyi mélyművelésű bányája (Pécs, Vasas, Kossuth, Béta, Zobák stb.)	III.

jából minősíteni kell, amennyiben a bánya bármely bányatérképében metán jelenlétére utaló jelenséget észleltek, illetve az előírt légmérés során 0,1%-ot meghaladó arányban metánt mértek. A sújtólégveszélyes bányákat hivatkozott szabályzat 8. § (2) bekezdése alapján I–III. sújtólég-veszélyességi osztályba kell sorolni a (3) bekezdés szerinti meghatározás szerint: a köszénbánya

a) I. sújtólég-veszélyességi osztályba tartozik, ha a munkanapi fajlagos metán-fejlődés bármelyik termelő légosztályban legfeljebb 5 m<sup>3</sup> metán/tonna nyers szén,

b) II. sújtólég-veszélyességi osztályba tartozik, ha a munkanapi fajlagos metán-fejlődés bármelyik termelő légosztályban az 5 m<sup>3</sup>/tonna nyers szén mennyiséget meghaladja, de legfeljebb 15 m<sup>3</sup> metán/tonna nyers szén,

c) III. sújtólég-veszélyességi osztályba tartozik, ha a munkanapi fajlagos metán-fejlődés bármelyik termelő légosztályban 15 m<sup>3</sup>/tonnánál nagyobb (nyers szénre).

Fokozottan sújtólégveszélyes a II. és III. osztályú sújtóléges bánya fejtése, fejtési vágata, szénben hajtott vagy széntelep harántoló külön szellőztetésű bányatérsege. Minden nyitott földalatti bányatérseget megfelelően szellőztetni kell. A szellőztetésre vonatkozó előírások szerint a levegő metántartalma nem haladhatja meg a főkihúzó és légosztálykihúzó légáramban a 0,75%-ot, az áthúzó légáramú fejtésben az 1%-ot, az egyéb áthúzó légáramú vágatban az 1,5%-ot, ill. diffúzióval szellőztetett bányatérsegekben a 2,5%-ot.

A sújtólég szempontjából minősített bányákat (KOVÁCS & ERNEI 1982; BENKE & REMÉNYI 1996) a 4. táblázat mutatja.

## A szénmedencék tárolt (gas in place) metánkészlete

A magyarországi mélyműveléses szénbányák (illetve szénmedencék) metánvagyonából – a mecseki feketeköszén medence kivételével – csupán bányaszellőztetési adatok/sújtólég-veszélyességi osztályok – állnak rendelkezésünkre. A metánkészlet becslését is ennek alapján végeztük.

Tanulmányunkban becsültük az egyes szénmedencék földtani metánvagyonát (Methane Gas in Place), mely metánkészlet az angolszász szakirodalom szerint „Speculative” kategóriába sorolható. A mecseki feketeköszén medence metánvagyonának ismeretességi foka magasabb, „Hypothetical”, de egyes szerzők „Inferred” kategóriába sorolják.

Az egyes szénmedencék „gas in place” metánvagyonának meghatározása (A mecseki feketeköszén medencét külön tárgyaljuk)

A fajlagos tárolt metántartalom becslése:

– A Dorog–Pilis-medencében a bányászat során tapasztalt metánjelenségek és az I., valamint a II. sújtólég-veszélyességi osztályok alapján 5-10 m<sup>3</sup>/t értéket tételeztünk fel.

– A Tatabánya–Nagygyeháza–Mányi-medence esetében bányászati adatok, valamint az I., illetve II. osztályba történő besorolásra tekintettel 8–12 m<sup>3</sup>/t metántartalom valószínűsítettünk.

– Az Oroszlányi-medencében a bányászat során fellépő metánjelenségek és az I. sújtólég-veszélyességi osztály alapján a szén feltételezett fajlagos metántartalma 2–3 m<sup>3</sup>/t.

– A bakonyi eocén (oligocén) szénmedencében a már felhagyott Balinkai Bányászati Üzem az I. sújtólég-veszélyességi osztályba tartozott. Bányabeli szénminta adszorpciós-deszorpciós vizsgálata (LANDIS et al., 2002b) 1,29 cm<sup>3</sup>/g Langmuir konstanst mutatott, ezért kerekén 1,3 m<sup>3</sup>/t fajlagos gáztartalommal számoltunk.

– A bakonyi kréta szénelőfordulásokban a bányabeli metánjelenségek és az I. sújtólég-veszélyességi osztályba sorolás miatt 2 m<sup>3</sup>/t fajlagos metántartalmat tételeztünk fel.

– A bakonyi miocén lignitmedencében a bányabeli megfigyelések és az I. sújtólég-veszélyességi osztály miatt 1–1,3 m<sup>3</sup>/t fajlagos metántartalommal számoltunk.

– A nógrádi barnaköszén medence fajlagos metántartalma a bányászat során tapasztalt metánjelenségek és az I., valamint a II. sújtólég-veszélyességi osztályba sorolás alapján 6–12 m<sup>3</sup>/t-ban valószínűsíthető.

– A borsodi és ózd-vidéki barnaköszén medencében csak elvétve jelentkezett metán, egyedül csak Lyukóbánya tartozott az I. sújtólég-veszélyességi osztályba. A szén fajlagos metántartalmát 1–2 m<sup>3</sup>/t-ra becsültük.

– A mátra–bükkaljai és nyugat-Magyarországi pannóniai korú lignitterületek megítélésünk szerint nem tartalmaznak szénhez kötött metánt. A korábbi mélyművelésű bányákban (Mátra–Bükkalja: Rózsaszentmárton, Gyöngyöstarján, Tard, Bogács; Nyugat-Magyarország: Torony, Ondód) sújtólég nem jelentkezett.

A Pannon-medencében nagy mélységben is található lignittelemek, melyeket kőolajkutató fúrások harántoltak. A nagy mélység, hőmérséklet és nyomás miatt feltételezhető (bár magyarországi mérési adatok nem állnak rendelkezésünkre), hogy e lignittelemek tartalmaznak szénhez kötött metánt. Érdekes adatokról számol be STEINBAUER (2002) egy tanulmányában, mely szerint a Pannon-medence DNY-i

(horvátországi) részén, a dráva-menti tektonikus árokban a Molve földgázmezőn 1000–2000 m mélységtartományban a lignitben kb. 2 m<sup>3</sup>/t fajlagos metánt mutattak ki.

#### A mecseki feketeköszén medence szénhezkötött metán készlete

A Magyar Geológiai Szolgálat nyilvántartása szerint (MGSz, 2004) a medencében 1100 m mélységig 1597 Mt földtani (*in situ*) szénvagyon szerepel. 1500 m mélységig 3,3 milliárd tonna, a teljes mélységig legalább 4 milliárd tonna szénkészlet valószínűsíthető (l. 2. fejezet). A medencében a földfelszín átlagos tengerszint feletti magassága 300 m.

A Mecseki Feketeköszén Formáció kiterjedése 350–400 km<sup>2</sup>, melyből korábban bányászat által igénybe vettek 50 km<sup>2</sup>-ert. A szén szempontjából produktívnak tekinthető zóna területe 70 km<sup>2</sup>, melyből a korábbi bányászati műveletek mintegy 20–25 km<sup>2</sup>-t érintettek. Az ismert (kategorizált) földtani szénvagyon számbavételi feltételei (cut-offs): vastagság  $\geq 0,4$  m; fűtőérték  $\geq 12\,560$  kJ/kg, behígított meddő-közbetelepülések vastagsága  $\leq 0,3$  m.

A mecseki szén az ASTM (USA) szabvány szerint a high-, medium és low volatile bituminous osztályba tartozik. A földtani (*in situ*) vagon átlagminősége 19 126 kJ/kg, de a (korábban) termelt szén fűtőértéke a nagymértékű hígulás miatt csupán 11 650 kJ/kg volt.

A mecseki szénhezkötött metán minőségi adatait az 5. táblázat (SOMOS 1991) szemlélteti:

A mecseki feketeköszén medence szénhezkötött metán rezervoárja jelentősen eltér a hagyományos CBM rezervoároktól (FODOR 2002):

- A szén permeabilitása csupán 0,001–0,1 mD, egy tanulmány (RADNAINÉ 1991) egy rendkívül alacsony mérési eredményt (0,00039 mD) is közöl.

- A metántartalom 92–98%-a szorbeált, 2–8%-a szabad gáz formájában van jelen.

- A szén fajlagos szabad felülete 250–300 m<sup>2</sup>/g.

- A szén pórusstruktúrája 0,4–0,5 nm átmérőjű molekuláris pórusokból (a metán molekula átmérője 0,42 nm), mikropórusokból (10 nm-ig) és mezopórusokból (10–50 nm) áll.

- A fajlagos metántartalom átlagosan 50 m<sup>3</sup>/t (RADNAINÉ 1991; SOMOS 1991; KISS 1995).

- A szénhezkötött metán nyomása a mélység függvényében akár 100 bar is lehet.

- A szén porozitása 1–15% között változik.

A széntelepés összlet rétegei vízzáróak. A szén, a meddő közbetelepülések, a fedő- és fekéretek nem tartalmaznak vizet. A szén *in situ* nedvességtartalma csupán 0,5–2,0%. A víz nem tud behatolni a molekuláris pórusokba. A felhagyott bányatérsegek (Abandoned Mines, GOB areas) viszont bányavízzel telnek meg. Ez a folyamat jelenleg is tart. A vízelárasztás a szén rendkívül kis pórustérfogata, valamint az abban tárolt gáz következtében nem tud behatolni a „szűz” szénrétegekbe.

5. táblázat. A mecseki szénhezkötött metán minőségi adatai

Table 5 Coalbed methane quality, Mecsek Coal Basin, Hungary

CH <sub>4</sub>	C <sup>2+</sup>	H <sub>2</sub>	Inerts	CO <sub>2</sub>	Heat value (kJ/kg)
95%	0,8%	0,005%	4%	0,8%	36,000

A Mecseki-medence a földtörténet korok során elvesztette tárolt metánkészletének egy részét. A kainozoikum során a denudációval érintett területeken a metán közvetlenül, vagy a konszolidálatlan fedőrétegeken keresztül a légkörbe távozott.

SZIRTES (1971) könyvében számos mérési adatot közöl a széntermelés során felszabaduló metán mennyiségéről, mely 15–80 m<sup>3</sup>/termelt tonna között ingadozott, de időnként elérte a 150 m<sup>3</sup>/t értéket is. Adatai fontos információt szolgáltatnak az (akkori) bányaszellőztetés tervezéséhez, de nem tükrözték a szénben elhelyezkedő szabad + szorbeált metán mennyiségét.

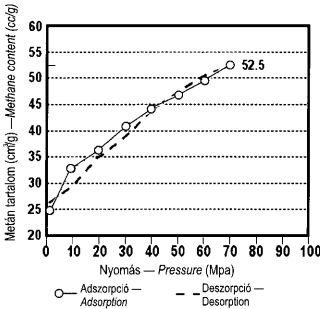
A GEOPARD Kft. (RADNAINÉ 1991) vizsgálatai alapján átlagosan 50 m<sup>3</sup>/t szénhez kötött metánt becsült. Ezt szemlélteti a 4. ábrán látható adszorpciós/ deszorpciós görbe [RADNAINÉ in SOMOS (1991)] Számos laboratóriumi vizsgálat is hasonló eredményre vezetett.

Az elméletileg feltételezhető földtani metánvagyon (gas in place) 4 milliárd tonna földtani szénvagyonot feltételezve 200 milliárd m<sup>3</sup>-t tesz ki.

A mecseki feketekőszén medence szénhez kötött metán meghatározására korábban is végeztek becsléseket: SOMOS (1991), KISS (1995), LANDIS et al. (2002a, b), FODOR (2005).

KISS (1995) tanulmánya a 70 km<sup>2</sup>-es területen 149,6 milliárd m<sup>3</sup> földtani metánvagyonról közöl. A bányaszellőztetési adatok alapján a szén metántartalmát 75 m<sup>3</sup>/t-ban határozta meg. Ezt a fajlagos értéket – helyesen – a kitermelhető szénvagyonra vetítette. (CMM). E metánvagyonnak csak akkor lenne létjogosultsága, ha a teljes medence szénvagyonát lefejtették, amire nincs reális esély.

LANDIS et al. (2002a, b) publikációjának a metánvagyonra vonatkozó része SOMOS 1991. évi tanulmányán alapul. LANDIS és munkatársai felhasználták hivatkozott tanulmányi szintvonalas térképeit, melyek a legfelső széntelep



4. ábra. A Mecseki kőszénmedence adszorpciós/ deszorpciós izotermája

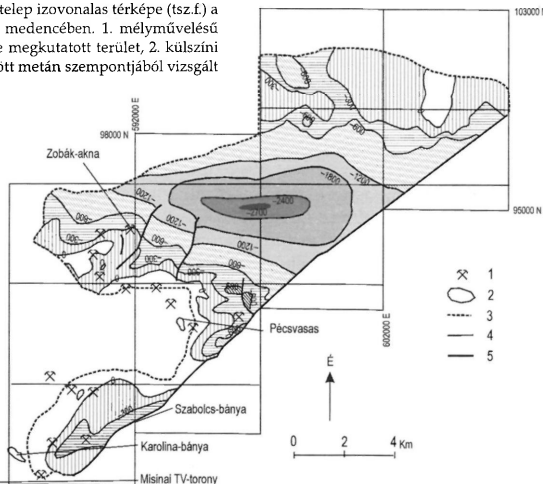
Fig. 4 Adsorption/desorption isotherm of a Mecsek Basin, Hungary

felszínének tengerszint feletti (alatti) helyzetét ábrázolták. Egy összefoglaló jellegű szintvonalas térképet szemléltet az 5. ábra (LANDIS et al. 2002a, b).

SOMOS (1991) tanulmányában 39 m<sup>3</sup>/t kitermelhető gázvagyonnal (összesen 112,9 milliárd m<sup>3</sup>) számolt, túlzott, 0,78-as kihozatali tényezőt feltételezve. LANDIS és munkatársai 50 m<sup>3</sup>/t gas in place fajlagos metántartalommal számította vissza a földtani szénvagyon (a 112,9 milliárd m<sup>3</sup> gázból), majd ebből a nem pontos földtani vagyonból vont le következtetéseket. A Karolina-bánya és a Vasas-bánya külfejtéséből szénmintákat vettek, melyeket adszorpciós vizsgálatoknak vetettek alá. A Langmuir konstans a Karolina-bánya esetén 18,26 cm<sup>3</sup>/g-ra, a Vasas esetén 20,74 cm<sup>3</sup>/g-ra adódott. Ezek a szénminták a felszín közeléből származtak, nem tekinthetők reprezentatívnak a mecseki feketekőszén medence szempontjából.

5. ábra. A legfelső széntelep izovonalas térképe (tsz.f.) a mecseki feketeköszén medencében. 1. mélyművelésű bányá, mélyművelésre megkutatott terület, 2. külszíni fejtés, 3. a szénhezkötött metán szempontjából vizsgált terület határa, 4. a szintvonal tengerszint feletti magassága (m), 5. vető. A színek a tengerszint alatti mélységközöket jelölik.

Fig. 5 Structure contour map on the uppermost coal seam of the Mecsek Coal Formation. 1 Underground mine or prospect 2 Surface mine 3 Limit of Coal Bed Methane study area 4 Structure contour, in metres with respect to sea level 5 Fault. Colours represent equal ranges in depth relative to sea level.



Továbbá feltételezték, hogy a köszéntelepekben hidrosztatikai nyomás uralkodik, holott sem a széntelepekben, sem a kísérő kőzetekben nincs víz. A számított 27,9 milliárd m<sup>3</sup> földtani szénhezkötött metánvagyon alábecsült.

A SOMOS-féle, általunk módosított (FODOR 2005) tanulmány: (SOMOS 1991) több mint 200 szénkutató fúrás felhasználásával (a szénre produktív) 70 km<sup>2</sup>-es területre megszerkesztette a legfelső széntelep felszínének izovonalas térképét. A térkép felhasználásával, a 6. táblázatban közölt paramétereknek megfelelően készítette el a kitermelhető szénhezkötött metán készletszámítását, melynek eredménye 112,9 milliárd m<sup>3</sup> volt. SOMOS számításait revidiálva meghatároztuk a szénhezkötött földtani metánvagyont (7. táblázat).

#### A kitermelhető gázvagyon számítása

A rezervoárok megtalálásának valószínűsége 50%; a megtalált rezervoárok kihozatali tényezője 0,4 (TÓTH J. szóbeli közlése), így a teljes kihozatali tényező 0,2. A mecseki feketeköszén medencére

6. táblázat. A metán-készletszámítás fő paraméterei (SOMOS 1991.)

Table 6 The main parameters of the coalbed methane resource calculation (SOMOS 1991.)

A széntelepek függőleges összvastagsága	30 m
A szén térfogatsűrűsége	1,5 t/m <sup>3</sup>
A szén gáztartalma (in place)	50 m <sup>3</sup> /t
A kitermelhető gáztartalom	39 m <sup>3</sup> /t
A letermelt (GOB) területek gáztartalma	16 m <sup>3</sup> /t

7. táblázat. A szénhezkötött metán revidiált földtani készlete

Table 7 Recalculated coalbed methane gas in place

Szabad és szorbeált gáz	132,0 milliárd m <sup>3</sup>
GOB térségek gázvagyona	10,6 milliárd m <sup>3</sup>
Összes földtani (gas in place) gázvagyon	142,6 milliárd m <sup>3</sup>

így 28,5 milliárd m<sup>3</sup> kitermelhető gázvagyont kaptunk. A kihozatali tényező természetesen függ az alkalmazott termelési technológiától, így az a jövőben változhat.

Magyarország többi szénmedencéjénél is – jelenlegi ismereteink szerint – a 0,2-es kihozatali tényező alkalmazását javasoljuk.

#### Magyarország szénmedencéinek földtani metánvagyona

Az egyes szénmedencék prognosztizált földtani (gas in place) szénhezkötött metánvagyonát a 8. táblázat szemlélteti.

A táblázatból kitűnik, hogy a magyarországi szénmedencék összes földtani CBM vagyona mintegy 152–159 milliárd m<sup>3</sup>, mely majdnem eléri a hazai konvencionális földgáz mennyiségét (176,5 milliárd m<sup>3</sup>). A szénhezkötött metán 90–94%-a a mecseki feketekőszén medencében található. Hangsúlyozzuk, hogy a közölt metán-

8. táblázat. Magyarország szénhezkötött metánvagyona szénmedencék szerint  
Table 8 Coalbed methane resources in place in the Hungarian coal basins

Szénmedence	Földtani szénvagyon (Mt)	Fajlagos metántartalom (m <sup>3</sup> /t)	Földtani (gas in place) metánvagyon (milliárd m <sup>3</sup> )
Mecsek*	3300	50, (GOB: 16)	142,6≈143
Dorog–Pilis	426	5–10	2–4
Tatabánya–Nagyegyháza–Mány	427	8–12	3–5
Oroszlány	157	2–3	0,3–0,5
Bakony, eocén (oligocén)	177	1,3	0,2
Bakony, miocén lignit	294	1–1,3	0,3–0,4
Bakony, kréta	366	2	0,7
Nógrád	211	6–12	1,3–2,5
Borsod–Ózd	1153	1–2	1,1–2,3
Mátra–Bükkalja, Ny-Magyarország, pannóniai lignit	5812	n.a.	n.a.
Összesen	12323		151,9–158,6

\*Mecsek: 1500 m mélységig, n.a. = nincs adat, valószínűleg nulla

készlet adatok jelenlegi ismereteinket tükrözik. Szükségesnek véljük a jövőben az egyes szénmedencékben mélyült, még meglevő (pl. vízszint megfigyelésre használt) fúrások metánra történő szisztematikus vizsgálatát.



## A szénhezkötött metán hasznosítására vonatkozó kezdeményezések, a továbblépés lehetőségei

A magyar szénbányászatban – a Mecsek hegység kivételével – nem történt szénhezkötött metán hasznosítás, és nem folytak annak kiaknázására kísérletek sem. A mecseki eredményes földalatti gázlecsapolásról (földalatti fúrások) már korábban tettünk említést.

### *A külszíni fúrásokkal történő gázlecsapolási kísérletek a Mecsek hegységben*

Az első mélyfúrásos kísérlet a Máza-Dél-i szénterületen történt 1980-ban. A fúrás mélysége 1000 m, a termelő béléscső átmérője 7" volt. A harántolt szentelepeket perforálták, majd a kőolaj- és földgáziparban alkalmazott technológia szerint édesvízi hidraulikus rétegrepszést, majd homokkal történő kítámasztást végeztek. A kísérlet nem járt eredménnyel.

1993–1994-ben további mélyfúrásos kísérleteket végeztek. Három kútban folyékony széndioxidos rétegrepszést és homokkítámasztást, a negyedik kútban nyitott üreges technológiai eljárást alkalmaztak. Ezek a kísérletek is negatív eredménnyel végződtek. (KISS 1995)

A külszíni fúrások sikertelenek voltak, azonban a bányászat során spontán és földalatti fúrásokkal jelentős mennyiségű metán szabadult fel.

A bányászati tevékenységek következtében másodlagos (szekunder) feszültség-állapot jött létre (FODOR 2002). A fejtési homlok előtt jelentős feszültségnövekedés (áthárított nyomás) és nyomásgradiens alakult ki. A feszültségátrendeződés következtében a szén és a kísérő kőzetek a fejtési homlok előtt kb. 10 m-es körzetben fellazultak. A fellazulás/tönkremenetel a szén permeabilitását kb. 2–3 nagyságrenddel megnöveli, megnyitja a repedéseket, ezáltal növeli a metán deszorpcióját. Ez a folyamat térben és időben szoros összefüggésben van a mélyműveléses bányászattal. A mecseki feketekőszén medencében a mélyműveléses bányászat során a szénből számottevő mennyiségű metán szabadult fel, a földalatti gázlecsapoló fúrások – védőtelepes fejtésekkel kombinálva – sikeresek voltak. A bányaműveletek (pl. frontfejtések) kiváló stimulátorok a metántermelés szempontjából. A külszíni fúrásokban alkalmazott növelt hatékonyságú módszerek (folyékony széndioxidos rétegrepszés, homokkítámasztás, nyitott üreges kútkiképzés) nem vezettek eredményre a szén belső tulajdonságai és a rendkívül magas *in situ* kőzetfeszültség következtében. A kísérleti kutak gázlecsapolási területe a szén alacsony permeabilitása és a kis pórusméret miatt kis kiterjedésű volt. A hatékony, külszíni fúrásokból történő gázlecsapolás érdekében a hagyományostól eltérő stimulációs módszereket kell kifejleszteni, illetve alkalmazni.

### Köszönetnyilvánítás

Ezúton fejezem ki köszönetemet Dr. Kiss József és KOVÁCS Endre lektoraimnak hasznos kritikájukért és tanácsaikért.

## Irodalom – References

- BARKER, C. E. 1996: The Geology of Coal Bed Gas: The perspective from coal and thermal history studies. – U.S. Geological Survey, Denver, Colorado. 125 p.
- BELLÁNÉ PELSŐCZI M. 1992: Szénkőzetek. – In: BALOGH K. (szerk.): Szedimentológia III. Akadémiai Kiadó.
- BENKE I. & REMÉNYI V. (Szerk.) 1996: A magyar bányászat évezredes története II. kötet. – Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesület, 752 p.
- LANDIS, E. R., ROHRBACHER, T. J., BARKER, C. E., FODOR & GOMBÁR G. 2002a: Coalbed Gas in the Mecsek Basin, Hungary. Coalbed Methane Resource Potential in Hungary. – A Coalbed Methane Workshop. September 23–26, 2002., Budapest-Pécs, Hungary. CD-ROM, OFG Adattár
- LANDIS, E. R., ROHRBACHER, T. J., BARKER, C. E., FODOR & GOMBÁR G. 2002b: Coalbed Gas in Hungary. – A Preliminary Report. USGS Open File Report 01-473, Version 1.0, 2002. U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey CD-ROM, OFG Adattár
- LANDIS, E. R., ROHRBACHER, T. J., BARKER, C. E., FODOR & GOMBÁR G. 2003: Coalbed gas in the Mecsek Basin, Hungary. – *International Journal of Coal Geology* 54, 41–55.
- FODOR, B. 2002: A possible technical solution for methane production from low permeability coal seams. Coalbed Methane Resource Potential in Hungary. – Coalbed Methane Workshop. September 23–26, 2002., Budapest-Pécs, Hungary. CD-ROM, OFG Adattár
- FODOR, B. 2005: Coalbed gas estimation, Mecsek Coal Basin. – Manuscript. Review pp. 48–56.
- FÜCHTBAUER, H. (ed.) 1988: Sedimente und Sedimentgesteine. – Stuttgart, Schweizerbarische Verlagbuchhandlung, 1141 p.
- HARRIS, B. T., ALLISON, M. E., KNOX L. M. & RAMOS, E. E. 1990: Amoco Coal Degas Review Worldwide New Ventures. – Manuscript. 78 p. OFG Adattár
- HARTAI É. 2004: Teleptani alapismeretek (Alkalmazott földtan I.). – Miskolci Egyetem, Földtan-Teleptani Tanszék 57 p.
- ICF Resources Incorporated 1992: Coalbed Methane Gas: A low cost energy supply for Hungary. – Manuscript. 94 p. Mecseki Bányavagyonhasznosító Rt. Adattár
- KISS J. 1995: A mecseki gázlecsapolás történeti áttekintése és a fúrólukák gázfeltárás lehetőségeivel kapcsolatos kutatások. – In: NÉMEDI VARGA Z. (szerk.): A mecseki feketeköszén kutatása és bányaföldtana. – *Közlemények a magyarországi ásványi nyersanyagok történetéből* VII. Miskolci Egyetem, 317–331.
- KISS J. 2002: A Mecseki Feketeköszén Medence metángáz vagyona. Coalbed methane Resource Potential in Hungary. – Coalbed Methane Workshop. September 23–26, 2002., Budapest-Pécs, Hungary. CD-ROM OFG Adattár
- KOVÁCS M. & ERNEI L. (Szerk.) 1982: Általános bányászati biztonsági szabályzat. – Országos Bányaműszaki Főfelügyelőség, Népszava Lap- és Könyvkiadó, Budapest, 306 p.
- Methane Master Kft. 1994: Kutatási jelentés a mecseki kőszénelőforduláshoz kötött metángáz külszínről, fúrólukáról történő lecsapolásának technológiai kutatására és a gazdaságos kitermelés paramétereinek meghatározására. – Pécs, OFG Adattár. 203 p.
- MGSZ (Magyar Geológiai Szolgálat) 2004: Tájékoztató Magyarország 2004. I. 1-jei helyzet szerinti ásványi nyersanyag-vagyonáról. – Budapest, 283 p.
- NÉMEDI-VARGA Z. 1995: A mecseki feketeköszén-telepek szénülési viszonyai. – In: NÉMEDI-VARGA Z. (szerk.): A mecseki feketeköszén kutatása és bányaföldtana, *Közlemények a magyarországi ásványi nyersanyagok történetéből* VII. Miskolci Egyetem, 283–302
- RADÓ A. 1958: A vasasi üzemszerű gázlecsapolás. – *Bányászati és Kohászati Lapok, Bányászat* 91/8–9, 546–558.
- RADÓCZ Gy. 1983: Magyarország kőszén-előfordulásai. – *MÁFI Évi Jelentése* 1983, 63–75
- RADNAINÉ GYÖNGYÖS Zs. 1991: A mecseki szén szerkezetének szerepe a gázkitérések kialakulásában. – Kandidátusi értekezés. 125 p.
- SOMOS, L. 1991: Coalbed Methane Fuel in Mecsek Mountains. – Pre-Bid Documentation, Ministry of Industry and Trade, 42 p. OFG Adattár
- STEINBAUER, V. 2002: Exploration of the coal bed gas in pre-existing deep gas wells above the gas field Molve (Podravina, Croatia). – Coalbed Methane Workshop. September 23–26, 2002., Budapest-Pécs, Hungary. CD-ROM, OFG Adattár
- SZIRTES L. 1971: Szén- és gázkitérések leközeldése. – Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 323 p.
- VADÁSZ E. 1952: Kőszénföldtan. – Akadémiai Kiadó, Budapest, 180 p/
- Kézirat beérkezett: 2006. 04. 03.