

A VILLAMOS- ÉS A HŐENERGIA-TERMELÉS SORÁN KELETKEZŐ SZÉN-DIOXID EMISSZIÓJÁNAK ÉS SZÁLLÍTÁSÁNAK KUTATÁSA A BÁNYÁSZATI ÉS GEOTECHNIKAI INTÉZETBEN

RESEARCH OF EMISSION AND TRANSPORTATION OF CARBON-DIOXIDE RESULTED BY PRODUCING HEAT AND POWER GENERATION AT INSTITUTION OF MINING AND GEOTECHNICAL ENGINEERING

MOLNÁR JÓZSEF¹–LADÁNYI GÁBOR²–VIRÁG ZOLTÁN³

Absztrakt: A Bányászati és Geotechnikai Intézetben hosszú idő óta kutatások folynak a villamos- és hőenergia-termelés tüzelőanyagokkal való ellátásával. Ezt a kutatást a TÁMOP 4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 anyagilag és más módon is segítette. Ebben a tanulmányban elsősorban a szén-dioxid-emisszióval, a gáz leválasztásával és szállításával kapcsolatos eredményeinkről adunk számot. Más (gazdasági, geomechanikai) kérdésekben elért eredményeinket más tanulmányokban ismertetjük.

Kulcsszavak: bányászat, környezetvédelem, szén-dioxid

Abstract: Numerous questions of fuel supply of power generation are studied at Institution of Mining and Geotechnical Engineering, University of Miskolc (Hungary). This research was financed and supported by the TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 project. Some results in emission, separation and transportation of carbon-dioxide are discussed in this paper. Other results, obtained in the area of economy and geomechanics are presented in other papers.

Keywords: mining, environmental protection, carbon dioxide

1. A villamos- és hőenergia-termelés eredményeként keletkező szén-dioxid várható mértéke

Számos, a villamos- és hőenergia-termelésre alkalmazott tüzelőanyag füstgázainak összetételét vizsgáltuk meg. Folyékony és gáznemű tüzelőanyagok, magyarországi szenek, mezőgazdasági és erdőgazdasági biomasszák (pl. szalma, kukoricaszár, venyige, energiafű, különféle tűzifaanyagok stb.) füstgázainak összetételét hasonlítottuk össze. Sztöchiometriai számítások eredményeképpen a következőket állapítottuk meg:

¹ DR. MOLNÁR JÓZSEF, egyetemi docens, Műszaki Földtudományi Kar, Bányászati és Geotechnikai Intézet
bgtmj@uni-miskolc.hu

² DR. LADÁNYI GÁBOR, egyetemi docens, Műszaki Földtudományi Kar, Bányászati és Geotechnikai Intézet
gtblaga@uni-miskolc.hu

³ DR. VIRÁG ZOLTÁN, egyetemi docens, Műszaki Földtudományi Kar, Bányászati és Geotechnikai Intézet
gtbvir@uni-miskolc.hu

1. A felsorolt kémiai anyagok és hazai tüzelőanyagok közül elméletben a földgáz szén-dioxid-kibocsátása a legalacsonyabb (0,055–0,060 kg/MJ). Nincs hamutartalma, elhanyagolható a kén-dioxid-emisszió is. Ezzel szemben a vízgőz kibocsátás (0,033–0,045 kg/MJ) többszörösen meghaladja a szenekét, valamint nitrozus gázok és aldehidek képződésével is számolni kell. Az alacsony fajlagos szén-dioxid-kibocsátás azonban számottevően magasabb lehet, ha a kitermelt gáz CO₂-t is tartalmaz. Továbbá akkor is, ha nagy távolságra kell szállítani, és ennek energiaigényével, valamint a volumetrikus veszteséggel is számolunk.
2. A legmagasabb szén-dioxid-emisszió értéket a szenekre kaptuk (0,091–0,118 kg/MJ), mely mintegy másfél-kétszer akkora, mint a kitermelés helyén felhasznált és csak szénhidrogén vegyületeket tartalmazó földgázé. A földgázzal szemben a hazai barnaszeneket és lignitet szinte kivétel nélkül mind a kitermelés helyének közvetlen közelében tüzelték, illetve tüzelik el ma is. A vízgőz kibocsátás mértéke igen alacsony, 0,013–0,022 kg/MJ.
3. A faanyagok szén-dioxid-kibocsátása gyakorlatilag azonos a szenekével, viszont a vízgőz emisszió a magasabb nedvességtartalom következtében jóval magasabb.
4. A földgázok és a szenek fajlagos szén-dioxid-emissziója közé esnek a felsorolt folyékony tüzelőanyagokra, azaz a benzinre, gázolajra, metanolra, etanolra, kerozinra, valamint a zsírra kapott értékek (0,069–0,079 kg/MJ). A szénhidrátok CO₂-kibocsátása megegyezik a szenekre kapott legmagasabb értékekkel. Mindezen anyagok fajlagos vízgőz kibocsátása magas, közel annyi, esetleg magasabb is, mint a földgázé (0,026–0,056 MJ/kg).

2. A szén-dioxid földalatti tárolóiban alkalmazott cementek várható korróziós jelenségei

Sztöchiometriai számítással meghatároztuk a csupán szén-dioxidot, kén-dioxidot és vízgőzt tartalmazó gáz komponenseinek tömegtörtjeit úgy, hogy az oxigén- és nitrogéntartalmat nem vettük figyelembe. Mintha azokat tökéletesen leválasztották volna az égéstermékéből azért, hogy jóval kisebb tömegű gázt kelljen a tárolás helyére szállítani, és ott a föld alatti tárolóba juttatni. A magyarországi szenekre az így korrigált füstgáz összetételben 78–85 m% a szén-dioxid, 11–19 m% a vízgőz és 1,4–5,6 m% a kén-oxid. A tárgyalt biomasszáknál a kén-oxidok gyakorlatilag hiányoznak, a szén-dioxid tartalom valamelyest alacsonyabb, a vízgőztartalom pedig másfél-kétszeres mennyiségű. A metán égéstermékének szén-dioxid tartalma 65–70 m%-a a szenekének, viszont a vízgőztartalom 2,5–4-szeres.

A cementek kémiai és ásványos összetételéből arra lehet következtetni, hogy a szén-dioxid végleges föld alatti elhelyezésére használt kimerült szénhidrogén tározóknál számolni kell a megszilárdult injektáló anyagok korróziójával. A korróziót várhatóan maga a szén-dioxid és amellet a gáz esetleges kén-dioxid- és kén-trioxid-tartalma okozza. Sajnos a tározó tömítettségének folyamatos ellenőrzése komoly műszaki kérdéseket vet fel. A karbonátosodás és az esetleges szulfátosodással együtt járó duzzadási korrózió veszélye mérsékelhető a portlandcementeknél finomabb őrlésű cementek vagy más, kémiailag

rezisztens kötőanyagok alkalmazásával. Azonban minden esetben mérlegelni kell az injektáló anyag esetleges krónikus tönkremenetelének lehetőségét is.

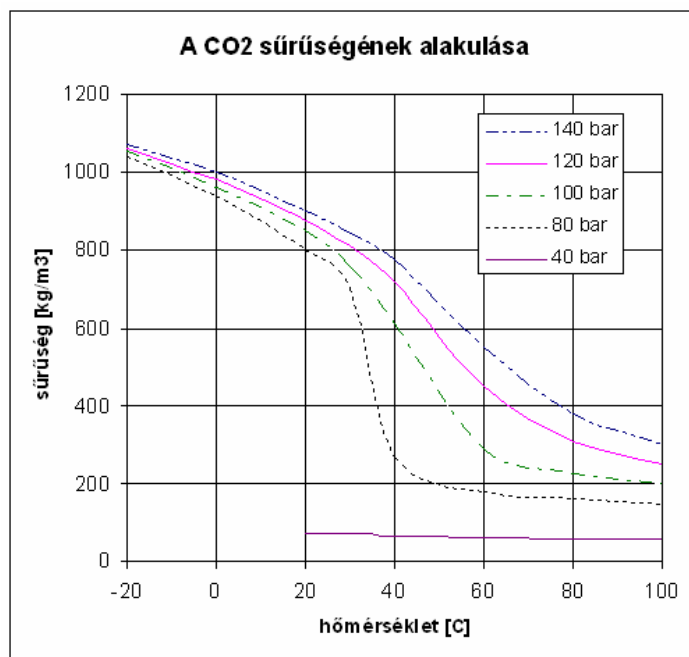
Megvizsgáltuk, hogy ha egy hőerőművet lignit külfejtésből vagy mezőgazdasági eredetű biomassza begyűjtésével látunk el tüzelőanyaggal, akkor az egyes esetekben mekkora szállítási munkával kell számolni. A kapott eredményekből a szén-dioxid-emisszió mértéke és gazdasági eredmények is becsülhetők.

1. Az erőmű szénnel mint energiahordozóval való ellátása lényegesen kisebb szállítási munkát eredményez, mint a biomassza begyűjtése, ha a meddő közvetlen átrakóval szállítják és helyezik el a fejtés mögött a belső hányóban. A meddő körbeszállítása nagyobb szállítási munkával jár.
2. A betakarított biomassza rendszerint nem száraz, termőterülete nem szabályos kör alakú, a szállítás nem csak sugárirányú. Mindezekért a teherösszegyűjtési munka számottevően magasabb lehet a számított értékeknél. Továbbá a dízel tehergépkocsik beszerzési költsége sokkal magasabb, és energetikai hatásfokuk alacsonyabb, mint a bánya szállítószalagjaié. Ezért a szállítás üzemanyagigénye magas, és így a kibocsátott szén-dioxid mennyisége is. Ráadásul a közúti szállítás az utak nagymértékű terhelését okozza, a forgalomsűrűség pedig helyenként elviselhetetlen mértékű környezeti problémákkal jár.
3. A biomassza betakarítása nem folyamatos. Ezért nagy kapacitású tárolók építésére van szükség (ezek tűzbiztonsága komoly problémákat okoz), és a gépjárműpark időbeli kihasználtsága is alacsony fokú.

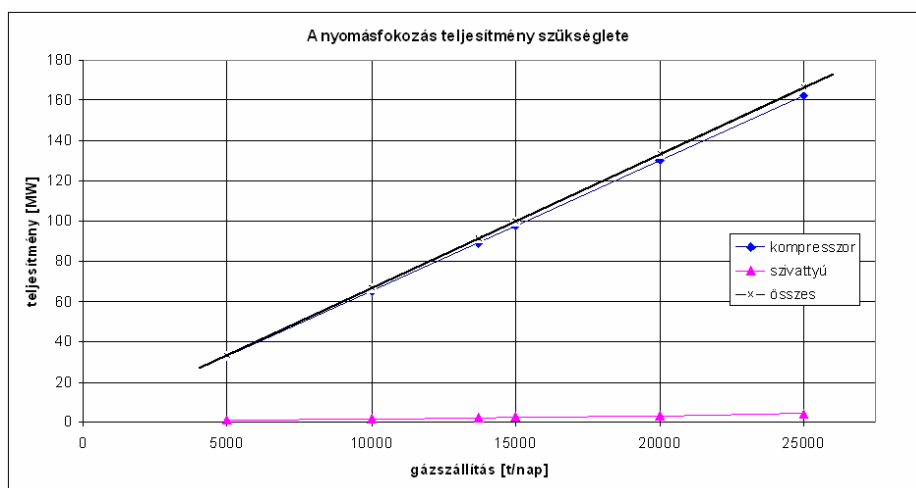
3. A szén-dioxid-szállítás teljesítményigénye

Az erőművi füstgázból leválasztott szén-dioxid általában a légköri nyomáshoz közeli nyomással bír (kb. 1 bar). Azonban a csővezetéki szállítás gazdaságossága érdekében ezt a nyomását igen jelentős mértékben növelni kell. A szállítóvezetékbe való betápláláshoz el kell érni legalább a 150 baros értéket. A kezdetben gáz halmazállapotú szén-dioxid, miközben nyomása növekszik, halmazállapot változáson megy keresztül. Hiszen 1 bar nyomáson halmazállapota légnemű, míg 150 bar-on folyékony vagy úgynevezett szuperkritikus állapotú, függően attól, hogy mekkora a hőmérséklete (1. ábra). Előbbiekből következik, hogy a gáz halmazállapotú közeg nyomásfokozásához kompresszor, míg a folyékonyéhoz szivattyú szükséges. Kérdés: hol célszerű megválasztani a kompresszorozás, illetve szivattyúzás között a határnyomást? Ennek eldöntésében segít, ha a szükséges munka és teljesítmény meghatározásához termodinamikai számításokat végzünk mindkét gépre.

Az elvégzett számítások alapján megállapítható, hogy a hőerőművek tüzelőanyagának elégetéséből képződő szén-dioxid csővezetékbe táplálásához szükséges energia döntő részét a gáz halmazállapotú szén-dioxid nyomásának növeléséhez használjuk fel (2. ábra).



1. ábra. A szén-dioxid sűrűsége a hőmérséklet függvényében különböző (40–140 bar) nyomásértékeknél



2. ábra. A szén-dioxid csővezetékben való szállításához szükséges nyomásfokozási teljesítmény szükséglete a vezetékben áramló anyag tömegárama függvényében

Megállapítható továbbá, hogy az energiaigény átlagban az erőmű által megtermelt villamos energia 10%-a körül mozog. Az üzemeltetési költségek tekintetében döntő fontosságú tehát, hogy az alkalmazott gépek közül a kompresszorok a lehető legjobb hatásfokkal működjenek. A nyomásnövekedés közben felmelegedő gáztól utóhűtéssel elvont hő hasznosításával a hajtásnál bevitt energia egy része, a teljes erőművi rendszert tekintve visszanyerhető. A hasznosítás mértékétől tehát nagymértékben függ az egész CCS-rendszer által igényelt többletenergia részaránya. A világ néhány országában – Amerikai Egyesült Államok, Ausztrália – már üzemelő rendszereknél nyert tapasztalatok szerint ez a ~10%-os többlet ~5–6%-ra csökkenthető.

4. Föld feletti szén-dioxid szállító csővezetékek optimális méretezése

A különböző szerkezetek optimális tervezése nagyon jelentős megtakarításokat hozhat mind a felhasznált alapanyagok, mind a ráfordított költségek tekintetében. Számos tanulmány igazolja, hogy a tervezés során figyelembe vett feltételek pontos megválasztása nagyon fontos szerepet játszik az optimális szerkezet végleges geometriájában. Ilyen optimáló vizsgálatnak lett tárgya a föld feletti CO₂-csővezeték is (3. ábra).



3. ábra. Föld feletti elhelyezett szén-dioxid szállító csővezeték

A vizsgálat célja megtalálni a legkisebb folyóméter tömeget egy adott terhelés esetére. Csőszerkezeteknél első lépésként úgy juthatunk el a lehető legkisebb folyóméter tömegekhez, amelyek a költség csökkenését eredményezhetik, hogy különböző feltételeket figyelve csökkentjük a külső átmérőket és a hozzájuk tartozó falvastagságokat.

Az ilyen nagy nyomású csővezetékek méretezésénél három feltételt kell figyelembe venni, melyek a feszültségi feltétel, a lehajlási feltétel és a karcsúsági feltétel. A feszültségi feltételt a különböző terheléseknek a összegzéseként számíthatjuk. Figyelembe kell vennünk az alapszerkezet önsúlyából adódó terhelésből számítható feszültséget és a csőszerkezet belső túlnyomása során keletkező feszültséget. A csőszerkezet lehajlását a támaszok között korlátoznunk kell, hogy a szerkezet deformációja egy bizonyos mértéket ne haladjon meg. A stabilitás az egyik legfontosabb probléma a fémszerkezetek tervezésében, mert az instabilitás sok esetben okoz meghibásodást vagy tönkremenetelt. A feltétel ez esetben a csőszerkezet külső átmérő és a falvastagság hányadosától függ. Ezek teljesülésével kapható meg az a külső átmérő és falvastagság páros, amely az adott szerkezet legkisebb tömegét eredményezi.

A kereskedelmi forgalomban kapható geometriákat az EN 10220:2002 szabvány tartalmazza. Mivel az így figyelembe vehető méretválaszték behatárolt, ezért érdemes elvégezni egy szisztematikus vizsgálatot. Az adott külső átmérők értékét csökkentve juthatunk el az optimumhoz, minden esetben keresve a lehető legkisebb falvastagságot. Nagy külső átmérők esetén a falvastagság csökkentésének stabilitási feltétel szab határt, kisebb külső átmérők esetén pedig a feszültségi feltétel válik először aktívvá. Ezeknek a feltételeknek a hatása az, hogy a külső átmérő csökkentése egy bizonyos szint után már nem eredményez folyómétertömeg csökkenést, és az érték már növekedni fog. Ez a változó tendencia igazolja, hogy a különböző feltételek aktívvá válása befolyásolja az optimális szerkezet végleges geometriáját. A számított eredmények e szerkezet optimális tervezésénél is megmutatják, hogy bizonyos méretcsökkentés már nem hoz további végeredmény javulást. Ezért ebben az esetben is igazolható az optimális méretezés létjogosultsága és fontossága.

5. A kutatási programban közzétett eredmények

A Bányászati és Geotechnikai Intézetben a TÁMOP 4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 témájában a 2011–2012 időszakban a következő folyóirat- és konferenciacikkek, -előadások, konferenciakötetek, oktatási segédletek készültek (a szerzők betűrendjében):

- Jármái Károly–Virág Zoltán–Oláh Róbert: *Hegesztett kötések fáradása és hőfáradása*. Hegesztési felelősök XIII. Országos Tanácskozása. Hajdúszoboszló, Konf. CD, 2011. szeptember 15–16. o.
- Jármái Károly–Virág Zoltán–Oláh Róbert: *Hegesztett kötések fáradása és hőfáradása*. Egesztéstechnika, XXIII. évfolyam, 2012/1., 25–31. o.
- Jármái, Károly–Farkas, József–Daróczy, Levente–Dúl, Róbert–Kovács, György–Virág, Zoltán–Barcsák, Csaba.: *Our new achievements in structural optimization*. Architectural. Engineering and Information Sciences. Eighth International PhD & DLA Symposium, University of Pécs, Pollack Mihály Faculty of Engineering and Information Technology, October 29–30, 2012, Pécs, Hungary, Abstract book 72. p.

- Ladányi Gábor: *A széndioxid biztonságos csővezetéki szállításának alapvető kérdései*. Bányászati és Kohászati Lapok, Bányászat, 145. évfolyam, 2012/1. szám 18–21. o.
- Ladányi Gábor: *A szén-dioxid biztonságos csővezetéki szállításának alapvető kérdései*. Bányászati és Kohászati Lapok Kőolaj és Földgáz, 145. évfolyam, 2012/2. szám. 1–4. o.
- Ladányi Gábor: *A szén-dioxid csővezetéki szállításához kapcsolódó alapvető energetikai számítások*. Bányászati és Kohászati Lapok, Bányászat, 145. évfolyam, 2012/5. szám, 52–55. o.
- Ladányi, Gábor–Nagy, Ervin: *Computer aided system for verification of belt conveyors*. Mechnizacja i Automatykacja Gornictwa; 2012/11 (501); pp. 37–44., PL
- Ladányi, Gábor–Molnár, József (editors): *Continuus Surface Mining*. Latest Developments in Mine Planning, Equipment and Environmental Protection. Proceedings of the 11th International Symposium of Continuous Surface Mining, 25–27 June, 2012, University of Miskolc, Hungary. p. 281.
- Molnár József: *Tüzelőanyagok alkalmazásának néhány következménye és magyarországi jogi szabályai*. Oktatási segédlet. Miskolci Egyetem, Bányászati és Geotechnikai Intézet. Miskolc, 2012. 55 o.
- Molnár József: *Föld alatti szén-dioxid tárolókban várható cementkorróziós problémák*. In: Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság (EMT), XIV. Bányászati, Kohászati és Földtani Konferencia. Arad, 2012. március 29. április 1., 84–88. o.
- Molnár, József–Debreczeni, Ákos: *Comparison of Emission Rates of Power Generation Using Coal or Biomass as Fuel*. 22nd World Mining Congress&Expo, 11–16 September, 2011, İstanbul (Turkey). In: Sinasi Eskikaya (editor): *Proceedings of 22nd World Mining Congress*. Turkish National Committee. Volume III, pp. 103–109.
- Molnár, József: *Expected Cement Corrosion Problems in Underground Carbon-Dioxide Disposal*. Geosciences and Engineering. A Publication of the University of Miskolc. Volume 1, Number 1 (2012), pp. 217–222. Miskolc University Press, 2012.
- Molnár, József: *Remarks on the Problem of our Energy Sources*. In: Geosciences and Engineering. A Publication of the University of Miskolc, Volume I, Number 2 (2012), pp. 105–110.
- Molnár József: *A tüzelőanyag-szállítás szerepe lignit és biomassza tüzelésű hőerőművek esetén*. In: Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság (EMT), XV. Bányászati, Kohászati és Földtani Konferencia. Beszterce, 2013. április 4–7., 63–67. o.
- Virág Zoltán–Jármai Károly: *Bordázott lemezek fáradás vizsgálata különböző bordatípusokra*. Innovációs Gépészeti Tervezés és Technológiák Disszeminációs Konferenciája, Miskolc, 2012. január 30., Gép, LXIII. évfolyam, 2012/2. 41–44. o.
- Virág Zoltán–Jármai Károly: *Lemezborítás lemez fáradás vizsgálata és optimalása*. Géptervezők és Termékfejlesztők XXVII. Országos Szemináriuma, Miskolc, november 10–11., Gép, LXII. évfolyam, 2011/9–10. II. kötet, 51–54. o.

Ugyanezen időszakban a következő szakdolgozat (műszaki földtudományi (BSc.) alapszak, bánya és geotechnikai szakirány) és tudományos diákköri dolgozat konzultálására nyújtott segítséget a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 az intézetnek:

- Jónás János: *A tervezett Máza-déli feketeszén bánya néhány bányaműszaki paraméterének elemzése*. Szakdolgozat, B. Sc. képzés. Egyetemi konzulense: Molnár József, egyetemi docens. Üzemi konzulense: Kaufmann Tibor, okl. bányamérnök, Calamites Kft. Miskolci Egyetem, Bányászati és Geotechnikai Intézet, 2012.
- Csicsék Ákos: *A fedő széntelep fejtésmódjának vizsgálata Bakonyoszlop-Kőhegy bauxitbányában*. Tudományos diákköri dolgozat. Konzulense: Molnár József, egyetemi docens. Miskolci Egyetem, Bányászati és Geotechnikai Intézet, 2011.

Köszönetnyilvánítás

„A tanulmány a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként – az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.”

