

Szén, biomassza és más tüzelőanyagok emissziójának összehasonlítása a villamos energia termelésben

Comparing emission rates of coal, biomass and other kind of fuels in the power generation

Dr. MOLNÁR József¹, Dr. DEBRECENI Ákos

¹Miskolci Egyetem, Bányászati és Geotechnikai Intézet, H-3515 Miskolc-Egyetemváros, Magyarország, e-mail: bgtmj@uni-miskolc.hu

²Miskolci Egyetem, Bányászati és Geotechnikai Intézet, H-3515 Miskolc-Egyetemváros, Magyarország, e-mail: bgtda@uni-miskolc.hu

Abstract

A very important question of the recent energy crisis to find the best sources of the available fuels. Domestic sources can ensure extreme supply security, no matter mineral or biofuels are used. Furthermore lower transportation costs due to short distances can be advantageous from economic point of view. Some important theses of their utilization based on emission rates are discussed in this paper.

Kulcsszavak: szénbányászat, energiahordozók, biomassza, földhasználat, energiabiztonság

1. TÜZELŐANYAGOK ÉGETÉSEKOR VÁRható FÜSTGÁZ EMISSZIÓ

Mindannyiunk előtt ismert tény, hogy a jelenlegi energiakrízis idején felértékelődik hazai energiaforrásaink szerepe. A „klímavédelmi” célok teljesítése érdekében elsősorban a megújuló energiaforrások fokozott igénybevételét ösztönzik a támogatási források, de nyilvánvaló, hogy ma még megújulókkal nem lehet teljesen kiváltani a fosszilis energiahordozók használatát, így a földgázimportot sem. Határainkon belül azonban jelentős szénvagyonnal rendelkezünk, melynek intenzívebb felhasználásával csökkenthetnénk az importfüggőségünket. Amióta az emberek tudatában elültették, hogy „klíma-vészhelyzet” van, a szén modern, hatékony és kevésbé környezetszennyező felhasználását sürgető szakemberek szavát, elnyomja a „környezetvédők” kampánya. Az átlagember számára a sajtó is rendkívül leegyszerűsített sablonos információkat közöl. Az energiahordozókat fehér és fekete csoportokba sorolják ahelyett, hogy az ennél sokkal összetettebb valós képet próbálnák ismertetni. Jó példa erre ez elektromobilizáció kérdése, ahol már az átlagember is tapasztalja, hogy sokkal összetettebb a kép annál, mintsem a belső égésű motorok szennyezőek a villamos hajtás pedig nem jár károsanyag kibocsátással. Hasonló a helyzet a szilárd tüzelésű erőművek esetében is, ahol a biomassza égetését támogatandónak hirdetik, miközben a szén elégetése ellen foggal-körömmel hadakoznak. Ebben a rövid tanulmányban különböző hazai szenek, szénhidrogén alkotók és származékok, valamint biomasszák energetikai jellemzői és környezetterhelésük összehasonlításával kívánjuk szemléltetni, hogy valójában mennyire összetett a kép. A kérdés aktualitását az adja, hogy az energiakrízis miatt igyekeznek jobban kihasználni a Mátrai Erőmű blokkjait, illetve ahol erre lehetőség van, ösztönzik a gázfűtés kiváltását széntüzeléssel. Ezeket az intézkedéseket egyesek erősen támadják, ezért érdemes megvizsgálni jobban terheli-e a környezetet a szén elégetése a szénhidrogénekhez, illetve a biomassza-tüzeléshez képest.

Tüzelőanyag minták szakirodalmi forrásokból vett műszaki jellemzőiből becsültük meg az egyes energiahordozók elégetésekor várható emissziós adatokat. Tanulmányunkban az egyes magyarországi szénmedencékből származó szén mintákat, kémiai anyagokat, valamint különféle olajszármazékokat és biomasszákat vizsgálunk meg [4]. Előnyben részesítettük a szilárd és a folyékony tüzelőanyagokat, mert ezek füstgáz összetétele a tapasztalatok szerint jól becsülhető magának a tüzelőanyagnak az összetételéből. Eredményeinket az 1-3 táblázatokban foglaltuk össze.

1. táblázat. Magyarországi szén minták összetételéből becsült füstgáz emisszió értékek

minta	nedves- ségtar- talom (-)	hamu- tarta- lom (-)	fűtő-ér- ték (MJ/kg)	CO ₂ emisz- szíó (kg/MJ)	H ₂ O emisz- szíó (kg/MJ)	SO _x emisz- szíó (kg/MJ)	hamu emisz- szíó (kg/MJ)
pécsi iszapszén [1]	0,211	0,288	16,45	0,0938	0,0136	0,0024	0,0175
pécsi kokszzsén [1]	0,069	0,103	28,15	0,0929	0,0143	0,0018	0,0037
komlóai aknaszén [1]	0,044	0,204	24,29	0,0929	0,0147	0,0016	0,0084
ajkai tört akna II szén [1]	0,198	0,330	10,47	0,0948	0,0128	0,0065	0,0315
várpalotai porlignit [1]	0,410	0,161	9,27	0,1142	0,0183	0,0026	0,0174
várpalotai ahidrált por lignit [1]	0,197	0,132	16,69	0,1001	0,0177	0,0035	0,0079
márkushegyi erőműi szén ter- vezett jellemzői [1]	0,160	0,285	15,28	0,0911	0,0181	0,0055	0,0187
oroszlányi szén [3]	0,139	0,434	10,12	0,1080	0,0215	0,0077	0,0429
felsőgallai aknaszén [1]	0,111	0,174	19,98	0,0957	0,0188	0,0045	0,0087
tatabányai brikett [1]	0,129	0,138	21,35	0,0925	0,0197	0,0036	0,0065
mányi erőműi szén tervezett jellemzői [1]	0,170	0,215	17,59	0,0917	0,0193	0,0056	0,0122
nagygyeházi erőműi szén terve- zett jellemzői [1]	0,150	0,305	14,86	0,0912	0,0198	0,0059	0,0205
lencsehegy II erőműi szén terve- zett jellemzői [1]	0,130	0,14	20,94	0,0884	0,0171	0,0062	0,0067
kányási porszén [1]	0,229	0,302	11,50	0,1007	0,0171	0,0049	0,0263
lyukói kocka-darabosszén [1]	0,316	0,098	14,89	0,0994	0,0162	0,0019	0,0066
visontai lignit [1]	0,453	0,252	5,720	0,1179	0,0281	0,0028	0,0441
visontai lignit [3]	0,476	0,205	6,590	0,1105	0,0263	0,0026	0,0311

2. táblázat. Néhány folyékony tüzelőanyag és egyes biomassza fajták fűtőértéke és az elégetésükkor várható füstgáz emisszió

minta	nedves- ségtar- talom (-)	hamu- tarta- lom (-)	fűtő-ér- ték (MJ/kg)	elméleti oxigén- igény (kg/MJ)	CO ₂ emisz- szíó (kg/MJ)	H ₂ O emisz- szíó (kg/MJ)	SO _x emisz- szíó (kg/MJ)	hamu emisz- szíó (kg/MJ)
fűtőolaj	0,000	0,0000	39,77	0,0811	0,0788	0,0261	0,0012	0,0000
benzin	0,000	0,0000	42,035	0,0767	0,0703	0,0302	0,0000	0,0000
gázolaj	0,000	0,0000	41,843	0,0796	0,0758	0,0276	0,0001	0,0000
repceolaj	0,000	0,0000	35,8	0,0808	0,0788	0,0300	0,0000	0,0000
bükkfa	0,150	0,0080	14,90	0,0747	0,0989	0,0324	0,0000	0,0005
tölgyfa	0,069	0,0080	16,90	0,0750	0,1010	0,0286	0,0000	0,0005
tűzifa	0,000	0,0052	18,5	0,0699	0,0931	0,0304	0,0000	0,0003
fakéreg	0,000	0,0714	16,2	0,0791	0,1063	0,0298	0,0001	0,0044
fa	0,000	0,0265	18,1	0,0712	0,0951	0,0296	0,0001	0,0015
búzaszalma	0,000	0,0528	17,3	0,0720	0,0953	0,0310	0,0001	0,0031
kukoricaszár	0,000	0,0878	17,5	0,0705	0,0921	0,0296	0,0001	0,0050
miscantus	0,000	0,0320	17,4	0,0725	0,0969	0,0308	0,0000	0,0018

2. NÖVÉNYI BIOMASSZÁVAL FŰTÖTT ERŐMŰVEK MINIMÁLIS MÉ- RETŰ ELLÁTÓ KÖRZETEI

Egyszerű modellel becsüljük meg, hogy egy adott villamos teljesítményű (P) és energiaátalakítási hatásfokú (η), növényi biomasszával fűtött villamos erőmű egy-egy évre való tüzelőanyagát mekkora körzetben lehet megtermelni, mekkora tároló kapacitást kell hozzá kiépíteni és hogy legalább mekkora szállítási

munkával jár a betakarítás. A szükséges növényi biomasszát megtermő területet tekintjük R sugarú körnek, melynek közepén R_0 sugarú kör alakú részt foglal el a tároló és az erőmű. A tüzelőanyagként szolgáló F fűtőértékű biomasszából egységnyi területen évente q tömegű terem, melyet terméshozamnak tekinthetünk.

3. táblázat. Néhány kémiai anyag összetétele, fűtőértéke és az elégetésekor várható füstgáz emisszió

a vegyület	fűtőértéke (MJ/kg)	CO ₂ emisszió (kg/MJ)	H ₂ O emisszió (kg/MJ)
grafit, C (s) → CO ₂ (g)	32,763	0,11184	0,00000
grafit, C (s) → CO (g)	9,202	0,00000	0,00000
szén-monoxid, CO (g) → CO ₂ (g)	10,103	0,15552	0,00000
hidrogén, H ₂ (g) → H ₂ O	119,957	0,00000	0,07450
rombos kén, S (s) → SO ₂ (g)	9,257	0,00000	0,00000
rombos kén, S (s) → SO ₃ (g)	12,342	0,00000	0,00000
metán, CH ₄ (g)	50,008	0,05486	0,04491
etán, C ₂ H ₆ (g)	47,486	0,06164	0,03785
propán, C ₃ H ₈ (g)	46,327	0,06463	0,03528
bután, nC ₄ H ₁₀ (g)	45,406	0,06670	0,03413
pentán, nC ₅ H ₁₂ (f)	44,886	0,06795	0,03338
hexán, nC ₆ H ₁₄ (f)	44,569	0,06875	0,03283
heptán, nC ₇ H ₁₆ (f)	44,521	0,06905	0,03231
oktán, nC ₈ H ₁₈ (f)	43,355	0,07109	0,03274
etilén, C ₂ H ₄ (g)	47,298	0,06634	0,02715
propilén, C ₃ H ₆ (g)	45,779	0,06854	0,02806
acetilén, C ₂ H ₂ (g)	48,228	0,07009	0,01435
metanol, CH ₃ OH	19,923	0,06894	0,05644
etanol, C ₂ H ₅ OH	26,801	0,07129	0,04377
kerozin [2], C ₁₂ H ₂₆ (f)	44,107	0,07029	0,03117
zsír [2], C ₄₅ H ₈₆ O ₆ (s)	35,853	0,07638	0,02988
glükóz, C ₆ H ₁₂ O ₆ (s)	14,105	0,10392	0,04254
fruktóz, C ₆ H ₁₂ O ₆ (s)	15,087	0,10226	0,03837

Az erőművet ellátó körzet sugara:

$$R = \sqrt{R_0^2 + \frac{P}{\pi \cdot \eta \cdot q \cdot F}}$$

Az évente biztosítandó tüzelőanyag mennyiség (biztonsági tartalék nélküli) mennyiségét a tüzelőanyag tömegáramával tudjuk kifejezni. Ennek megfelelően a készletrezen kiépítendő tároló kapacitás mértéke:

$$\dot{m} = \frac{P}{\eta \cdot F}$$

A betakarítás évenkénti szállítási munkájára az úthálózat szerkezetét nem ismerve csak egy minimális érték becsülhető, mely a sugárirányú szállításból adódik:

$$S_{rad} = \int_{(A)} r \cdot q \, dA = \frac{2\pi}{3} \cdot q \cdot (R^3 - R_0^3).$$

A körzetben a biomasszát csak az erőmű ellátására termesztik, az egységnyi termőterületre számított energiasűrűség állandó, a „terméshozam” értéke $q = 1 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{év}^{-1}$. Továbbá az egyszerűség kedvéért az erőmű és a tüzelőanyag tároló méretét a termőterület méretéhez képest elhanyagoltuk ($R_0 \approx 0$), illetve az energiaátalakítási hatásfokot $\eta = 40\text{-}60\%$ -nak vettük.

Kisebb, 5 MW villamos teljesítményű és 40 % hatásfokú ellátó körzete 2,7 km sugarú. Így az évente megtermelendő, raktározandó és eltüzelendő száraz biomassa tömege 22500 t. A szállítási munka sugárirányú komponense a betakarításra 40200 tkm/év. Az érintő irányú (tangenciális) komponens mértéke csak az úthálózat szerkezete ismeretében becsülhető meg, a termeléshez szükséges további szállítási feladatokkal most nem foglalkozunk. Magasabb, 50 %-os hatásfokra az ellátó körzet 2,4 km sugarú, a biomassa tömege 18000 t/év, a szállítási munka sugárirányú komponense 28800 tkm/év. Az ellátó körzet sugara 60 % hatásfok mellett is 2,2 km. Látható tehát, hogy egy kisváros vagy néhány kisebb falu ellátásához megfelelő 5 MW-os biomassa erőmű 5-6 km átmérőjű körzetet és kb. 20000 tonna (legalább 40000 m³) kapacitású tüzelőanyag tárolót igényel. Ezek a méretek nem jelentéktelenek. Az ilyen kis teljesítményű erőművekből esetleg több százat is üzemben kell tartani az országos hálózathoz kapcsolva, ha számottevő erőművi kapacitást szándékoznak növényi biomasszával működtetni.

Egy 50 MW teljesítményű szalmatüzelésű erőműhöz 40 %-os hatásfokkal a modellünkkel 8,5 km sugarú ellátó körzet adódik és évente 225000 t szalma tömeg. Ha egy ilyen erőműhöz nem telepítenek egy legalább fél millió m³ kapacitású központi tüzelőanyag tárolót, mert a szalmát decentralizálva akarják a felhasználásig elhelyezni, akkor például 20 tonnás fuvarokkal és az év minden napján való szállítással számolva is naponta átlagosan 30-35 fuvarnak kell az erőműhöz érkeznie. A szállítási munka sugár irányú komponense 1,27 millió tkm/év volna, ha az erőmű a gabonatermő körzet közepén helyezkedne le. Ha nem a közepén van, akkor a telepítésmélet tanítása szerint nyilván jóval magasabb érték adódik. Magasabb, 50 % hatásfokra kissé kedvezőbb értékek adódnak: a sugár 7,6 km, a biomassa tömege 180000 t/év, a sugárirányú szállítási munka 0,91 millió tkm/év.

Megbecsültük egy 800 MW-os erőműre is a vizsgált paramétereket. A lignittel fűtött visontai erőmű, melyet két külfejtés négy évtizede el tud látni tüzelőanyaggal, közel ilyen teljesítményű. Nos, az ellátó körzet sugara 34 km volna, területe pedig szinte pontosan annyi, mint Heves megyéé. A szállítási munka sugárirányú komponensére pedig 81,4 millió tkm/év adódnék. Ez a megoldás tehát irreális volna.

3. AZ EGYES TÜZELŐANYAG FAJTÁK ALKALMAZÁSÁVAL KAPCSOLATBAN LEVONHATÓ KÖVETKEZTETÉSEK

A szénkészletek értékelésében fontosak a következő megállapítások a vizsgálatok eredményeképpen:

1. Lignit és feketeszen vagyunk jóval több, mint 100 évre elegendő, de inkább több százra. Növényi biomassa készletünk becsülhetően 2000-4000 MW erőműi kapacitást tud ellátni. Termőterülete kb. Bács-Kiskun megyényi, de a fél ország területén szétagoltan helyezkedik el. Betakarítása időben koncentrálni jelentkezik, ezért az egész éves készletnek tároló helyet kell biztosítani. A fajlagos szállítási munka és a szükséges tároló kapacitások biztosításának költsége nagyipari felhasználás esetén magasabbak, mint a szénbányászatban.
2. A tüzelőanyag egységnyi fűtőértékére számított fajlagos emissziós ráta nagyon fontos műszaki jellemző a hő- és villamosenergia-termelés tüzelési folyamatainak értékelésében. A tüzelőanyag egységnyi hőtartalmára eső emittált szén-dioxid tömeg közel azonos a különböző szénfajták elégetésekor, a számos hazai szénminta elemzése szerint. A széntüzelésből származó kibocsátás valamivel magasabb, mint a folyékony szénhidrogéntermékek és a biomassa elégetésekor, és 1,5-2-szerese a földgáz alapkomponekének, a metánnak (1., 2. és 3. táblázat).
3. A közkeletű vélekedéssel ellentétben a biomassa nem ugyanannyi szén-dioxid ekvivalens mennyiségű üvegház hatású gázt bocsát ki eltüzeléskor, mint amennyi szén-dioxid gázt megköt. Korhadáskor ugyanis 21-szeres ÜHG tényezőjű metán is keletkezik. Márpedig a jogi szabályozás azt feltételezve adott mentességet a szén-dioxid emissziós elszámoltatás alól, hogy a kibocsátott és a megkötött üvegház-gáz mennyiség azonos.
4. Bár a vízgőz üvegházhatása nem elhanyagolható, a gőz kibocsátást a magyar szabályok nem korlátozzák. A szén fajlagos vízgőz kibocsátása lényegesen alacsonyabb (fele-harmada), mint a földgázé és a biomasszáé.
5. Nagy mennyiségű szén eltüzelésekor jelentős a kén-dioxid kibocsátás, ezért a széntüzelésű erőművekben füstgáz-kéntelenítő egységeket kell üzemeltetni, ami többletköltséggel jár. A földgáz és a biomassa eltüzelése nem jár magas kén-oxid emisszióval.
6. Mintegy 2000-20000 évre van szükség, amíg Magyarország 1 m² jó termőtalajú területe olyan mennyiségű hőt tud biomassa formájában előállítani, mint amennyit egy szénlelőhely azonos területéről ki lehetne termelni. Tehát ahhoz, hogy a szénbányászat helyett a mezőgazdasági vagy erdőgazdasági ültetvényekből biomasszaként azonos mennyiségű hőt állítsanak elő, lényegesen (ezer-tízezerszer) nagyobb területre van szükség az országban.

7. A növényi biomassza nem ingyen terem és nem magától újul meg. Legfőljebb akkor, ha hulladék, akkor is csak *in situ* értelemben. Kiaknázása (begyűjtése, tárolása, feldolgozása) és újratelepítése ugyanúgy jelentős költségekkel jár, mint a bányászat.
8. Biomasszát a magas szállítási munka és költségek miatt célszerűbb kis erőműi kapacitások esetén alkalmazni. Ez viszont a termelés széttagolódásával jár, és számos erőműi blokk telepítését teszi szükségessé.
9. A biomasszából feldolgozott energiahordozó (pl. biodízel-olaj, bioetanol, pellet, stb.) piaci ára nem lehet magasabb, mint a szénből vagy szénhidrogénből előállítotté. Ezért a magasabb önköltség miatt állami, tehát közpénzből fizetett szubvenciót igényel.
10. Az eltüzelt szalma és kukoricaszár az állattartásban, az etanol gyártásra felhasznált cukorrépa cukorgyártásra már nem használható. Kivágott faállomány légköri széndioxidot már nem köt meg. Ezzel szemben az élni hagyott, esetleg újratelepített erdők képesek megkötni a biomassza és a fosszilis energiahordozók égetésekor keletkező szén-dioxidot, tehát ellensúlyozhatják a hőerőműi emissziót. Továbbá a klíma javításában és bizonyos környezeti kockázatok mérséklésében is segíthetnek.
11. Megfontolandó tehát, hogy a 20 MW-nál magasabb bemenő teljesítményű tüzelőberendezéseket üzemeltetők is legalább részleges mentességet kapjanak a szén-dioxid emissziós korlátozás alól, ha megfelelő méretű erdőterületet tartanak fenn.
12. Magyarország területének egy lakosra jutó átlaga 9300 m². Ha az összes energiaigényét biomassza elégetésével biztosítanák, ahhoz ebből 6400 m² termőterületre volna szükség. Ha csak a villamos energia szükségletét, akkor csak kb. 3000 m²-re.

Irodalom

1. BALASSA GÁBOR, 1986: Égés áramlásban. Tankönyvkiadó, Budapest, 205 p.
2. EBBING, D. D., WRIGHTON, M. S., 1987: General Chemistry. Houghton Mifflin Company, Boston, 979 p
3. FARKAS OTTÓNÉ, 1990. Ipari kemencék tüzeléstanai számításai. Tankönyvkiadó, Budapest, 478 p.
4. MOLNÁR JÓZSEF, 2010. Alternatívája-e ma a növényi biomassza a szénnek a villamos energia termelésben? Bányászat és Geotechnika. A Miskolci Egyetem Közleménye, A sorozat, Bányászat, 79. kötet, pp 53-61. Miskolc, Egyetemi Kiadó, 2010.
5. MOLNÁR, JÓZSEF DR. – DEBRECZENI, ÁKOS DR.: *Comparison of Emission Rates of Power Generation Using Coal or Biomass as Fuel*. 22nd World Mining Congress&Expo, 11-16 September, 2011, Istanbul (Turkey). In Dr. Sinasi Eskikaya (editor): Proceedings of 22nd World Mining Congress. Turkish National Committee. Volume III, pp 103-109. ISBN 978-605-01-0145-1 (Takim), ISBN 978-605-01-0149-2 (3. Cilt)