

# SZÉNPORTÜZELÉS FLUIDIZÁCIÓS MÓDSZERREL

REMÉNYI KÁROLY\*

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK DOKTORA

és

VÖRÖS LÁSZLÓ\*\*

[Beérkezett: 1974. október 15-én]

A tanulmány kísérleti berendezésben megvalósított, fluidizációs tüzelés kutatása során elért eredményekről számol be. A kísérlet igazolja, hogy rendkívül magas hőátadási tényező érhető el a tüzelési mód során, de támpontot ad a további vizsgálatok célkitűzéseire is. Értékelése alapján a további részletesebb kutatások új kazánkonstrukciók megvalósítását lehetővé tehetik, továbbá környezetvédelem szempontjából kedvező eredmények érhetők el.

## 1. Bevezetés

A fluidizációs tüzeléssel üzemelő berendezések alkalmazása világviszonylatban egyre inkább előtérbe kerül. Számos kísérlet már igazolja, hogy a fluidizációs tüzeléssel milyen kiváló eredmények érhetők el, különösen a hőátadási tényező vonatkozásában. Ez a berendezések méreteinek lényeges csökkenését eredményezi. E hőtechnikai előnyei mellett utóbbi időben egyre több közlemény foglalkozik a fluidizációs tüzelésnek a környezetvédelem szempontjából való kedvező tulajdonságaival. A fluidágyban égő tüzelőanyagnál a visszamaradó pernye jelentős kénmennyiség lekötését teszi lehetővé, így a környezet szennyezés mértéke csökken.

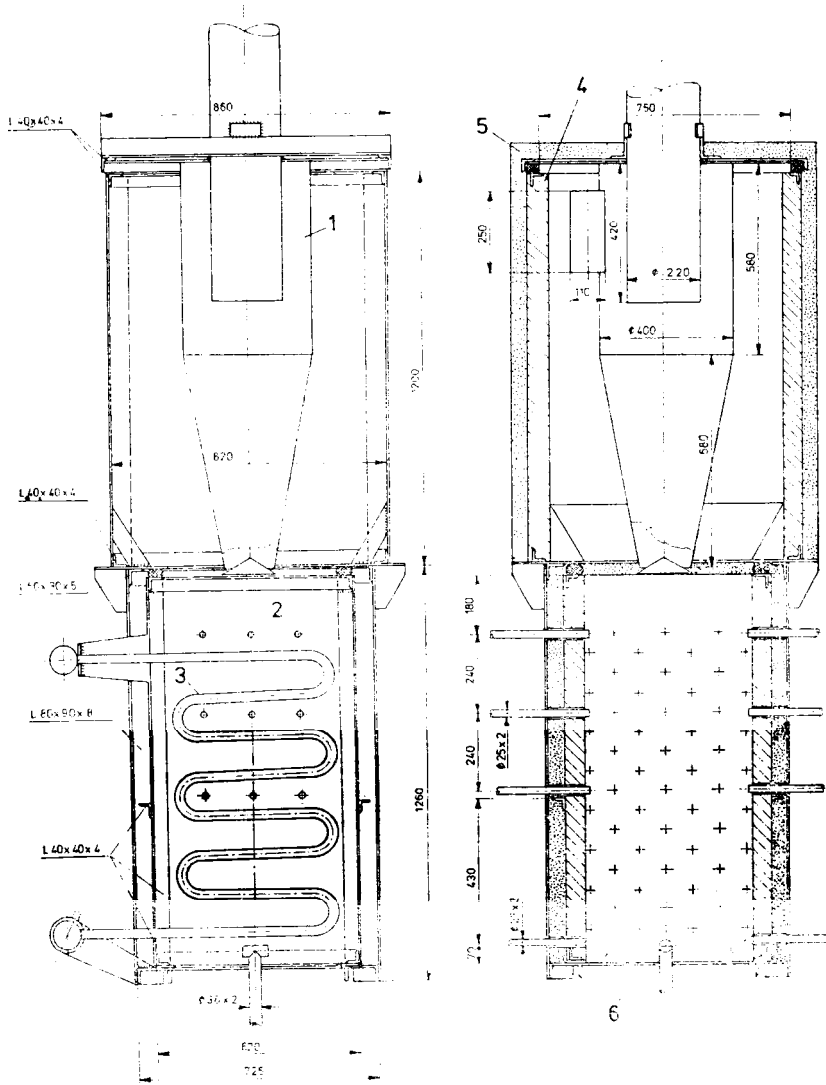
Ezen ismeretek és a (10) hazai szabadalomban kifejtett gondolat alapján a Magyar Villamos Művek Tröszt és a Tatabányai Szénbányászati Tröszt megbízása alapján a konkrét kutatások hazai szennyezéssel is történtek.

## 2. A kísérletek leírása

A szénpornak a fluidizációs folyamatban való viselkedésével kapcsolatos intézeti (Villamosenergiaipari Kutató Intézet) izotermikus körülmények között végzett kutatások eredményeinek [1], [2], továbbá az irodalomban közöltek

\* Dr. Reményi Károly 1014 Budapest, Uri u. 38

\*\* Vörös László 1141 Budapest, Paskál malom u. 7



1. ábra. Fluidizált állapotban történő szénportüzelés kísérleti berendezése.

1 — tüztérkilépésnél elhelyezett ciklon; 2 — fluidizációs tüztér; 3 — hűtőcsövek; 4 — hőálló falazat; 5 — szigetelés (üvegyapot); 6 — porózus levegőelosztó helye.

[3—10] alapján fluidizált állapotban történő szénportüzelés kísérleti berendezésén való vizsgálatát végeztük el. A kísérleti tüzelőberendezés megtervezését az izotermikus vizsgálatoknál nyert eredmények tették lehetővé. A berendezés két fősíkjában elhelyezkedő metszetét az 1. ábra mutatja (az 1. ábra baloldalán a metszet falazat nélkül látható).

A berendezés méretezéséhez figyelembe vett legfontosabb tervezési adatok:

|   |                               |
|---|-------------------------------|
| Tatabányai szén   | 0 ÷ 6 mm szemnagyság          |
| Fűtőérték   | 5 044 kcal/kg                 |
| Hamu  | 12,16%                        |
| Nedvesség   | 12,61%                        |
| Elméleti levegőmennyiség  | 5,58 Nm <sup>3</sup> /kg      |
| Elméleti füstgázmennyiség   | 6,05 Nm <sup>3</sup> /kg      |
| Rostély felület   | 0,25 m <sup>2</sup>           |
| Levegősebesség  | 0,8 m/s                       |
| Levegőmennyiség   | 720 m <sup>3</sup> /h         |
| Szénmennyiség   | 109 kg/h                      |
| Felszabadított hőmennyiség  |                               |
| 20% veszteség levonásával   | 440 000 kcal/h                |
| Fluidágy feletti füstgázhőmérséklet                               | 600 °C                        |
| Fluidágyban elvonandó hőmennyiség                                 | 294 000 kcal/h                |
| Hűtőcsövekre irányuló hőáram                                      | 140 000 kcal/m <sup>2</sup> h |
| Hűtőcsövek felülete   | 2,1 m <sup>2</sup>            |
| Hűtőcső középátmérője   | 23 mm                         |
| Hűtővíz mennyisége 30 °C-ól 80 °C-ra<br>való felmelegedés mellett | 5,6 t/h                       |
| Perneleválasztó ciklon  | Van-Tongerent                 |

A berendezésben az anyagáramok útja és a működési elv a következő.

*A szén útja.* A szén adagolására mechanikus adagoló szolgál. A széntartályból a cellás adagolón és egy ferde beejtőcsövön keresztül juthat a szén a tüztérbe, amelynek mennyisége egy cellás adagoló fordulatszámmodosításával változtatható. A szénadagolás pneumatikus módon is történhetik, ez azonban a kísérletek időpontjában még nem üzemelt. E berendezésnél a szén egy 200 kg/h teljesítőképességű lapátos adagolón keresztül jut a pneumatikus szállítócsatornába. A szén mennyiségét az adagoló fordulatszám módosításával lehet változtatni. A pneumatikus szállítócsatorna levegőszükségletét környezeti hőmérsékletű levegőt szállító ventilátor biztosítja. A szállítócsatorna az égési levegőelosztó lemezén áthaladva két irányban ágazik el. Az elágazás után — mely az egyenletesebb szénelosztást kívánja biztosítani — a levegőszénkeverékek a fluidágy alján a tüztérbe jutnak.

*A levegő útja.* Az égési levegőt szállító ventilátor pontosan mérhető mennyiségű környezeti hőmérsékletű levegőt szív. Az égési levegő az elosztó lapon (rostélyon) keresztül alul lép be a tüztérbe.

*Tüztér.* A tüztér hűtetlen hőálló- és hőszigetelő falazattal készült. A fluidágy hűtését 7 db párhuzamosan kapcsolt csőkégyóban áramló tápvíz biztosítja. A salak eltávolítása történhetik a fluidágy tetejéről és aljáról egyaránt. Az alsó eltávolító csöveken a nagyobb méretű szemcsék kisebb mennyiségben szakaszosan, míg a felsőn a szívóventilátor által beállított enyhe túlnyomás hatására folyamatosan kiszállíthatók. A felső szintű salakeltávolítócsövek három szinten vannak elhelyezve, az egyes szintek nyílásával a fluidágy magassága is beállítható, tehát egyszerű szintszabályozás történik. A tüztér kiépítéshez egy leválasztó ciklont építettünk be. A leválasztott szálló hamut a tartózkodási idő növelése érdekében, a fluidumba visszairányítottuk.

**Mért jellemzők és jelölésük.** A kísérletek lefolytatásánál a következő jellemzők mérése történt meg.

**Hőmérséklet mérés.**

- $t_1$  — fluidágyban 150 mm-rel a levegő elosztó felett
- $t_2$  — fluidágyban 300 mm-rel a levegő elosztó felett
- $t_3$  — fluidágyban 450 mm-rel a levegő elosztó felett
- $t_4$  — ciklonba való belépés előtt
- $t_5$  — ciklonból való kilépés után

**Nyomás mérés.**

- $P_0$  — az aláfúvó ventilátor által szállított levegő mennyisége
- $\Delta P_1$  — ciklonba való belépés előtt
- $\Delta P_2$  — 500 mm-rel az elosztólemez felett
- $\Delta P_3$  — levegőelosztó-lemez alatt

**Mennyiség mérés.**

Hűtővíz.  
Eltüzelte szén

**Füstgáz összetétel mérés.**

CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> és CO mérés füstgázelemzés a ciklon után.  
Porkoncentráció mérés.

Ciklon után a távozó füstgázból vett gázmintában levő porkoncentrációt határoztuk meg.

**Hőárammérés.**

Fluidumba e célra készített hűtött szondával történt.

### 3. A lefolytatott mérések és azok értékelése

Alapvetően kettős célt tűztünk ki:

a) Adott levegőelosztó felületen az időegységben különböző szénmennyiség eltüzelésekor kialakult viszonyok vizsgálata és a tüzelési veszteségek figyelemmel kísérése.

b) Fluidum-oldali hőátadási tényező, ill. hőáram meghatározása.

A tüzelési veszteségek kiszámítása helyett célszerűbb az egyes veszteséget okozó komponenseket figyelemmel kísélni, mivel összehasonlításokat kívánunk végezni egyes üzemállapotok között.

Ezek a fontos veszteségtényezők:

- CO % a füstgázban
- Porkihordás mértéke g/m<sup>3</sup>
- Kihordott por éghetőtartalma %
- A fluidágy szintszabályozásával távozó szemcsék éghetőtartalma %
- A fluidágy aljáról eltávolított nagyobb szemcsék éghetőtartalma %

I. táblázat

| A mért jellemző  | Dimenzió                | A kísérletek száma |      |       |      |       |
|--|-------------------------|--------------------|------|-------|------|-------|
|  |                         | 1                  | 2    | 3     | 4    | 5     |
| Szénmennyiség  | kg/h                    | 117,5              | 100  | 90    | 83   | 60    |
| Levegőmennyiség  | m <sup>3</sup> /h       | 736                | 742  | 596   | 565  | 427   |
| Levegősebesség C   | m/s                     | 0,82               | 0,83 | 0,66  | 0,63 | 0,475 |
| Légfeleslegtényező m   | —                       | 1,13               | —    | 1,19  | 1,22 | 1,28  |
| O <sub>2</sub> Orsat   | %                       | 2,3                | 2,5  | 1,6   | 1,3  | 2,5   |
| CO   | %                       | 0,3                | 0,3  | 0     | 0    | 0     |
| Hőáram q   | kcal/m <sup>2</sup> , h | —                  | —    | 64464 | —    | 47640 |
| t <sub>1</sub>   | °C                      | 543                | 841  | 849   | 768  | 763   |
| t <sub>2</sub>   | °C                      | 786                | 707  | 794   | 659  | 643   |
| t <sub>3</sub>   | °C                      | 771                | 729  | 779   | 731  | 586   |
| t <sub>4</sub>   | °C                      | 1235               | 964  | 950   | 883  | 674   |
| t <sub>5</sub>   | °C                      | 1170               | 948  | 890   | 903  | 664   |
| ΔP <sub>1</sub>  | mm v. o.                | + 8                | + 23 | + 2   | + 12 | 0     |
| ΔP <sub>2</sub>  | mm v. o.                | 12                 | 25   | 16    | 12   | 0     |
| ΔP <sub>3</sub>  | mm v. o.                | 143                | 121  | 66    | 87   | 21    |
| Porkoncentráció a ciklon után                                      | g/m <sup>3</sup>        | 1,1                | —    | 7,2   | 4,0  | 2,2   |
| Éghetőtartalom a fluidágy alján S <sub>eu</sub>                    | %                       | 17,6               | 11,9 | —     | —    | 15,0  |
| Éghetőtartalom a fluidágy felső részén S <sub>e0</sub>             | %                       | 78,0               | 67,6 | —     | 76,6 | 56,3  |
| A kihordott szénpor éghető tartalma (a fluidágyból) S <sub>c</sub> | %                       | 38,7               | 32,7 | 34,1  | 64,6 | 49,3  |

Különböző beadagolt szénmennyiségek mellett lefolytatott mérések eredményeit az I. táblázatban foglaltuk össze. A táblázattal kapcsolatban meg kell jegyeznünk, hogy a 2. sorszámú mérés (kb. 100 kg/ó) alkalmával a szénadagolást adagoló problémák miatt csak egyenetlenül tudtuk megvalósítani. Több mérés alkalmával sikerült a mechanikus szénadagolóval egyenletes szénadagolást elérni.

Az  $m$  légfeleslegtényező értékét a bevitt szénmennyiség, a számított elméleti levegőmennyiség és az aláfúvott tényleges levegőmennyiségből számítottuk ki.

A  $q$  (kcal/m<sup>2</sup>h) hőárammérőn a hűtőcsövek átlagos fajlagos hőterhelésének értékét mértük. A fluidumszinttől függően a hűtőcsövek nagyobb vagy kisebb részben voltak a fluidumba merülve, a többi részükre sugárzás és konvektív hőátadás hatott. Ezért adódnak az alacsonyabb értékek.

A hőmérsékleteloszlásnál érdekes jelenség mutatkozik. Az I. táblázat alapján látható, hogy a fluidágy átlaghőmérséklete és a fluidágy felső szintjének a hőmérséklete alacsonyabb, mint a  $t_4$ , ciklon előtti füstgázhőmérséklet. Ebből arra lehet következtetni, hogy a fluidágy felett további égés van. Ez az égés a fluidágyból származó gáz- és kokségés, de adódik abból is, hogy a mechanikus szénadagolás során a szénbeejtő ferdecső és a fluidágy között

kb. 200 mm távolság van, így a behulló szénből a legfinomabb frakciókat a felfelé áramló gáz magával ragadja. Az utóbbi hatást leválasztani a füstgázból eredő gáz- és koksztól csak a pneumatikus szénadagolással lehetett volna. (A pneumatikus szénadagoló a fluidágy aljára vezeti be a szenet.) A pneumatikus szénadagolásnál azonban szállítócső eldugulása miatt még nem lehetett folyamatos üzemet biztosítani.

Az előbbiekkal teljesen összhangban van a kihordott por és a fluidszintről elvezetett salak jelentős éghetőtartalma.

A salakéghetők vonatkozásában a szénterhelés függvényében lényeges változások nem mutatkoznak. Viszont lényeges különbség van a fluidszintről és a fluid aljáról vett salakminta éghetőtartalmában. Ebből arra lehet következtetni, hogy a fluidszintről történő lesalakolás nem kedvező. A lesalakolás helyének megállapítására további kísérletek elvégzése szükséges.

Éghető gázt csak a nagy szénterheléseknél lehetett kimutatni, a füstgázban a ciklon után.

A fluidumban az alkalmazott hűtőcsövekkel viszonylag egyenletes hőmérsékleteloszlást lehetett biztosítani, mely még a maximális terhelések tartományában sem lépte át a 850 °C hőmérsékletet.

A tűz stabilitása jó. Szándékolt szénkimaradás esetén néhány perc után is biztos gyulladás és égés következett. A szénkimaradást a hőmérsékletek csökkenése és az O<sub>2</sub> növekedése követte természetesen. A szénadagolás megindítása után ezek az értékek az előző stacioner állapothoz álltak be.

A fluidágy begyújtása olajjégővel történt. Az olajjégő lángja lefelé irányult és elérte a kis levegőmennyiséggel fluidizált ágy szintjét. E helyen egy tűzgóc alakult ki, mely egyre terjedt, majd az egész réteg égéséhez vezetett, melyet a hőmérsékletek növekedése mutatott. Ezután lehetett kezdeni a szénadagolást és a szénmennyiségnek megfelelően a levegő mennyiségének növelését.

A fluidum-oldali hőátadási tényező, ill. hőáram megállapítására e célra készült vízzel hűtött szondával végeztünk méréseket. E mérések alatt a szénterhelés 90 kg/ó volt (I. I. táblázat szerint a 3. sorszámú mérés). A vízzel hűtött szondát a fluidágyba átlósan különböző benyúlási mélységekre állítottuk be. Ezen a módon egy jó átlagértéket lehetett megmérni. A benyúlási hossz növelésével a hőáram integrált értékeit kaptuk meg. E mérésekből kézenfekvően adódik egy lehetőség, a zárt térben történő fluidtüzelés alkalmával a fluidum szintjének meghatározására. (A fluidumban mért hőáram értéke lényegesen, kétszer-háromszorta nagyobb mint ugyanolyan hőmérsékleten a füstgáz által sugárzásból és konvekcióból kapható hőáram.)

A fluidumban mért hőáram érték:

$$q = 110\,000 \div 140\,000 \text{ kcal/m}^2\text{h}$$

A hőáram értékére feltehetően hatással van a szemcseméret és a hézagterfogat. Ezeket a hatásokat ebben a mérésorozatban nem vizsgáltuk.

Összegezve, a tüzelési kísérleteket tatabányai  $0 \div 6$  mm szemcsenyag-ságú szénrel ( $H_i = 5044$  kcal/kg;  $h = 12,16\%$ ;  $n = 12,61\%$ ) különböző szén-terhelések mellett folytattunk le.

A mechanikus szénadagolás és a szénnek a fluidum tetejére történő beejtése nem kedvező. A fluidum felett további égés van, mely részben a fluidumból eredő koks- és gázégésből, részben pedig a mechanikus adagolással beejtett és elragadott finom szénpor frakciókból adódik. Ezt a jelenséget a hőmérsékleteloszlás és a salakéghetők alakulása bizonyítja. Célszerűbbnek látszik a pneumatikus szénadagolás.

Éghető gázt a távozó füstgázban csak nagy szénterheléseknél lehetett kimutatni.

A fluid szintjéről végzett lesalakolás nagy salakéghetőt eredményez, a lesalakolás helyének megállapítására ezért további kísérletek elvégzése szükséges.

A tűz stabilitása jó, a fluidumban mért hőmérsékleteloszlás viszonylag egyenletes és a kísérletek alatt nem lépte túl a  $850^\circ\text{C}$  hőmérsékletet.

A fluidumban mért hőáram értéke:  $q = 110\,000 \div 140\,000$  kcal/m<sup>2</sup>, h.

#### 4. További tennivalók

A kísérletek eredményeit értékelve megállapítható, hogy hazai szénfajtáink közül a tatabányai szénrel fluidágyas égésfolyamat kedvezően valósítható meg. Célszerű a kísérleteket más magyar szénfajtákkal is folytatni. A fluidizált állapotban égő közegben rendkívül nagy hőátadási tényező valósítható meg, de számos egyéb kérdés még további kutatást igényel. Gondolunk itt a különböző szénjellemzők, kémiai és fizikai tulajdonságok, szemcseméret és méreteloszlás stb. befolyásának vizsgálatára.

#### IRODALOM

1. VÖRÖS L.: Szénpor őrlmények fajtázása fluidizációval vagy pneumatikus pulzációval. *VEIKI Jelentés Sz 47/1969*, Budapest
2. VÖRÖS L.: Fluidizációs tüzelési kísérletek. *VEIKI Jelentés T 65/1970* Budapest
3. Pilot-scale combustion studies. *BCURA Annual Report (1967)*, 31—33
4. Fluid bed combustion of coal. *BCURA Annual Report (1968)*, 8—15
5. ROBERTS: The combustion of coal in fluidized beds under pressure. *BCURA Gazette (1968)*, 8
6. WRIGHT—KETLEY—HICKMAN: The Combustion of Coal in Fluidized Beds for Firing Shell Boilers. *Journal of the Institute of Fuel (1969)*, 6
7. The Development of Fluid Bed Combustion 1—2. *The Steam and Heating Engineer (1969)*, 4—5
8. Fluidized Bed Combustion. *J. Fuel and Heat Technology (1969)*, 3
9. A Coal-burning Fluidized-bed Combustion System *J. Fuel and Heat Technology (1968)* 5
10. BENEDEK L.: Szénporelőkészítő és tüzelőberendezések. *OTH 147.759*. 1958. aug. 27. Budapest

**Pulverized Coal Firing with Fluidization.** The paper presents results of fluidization firing investigation in an experimental plant. The experiment confirms that an extraordinarily high heat transfer coefficient can be obtained with this firing method and it also presents a basis for research objectives. It is considered that further detailed research will make possible the realization of new boiler designs and that favourable results might be obtained in environmental protection.

**Kohlenstaubfeuerung nach dem Wirbelschicht-Verfahren.** Im vorliegenden Aufsatz berichten die Verfasser über die bei der Erforschung der Wirbelschicht-Feuerung in einer Versuchsanlage erzielten Ergebnisse, wobei der Beweis dafür erbracht wurde, daß bei dieser Feuerung eine äußerst hohe Wärmeübergangszahl erreicht werden kann. Außerdem lieferte der Versuch auch Anhaltspunkte für die Zielsetzungen weiterer Untersuchungen. Aufgrund der Auswertung der erhaltenen Resultate können weitere eingehendere Untersuchungen zur Verwirklichung neuer Kesselkonstruktionen führen und auch hinsichtlich des Umgebungsschutzes günstige Ergebnisse erzielt werden.