

NYUGAT-MAGYARORSZÁGI EGYETEM  
KITAIBEL PÁL KÖRNYEZETTUDOMÁNYI DOKTORI ISKOLA  
KÖRNYEZETPOTENCIÁL-ELEMZÉS PROGRAM

# DOKTORI (Ph.D.) ÉRTEKEZÉS

EMISSZIÓS VIZSGÁLATOK HASZNÁLT FORGÁCSLAPRA –  
– AZ ÉGETÉS KÖRNYEZETI SZEMPONTÚ ÉRTÉKELÉSE.

**SZÉLL ANDREA**

Témavezető:

**DR. SCHÖBERL MIKLÓS** ny. egyetemi docens, Fa- és Papíripari Technológiák  
Intézet

Sopron, 2007.



## TARTALOMJEGYZÉK

<b>BEVEZETŐ</b>	<b>5</b>
<b>1. ELŐZMÉNYEK, SZAKMAI HÁTTÉR</b>	<b>8</b>
<b>1.1 Fa- és falemezhulladékok</b>	<b>8</b>
1.1.1 Fahulladék helyzet Magyarországon	9
1.1.2 Fahulladék hasznosítási lehetőségek	10
1.1.3 Forgácslap hulladékok hasznosítási lehetőségei	12
<b>1.2 A fa és faalapú hulladékok, mint tüzelőanyagok jellemzése</b>	<b>16</b>
1.2.1 Kémiai összetétel	16
1.2.2 Nedvességtartalom	18
1.2.3 Fűtőérték	19
1.2.4 Idegenanyag-tartalom	24
1.2.5 Alakosság	24
<b>1.3 Fa és fahulladékok égetése</b>	<b>25</b>
1.3.1 Fa és fahulladékok égési folyamatai	25
1.3.2 Fa és fahulladékok környezetbarát égetésének feltételei	29
1.3.3 Fa és fahulladékok égetésének jogi szabályozása	31
<b>1.4 Fatüzelés emissziói, a kibocsátások csökkentésének lehetőségei</b>	<b>35</b>
1.4.1 Kén-oxidok	35
1.4.2 Szén-oxidok	37
1.4.3 Nitrogén-oxidok	40
1.4.4 Porok	51
1.4.5 PAH (policiklusos aromás szén-hidrogének)	54
1.4.6 Dioxinok, furánok	56
<b>2. A KUTATÓMUNKA BEMUTATÁSA</b>	<b>60</b>
<b>2.1 A kutatás tárgya, célja és módszere</b>	<b>60</b>
2.1.1 Kaloriméteres vizsgálatok	62
2.1.2 A pirolízis folyamata	63
2.1.3 Az égetés	66
2.1.3.1 A berendezés bemutatása	67
2.1.3.2 Kibocsátási határértékek (Emisszió-határértékek)	70
2.1.3.3 Emisszió meghatározása	73
<b>2.2 Mérési eredmények</b>	<b>79</b>
2.2.1 Kalorimetrikus mérések eredményei	79
2.2.2 Fapirolízis eredményei	81
2.2.3 Az égetés mért eredményei	82
<b>3. AZ EREDMÉNYEK KIÉRTÉKELÉSE</b>	<b>93</b>
<b>3.1 Faforgácslap hulladék égetés emissziós mérési eredményeinek kiértékelése</b>	<b>93</b>
3.1.1 $F_n$ minta égetésének értékelése	94
3.1.2 $F_I$ minta égetésének értékelése	97
3.1.3 $F_n$ és $F_I$ forgácslapok égetési eredményeinek összehasonlítása	99
3.1.4 $I_I$ minta égetésének értékelése	101
3.1.5 $I_n$ minta égetésének értékelése	104
3.1.6 $I_n$ és $I_I$ forgácslapok égetési eredményeinek összehasonlítása	106
3.1.7 $F_n$ és $I_n$ forgácslapok emisszióinak összehasonlítása	108
3.1.8 $F_I$ és $I_I$ forgácslapok emisszióinak összehasonlítása	110
<b>3.2 Konklúziók</b>	<b>111</b>
<b>4. ÖSSZEFOGLALÁS</b>	<b>113</b>

<b>5. ÁBRAJEGYZÉK</b>	<b>116</b>
<b>6. TÁBLÁZATJEGYZÉK</b>	<b>117</b>
<b>7. TÉZISEK</b>	<b>119</b>
<b>8. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS</b>	<b>121</b>
<b>9. FELHASZNÁLT IRODALMAK JEGYZÉKE</b>	<b>122</b>
<b>10. MELLÉKLETEK</b>	<b>138</b>

## BEVEZETŐ

Át a Tűzön, a fűvön,  
a lángon, a ködön,  
mint két macska  
gépárd s puma  
alattunk vöröslő parázs  
születőben van a Varázs:

izzó láva, kígyómarás,  
langyos barlang, tündércsapás!  
Add a kezed, szívem tiszta  
repüljük át kézen fogva!  
Nyitott szíved, nyitott szívem  
nem állhatunk tovább itt lenn...!  
*Basil: Tűzgrás*

Környezetünk terhelésében fontos szerep jut a hulladékoknak. Az ember az életét végigkísérő, szükségtelemmé vált anyagokat korábban egyszerűen visszajuttatta a természetbe. Az így „bekerült” hulladékok környezeti hatása az ipari forradalom előtti időszakban még nem haladta meg a környezet tűrőképességét, azonban az ipar térhódításával, a fogyasztói társadalom megjelenésével, a robbanásszerű tudományos-technikai forradalommal és az igények megnövekedésével hatványozottan képződik mindennapi tevékenységünk során. Mennyisége évről évre növekszik, a természetbe történő visszajuttatásuk a megszokott módon többé már nem lehetséges, a csökkentésükre és újrahasznosításukra kifejlesztett technológiák széles körű elterjesztése még várat magára.

A legnagyobb problémát egyrészt a tetemes mennyiségben keletkezés, azaz a nem hatékonyan működő folyamatok okozzák, másrészt a hulladékok rendezetlen/illegális elhelyezése, a rosszul kiválasztott kezelési/ártalmatlanítási/hasznosítási módszerek alkalmazása fokozza a környezet szennyezését.

A hulladékok csökkentésére az általánosan elfogadott 3R-elvet alkalmazhatjuk: reduce, recycling, reuse, azaz hulladékszegény technológiák kifejlesztése és alkalmazása, a termelésbe történő visszaforgatás és újrahasznosítás (anyagában és energiájában), ezeken kívül a tudatos fogyasztói társadalom kialakításával együtt járó környezettudatosság kialakulása hozhatja meg a kívánt eredményt. Ezek korszerű és tudatos alkalmazása aktívan hozzájárulhat a fenntartható fejlődés elveinek megvalósításához is.

Magyarországon évente mintegy 70-75 millió tonna hulladék képződik (Országos Hulladékgazdálkodási Terv, 2000), amely tartalmazza a termelés és elosztás, valamint a fogyasztás során keletkező összes hulladékot, beleértve a mezőgazdaságból származó, többnyire a mezőgazdaságban felhasznált, visszaforgatott növényi maradványokat is. E mennyiség közel 4,5 %-a veszélyes hulladék, amíg a 95,5 %-nyi nem veszélyes hulladékból közel 10 %-ot tesz ki az inert hulladék. Az ipari hulladék közel 90 %-át az erőművi és kohászati salak, bányászati meddő és ipari szennyvíz-, illetve vízkezelési iszap adja. A fennmaradó mennyiség tartalmazza az ipari termelési hulladékhoz hasonló jellegű, elosztásból (kereskedelem, szolgáltatások) származó hulladékot is.

A hulladékok jelentős képviselői az ipari termelésben keletkező maradék anyagok. Az ipar fával foglalkozó ágazatában, a faiparban (másodlagos ffeldolgozásra vonatkozó adatok) 2001-ben közel 400 000 m<sup>3</sup> faalapú hulladék keletkezett (1. MELLÉKLET), amelyből 40 000 m<sup>3</sup> a forgácslap alapú hulladék mennyisége (darabos hulladék, forgács, fűrészpor), és ehhez még hozzá kell adnunk azt a használt, forgácslap alapú termékekből származó hulladék mennyiséget, amelyek évekként, évtizedekkel a termék gyártása és használata után jönnek létre - mennyiségi meghatározásuk ezért nehézségekbe ütközik, bár sokkal nagyobb mennyiségről van szó.

A hasznosítás - a forgácslapgyártási technológiában anyagában és energiájában történő újrafelhasználástól eltekintve - lényegében a lerakásban és az elégetésben merül ki, régóta késik ugyanis az ország régióiban olyan gyűjtőhelyek kialakítása, amelyekben

koncentrálhatóak és később gazdaságosan hasznosíthatóak lennének egy-egy térség faalapú hulladékai.

Józan gondolkodással könnyen belátható, hogy a 21. században idejétmúlt és nem gazdaságos a faalapú hulladékok lerakón történő elhelyezése (főleg, ha az illegálisan történik), hiszen a fa sokoldalúan, újra felhasználható, természetes és környezetbarát anyag. Marad tehát a használt fa(termékek) energiájának hasznosítása, amely viszont sok kérdést von maga után.

A számos próbálkozás és kudarc után 2005. februárjában életbe lépett kiotói megállapodás (a jegyzőkönyv az üvegházhatás szempontjából jelentősnek minősített hat gáz - a szén-dioxid, a metán, a nitrogén-dioxid és három fluortartalmú ipari gáz légkörbe kerülésének visszafogásáról szól) értelmében a több, mint száznegyven csatlakozó ország vállalta, hogy 2010-re az 1990-es szint alá szorítja (5,2 %-kal) a légkörbe jutó szén-dioxid mennyiségét. /Magyarország 6 %-os csökkentést vállalt, jelenleg 17,8 %-kal vagyunk a bázisév szintje alatt./

Az üvegházhatásért felelős gázok közül kiemelendő a szén-dioxid, amely körülbelül fele részben járul hozzá a kedvezőtlen globális folyamatok erősödéséhez. Mennyisége folyamatosan növekszik, elsősorban a közlekedés és az ipari tevékenység hatására, ezért kibocsátását csökkenteni kell.

Az egyik lehetőség a növényi biomassza-tüzelőanyagok (többségük a fahulladék kategóriájába tartozik) fokozottabb alkalmazása az energiatermelésben.

Tudjuk, hogy több más kedvező, pozitív tulajdonsága mellett a fa szén-dioxid-semleges, azaz nem juttat vissza a légkörbe többlet CO<sub>2</sub>-t, csak amennyit élete során akkumulált (a probléma csupán az akkumuláció, illetve a légkörbe visszakerülés ideje közötti jelentős, akár 100-120 évnyi különbségből adódik) - ezen felül a fosszilis energiahordozók készletének kímélése érdekében (valamint az általuk kibocsátott nagy mennyiségű szén-dioxid és más égéstermékek, üvegházhatást okozó gázok csökkentése okán) nagyon is indokolt minél szélesebb körű elterjedése. Természetesen ez nem azt jelenti, hogy a fa sorsa az eltüzelés kell, hogy legyen, csupán környezeti hasznossági megítélése kedvezőbb a fosszilis energiahordozókéénál.

Miért fontos a fatüzelés minél szélesebb körben történő elterjesztése, szemben a fosszilis energiahordozók elégetésével, milyen előnyös energetikai tulajdonságokról tehetünk említést?

- A fa az egyedüli környezetbarát tüzelőanyag. Tökéletes elégetésekor (tisztá fa esetén) nem keletkeznek ártalmas gázok (pl. CO, SO<sub>2</sub>),
- A széntüzeléshez viszonyítva előnyös, hogy a fa elégetésekor mindössze 0,5-1,0 %, a szénél viszont 25-40 % hamu keletkezik (MAROSVÖLGYI, 1997),
- Ökológiai szempontból fontos jellemző, hogy nem termel többlet CO<sub>2</sub>-t, csak az élőfa által megkötött mennyiséget juttatja vissza, így az üvegházhatást okozó CO<sub>2</sub> kibocsátásához nem járul hozzá; a kibocsátott metánnal kapcsolatos kutatások pedig folyamatban vannak,
- A fa energetikai hasznosítása jelenti az ipari fahulladékok értékesítésében, megsemmisítésében a legnagyobb lehetőséget - pillanatnyilag. Az üzemekben keletkező fűrészpor, kéreg, darabos apró hulladék alkalmas más energiahordozók kiváltására. Pl. 4 tonna fahulladék energiataralma 1 tonna fűtőolajéval egyenértékű,
- A mezőgazdaság által gazdaságosan nem művelhető területeken energiaültetvények létesíthetők, amelyek előnyeiről és hátrányairól számos publikáció látott napvilágot és elterjedésükkel kapcsolatosan folynak a vizsgálatok (SOLYMOS, 2005).

A faanyag energiájának kinyerése különböző teljesítményű, műszaki paraméterekkel bíró, és eltérő szabályozási szisztémával rendelkező tüzelőberendezésekben valósulhat meg.

A közepes ( $>140 kW_{th}$ ) és nagy ( $50 MW_{th}<$ ) teljesítményű tüzelőberendezésekre a hazai törvényi szabályozás betartandó határértékeket szab meg. Ezáltal kibocsátásuk a jogszabályokban meghatározott és elégethető (ám faanyag esetében közel sem egyértelműen definiált) hulladékokra adott, és megadható az éves kibocsátott emisszió mennyisége - tartható a kiotói vállalás.

A kis teljesítményű berendezésekkel azonban más a helyzet. Ezekben a keletkező hő hasznosítása nem kellően hatékony és korszerű, a tökéletlen égés során pedig szén-monoxid, szén-hidrogének, nitrogén-oxidok, kén-oxidok, klór, por és korom, dioxin, PAH kerülhet a légtérbe, változó koncentrációban - a tüzelőanyagtól függően.

Ahhoz, hogy a közeli jövőben az egyes tüzelőanyagok sajátosságait a legmesszebbmenőkig figyelembe vevő, korszerű, elektronikus szabályozási rendszerrel felszerelt tüzelőberendezések kerülhessenek forgalomba és használatba (ezáltal biztosítva többek között a nemzetközi konferenciákon megfogalmazott alapelvek teljesülését és a környezet hosszú távú védelmét), alaposan meg kell ismernünk a különböző, növényi eredetű tüzelőanyagok (fahulladékok) tulajdonságait, viselkedését égés során, az illó- és szennyezőanyagok ki- és átalakulási folyamatait, csökkentésük lehetőségeit és költségeit.

Az értekezésben a faiparban keletkező forgácslap hulladékok (lapszabászati maradékok, selejt és használt anyagok) hasznosításának lehetőségeit vizsgáltam, és a lehetséges hulladékhasznosítási módok közül az égetést választva végeztem el azt forgácslapból készült, használt termékeken.

Szükségesnek tartom megindokolni, miért a használt forgácslapok elégetése került a vizsgálat középpontjába.

Magyarországon két forgácslapgyár állít elő forgácslapokat (a Falco Szombathelyen és az Interspan Vásárosnaményban), és a termelés során több helyen keletkezik különböző méretű, veszélyességű és tisztaságú maradék anyag. Ezek a szinte teljesen zárt termelési folyamatnak köszönhetően csaknem 100 %-ban újrafelhasználásra kerülnek a gyárakban (a veszélyes hulladéktól eltekintve természetesen). A kikerülő, forgácslapból előállított termékek életciklusuk végén azonban ellenőrizetlen módon, eltávozva a körfolyamatból, általában a szeméttelenen vagy a kiskazánban végzik. Az égetés környezetbarát feltételei - amint a dolgozatból kiderül - hazai viszonyok között általánosságban nem biztosítottak, a környezetszennyezési és egészségügyi problémák súlyos gondot jelentenek. Tovább nehezíti a megoldáskeresést, hogy nem egyértelmű a forgácslap faanyagához társított anyagok környezeti/egészségügyi veszélyességének megítélése, és nincs jogszabály, amely egyértelműen útba igazítana.

Az égetés végrehajtásával azt a célt kívántam elérni, hogy feltárjam és mérésekkel alátámaszom, kisüzemi (háztartási) körülmények között, nem megfelelően szabályozott tüzelőberendezés használatával - azaz a hazai viszonyok prezentálásával - a forgácslap hulladék égetéssel történő hasznosítása környezet- és egészségkárosító, alkalmazása nem indokolt (bizonyos hulladéktípusainál pedig egyáltalán nem engedélyezett).

Használt fa és fatermék elégetése kisteljesítményű tüzelőberendezésben mérésorozatot Magyarországon még nem készült, elsősorban a közepes ( $140 kW_{th}<$ ) és nagy ( $50 MW_{th}<$ ) teljesítményű tüzelőberendezések vizsgálata és besorolása történt meg a vonatkozó rendeletek határértékei alapján.

Ez a hazai szabályozás sajátossága (EU-val szembeni hátrányát jól tükrözi), amely revíziót igényel. Az elvégzett mérések a fennálló helyzet tarthatatlanságát mutatják be és a jövőben a változtatások meglépéséhez szükséges alapinformációkat biztosíthatják.

Az elvégzett mérésekkel alátámasztható, hogy nemcsak a berendezések termikus hatásfokának növelése, az elavult műszaki paraméterek mielőbbi korszerűsítése

elengedhetetlen, hanem szükség van olyan jogszabály megalkotására is, amely rendezi a lakossági/kisüzemi felhasználók által a kazánban elégethető faalapú hulladékok körül kialakult áldatlan helyzetet és a fenntartható fejlődés céljait szem előtt tartva, paraméterezhetővé teszi a kisteljesítményű tüzelőberendezések emisszióit - faalapú tüzelés esetén is.

## 1. ELŐZMÉNYEK, SZAKMAI HÁTTÉR

A fával foglalkozó ember tudja, hogy egy rendkívüli, sokoldalúan használható, teljesen környezetbarát, meleget árasztó és nemes szépségű anyaggal kerül szembe munkája során. Az angolszász nyelvterületen nagyon szépen elkülöníthető, hogy a fa életútjának éppen melyik stádiumában szolgálja az ember igényeit: életében (*Baum, tree*), holtában (*Holz, wood*) is hasznosul. (A 2. és 3. MELLÉKLETEKben érdekességként bemutatom forgácslapból készült termékekre az elkészített életútelemezést, kiemelve a gyártási modult.)

Mindennapjaink hűsége kísérője a fa. Környezetünk fából készült használati tárgyakkal, elemekkel, szerkezetekkel, bonyolult és egyszerű praktikákkal övezett. Olyannyira természetesnek találjuk, hogy csak hiányában tűnne fel nélkülözhetetlensége (WINKLER, 2006). Már őseink is kihasználták sokrétű funkcióit, fegyvereket készítettek belőle, lakhelyet építettek, melegedtek tüzénél, elriasztották vele az állatokat. A keletkezett ágvégeket, nyesevégeket, gallyakat sem dobták el, a mai értelemben vett hulladék nem létezett.

Az ipari termelés térnyerésével előbb háttérbe szorították a fosszilis anyagok, majd ismét előtérbe került, elsősorban környezet- és egészségvédelmi szempontok, valamint a nem megújuló erőforrások készleteinek kímélése indokán. Ma Magyarországon az éves *6 millió m<sup>3</sup>* nettó fakitermelés közel fele tűzifaként hasznosul, de nem feledkezhetünk meg az elsődleges és másodlagos fafeldolgozás által „létrehozott” faalapú hulladékokról sem.

Hasznosításuk nagy kihívás, anyagukat és energiájukat ugyanis szinte maradéktalanul újra vissza lehet vezetni a termelési folyamatokba - szabad potenciál csak az erdőben jelentkezik, apadékként, valamint használt termékek formájában.

A regionális gyűjtőrendszerek hiánya miatt egyelőre nehézségekbe ütközik a használt termékek teljes körű összegyűjtése - eltekintve a fűrészüzemek és forgácslapgyárak szinte teljesen zárt technológiájában újrahasznosítható, a famegmunkálás és gyártás során keletkezett, illetve bizonyos visszavásárolt anyagok felhasználásától.

A felhasznált másodnyersanyagok azonban közel sem fedik le az éves szinten keletkező hulladékmennyiséget. Az égetéssel történő elterjedt hasznosítás viszont, bár EU-szinten sem a legpreferáltabb helyen áll, számos technikai és tudományos kérdés megválaszolását igényli ahhoz, hogy jövőnket megalapozó, egészséges környezetet biztosíthassunk még sokáig.

Ezekre a kérdésekre kerestem a választ a következőkben.

### 1.1 Fa- és falemezhulladékok

A fahulladékok pontos meghatározása nem egyszerű feladat, tekintettel keletkezésükre, az anyagukhoz társított kötő- és segédanyagokra, a bennük fellelhető idegenanyagokra stb.... Ezért a jogszabályhoz kell fordulnunk segítségért.

A 2000. évi XLIII. törvény a hulladékgazdálkodásról kimondja, hogy mit is tekintünk hulladéknak:



3. § a) hulladék: bármely, az 1. számú melléklet szerinti kategóriák valamelyikébe tartozó tárgy vagy anyag, amelytől birtokosa megválik, megválni szándékozik, vagy megválni köteles.

A szilárd hulladékokon belül jelentős csoportot alkotnak a termelési hulladékok. Ide sorolhatóak az ipari, ezen belül a faipari hulladékok, amelyek az alábbi fő csoportokra oszthatóak:

- fahulladékok
  - vegyszerekkel és más anyagokkal nem szennyezett (tiszt) fahulladék
  - vegyi anyagokkal (ragasztók, felületkezelők, impregnálók) társított, szennyezett fa
- ragasztó és felületkezelő anyagok és hulladékaik (maradék anyagok, göngyölegek, mosó-tisztító szerek, szennyezett eszközök, ecset, rongy, kesztyű) - veszélyes hulladékok.

A fahulladék kategória az alábbi megfogalmazásokkal közelíthető meg a legjobban.

- A FAO Faanyag Osztálya szerint hulladék minden olyan faanyag, ami a kitermelés, a feldolgozás és a fából készült termékek használata során visszamarad.
- A fahulladék a meglévő fakészlet része, erdőápoláskor, a nyersanyag felkészítésekor, a faanyag megmunkálása során és a gazdaság különböző területein felhasznált faanyag visszanyeréséből adódik (SZALAY, 1981).
- Fahulladék mindazon fa alapanyag (egészséges/nem korhadt), amely nem megfelelő helyen, időben és formában van jelen.

### 1.1.1 Fahulladék helyzet Magyarországon

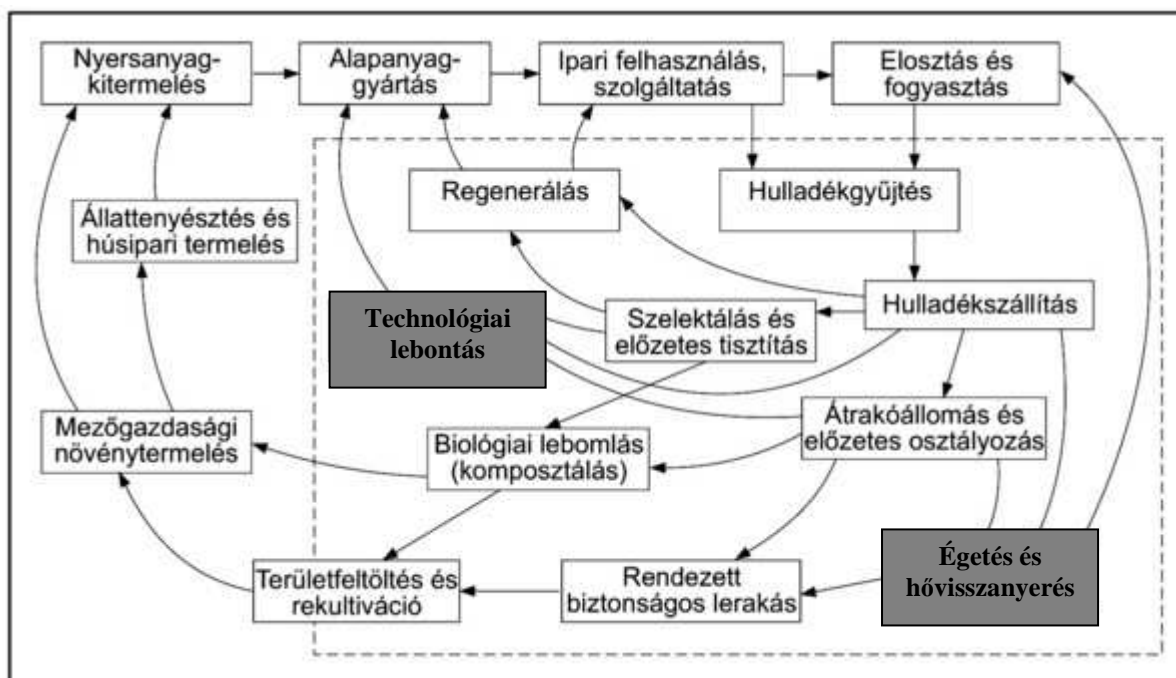
A fahulladékok jelentős csoportját alkotják a használt fatermékek, amelyek életciklusa során alapvetően négy hulladékforrás különböztethető meg: erdei hulladékok, elsődleges feldolgozás hulladékai, másodlagos feldolgozás hulladékai, fatermékek használati élettartamuk után.

- Az erdei hulladék változatos mérete, nagy nedvességtartalma, begyűjtési költsége miatt ipari hasznosításra nem versenyképes. Kis mértékben hasznosul termékekben, valamivel nagyobb mértékben energetikailag, ám jelentős része az erdőben maradvánnyá válik a természet körforgalmába kerül vissza.
- Az elsődleges fahulladék ipar meglehetősen nagy hulladékárányal dolgozik. Ez a hulladék koncentráltan jelentkezik, általában más anyagokkal nem szennyezett, versenyképes nyersanyagként bizonyul a falemez- és papíriparban. Szinte 100 %-ban hasznosítható más termékekben vagy energiatermelésre.
- A másodlagos fahulladékával hasonló a helyzet, bár az esetleges szennyező vagy toxikus bomlású adalékok miatt korlátozottabb ill. külön intézkedéseket, technológiákat igényel.
- A használt fatermékek anyaga típusában, méretében, fafajban, és más idegen-, gyakran veszélyes anyag tartalmában változatos képet mutat. Hasznosításuk mindig az alapján történik, mennyire lehet azt költséghatékonyan elvégezni. A lerakás volt nagyon hosszú ideig a legelterjedtebb „hasznosítás”, az újrafelhasználáshoz kevés érdek fűződött. Az energiatermelésre való hasznosítást nehezítik a begyűjtés problémái, és

hogy a piaci értéke sokszor nem haladja meg a begyűjtés költségeit. További nehézséget okoz a nem megfelelő műszaki színvonalú tüzelőberendezések gazdaságtalan és környezetszennyező üzemeltetése. Napjainkban egyrészt a környezeti elvárásoknak megfelelő, koncentráltabb energiaüzemek növelik az energetikai hasznosítást (biomassza erőművek), másrészt a termékben való újrahasznosításnak is létjogosultsága van (SOLYMOS, 2005).

### 1.1.2 Fahulladék hasznosítási lehetőségek

Az 1. ábrán a hulladékok hasznosításának összefoglalt elméleti lehetőségeit láthatjuk. A fahulladékok szempontjából jelentős hasznosítási területeket szürke színnel jelöltem. A technológiai lebontás (az anyagában történő hasznosítás), valamint az égetés hővisszanyeréssel játssza a legfontosabb szerepet a faalapú hulladékok hasznosításában.



1. ábra. Hulladékhasznosítási körfolyamat

Forrás: BARÓTFI, 2000/1.

Amíg hazánkban nem egyértelmű a faanyaghoz társított segédanyagok környezeti veszélyességének megítélése, ezáltal a hulladékok hasznosításának módjai sem tisztázottak (ez különösen égetéskor játszik döntő fontosságú szerepet), addig az EU országokban, pl. Németországban az ún. Altholz kategóriába tartozó használt faelemek hasznosítása megoldott.

Az alábbi táblázat használt fa (szennyezett fa, használt bútorelem, csomagolóanyag) tipikus összetételéről nyújt felvilágosítást. Fontos megjegyezni, hogy a nyomelemek, nehézfémek jelenléte fokozott jelentőséget kap, ha nagy mennyiségű anyagot gyűjtenek össze, és a hasznosítás koncentráltan történik - pl. égetéskor megnő a veszélye a káros anyag kibocsátás növekedésének (dioxinok, furánok, por nehézfémekkel feldúsulva, NO<sub>x</sub> stb.).

1. táblázat. Használt fa jellemző paraméterei

Megnevezés		Minimum	Átlag	Maximum
<b>Por koncentráció</b>	súly%	4	6,5	9
<b>Sűrűség</b>	kg/m <sup>3</sup>	180	219	270
<b>Víztartalom</b>	súly%	10	22	44
<b>Fűtőérték</b>	MJ/kg	12,1	14,8	16,6
<b>Hamu</b>	súly%	1,6	5,3	11,1
<b>N</b>	mg/kg	5 600	7 922	12 000
<b>S</b>		20	1 385	5 800
<b>Cl</b>		20	849	4 400
<b>F</b>		0,01	42	140
<b>F</b>		0,01	0,3	0,7
<b>As</b>		0,7	4,1	22
<b>Cd</b>		0,4	3,4	24
<b>Co</b>		1	1	3
<b>Cr</b>		14	32	93
<b>Pb</b>		43	314	690
<b>Cu</b>		11	25	85
<b>Ni</b>		2	6	12
<b>Sn</b>		0,04	6	12
<b>Zn</b>		170	535	960
<b>Mn</b>		80	246	620

Forrás: NUSSBAUMER, 1998/2.

A 2. táblázatban a használt fa különböző hasznosítási módozatai láthatók, amelyből kiderül, hogy a használt fatermék hasznosításában rejlő lehetőségek kiaknázása hazánkban sem várthat magára sokáig.

2. táblázat. Használt fa (Altholz) felhasználása Németországban

Felhasználási mód	Altholz (tonna)	Altholz (%)
Faipari (anyagában)	1 309 289	27,2
Egyéb (anyagában)	90 173	1,9
Energetikai hasznosítás	2 506 300	52,1
Megsemmisítés	36 729	0,8
Export - anyagi hasznosítás	695 689	14,5
Export - energetikai hasznosítás	173 765	3,6
Export - megsemmisítés	1 462	< 0,1
Egyéb	970	< 0,1
<b>Összesen:</b>	<b>4 814 377</b>	<b>100,0</b>

Forrás: MANTAU-WEIMAR, 2003.

Jelentős (52,1 %) az energetikai hasznosítás, amelynek sajátosságaira az 1.3 fejezetben részletesen kitérek. A használt faanyag anyagában történő újrahasznosítási aránya 27,2 % a faipari termelésben, ez az a mennyiség, amely égetés helyett magasabb rendű, anyagi hasznosításra kerül.

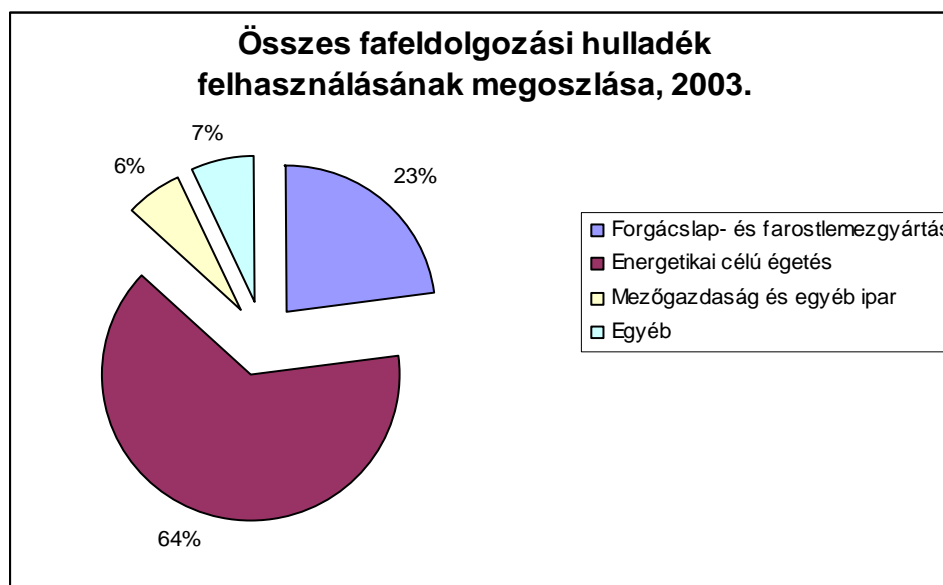
A következő táblázat szemlélteti, hogy a különböző üzemi kapacitások mellett (955 vállalat adatai alapján) az Altholz hány százalékban hasznosul az egyes üzemekben.

3. táblázat. Használt fa (Altholz) hasznosítása üzem nagyság szerint Németországban

Üzem nagyság (tonna)	Üzem (darab)	Altholz (tonna)	Továbbfelhasználás (tonna és %)		Saját felhasználásra (tonna és %)	
			tonna	%	tonna	%
0-499	272	47 207	46 252	98	955	2,0
500-999	142	95 563	93 397	97,7	2 166	2,3
1 000-2 499	210	330 264	326 013	98,7	4 251	1,3
2 500-4 999	113	397 121	377 974	95,2	19 147	4,8
5 000-9 999	85	546 292	531 692	97,3	14 600	2,7
10 000-19 999	56	700 621	676 885	96,6	23 736	3,4
20 000-49 999	48	1 281 123	1 218 881	95,1	62 242	4,9
50 000-99 999	19	1 209 856	1 149 856	95,0	60 000	5,0
100 000-	10	1 562 428	1 562 428	100,0	0	0,0
<b>Összesen:</b>	<b>955</b>	<b>6 170 475</b>	<b>5 983 378</b>	<b>97,0</b>	<b>187 097</b>	<b>3,0</b>

Forrás: MANTAU-WEIMAR, 2003.

Hazánkban az egy évben képződött, összes fafeldolgozásból eredő hulladék felhasználása az alábbiak szerint oszlik meg (2. ábra). A lemeziparban keletkező hulladékok a zárt technológiának köszönhetően szinte maradéktalanul újrafelhasználhatóak - ld. 4. ábra. Jelentős (64 %) az energianyerés céljából történő égetés és a lemezgyártásban történő hasznosítás.

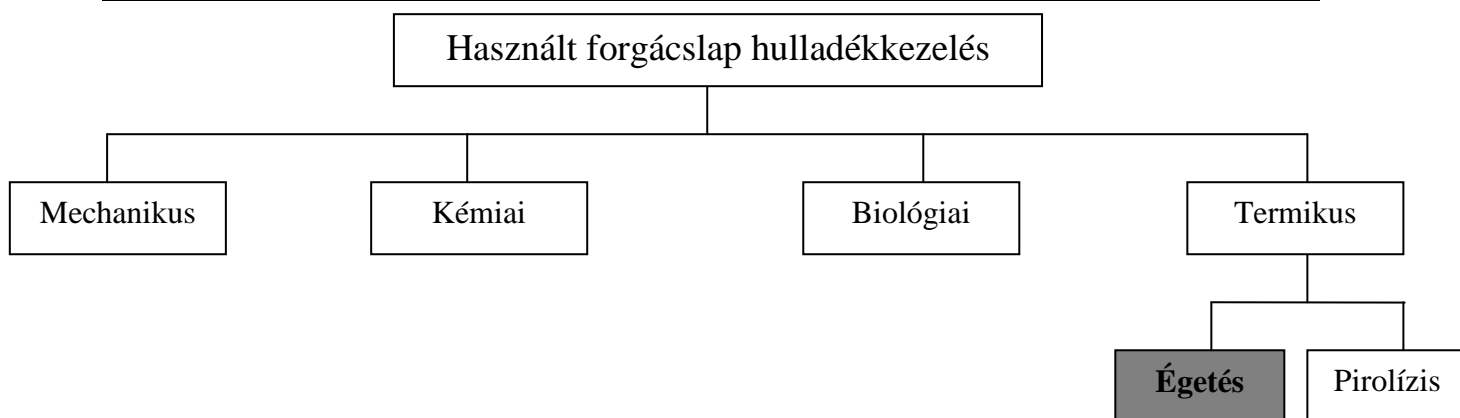


2. ábra. Fafeldolgozási hulladékok felhasználási területei 2003-ban

Forrás: SCHÖBERL, 2003.

### 1.1.3 Forgácslap hulladékok hasznosítási lehetőségei

Használt forgácslap hulladék kezelésére vonatkozóan az alábbi lehetőségek állnak rendelkezésre:



### 3. ábra. Használt forgácslap hulladékának kezelési lehetőségei

A kialakult eljárások az alábbi csoportokba sorolhatók:

- Egyszerű eljárások:
  - mechanikus: aprítás, visszaforgatás
  - termikus: pirolízis és égetés
  - tisztán kémiai és biológiai eljárások még nincsenek kifejlesztve
- Kombinált eljárások:
  - mechanikai-kémiai-termikus: WKI forgácsfeltárás

Szükségesnek tartom, hogy a forgácslapgyártás során keletkező hulladékok és másodnyersanyagok felhasználását egy ábra erejéig bemutassam. Ehhez azonban előbb pár szót ejtsünk a forgácslapokról.

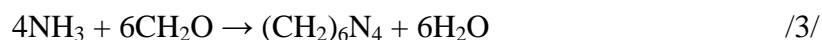
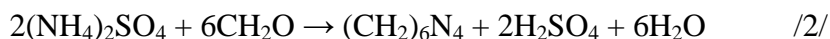
Forgácslapnak nevezzük a faanyag mechanikai úton történő, kisméretű részecskékre bontás után, a célnak megfelelően - kötőanyaggal és segédanyagokkal stabilizált - összerakott forgácsaiból elkészített, különleges tulajdonságokkal bíró lapokat (WINKLER, 1998).

A Falco évente kb.  $300\,000\,m^3$ , az Interspan kb.  $200\text{-}220\,000\,m^3$  forgácslapot állít elő.

Az Interspan főleg fenyőt és nyárféleségeket használ a gyártás során (60 % hengeresfa, 15-20 % apríték, 8-10 % fűrészpor és fahulladék), a Falco átlagosan 77 ezer  $m^3$  keménylombost, 106 ezer  $m^3$  lágylombost, 55 ezer  $m^3$  fenyőt, 81 ezer  $m^3$  léchulladékot, 18 ezer  $m^3$  aprítékot és rontott lapot, valamint hámozási hulladékot, raklapot.

A forgácslapgyártás elterjedt kötőanyaga a karbamid-formaldehid gyanta (80-90 %). Az UF-gyantákat karbamid és formaldehid, valamint savak felhasználásával készítik, hőhatás alatt. Környezetvédelmi szempontból a gyantaképzéshez szükséges formaldehidnek van nagy jelentősége, a környezetbe kijutó formaldehid mennyiségét az utóbbi években lecsökkentették (molarány változtatásával), így a formaldehid-emisszió mértéke elviselhetővé vált. (A KF-gyanták szabad formaldehid-tartalma 1 % a nyers gyantára vonatkoztatva.)

A KF-gyanta edzője ammónium-klorid vagy ammónium-szulfát (vizsgált mintáimmál az utóbbi, 0,6-1,0 %-ban adagolják). Ezekben a sókban az ammónium-ionok hatására a gyanta formaldehidjével hexametilén-tetraminná, sósavvá illetve kénsavvá és vízzel reagálnak. A ragasztó kikeményedését a keletkezett edzősavak gyorsítják. A ragasztó formaldehidjével az ammóniumsók már alacsony hőmérsékleten is reagálnak, a hőpréselés előtt. Ezt a nemkívánt előkeményedést pufferekkel lehet meggátolni, amelyek ammónium vagy karbamid lehetnek. A lezajló reakciók TAKÁTS nyomán:



Az ammónia az utólagosan lehasadó formaldehid megkötésére szolgál (90 %-át az ammóniaalagútban meg tudják kötni).

A forgácslapok felületnemesítési módja a laminálás. Az impregnált papír alapanyaga nyers dekorpapír (a laminát lényegében modifikált (KF+MF-, MF-műgyantával átítatott) rostos nátronpapír).

Az átlagosan 19 mm vastagságú, 650 kg/m<sup>3</sup> térfogati sűrűségű forgácslap kötő- és adalékanyagait a következő vonatkoztatás szerint szokás megadni (HELLER, 1995):

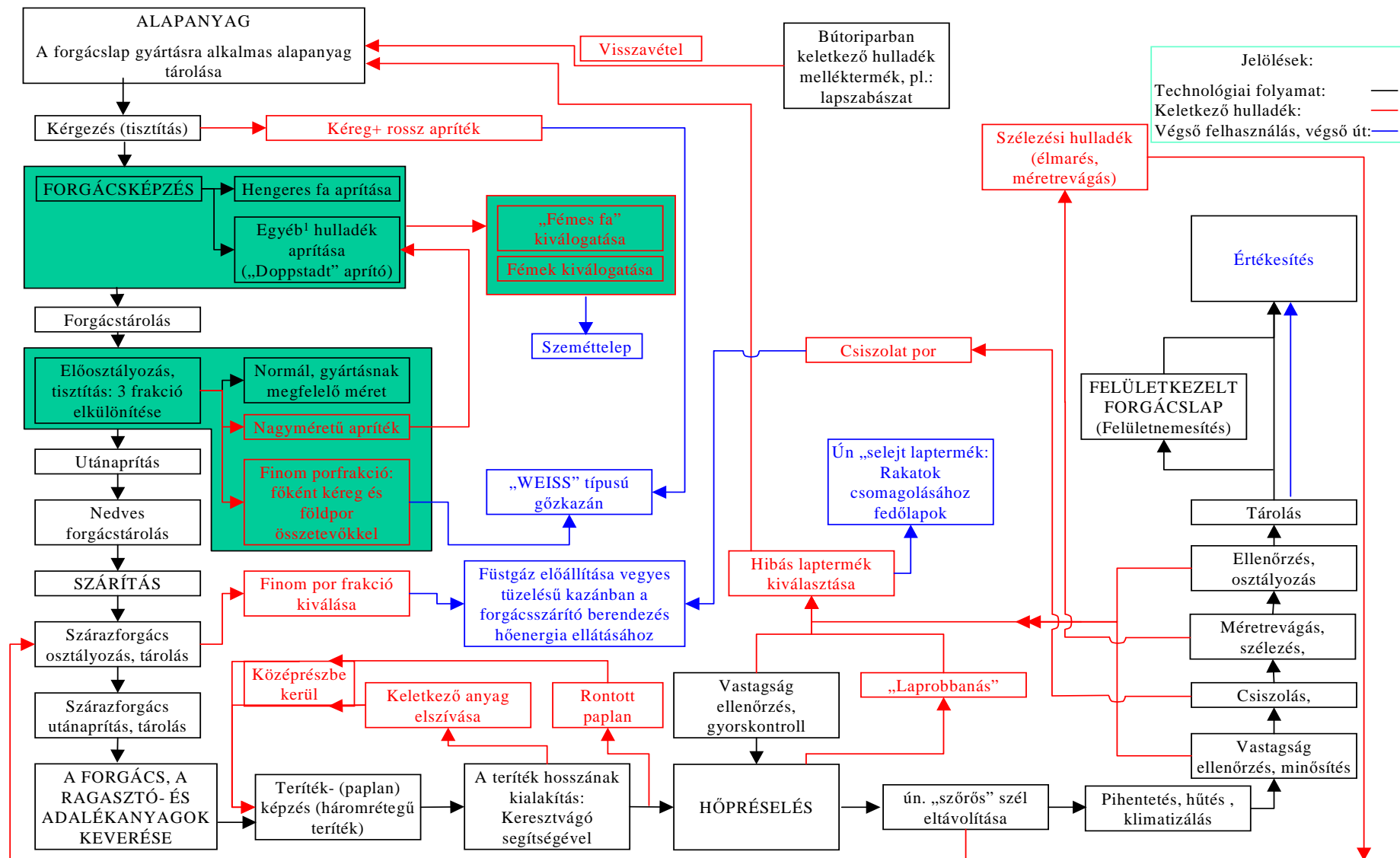
Az abszolút száraz faforgácsra vonatkoztatják a gyanta szárazanyagot (középrétegben 8,5 %, fedőrétegben 11 %) és a nedvességet (7,5 % - 12,0 % elegyedvesség).

A gyanta szárazanyagára vonatkoztatják az edzőt (3,0 % - 0,5 %), a paraffin szárazanyagot (6,0 % - 2,0 %) és a puffert ((0,5 %) - 2,5 %) (MOLNÁR, 2000).

A szombathelyi forgácslapgyár forgácslap hulladékainak keletkezési helyeiről és a hasznosítási módokról az alábbiakban felsoroltak a mérvadók (VARGA – ALPÁR – NÉMETH, 2005) és tájékoztatást nyújtanak a hasznosítás területeiről, ezért említést kell tennünk róla.

1. A beérkező hengeresfa alapanyag aprítás előtti kérgezése során kéreg keletkezik, ezt tüzelőberendezésbe juttatják gőznyeres céljából, amelyet később:
  - irodaházak és a csarnokok fűtésére,
  - tűzvédelemre (porrobbanási helyek - porsilók - oltása) használnak.
2. A forgácsképzés során keletkező kevés fémes fa, illetve fémhulladék a szeméttelrepre kerül.
3. Az előosztályozás során keletkező nagyméretű apríték az aprítóba kerül vissza, a finom porfrakció, amely főként föld és kéreg por összetevőket tartalmazó anyag, vegyes tüzelésű kazánba kerül, ahol a forgácsszárításhoz szükséges füstgáz előállítását végzik.
4. A száraz forgács osztályozása során keletkező por felhasználása ld. 3. pont.
5. A teríték hosszának kialakítása során van szükség a keresztvágóra. A keresztirányú vágás során keletkező, még ki nem szilárdult gyantás-forgácsot elszívják és visszajuttatják a középréteg alapanyagába, csakúgy, mint a terítés során keletkező ún. „rontott paplan” anyagát.
6. Hőprésléskor a laprobbanás során tönkrement laptermék vagy az alapanyagba kerül vissza (a gyártási folyamat letelejére), vagy a rakatok csomagolásához használatos fedlapként kerül hasznosításra.
7. A vastagságellenőrzés, minősítés során keletkező hibás laptermék felhasználása ld. 6. pont.
8. A csiszolás során keletkező csiszolatpor felhasználása ld. 3. pont.
9. A méretrevágás és szélezés során keletkező anyag (technológiából ki nem lépő hulladék) - közel 935 t/év mennyiség - a szárazforgácsnál kerül újbóli felhasználásra.

A következő ábra a gyártási folyamatban keletkező hulladékokat és hasznosítási helyeiket mutatja be.



4. ábra. Forgácslapgyártás folyamatábrája, a gyártás során keletkező hulladékok keletkezési helyeivel és azok felhasználásával

## 1.2 A fa és faalapú hulladékok, mint tüzelőanyagok jellemzése

A fa és faalapú hulladékok tüzelőanyagként történő jellemzése során szükséges a legfontosabb tulajdonságokat kiemelten megvizsgálni, amelyek a következők: kémiai összetétel, nedvességtartalom, fűtőérték, idegenanyag-tartalom és alakiság.

Ezek a paraméterek egyértelműen meghatározzák, milyen tüzelőanyaggal állunk szemben, annak tulajdonságai hogyan befolyásolják az égést, és milyen emissziós értékeket várhatunk el, valamint képet kaphatunk arról is, mennyire környezetkímélő a faanyag eltüzelése.

### 1.2.1 Kémiai összetétel

A faanyag anatómiai felépítését tekintve összetett morfológiai szerkezetű, inhomogén, komplex makromolekuláris rendszer (NÉMETH, 1997).

Elemi összetétele: széntartalom 48,5 - 50,4 %, oxigéntartalom 43,4 - 44,5 %, hidrogéntartalom 5,8 - 6,3 % körül. A biokémiai folyamatok eredményeként a jelenlévő nitrogéntartalom 0,04 - 0,26 %. A szervesen összetevők mennyisége 0,1 - 0,55 %, egyes trópusi fák esetében elérheti az 5 %-ot is. A szervesen rész 80 %-át alkáli és alkáli földfémek teszik ki, sók, oxalátok, karbonátok, foszfátok, szulfátok formájában.

Az elemek egy része esszenciális, szükséges a fa növekedéséhez. Ezek lehetnek relatíve nagy mennyiségben (100-1 000 ppm), mint a Ca, K, Mg, Na, Mn; mások kis mennyiségben (> 10 ppm), mint a B, Fe, Mo, Zn, Cu.

A faanyagot felépítő sejtfal döntő része makromolekuláris vegyület. A szerkezetileg és kémiaileg is elkülönülő vegyületek, -csoportok a vázanyagot képező cellulóz, a kötőanyag szerepét betöltő, aromás szerkezetű lignin, és a sejtfalban a cellulózzal szoros kapcsolatban lévő, a ligninnel is kémiai kötést képző szénhidrát rész, a hemicellulóz, vagy polióz frakció.

A makromolekuláris alkotók mellett járulékos alkotórészek is találhatóak a faanyagban, kismértékben vízben, szerves oldószerben oldódó vegyületek formájában: egyszerű fenolok, polifenolok (tovább lignánok és flavonoidok); terpének és gyanták; kimaradt cukrok, ciklitek, zsírok, viaszok, alkaloidok.

Szerepük az élő fa védelme. Elsődlegesen biokémiai károsítók ellen védenek, változatos felépítésük miatt eltérő mechanizmussal. A faanyag tulajdonságait kis mennyiségük ellenére is jelentősen befolyásolják, fontos szerepet játszanak a fa színváltozásában, védik a fát a fény és biológiai hatásokkal szemben. Befolyásolják a mechanikai tulajdonságokat. A faanyag illatát is a járulékos anyagok határozzák meg. Felelősek a faanyag okozta fiziológiai hatásokért (gyógyító, mérgező, allergén, karcinogén hatások, a ható vegyületek kémiai felépítésétől és koncentrációjától függően).

A fa sejt felépítésének megfelelően porózus szerkezetű anyag, mint szilárd test kiváló fizikai tulajdonságokkal rendelkezik. Szilárdsága tömegéhez viszonyítva azonos az acéléval, és 3-4-szer jobb a vasbetonénál. Kiváló akusztikai tulajdonságai a hangszergyártásban kedvezőek. A száraz fa a szilárd dielektrikumokhoz tartozik, de nedvesség hatására jelentősen csökken a fajlagos ellenállása, hibája: alakja-mérete változik szorpciós folyamatok hatására, valamint nem kellően kemény és tartós.



A porózus fatest szorpciós tulajdonságai révén egyensúlyban van a környező klímával, adszorpció esetén korlátozott mértékben duzzad, deszorpciós folyamatban zsugorodik. A rostos, a cellulózváz által jórészt kristályos szerkezetű fatest ortogonálisan anizotróp: fizikai tulajdonságai eltérőek a rostokkal párhuzamos, és az arra merőleges húr- és sugárirányokban.

A 4. táblázatban natúr (kezeletlen) és kezelt fa átlagos elemi összetételéről kaphatunk információkat. A kezelés fajtájától (felületkezelés, segédanyagok hozzáadása, kötőanyag jelenléte stb.) függően változik a fő összetevőkön (C, H, O) kívüli elemek mennyisége.

4. táblázat. Natúr és kezelt fa elemtartalma

Elem	Egység	Natúr fa*	Kezelt fa*
C	súly%	50	50
H		6	6
O		43	43
N	mg/kg	<b>900</b>	<b>6450</b>
S		<b>120</b>	<b>1270</b>
Cl		<b>10</b>	<b>850</b>
F		15	47
Hg		0,02	0,6
Cd		0,1	2,7
Cr		1,3	38,8
Cu		2	177,5

\* - különböző forrásokból vett értékek átlaga  
Forrás: HERBELL, 1997.

Érdeemes észrevennünk, hogy jelentős különbségek mutatkoznak natúr és kezelt fánál N, S, Cl tartalmuk tekintetében. A későbbiekben bemutatásra kerülő elvégzett mérés is alátámasztja ezeket az értékeket.

A 5. táblázatban fa és falemezek átlagos elemi összetétele és fűtőértéke látható. Itt is érdemes egy kicsit közelebbről megtekinteni a KF-forgácslap (natúr és bevonatos) típusainál megfigyelhető N-tartalom különbséget, amely az NO<sub>x</sub>-emisszióban mutatkozik meg markánsan.

5. táblázat. Fa, valamint forgácslap/farostlemez elemi összetétele és fűtőértéke

Tüzelőanyag	Elemi összetétel (súly%)						Fűtőérték (kWh/kg) kb. érték
	C	H	O	N	Cl	Hamu	
<b>Fa/Kéreg száraz</b>	49,5	6,3	44,2	0,2	<0,001	0,5	4,45
<b>Kéreg nedves</b>	50	6	43	0,5	<0,01	2-5	2,20
<b>MDF száraz</b> (kötőanyag: karbamidgyanta NH <sub>4</sub> Cl nélkül; <b>natúr</b> )	49	6	43	3,5	-	1->1	4,85
<b>KF-forgácslap száraz</b> (kötőanyag: karbamidgyanta NH <sub>4</sub> Cl nélkül; <b>natúr</b> )	49	6	43	<b>3</b>	-	1->1	4,85
<b>KF-forgácslap száraz</b> (kötőanyag: karbamidgyanta NH <sub>4</sub> Cl nélkül; melamingyanta tartalmú papírral <b>bevont</b> )	49	5,5	43	<b>4- 4,5</b>	-	1->1	4,90

Forrás: PETERS, 1997.

C, H és O arányaiban nincs lényegi különbség a fenti tüzelőanyagok esetében, a nitrogéntartalom és a fűtőérték tekintetében mutatnak eltérést. A nitrogéntartalom növekvő jelenléte a laplemezekhez hozzáadott segéd- és felületkezelő anyagok használatával magyarázható.

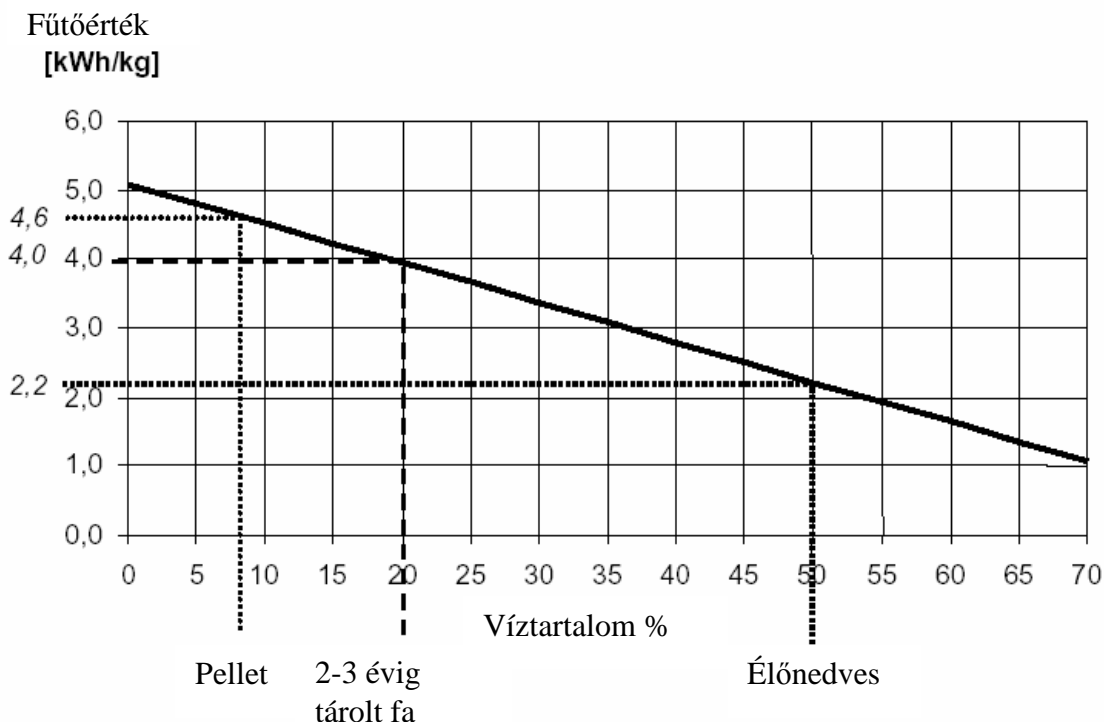
Az erősen eltérő fűtőértékek leginkább a tüzelőanyagok nedvességkülönbségéből származnak. Falemezekenél a ragasztó és a felületkezelő anyagok tovább növelik a fűtőértéket.

## 1.2.2 Nedvességtartalom

A fa és fahulladékok életük különböző fázisaiban különböző nedvességtartalommal rendelkeznek. A frissen döntött tűzifa, ill. apríték nedvessége a 120 %-ot is elérheti. Fűrészüzemi hulladékok nedvessége 60 % alatt van. Használt fatermékek esetében légszáraz állapot, 15-30 %-os nedvességtartalom várható, legalacsonyabb az ipari hulladékok nedvessége, kb. 6-12 %.

A faanyagban lévő nedvességtartalom - karöltve a hozzáadott égéslevegő mennyiségével - jelentősen befolyásolja az égés folyamatát. Növekvő nedvességtartalommal csökken az égés hőmérséklete és a hőtermelés, ami az üzemeltetés gazdaságosságát kérdőjelezi meg. Csökkenő hőmérsékletnél romlik, vagy elmaradhat a kiégetési szakasz, amely nagy mennyiségű légszennyezőanyag képződéshez vezet, és ezért kerülendő. Ezért tanácsos a magas nedvességtartalmú fa, ill. fahulladék előzetes szárítása (lehetőleg abszolút szárazra - atro).

Az 5. ábrán a nedvességtartalom hatását láthatjuk fa fűtőértékére. A lineáris összefüggés jól mutatja, hogyan csökken a fűtőérték a fában jelenlévő és növekvő nedvességtartalom következtében.



5. ábra. A nedvességtartalom hatása a fa fűtőértékére

Forrás: MARUTZKY, 1997.

### 1.2.3 Fűtőérték

A faanyag, mint összetett makromolekuláris rendszer hőközlés hatására kémiai, fizikai-kémiai változásokon megy keresztül, amelyek külső és belső tényezőktől függenek. A hő okozta változásokra az alkalmazott hőmérséklet, a hőhatás ideje, és a hőmérséklet-emelkedés sebessége van legnagyobb hatással.

A fakomponensekben tárolt energia pontosan meghatározható kísérletekkel. A kalorimetriás vizsgálatokkal a komponens égésekor keletkező hő kis mennyiségű anyagból is jól mérhető. A tiszta faanyag égésének reakcióhője a komponensek mennyiségéből és égéshőjéből additív úton számítható, de a komponensek égéshőjének meghatározásához hasonlóan kaloriméteres úton is mérhető.

A fát tüzelőanyagként kezelve, a tüzelőanyag tömegébe bele kell számítani a benne lévő víz mennyiségét és hamutartalmát. A fa hamutartalma kicsi, a nedvességtartalom széles tartományban változhat, ezért jelentősen befolyásolhatja az egységnyi famennyiségből nyerhető energiamennyiséget (NÉMETH, 1998).

A fűtőhatás nő a széntartalommal, a cellulóz-, a lignin- és gyantatartalommal és az egyéb éghető anyagok mennyiségével (olaj, zsír, cukor, gyanta), viszont gombák által megtámadott fák fűtőhatása kisebb, mint az egészségesé.

A fában lévő savak, a nehezen égő vagy éghetetlen alkotórészek (csersav, ásványi anyagok), különösen a víz (a párolgáshoz hőt von el) csökkenti a fűtőhatást.

Vegyí anyagokkal társított (pl. laminátos forgácslap) fahulladék égetésénél a használt vegyi anyag (pl. karbamid-gyanta) növelheti a fűtőértéket, ami hőtermelés szempontjából előnyös. (erre vonatkozó mérési adatokat ld. 6. ábra)

A fa energiatartalma kémiai összetételéből következik, hiszen a száraz fa 48-52 %-a szén, ami döntően a fa anyagát alkotó cellulózba (50 %) és ligninbe (20-30 %) épült be. A fa energiatartalmát fűtőértéke jellemzi. Kétféle fűtőérték különíthető el:

**Égéshő** (égésmeleg, felső fűtőérték): az egységnyi tömegű tüzelőanyag tökéletes égésekor keletkezett hőmennyiség, feltéve, hogy eredetileg a tüzelőanyagban lévő és az égéskor keletkezett víz cseppfolyós, valamint a kiinduló- és vég hőmérséklet  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

**Fűtőérték** (alsó fűtőérték): az egységnyi tömegű tüzelőanyag tökéletes égésekor keletkezett hőmennyiség, feltéve, hogy eredetileg a tüzelőanyagban lévő és az égéskor keletkezett víz gőz halmazállapotban van jelen. A víz párolgáshőjét tehát le kell vonni az égéshőből. A kiinduló- és vég hőmérséklet  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Az elégetés során a tüzelőanyagból eltávozó nedvesség és a hidrogén elégéséből keletkező víz párolgási hőjével csökkentett égéshő.

Az abszolút száraz fa tömegre vonatkoztatott fűtőértéke  $18,84\text{ MJ/kg}$ .

Az égéshő és a fűtőérték használatakor a faanyagot egy homogén, éghető anyagból, hamuból és vízből álló rendszernek tekintjük. Az égéshő az elemi összetételből számítható. Ere a DULONG-képlet a legalkalmasabb, amely szerint az égéshő az egyes éghető elemek százalékos arányukban vett égéshőjéből számítható, figyelve arra, hogy főleg szerves vegyületeknél az éghető anyag egy része már részben oxidált állapotban van jelen.

Az égéshő:

$$E' = \frac{\Delta H_{\text{C}} \text{ \%} + \Delta H_{\text{H}} (\text{H \%} - 1/8 \text{ O \%})}{100} \text{ (kJ/kg)},$$

ahol:

$\Delta H_{\text{C}}$  az elemi szén égéshője:  $44\ 966\text{ kJ/kg}$ ,

$\Delta H_{\text{H}}$  a hidrogén égéshője:  $144\ 307\text{ kJ/kg}$ ,

H % - 1/8 O % diszponibilis hidrogén,

C %, H %, O % a megfelelő elemek százalékos mennyisége.

Miután a fa elemi összetétele csak kis intervallumban ingadozik, nincs nagy elérés az egyes fajok égéshője közt.

Magasabb a nagyobb lignintartalmú fák, mint a fenyőfélések és a nagyobb C:H arányt eredményező nagy gyantatartalmú fák égéshője (súlyra vonatkoztatott). Kisebb viszont a poliózokat nagyobb arányban tartalmazó fák égéshője.

Fontos, hogy az égéshőt általában tömegre vonatkoztatják, tehát ebben a fa térfogati sűrűsége nem játszik szerepet.

Fűtőérték: az égéshőből az égéskor keletkező és eredetileg jelenlévő víz párolgáshője levonásra kerül:

$$F = E' - \Delta H_{\text{víz}} (9H \% + \text{nedv.}\%)*1/100 \text{ (kJ/kg)}$$

ahol:

$\Delta H_{\text{víz}}$  víz párolgáshője 2 514 kJ/kg

nedv.% nedvességtartalom (%)

H% hidrogéntartalom (%)

A 6. táblázat néhány hazai fafaj átlagos égéshőjét tünteti fel, majd a következő táblázatban tömegre és fatérfogatra vonatkoztatott adatok láthatóak.

6. táblázat. Néhány fafaj átlagos égéshője

Fafaj	Égéshő (kJ/kg)
Vörösfenyő	18 610 - 20 058
Jegenyefenyő	17 647
Feketeenyő	16 750
Fűz	17 010
Kőris	18 124
Szil	18 045

7. táblázat. Fontosabb fafajok égéshője tömegre (kJ/kg) és fatérfogatra (MJ/m<sup>3</sup>) vonatkoztatva (u = 0 %)

Fafaj	kJ/kg	MJ/m <sup>3</sup>
Nyír	20 070	14 049
Akác	18 617	13 590
Cser	18 133	13 330
Gyertyán	16 696	13 190
Bükk	18 419	12 525
Juhar	20 070	11 841
Tölgy	17 858	11 608
Éger	17 681	8 841
Luc	19 503	8 386
Erdei fenyő	16 745	8 205
Nyár	16 843	6 400

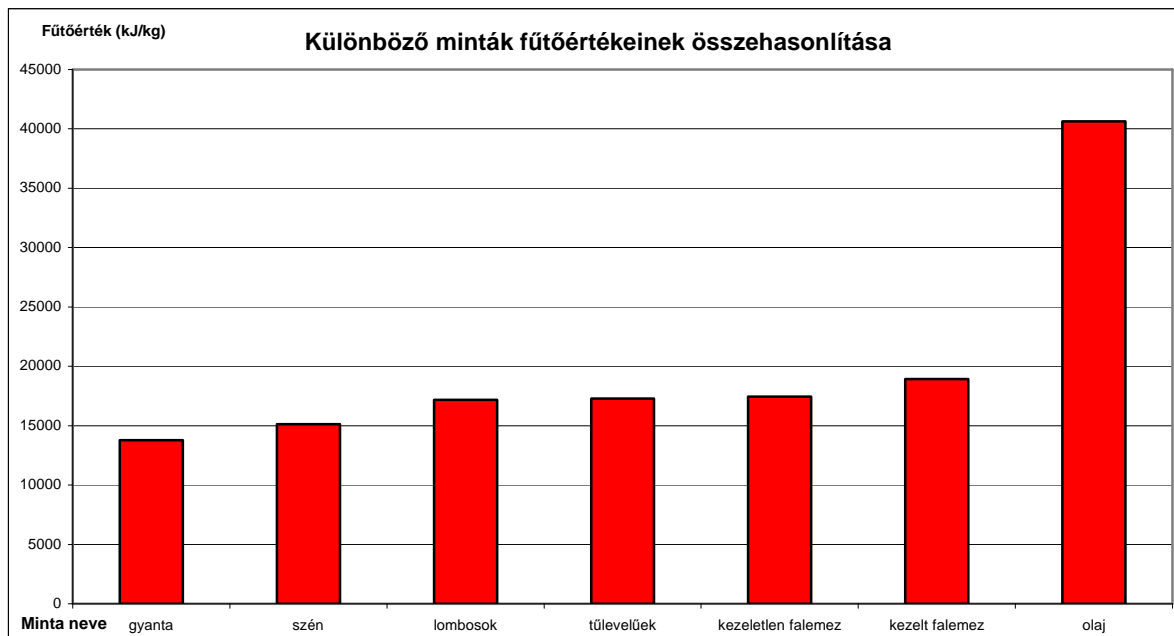
A fa, különböző állapotaiban (elsősorban a benne lévő nedvesség és a járulékos anyagok jelenléte miatt) különböző égési tulajdonságokat mutat, ez az alábbi táblázatban jól látható, ahol eltérő víztartalom mellett láthatóak fűtőérték adatok.

8. táblázat. A különböző állapotú fa fűtőértéke

Fa állapota	Víztartalom	Fűtőérték
Erdei frissességű	50-60 %	2,0 kWh/kg = 7,1 MJ/kg
Egy nyáron át tárolva	25-35 %	3,4 kWh/kg = 12,2 MJ/kg
Több éven át tárolva	15-25 %	4,0 kWh/kg = 14,4 MJ/kg

Fűtőérték-vizsgálataim során 64 mintát gyűjtöttem be, 40 minta lombos fából, 16 minta tűlevelűből és 8 minta különféle falemezből és gyantából származott. A minták nedvességtartalma közel azonos volt, a hamutartalom 1 % alatti (SZÉLL, 2002).

A 4. MELLÉKLETben a mérésről fényképek láthatóak.



6. ábra. Különböző minták fűtőértékeinek összehasonlítása

Forrás: SZÉLL, 2002.

A 6. ábra mutatja a különböző anyagoknál mért átlagos fűtőértékeket és ezek egymáshoz viszonyított nagyságát.

Azoknál a mintáknál, ahol külön vizsgáltam a geszt és a szíjács fűtőértékét, általában a szíjács értékei bizonyultak magasabbnak (bükk, gyertyán, cseresznye, dió, tölgy, körte, hárs, duglász, tuja stb.), kevés kivétel akadt, pl. bálványfa. Ennek oka a geszt és a szíjács járulékos alkotóinak részaránybeli különbsége lehet. Elmondható, hogy mintáimban a lombos fák átlagos fűtőértéke (17 614 kJ/kg) magasabb, mint a tűlevelűeké (17 159 kJ/kg). Vannak kivételek, pl. tiszafa, mammutfenyő.

A lombosok 16 073 - 19 607 kJ/kg, a tűlevelűek 14 979 - 18 317 kJ/kg intervallumban mozogtak. Igazán jelentős eltérések nem mutatkoztak az egyes fafajok fűtőértékei között, ezért pl. nincs jelentősége a (fűrészipari) hulladékok fafaj szerinti szétválogatásának.

A kezeletlen falemez alacsonyabb fűtőértékű, mint a kezelt, ez a társított anyagoknak köszönhető.

Nemcsak az egyes fafajok és lemeztermékek, segédanyagok fűtőértékét vizsgáltam, hanem az értekezés kiindulási alapjául szolgáló négy (2-2) forgácslap-alapú mintát is kaloriméteres vizsgálatoknak vettem alá.

A vizsgálatokat két különböző helyen: a bokodi VÉRT MEO laborban és a VE Vegyész-mérnöki Intézet Ásványolaj és Széntechnológia Tanszékén végeztem.

A mérési eredmények az alábbi táblázatban láthatóak (az adatok saját vizsgálatok eredményei).

9. táblázat. Forgácslap-minták fűtőérték adatai

Minta megnevezése/mérés helye	VÉRT MEO	VE
<b>FALCO</b> natúr forgácslap	Égéshő= 17 008 kJ/kg	Égéshő= 15 289 kJ/kg
	Fűtőérték= 15 670 kJ/kg	Fűtőérték= 13 977 kJ/kg
	Hamu= 1,03 %	Hamu= 1,42 %
	Nedvesség= 10,5 %	Nedvesség= 8,1 %
	Bombakén= 0,71 %	Bombakén= 0,87 %
	Hidrogén= 4,95 %	Hidrogén= 5,05 %
<b>FALCO</b> laminátos forgácslap	Égéshő= 16 727 kJ/kg	Égéshő= 18 193 kJ/kg
	Fűtőérték= 15 417 kJ/kg	Fűtőérték= 16 899 kJ/kg
	Hamu= 0,90 %	Hamu= 0,97 %
	Nedvesség= 8,1 %	Nedvesség= 6,03 %
	Bombakén= 0,97 %	Bombakén= 0,89 %
	Hidrogén= 5,1 %	Hidrogén= 5,2 %
<b>INTERSPAN</b> laminátos forgácslap	Égéshő= 17 883 kJ/kg	Égéshő= 18 542 kJ/kg
	Fűtőérték= 16 561 kJ/kg	Fűtőérték= 17 231 kJ/kg
	Hamu= 0,53 %	Hamu= 0,49%
	Nedvesség= 8,7 %	Nedvesség= 6,98%
	Bombakén= 0,96 %	Bombakén= 1,01%
	Hidrogén= 5,08 %	Hidrogén= 5,17%
<b>INTERSPAN</b> natúr forgácslap	Égéshő= 17 203 kJ/kg	Égéshő= 18 031 kJ/kg
	Fűtőérték= 15 900 kJ/kg	Fűtőérték= 16 731 kJ/kg
	Hamu= 0,99 %	Hamu= 0,67 %
	Nedvesség= 7,6 %	Nedvesség= 6,22 %
	Bombakén= 0,97 %	Bombakén= 1,47 %
	Hidrogén= 5,12 %	Hidrogén= 5,2 %
<b>Faforgács</b>	Égéshő= 16 876 kJ/kg	-
	Fűtőérték= 15 516 kJ/kg	-
	Hamu= 1,46 %	-
	Nedvesség= 12,7 %	-
	Bombakén= 0,95 %	-
	Hidrogén= 4,81 %	-

A mért adatokból látható, hogy jelentős különbségek nem adódtak a mintákon különböző mérőhelyeken elvégzett vizsgálatok során.

A fűtőérték átlagosan 15-17 MJ/kg, a hamutartalom 0,5 - 1 % körül mozog. Jelentősnek mondható az 1 % körüli bombakén érték, amely a forgácslapban található edző (ammónium-szulfát) kéntartalmából származik (a fa kimutathatósági határ alatti mennyiségű kénnel rendelkezik).

Az azonos gyártmányú natúr és laminátos minták összehasonlításakor megállapítható, hogy a lamináttal bevont forgácslap fűtőértéke magasabb, mint a natúr, ez elsősorban a bevonattal magyarázható. Az Interspan által gyártott lapok pedig magasabb fűtőértékkel rendelkeznek, elsősorban a fenyő (így a gyanta) magasabb részaránya miatt.

### 1.2.4 Idegenanyag-tartalom

A fahulladékok, különösen a használt fatermékek gyakran idegenanyagokat tartalmaznak, amelyek a fa feldolgozása során alkalmazott technológia következtében szándékolt társítással kerültek a faanyaghoz (favédő szerek, ragasztók, lakkok, felületborítások, kötőelemek), illetve olyan anyagok, amelyek a fa és fahulladék szállítása, kezelése, használata közben véletlenszerű szennyeződésként jelentkeznek (SCHÖBERL – SZÉLL, 2002/1).

Az idegenanyagok a fa és fahulladékok égetésének folyamatát zavarják és járulékos légszennyezést okozhatnak, ezért célszerű eltávolításuk. Néhány idegenanyagot azonban egyáltalán nem, vagy csak nehezen lehet elkülöníteni. A 10. táblázat a jellemzőbb idegenanyagokat tünteti fel.

10. táblázat. Fa és fahulladékok idegenanyagai

Leválasztható	Nem, vagy csak nehezen leválasztható
műanyag, fém	favédő szerek
üveg, üvegszál	pácok
csempe, gipsz	ragasztóanyagok
kátránypapír	éégsgátló szerek
linóleum	egyéb impregnáló szerek
vakolat	lakkbevonatok
gitt, tömítőanyagok	laminátbevonatok
tégla, beton	fóliabevonatok
egyéb szerves szennyeződések	egyéb bevonatok

Forrás: MARUTZKY, 1997.

A fa és fahulladék energianyerés céljából történő elégetésekor tisztában kell lenni azzal, hogy bizonyos fahulladékokat csak idegenanyag-tartalmukkal együtt lehet, célszerű elégetni. Az is belátható (a különböző anyagok jelenléte miatt), hogy az idegenanyagokkal társított, szennyezett fahulladékok (laminátos forgácslap hulladék, favédő szerekkel kezelt fahulladék) égetése ebből adódóan nem egyformán veszélyes a környezetre.

Ezért a fahulladékokat differenciáltan megítélve több csoportba kellene besorolni, majd e csoportosítás alapján differenciáltan kellene követelményeket támasztani a szennyezőanyag-kibocsátással és az égetőberendezésekkel szemben.

### 1.2.5 Alakosság

Alakosság alatt a fa és fahulladékok darabosságát, a fadarabok méreteit és megjelenési formáját értjük, amely különböző lehet. Ez jelentős hatással van a begyűjtési, szállítási, tárolási, a kazánba történő beadagolási, és az égetési módszer kialakítására.

Az alkalmazott tüzelési technikát a fa, fahulladék alakisági tulajdonságaihoz is illeszteni kell. A faiparban gyakran finom, kis méretű hulladék (fűrész-, csiszolatpor) keletkezik, amely más technika alkalmazását kívánja, mint az apríték, a durva darabos hulladék. A kedvezőbb alakiságot előkészítő műveletekkel lehet biztosítani.

A finomszemcsés hulladékokból brikett, vagy pellet készíthető, a durva darabos, vagy nagyméretű hulladékok (pl. használt fatermékek) aprítással tehető alkalmassá az alkalmazott



technika számára. Minél homogénebb a fa és fahulladék az alakosság és a nedvesség szempontjából, annál kedvezőbb körülmények biztosíthatók az égéshez

Mivel forgácslap hulladék égetésével kívánok részletesebben foglalkozni, ezért a következőkben megvizsgálom a fa és fahulladékok égésével kapcsolatos ismereteket.

### 1.3 Fa és fahulladékok égetése

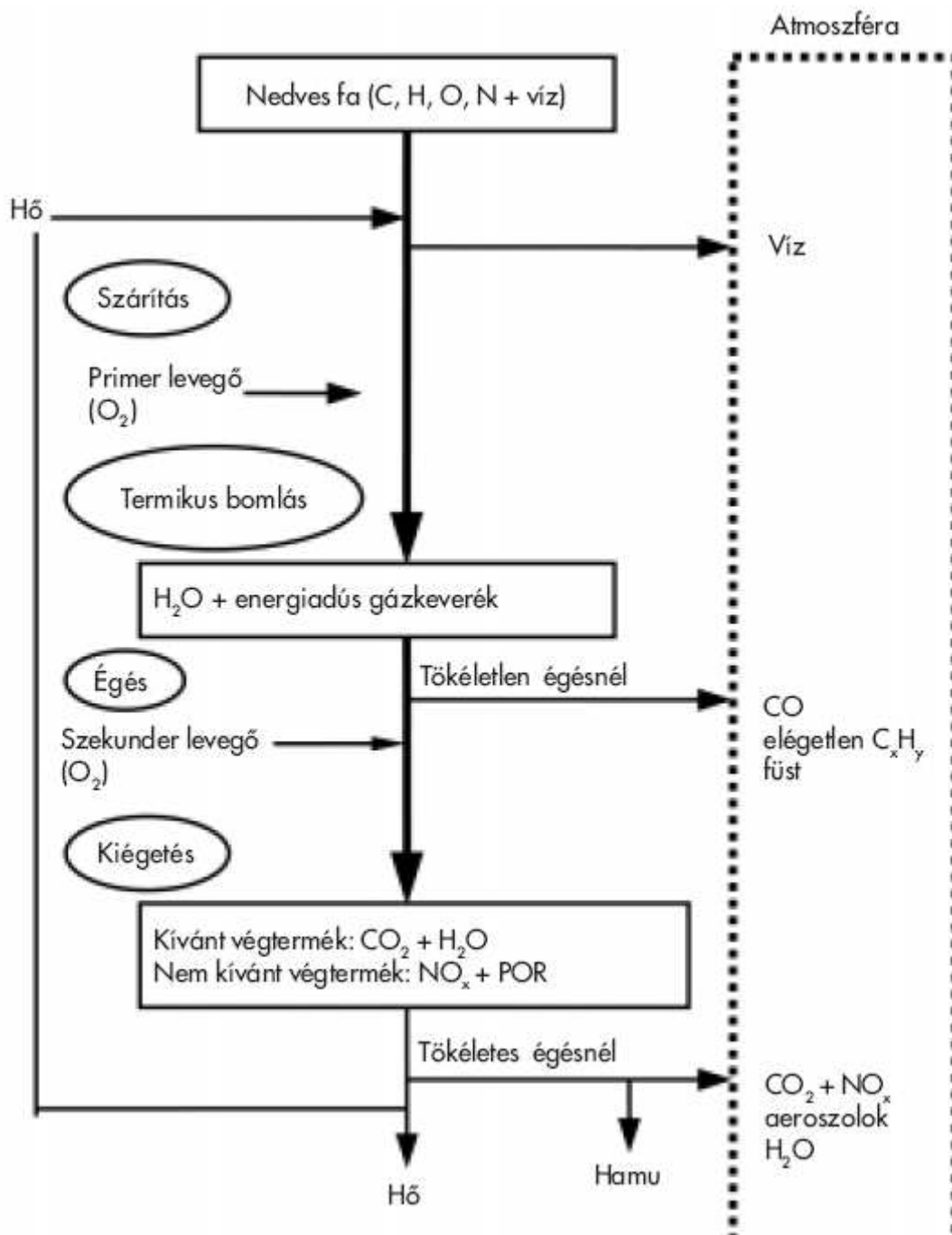
Az égés energia felszabadulásával járó anyagátalakulás. A fa égését befolyásoló legfontosabb tényezők a következők:

- Az égési jellemzőket befolyásolja a hőmérséklet, a hővezetési tényező nagysága és a faanyag anizotrópiája. A nagyobb hővezetési tényezőjű anyagok nehezebben égnek, mert a hő elvezetésre kerül.
- A különböző fafajok eltérő sűrűségük, szöveti és kémiai jellemzőik miatt eltérő égési sajátosságokkal rendelkeznek. Az alaki tényezők szempontjából a fa felülete és térfogataránya fontos. A fajlagosan nagyobb felületű szerkezetek könnyebben égnek, a nagyobb felszínről az égéstermékek gyorsabban eltávozhatnak.
- A fa különféle összetevőinek nemcsak fűtőértéke eltérő, égési tulajdonságaik is különböznek. A lignin nehezebben gyullad meg, mint a cellulóz, a cellulóz pedig nehezebben, mint a hemicellulóz.
- A fa porozitása a sűrűség növekedésével csökken, jelentősen megnő a gyulladási idő, a gyulladáshoz szükséges energia.
- A nedvességtartalom csökkenti az éghetőséget, de egyéb okok (dagadás, gomba-, rovarkárosítás stb.) miatt a nedvesítést, mint módszert nem célszerű alkalmazni az égés gátlására.

#### 1.3.1 Fa és fahulladékok égési folyamatai

Begyújtás után indul a fa égése, amely ciklikus folyamat (7. ábra) és az alábbi szakaszok jellemzik (SCHÖBERL - SZÉLL, 2002/1):

- szárítás,
- termikus bomlás,
- égés,
- kiégetés.



7. ábra. Fa égetésének folyamata

Forrás: BORONKAI, 2003/2.

Az egyes szakaszok leírása

- Szárítás során a fa kiszárad, csak az abszolút száraz fa képes égésre. A légszáraz fában lévő nedvesség a tömeg 15-20 %-a. Ez 100 °C körül távozik a fából.  
100 °C-ig a fában lévő, vízzel kapcsolatos folyamatok játszódhatnak le (fagyás, olvadás, párolgás, szorpciós folyamatok).  
Ebben a hőmérséklet-tartományban található a hidrogénhidas kötésben bekövetkező változásokhoz kapcsolható átalakulások, ill. az ezeket jelző másodlagos átalakulási hőmérsékletek (NÉMETH, 1998).  
A kiszáritáshoz a hőt a begyűjtéskor külön forrásból kell biztosítani, amíg az égési folyamat beindulása után a keletkező hő egy része erre a célra emésztődik fel. A kiszáritott fa a továbbiakban hő hatására bomlásnak indul.
- A második szakasz a termikus bomlás (105 °C-nál kezdődik - gyenge színváltozás), amely kezdetben endoterm, ezt exoterm folyamat követi. A termikus bomlás végeredménye nagy mennyiségű energia, és égésgázok (szén-monoxid és különböző szén-hidrogének keverékei). Lánggal égéskor ezek gyulladnak meg 220-260 °C-on, 260-290 °C-on megindul a tartós égés.
- A harmadik szakasz az égés, döntően a termikus bomlási folyamatban keletkező égésgázok minőségétől és mennyiségétől, és az exoterm folyamat hőtermelésétől függ. A gyulladáspont hőmérséklete 330-470 °C. A fából felszabadult gázok a levegő oxigénjében maguktól meggyulladnak.  
Hő hatására a fa szén-hidrogén vegyületeinek hidrogéntartalmú összetevői lehasadnak és gáz formájában elégnak. A gyorsan távozó fagáz miatt nem jut elegendő oxigén a fadarab felületére, ezért faszénre alakul át. A gázok eltávozása után a faszén 500-800 °C hőmérsékleten elizzik. A tiszta faszén jóformán láng nélkül ég el.  
(Ekkor köztes oxidációs terméként ismét szén-monoxid kerül az égésgázokba.)  
Folyamatos égetéskor a lánggal égés és az izzás együtt van jelen. Az égés kezdetekor a hőmérséklet csak lassan, fokozatosan emelkedik, de a fa tartós égésekor a hőmérséklet eléri a 800 - 1 100 °C-ot (az elméletileg elérhető max. hőfok: 1 550 °C (UGOLEV, 1986)).

Ezen a hőmérsékleten indul a negyedik szakasz.

- A teljes kiégetés szakasza az égésgázok teljes oxidációját eredményezheti. A fagázok tökéletes elégeésekor szén-dioxid és víz keletkezik.  
Ha az égetés ennek a szakaszának kifejlődése nem biztosított, akkor az égésterméként jelentkező füstgázban tökéletlen égés miatt olyan légszennyező anyagok jelennek meg, amelyek elkerülhetők lennének (szén-monoxid, elégetlen szén-hidrogének, füst).  
A keletkező fahamu főleg Ca-, K-, Mg-tartalmú (kb. 50 % CaO, 16 % K<sub>2</sub>O, 15 % MgO, 7 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 5 % SiO<sub>2</sub>, 5 % Na<sub>2</sub>O, és egyéb anyagok) (EBERT, 1997).

Éghetőség alapján a faanyagok csoportosíthatók:

- nem éghető: a cement (beton) kötésű falapok, lemezek, pl. Betonyp
- nehezen éghető: az égéskésleltető szerrel kezelt tömörfák és különféle falapok, lemezek,
- közepesen éghető: természetes faanyagok, forgácslapok, pozdorja mezek, rétegelt lemezek,
- könnyen éghető: védelem nélküli farostlemezek, MDF-lemezek.

Különböző kísérletek és az égésnél szerzett tapasztalatok szerint a gyűrűs likacsú lombfák és a legtöbb fenyő tüzesetkor előnyösebben viselkedik, mint a szórt likacsúak. A szórt likacsúak gyorsabban égnek, mert az egyenletesen elosztott sok edényből a gáz gyorsabban szabadul fel és ezáltal a levegő - ami az égést táplálja - gyorsabban jut be a fába, mint a gyűrűs likacsúaknál, ahol a kései pászta szűk üregei akadályozó tényezők. Az éghetőséget gátolja az is, hogy némely fánál az edények tilliszesednek (akác), így az éghetőség csökken.

A magas gyantatartalom szintén csökkenti az égés sebességét, mert emeli az égési és utóizzási időt, azaz késlelteti a leégést.

A teljes oxidáció a fa égetése során önmagától nem következik be, megvannak a sajátos műszaki, tüzeléstechnikai követelményei. Az égéshez levegőre (oxigénre) van szükség, fontos, hogy ez szakaszosan, primer és szekunder (esetleg tercier) levegő bevezetés formájában történjen.

Csak így érhető el, hogy az égetés egyes szakaszaiban az optimális égésgáz/égéslevegő arány ( $\lambda$ ) biztosított legyen. A kiégetés szakaszában a bevitt oxigénnek és az égésgázok kémiai reakció szerinti (sztöchiometriai) oxigénigényének az aránya legyen  $\lambda > 1$ . Ez levegőfelesleggel biztosítható.

A levegőfelesleg legyen jól behatárolt, hogy a megfelelő égési hőmérséklet tartható legyen, amiközben nem szabad a levegőfeleslegnek az égészónát lehűtenie, de biztosítania kell a levegő és az égésgázok jó összekeveredését. Ezért az égészóna megfelelő geometriai kialakítása és méretezése elengedhetetlen.

Az égési levegő 80 %-át első levegőként kell adagolni. A primer levegőt, amely az égést táplálja, rostélyos kazánok esetében, a rostély alatt vezetik be, ezzel hűtik a rostélyt, amiközben a levegő felmelegszik. A primer levegő nélkülözhetetlen a fa összetevőinek bomlásához és fagáz képződéséhez, a faszén sem ég el nélküle.

Az égési levegő 20 %-át másodlevegőként kell a fagázlángok térségébe juttatni. A szekunder (esetleg tercier) levegő a kiégetést táplálja, bevezetése egyszerűbb esetben a rostély feletti térben, vagy füstgázfordítók után külön a kiégetés céljára kialakított zónában történik. A szekunder levegő a fagáz tökéletes elégéséhez szükséges (EBERT, 1997).

A másodlevegő nem hűtheti le a fagázlángokat, mert nem égnek ki tökéletesen, ezért lehetőleg forrón kell a fagázlángokhoz juttatni.

A szekunder levegő összekeverése a forró fagázokkal viszont komoly műszaki problémát jelent. A forró gázok fizikai okok miatt rosszul keverednek. Jó tűzterekben örvényszakaszok vagy szűk fűvónyílások segítik a jobb keveredést, hogy a fagáz elegendő oxigénhez jutva, a hőcserélők elérése előtt tökéletesen elégjen, ehhez legalább egy percnyi kiégetési idő lenne szükséges.

A fagázok gyakorlatilag nem keverhetők tökéletesen oxigénben gazdag levegővel, több levegőt kell adagolni, mint amennyi számítások szerint a tökéletes égéshez kellene.

Tapasztalatok szerint a tényleges levegőszükséglet a számítottak mintegy 170 %-a.

Nemcsak a túl kevés levegő hátrányos, a túl sok is kedvezőtlen. 10 kg fa elégéséhez 30-40 m<sup>3</sup> levegő szükséges. Ha túl sok a levegőadagolás, a többletet is fel kell melegíteni. A feleslegesen felhevített levegővel energia távozik a kéményen át anélkül, hogy hasznosulna. Ha a füstgázhőmérséklet 200 °C körül van, minden feleslegesen adagolt és melegített köbméter levegő kb. 70 Wh hőveszteséget jelent.

### 1.3.2 Fa és fahulladékok környezetbarát égetésének feltételei

A vázoltak alapján érthető, hogy már a tiszta fa, ill. fahulladék környezetbarát égetése is magas követelményeket támaszt a kazánok műszaki kialakításával és üzemvitelével szemben. Még bonyolultabb a helyzet, ha nem tiszta, hanem vegyi anyagokkal társított, szennyezett fa, ill. fahulladék, valamint használt fatermékek égetéséről van szó. Ezek legtöbbször olyan idegenanyagokat is tartalmaznak, amelyek az égetés folyamatát befolyásolják, zavarják és járulékos légszennyezőanyag-kibocsátást okoznak.

A fa környezetbarát égetésének szigorú követelményei vannak, nemcsak hazánkban, az EU-ban is. A környezetbarát égetés alapkövetelményei a fa égetésének meglehetősen összetett folyamatából következnek. Az ipari égetőberendezések környezetbarát üzemeltetésének alapkövetelményei (WEBER, 1992):

- az égésgázok lehető legtökéletesebb kiégetése,
- többfokozatú égéslevegő-bevezetés,
- az égetési folyamat irányítása,
- hatékony füstgázpor-leválasztás.

Az égésgázok lehető legtökéletesebb kiégetésének célja a termikus hatásfok növelése mellett, hogy csökkentse a szén-monoxid, az elégetlen szerves szén-hidrogének összes szerves szénben (TOC) meghatározott mennyiségének kibocsátását és hatékonyan óvja a környezetet.

Ezek az anyagok a faégetés folyamatában a termikus bomlás, ill. égés közben lezajló kémiai reakciók köztes termékei, a tökéletlen kiégés miatt kerülhetnek a levegőbe.

Egytől egyig olyan légszennyezők, amelyek a környezetre és az egészségre károsan hatnak, ezért a vonatkozó jogszabályok szigorú kibocsátási határértékeket írnak elő. Ezeket a különböző fa- és fahulladékégető berendezések csak akkor tudják maradéktalanul teljesíteni, ha alkalmasak az égetési folyamatban keletkező égésgázok lehető legtökéletesebb kiégetésére - ha a berendezések műszaki paraméterei lehetővé teszik a tökéletes égéshez szükséges feltételek biztosítását, amelyek a következők:

- optimális égéslevegő/égésgáz arány ( $\lambda$ ) biztosítása,
- égésgázok és égéslevegő jó összekeveredése,
- megfelelően magas hőmérséklet, az égésgázok megfelelő idejű tartózkodásának biztosítása a kiégető zónában.

Az égetéskor jelentkező oxidációs reakciók biztonságos lefolyásához az oxigént adó égéslevegő feleslegére van szükség. A tapasztalat, hogy minél nagyobb a huzat, annál jobban ég a fa, helytálló, de üzemi körülmények között kifejezetten káros, hiszen csökkenti a termikus hatásfokot, ráadásul jelentősen növeli a légszennyező anyagok kibocsátását.

A levegőfelesleg pontos mértéke az égetés körülményeitől, a berendezés típusától, a tüzelőanyag fajtájától stb. függ. A kiégető zónában a biztonságos oxidáció érdekében általában  $1 < \lambda < 2$ , fa esetén.

Ez csak akkor eredményes, ha ezzel egy időben az égésgázok és az égéslevegő jó összekeveredéséről is gondoskodnak, ami viszont elsősorban a kazán konstrukciós kialakításától függ. Célserű a kiégető zónában füstgázirány-fordítókkal, örvényképződéssel elősegíteni a keveredést.

Ha a kiégető zónában az optimális égéslevegő/égésgáz arány jól be van állítva, és sikerült nagyjából homogén gázkeveréket létrehozni, a továbbiakban biztosítani kell az eredményes oxidációt azzal, hogy a kiégető zóna hőmérséklete legalább  $850\text{ }^{\circ}\text{C}$ , és a gázkeverék legalább 2 másodpercig tartózkodik a térben (veszélyes anyagokat tartalmazó hulladék esetében  $1\text{ }100\text{ }^{\circ}\text{C}$  és 2 másodperc).

Ezeknek a feltételeknek a teljesüléséhez olyan tüzelőberendezésre van szükség, amely a fa égetési folyamatának teljes lefolytatására alkalmas, és biztosítja az égésgázok minél tökéletesebb kiégetését. Ma a hazai asztalos- és faipari vállalkozók (ill. a háztartások) által üzemeltetett égetőberendezések túlnyomó többsége ennek a műszaki követelménynek nem felel meg.

Az égetés irányítása történhet kézi vezérléssel, és automatikus mérő- és szabályozó technika segítségével. A kézi vezérlés mellett, hogy gyakori, szinte állandó felügyeletet igényel, nem hatékony módszere az égetési folyamatok irányításának, sem az emissziók csökkentésének. Ezért csak kis teljesítményű kazánoknál jöhet szóba.

A szabályozás két területre terjed ki: teljesítményre, és égésfolyamatra. A teljesítményszabályozás célja, hogy összehangolja az égetőberendezés hőtermelését a hozzá csatlakozó felhasználó hőigényével.

Bármilyen okból változó hőigény esetén alapvetően a tüzelőanyag és az égéslevegő-beadagolás mennyiségi szabályozásával oldható meg.

Ennek a szabályozásnak lehetőleg minden kazánüzem leterheltségi állapotban olyan kiégetési minőséget kell biztosítania, amely alacsony szennyezőanyag-kibocsátást eredményez.

Általában folyamatos gépi tüzelőanyag-betáplálás esetén alkalmazható eredményesen.

A tüzelőanyag összetételében, fűtőértékében, nedvességtartalmában, halmazállapotában stb. beálló változások zavaró tényezőt jelentenek, ezért a jó szabályozás nagyjából homogén fűtőanyagot követel.

Az égésfolyamat-szabályozás célja, hogy tökéletes kiégetésre törekedve növelje a berendezés termikus hatásfokát, és csökkentse a szennyezőanyag-kibocsátást.

Indirekt módszerrel az égetés hőmérsékletét, és a levegőfelesleget ( $\lambda$ -szám), direkt módszer alkalmazásakor a kilépő füstgázban lévő elégetlen gázkomponensek (szén-monoxid) koncentrációját mérik.

A mért adatok alapján a beavatkozás ismét csak a tüzelőanyag és a primer, szekunder égéslevegő-beadagolás mennyiségi szabályozásával oldható meg. Kiegészítő beavatkozási módszer a füstgáz részleges visszavezetése.

Hatásos füstgázpor-leválasztás alkalmazása szükséges a szilárd légszennyező anyagok csökkentése érdekében, ha környezetbarát fa- és fahulladékégetés a cél.

Az égetés során elkerülhetetlen, hogy a füstgázáram pernyét, szálló hamut ne ragadjon magával, de a tökéletlen égetésből is keletkezik szilárd légszennyező anyag, elégetlen szénszemcsék, füst, aeroszolok formájában.

Ez a fa és fahulladékok égetéséből származó por, különösen annak finom frakciója ( $<10\text{ }\mu\text{m}$ ), belégzés útján, a tüdőbe jutva fejt ki káros hatását.

A porkibocsátás csökkentésére elkerülhetetlen a „csővégi technika” alkalmazása, porleválasztó beállítása (11. táblázat).

11. táblázat. Fa- és fahulladékégető berendezéseknél használt porleválasztók

	Maradék porkoncentráció mg/m <sup>3</sup>	Füstgázhőmérséklet max. °C
Ciklon	kb. 50	< 1 000
Elektrofilter	<20	< 450
Szövetszűrő	<5	180-230
Nedvesmosó	<30	200-300

Forrás: MARUTZKY, 1997.

### 1.3.3 Fa és fahulladékok égetésének jogi szabályozása

A fa és fahulladékok környezetbarát égetésének alapkövetelményei valamennyi berendezésre érvényesek, de műszaki és gazdasági megfontolásokból csak bizonyos névleges bemenő teljesítmény felett érvényesíthetők a vonatkozó jogszabályokban rögzítettek szerint. Bár a kereskedelemben már kapható olyan néhány  $kW_{th}$  teljesítményű háztartási, hasábfatüzelésű kandalló, amely osztott primer, szekunder és terciér kézi vezérlésű levegőbetáplálási módszerrel rendelkezik, mégis,  $140 kW_{th}$  teljesítmény feletti berendezéseknél kezdődik az a határ, ahol a környezetbarát fa- és/vagy fahulladék-égetés alapkövetelményei már eredményesen (ha kell, szankciókkal) érvényesíthetők.

A fa és fahulladékok égetését az asztalos és faipari vállalkozók energia (hő, melegvíz, gőz) termelése céljából alkalmazzák. Alapvető célkitűzés a termikus hasznosítás, amelynek során fatüzelőanyagokat és fahulladékokat égetnek el.

A jogi szabályozásának mindkét területet le kell fednie. Ez hazánkban több jogszabályban valósul meg. Fatüzelőanyagok termikus hasznosítása esetében a légszennyező anyagok kibocsátási határértékeit az alkalmazott berendezés hőteljesítményétől függően két rendelet írja elő:

Tüzelőberendezés hőteljesítménye	Jogszabály
$140 kW_{th}$ és $50 MW_{th}$ között	23/2001. (XI. 13.) KöM rendelet
$50 MW_{th}$ felett	10/2003. (VII. 11.) KvVM rendelet

A 23/2001-es KöM rendelet 2. § a) pontja határozza meg az energiahordozók fajtáit, de a szilárd tüzelőanyagok között a szén, széntermékek mellett a fa nem kerül név szerint megemlítésre, csak úgy, mint „*egyéb tüzelőanyagok minősített szilárd anyag, (nem szennyezett, illetve vegyi anyagokkal nem kezelt szilárd bio tüzelőanyag)*”.

Ebben az esetben itt erdei faválasztékokról, azaz tűzifáról és energia célú erdei aprítékról, valamint olyan nem szennyezett, illetve vegyi anyagokkal nem kezelt fahulladékokról (pl. kezeletlen tömörfa mechanikai megmunkálásból származó fűrészporról, forgácsról, vagy ezekből készített brikettről) van szó, amelyeket tüzelőanyagok minősítenek. Ez a „tiszta” fa kategóriája.

Megállapítható, hogy a rendelet betartása (bár a törvény az égetés műszaki feltételeit külön nem fogalmazza meg) a környezetbarát faégetés alapkövetelményeinek megteremtése nélkül lehetetlen.

Tehát már a „tisza” fa sem égethető el  $140 \text{ kW}_{th}$  teljesítmény feletti kazánokban az égésgázok lehető legtökéletesebb kiégetése ( $850 \text{ }^\circ\text{C}$ , 2 sec tartózkodási idő), többfokozatú égéslevegő bevezetés (primer, szekunder, terciér levegő hozzáadás), az égetési folyamat irányítása (legalább részben automatikus vezérlés) és hatásos füstgáz porleválasztás (pl. ciklon) nélkül.

A „tisza” fa égetése mellett nagyobb problémát okozó tipikus esete az asztalos és faipari vállalkozóknak, hogy a saját tevékenység során keletkező fahulladékok égetésével kívánnak energiát előállítani.

Ezek a hulladékok leginkább a nyers és felületkezelt (lakkos, vagy laminátos) falemezek (forgácslap, farostlemez, MDF) ill. ragasztott, rétegelt falapok és fatömbök megmunkálási hulladékaiból tevődnek össze.

Egy részük mai napig ellenőrizetlenül kerül a háztartásokban működő tüzelőberendezésekbe, kellemetlenséget okozva a szomszédoknak a tüzelés során a levegőbe kerülő szilárd és gáznemű égéstermékek által (az egészségügyi vonatkozásokról még nincs szó), másrészt viszont a hazai (és ezzel ellentétben áll a pl. németországgal) szabályozás nem rendezi egyértelműen a jogi hátteret.

Nincs egyértelmű válasz arra a kérdésre, hogy elégethető-e tüzelőberendezésben a laptermékekből keletkező hulladék?

A zöld szervezetek (levegő-s internetes oldalakon sokszor olvasható: „Sokan nem tudják, hogy a forgácslap műanyagot is tartalmaz és égetése veszélyes...A faforgács nem tiszta fa, mivel műanyagot tartalmaz, tehát a levegő védelméről szóló 21/2001. sz. kormányrendelet értelmében elégetése tilos.

Az égetés során aldehidek, ketonok, fenolok, PAH-ok és más vegyületek keletkeznek, amelyek fajtája és mennyisége az elégetett faipari hulladéktól függ. A keletkező légszennyező anyagok azon felül, hogy fejfájást okoznak, irritálják a szemet és a légzőrendszert, rákot is előidézhetnek.”) legtöbbször minden szakmai megalapozottság nélkül riogatnak.

A Falco Rt., hogy tisztázza a forgácslapok körül kialakult helyzetet (vagy legalábbis egy terület tisztán látható legyen), a Környezet- és Természetvédelmi Főfelügyelőséghez fordult hulladékának besorolási kérelmével, amely szerint a faforgácslemez-gyártási tevékenység során képződő vágáshulladék és csiszolatpor hulladék veszélytelen.

A Főfelügyelőség az EWC kód szerinti 03 01 05 kódszámú (azaz veszélytelen) hulladéknak minősítette fent nevezett hulladékokat. Ez egyértelmű és kézzelfogható válasz a problémára. A hulladék ártalmatlanítását és felhasználását a nem veszélyes hulladékokra vonatkozó jogszabályok alapján lehet elvégezni.

A faanyagvédő-, felületkezelő- és ragasztóanyagok felhasználása során keletkező hulladékokkal a 16/2001-es rendelet foglalkozik. Az anyagok zöme veszélyes anyagokat tartalmaz, ezért hulladékaik (valamint a berendezések tisztításakor keletkező hulladékok is) veszélyesek. Erre vonatkozóan további útmutatást a 98/2001-es rendelet ad. (Veszélyes anyagnak tekintendők: ld. a 44/2000-es rendeletben felsoroltak szerint.)

A 98/2001-es rendelet 1. sz. mellékletében a hulladék veszélyességének vagy veszélytelenségének megállapítására irányuló eljárás részletes szabályai közt az alábbiak szerepelnek:



## E) A hulladék környezeti veszélyességének megállapítása

Veszélyes hulladéknak kell tekinteni ezen mellékletben - természetük és keletkezésükhöz vezető tevékenységük alapján - felsorolt hulladékfajtákat.

3. A veszélyes hulladékok általános típusai, képződésüket eredményező tevékenységeknek megfelelő felsorolásban (a hulladék lehet folyadék, iszap vagy szilárd formában)

3.1. A Hgt. 2. sz. mellékletében felsorolt veszélyességi jellemzők közül legalább eggyel rendelkező hulladékok:

3. fakonzerváló szerek;

5. oldószermaradékok;

12. tinták, színezékek, pigmentek, festékek, lakkok, kencék;

13. gyanták, latex, lágyítók, enyvek/ragasztók;

Ez alapján az asztalos és faipari vállalkozások a keletkező falemez-hulladékot az alkalmazott ragasztók miatt veszélyesnek kell, hogy tekintsék (nyitott kérdés)?

Ha viszont a forgácslap (termék) hulladéka (itt most nem a fa, mint környezetbarát anyagról van szó) veszélyes hulladéknak minősül (hiszen a gyanta a lapterméktől nem választható el), akkor annak elégetése nem engedélyezhető, csak veszélyes hulladék égetőben. A kör bezárult, a probléma megoldásra vár.

A német jogi szabályozás más.

A kiadott törvényerejű rendelet (Altholzverordnung) kizárólag a fahulladékok, használt fatermékek hasznosításával foglalkozik. Ez a rendelet az anyag újrahasznosítását helyezi előnybe, de részletesen foglalkozik a fahulladékok energia célú égetésének jogi szabályozásával is.

Precízen megkülönbözteti a fahulladékoknak a faipar sajátosságaihoz igazított fajtáit, és négy (A I - IV) fahulladék kategóriát állapít meg:

- Idegenanyagtól mentes fa és fahulladékok, ill. ilyen faanyagból mechanikai megmunkálással készült használt fatermékek. Jelölése: A I.
- Fa, rétegelt lemez, farostlemez, MDF, forgácslap, ragasztott (rétegelt, hosszoldott), lapok és szerkezetek, ezek megmunkálási hulladékai, ill. ilyen anyagokból készült használt termékek, lakkos laminátos, vagy más bevonat esetén is. (kivéve a szerves halogéntartalmú bevonatokat). Jelölése: A II.
- Fa és falemezek, ezek megmunkálási hulladékai, ill. ilyen anyagokból készült használt termékek szerves halogéntartalmú bevonatok esetén. Jelölése: A III.
- Faanyagvédőszerrel kezelt fa, falemez és ezek megmunkálási hulladékai, ill. ilyen és más anyagokból készült használt termékek és hulladékaik, amelyek más csoportba nem sorolhatók be, kivéve a poliklórozott bifenil (PCB) tartalom esetet, amelyre külön rendelet vonatkozik. Jelölése: A IV.

A rendelet a függelékben (Anhang III) részletes táblázattal a besorolás szabályos eseteit is közli, a Magyarországon is érvényes Európai Hulladék Katalógus (European Waste Catalogue - EWC) kódszámával azonosítva.

Ebből látható, hogy a német szabályozás szerint az asztalos és faipari vállalkozókat leginkább érdeklő (forgácslap, laminátos forgácslap és MDF) hulladékok esetében a hulladékkategória A II, és az EWC kódszám 03 01 05, azaz nem veszélyes hulladék. (Csillaggal megjelölt EWC kódszámú, veszélyes hulladékok csak az A IV kategóriában találhatóak.) A termékek tehát elhasználás után minden gond nélkül elégethetők és nem jelentenek veszélyt a környezetre.

A német szabályozás mellett, hogy a fahulladékokat az égetéskor kibocsátott légszennyező anyagok károsító hatása alapján kellő mértékben differenciálva négy csoportba sorolta, meghatározta az egyes csoportokba tartozó hulladékfajták égetésének engedélyezési feltételeit, az égetés műszaki követelményeit és a kibocsátási határértékeket.

A részletes jogi szabályozást a szövetségi immissziós törvények (BImSchV - Bundes-Immissionsschutzgesetz Verordnung), az általános levegőtisztaság védelmi követelményeket a tiszta levegő megővésének műszaki előírásai (TA Luft - Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft, 1974) tartalmazzák.

Ezek a jogszabályok az égető berendezés teljesítményétől és a felhasznált hulladék kategóriától függően támasztanak követelményeket.

A magyar asztalos és faipari vállalkozókat leginkább érintő kisberendezések (hőteljesítmény  $<1 MW_{th}$ ) esetében, valamint az A I és A II fahulladék kategóriákban a 12. és 13. táblázatokban összefoglalt előírások az érvényesek.

**12. táblázat. Tiszta fa és fahulladék (A I) por és CO kibocsátási határértékei (BImSchV szerint)**

Por ( $mg/m^3$ )	Hőteljesítmény ( $kW_{th}$ )	Szén-monoxid ( $mg/m^3$ )	Hőteljesítmény ( $kW_{th}$ )
150	>15	4 000	15-50
		2 000	50-150
		1 000	150-500
		500	>500

Megjegyzés: 13% oxigénre vonatkoztatva

**13. táblázat. Nyers, ill. felületkezelt falemezek, valamint ragasztott rétegelt hosszoldott fatermékek és hulladékaik (A II) por és CO kibocsátási határértékei (BImSchV szerint)**

Por ( $mg/m^3$ )	Hőteljesítmény ( $kW_{th}$ )	Szén-monoxid ( $mg/m^3$ )	Hőteljesítmény ( $kW_{th}$ )
150	>50	800	<100
		500	100-500
		300	>500

Megjegyzés: 13 % oxigénre vonatkoztatva

Az A II besorolású fahulladék csak az asztalos és faipari üzemekben és csak az  $50 kW_{th}$ -nál nagyobb hőteljesítményű kazánban égethető el.

A magyar és a német jogi szabályozás összehasonlításával az alábbiak állapíthatók meg:

- a magyar szabályozásból hiányzik egy, csak a fa és fahulladékokkal foglalkozó jogszabály,
- a fahulladékok nincsenek kellő mértékben kategorizálva,
- hiányzik a hulladékkategóriák szerinti differenciált szabályozás lehetősége,
- nyers vagy laminátos forgácslap (A II) égetése a károsabb fahulladékokkal egy megítélés alá kerül, ami a kisvállalkozók számára megoldhatatlan probléma,
- az asztalos és faipari vállalkozók által használt kis kazánokra nincsenek differenciált módon előírva a kibocsátási határértékek a berendezés teljesítménye alapján.

Az összehasonlítás alapján „égetően” szükséges, hogy a fa és fahulladékok eltüzelése a hazai jogalkotásban, a szakma érdekképviselői szervezeteinek támogatásával, átfogó és megnyugtató rendezésre kerüljön végre.

A továbbiakban forgácslap hulladékok égetésénél fellépő légszennyező anyagokat kívánom közelebbről megvizsgálni, ezért a következő fejezetben részletesen is nyomon követem az emissziók keletkezésének és csökkentésének lehetőségeit.

## 1.4 Fatüzelés emissziói, a kibocsátások csökkentésének lehetőségei

Az 1.3 fejezetben részletesen tárgyalt égési alapelvek és feltételek pontos és következetes betartása szinte lehetetlen. A magas szintű műszaki-technológiai, emisszióoldali és égésméleti ismeretekkel szemben támasztott követelmények teljesülése teljes mértékben sajnos nem lehetséges, ezért minden tüzelési folyamat során számolnunk kell nem kívánatos emisszió megjelenésével - kisebb, vagy nagyobb mértékben: SO<sub>x</sub>, CO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, por, PAH, dioxinok, egyéb (korom, kátrány, nehézfémek, aldehidek, ketonok, szerves savak, HCB-k, PCB-k, VOC stb.).

Az alábbiakban bemutatásra kerülnek a legfontosabb csökkentési lehetőségek, eljárások, amelyek a fatüzelésben elterjedtek és hatékony füstgáztisztítást, illetve emissziócsökkentést eredményezhetnek.

A gáznemű légszennyezők emisszióját alapvetően két úton csökkenthetjük:

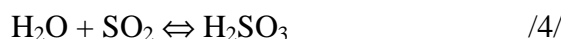
- a légszennyező folyamat olyan módon történő módosításával, amelynek következtében az emisszió megszűnik vagy a határérték alá csökken,
- zárt rendszerű folyamatok esetén leválasztó berendezések, eljárások alkalmazásával.

### 1.4.1 Kén-oxidok

A fa égésekor - a fában jelenlévő kén csekély mennyisége miatt - lényegében nullának tekinthetjük a kén-dioxid emissziót. Falemezeknél azonban más a helyzet: a forgácslaphoz adagolt edző (ammónium-szulfát) miatt számolnunk kell a kén füstgázban való megjelenésével. Ezért - említés szintjén - foglalkozom az esetleges kén-oxid-emisszióval és annak csökkentésével.

A kén oxigénnel az alábbi oxidokat képezheti: SO, SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>, S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, S<sub>2</sub>O<sub>7</sub>.

A kén-dioxid veszélyessége (mérgező hatásán túl) az atmoszféra vízgőztartalmával történő egyesülésében rejlik:



A növényi szervezetekre a klorofill megbontása révén fejti ki kedvezőtlen hatását. Az épített környezetben korrozív tulajdonságával is számolnunk kell, amely az alábbi folyamat eredménye:



A kén-trioxid a kazánok normál üzemállapotú működésében gondot okozhat, mert savharmatpont alatt az SO<sub>3</sub> a berendezésben marad és alacsony hőmérsékletű korrózió indul el. Ez szerencsére faanyag tüzelésekor elhanyagolható.

Az égési folyamat során elsődlegesen kén-dioxid keletkezik, a tüzelőanyag kéntartalmának kb. 0,5-5 %-a kén-trioxiddá alakul:



Kén-dioxid az alábbi úton is képződhet:



A keletkezett SO<sub>2</sub> oxigén jelenlétében SO<sub>3</sub>-má oxidálódik:



Ez a folyamat 1 000 °C felett, a láng primer oxidációs zónájában zajlik le.

Az SO<sub>2</sub> oxidációs reakcióját a láng hőmérséklete, a légfelesleg keresztül az oxigénkoncentráció, és a tüztérben katalizátorként ható anyagok (vas-oxid, vanádium-pentoxid) befolyásolják.

Hosszabb üzemelési idő után a füstgázban a magasabb SO<sub>3</sub>-tartalom az 500-600 °C-on lezajló katalitikus SO<sub>3</sub>-képződésnek tulajdonítható.

Az SO<sub>2</sub>→SO<sub>3</sub> oxidációs folyamat molekuláris oxigénnel magas hőfokon is csak lassan megy végbe, az elméleti egyensúlyi koncentráció nem érhető el.

Kazántüzelésnél a fűtőfelületeken lerakódott szennyezések 500-600 °C tartományban a füstgáz SO<sub>2</sub>-tartalmát katalitikusan oxidálják, növelve ezáltal a lángban keletkezett SO<sub>3</sub> mennyiségét.

A lehetséges tisztítási eljárások elsősorban a magas kéntartalmú tüzelőanyagokra vonatkoznak, de alkalmazhatóak (szükség esetén) fatüzelésre is, az előzetes vizsgálatok és költségelemzések elvégzése után.

Primer eljáráshoz sorolható a tüzelőanyag előzetes kéntelenítése.

A füstgáz tisztítása történhet:

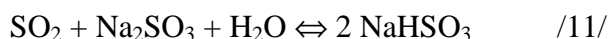
- abszorpciós eljárással (98 %-os hatásfokkal):



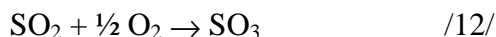
FeCl<sub>3</sub> katalizátor jelenlétében (80-90 %-os hatásfokkal):



Egy harmadik eljárás szerint (Wellmann-Lord), 90 %-os hatásfokkal:



- adszorpciós eljárásokkal:
  - szulfacid eljárás: aktív szenes adszorpcióval kötik meg a füstgáz SO<sub>2</sub>-tartalmát. Az adszorberbe való belépés előtt a füstgáz hőmérsékletét 120 °C-ra hűtik le, és portalanítják. Az aktív szenen az SO<sub>2</sub> megkötődik, és levegő hatására SO<sub>3</sub>-má alakul. Regeneráláskor az aktív szenet vízzel mossák, végtermékként 10-20 %-os kénsav kapható.
  - Bergbau-eljárás: aktív kokszt adszorberrel.
- katalitikus eljárással:



Ez a kontakt kénsavgyártás elvén alapul. A Kat-Ox eljárások több megoldást fejlesztettek ki, pl. Monsanto-eljárás, Kiyoura-TIT-eljárás, amelyek részletes tárgyalásától itt eltekinthetünk.

## 1.4.2 Szén-oxidok

A szén oxigénnel az alábbi vegyületeket alkotja: szén-monoxid, szén-dioxid, szén-szuboxid (C<sub>3</sub>O<sub>2</sub>) és metilsavanhidrid (C<sub>12</sub>O<sub>9</sub>) (SZŰCS, 1993).

A szén-dioxid, bár nem tekintjük légszennyező anyagnak, jelentős meghatározója a földi életnek, az üvegházhatáshoz közel fele részben járul hozzá. A nemzetközi konferenciák évtizedek óta megoldatlan problémája az említett gáz mennyiségének országokénti csökkentésének bevezetése és végrehajtása.

A tökéletes kiégetés egyik sarokköve a CO mennyiségének csökkentése. Szén-hidrogének tökéletlen égésekor a levegő és tüzelőanyag nem teljes keveredésekor, légszegény környezetben, rossz beállításakor, és az égési zónában történő rövid tartózkodási idő miatt keletkezik. (Hasonlóak igazak a korom képződésére is.)

Milyen okai lehetnek az említett anyagoknak a tüzelőberendezés füstgázában történő jelenlétének?

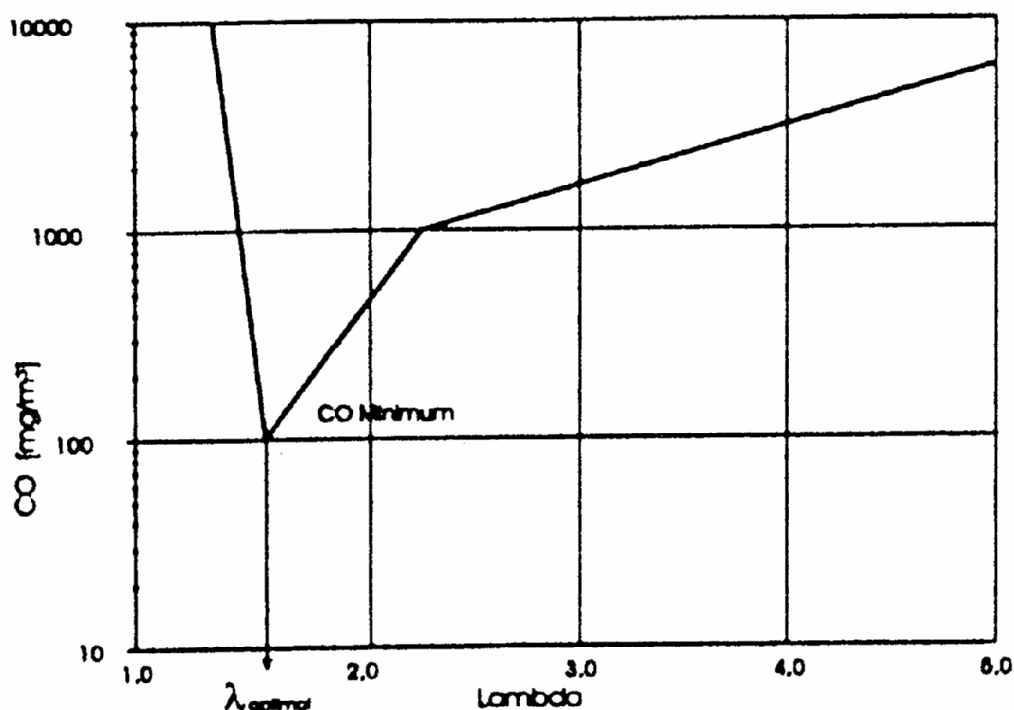
- A tüzelőanyag és a levegő nem megfelelő keveredése következtében inhomogén elegy alakul ki,
- láng lehülése az égőben (vagy tűztérben), levegő vagy füstgáz visszaáramlása miatt lokális hőmérséklet-egyenletlenség alakul ki,
- levegőfelesleg miatt kicsi a lánghőmérséklet,
- a sztöchiometriailag szükségesnél kevesebb levegővel történő égetés,
- kicsi égéstér,
- nagy lánglesugárzás miatt a láng hőmérsékletének csökkenése, a magas hőmérsékletű zónában a füstgázkomponensek tartózkodási ideje elégtelen (kevés ideig), a közvetítő reakciók így nem fejeződnek be.

A legfontosabb CO-csökkentési lehetőségek

- lambda ( $\lambda$ )-szabályozás
- CO-szabályozás
- CO/lambda-szabályozás

Az optimális égési folyamathoz és a minimális emisszió eléréséhez számos tényező együttes megléte szükséges. Ezek figyelembevételével beállítható a CO/ $\lambda$ -karakterisztikában az az optimális állapot, ahol minimális a CO-kibocsátás (KRAUSE, 1997). Ezt nevezük lambda-szabályozásnak.

Ennek a szabályozásnak az az előnye, hogy összhangot teremt az égetés minősége és a légfesleg között, amely a CO/ $\lambda$ -karakterisztikában fejeződik ki, amint azt a 8. ábra mutatja.



8. ábra. CO/ $\lambda$  jelleggörbe

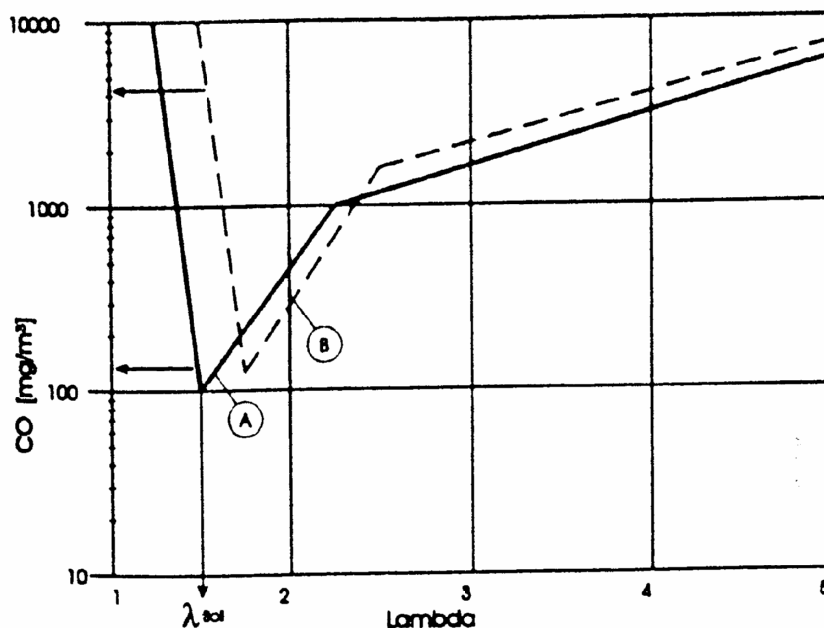
Forrás: NAGY – SZÜCS – SERÉDI – HODVOGNER, 1996.

Ezen karakterisztika lefutása alapján könnyen meghatározható a CO-minimum és a hozzá tartozó optimális  $\lambda$ -érték. A  $\lambda$ -szabályozásban az a feladat, hogy a kívánt értéktől való eltérést a lehető legalacsonyabb szinten tartsuk.

Az ingadozó tüzelőanyag-minőség (nedvesség, fűtőérték, alaktság stb.) következtében a tüzelés teljesítménye is változik, a tüzelőberendezésben már nem tartható az emisszió minimális értéken.

A 9. jelleggörbe-ábrán 1,8-as  $\lambda$ -érték látható („A”), itt minimális a CO-emisszió. Növekvő fanedvességgel vagy csökkenő tüzelési teljesítménnyel a karakterisztika jobbra elmozdul, a  $\lambda$ -érték és a CO-kibocsátás megnő. Ha ebben a megváltozott állapotban szeretnénk minimális CO-emissziót elérni, 2,1-es  $\lambda$ -értéket kell választani („B”).

Tehát ahhoz, hogy a mindenkor adott üzemállapotban a minimális CO-emissziót tartani tudjuk, a kívánatos  $\lambda$ -értéket a mindenkor CO/ $\lambda$ -karakterisztikával össze kell hangolnunk.



9. ábra. CO/ $\lambda$  jelleggörbe változása

Forrás: KRAUSE, 1997.

Összességében megállapíthatjuk: a tüzelőanyag tulajdonságai a gyakorlatban nem vagy csak nagyon nehezen tarthatók kordában. A tüzelési teljesítmény viszont egy ismert vagy mérhető nagyság. Tüzelésnél minden terhelési állapothoz meg kell határozni egy optimális értéket, ahol az emisszió minimális.

A CO-szabályozásban a következő megállapításokat tehetjük:

A CO-koncentrációval azt a mennyiséget mérjük, ahol az minimális. Ezáltal változó keretfeltételek mellett a szennyezőanyag karakterisztikája megfogható. Így a CO-szabályozás, ellentétben a  $\lambda$ -szabályozással, jelentős előnyre tesz szert. Mégis van hátránya: folyamatosan figyelni kell a minimum értéket, mert a légfelesleg változásával a CO-emisszió is változik. Nagy levegőfeleslegnél csökken a tüzelési hatásfok, nemkívánatos, instabil folyamatok indulhatnak be, amelyek tökéletlen égési folyamat lezajlásához vezetnek.

A CO/ $\lambda$ -szabályozás egyesíti a kétféle, előbbiekben bemutatott szabályozás előnyeit. A  $\lambda$ -szabályozásnak a CO-szabályozással szemben az az előnye, hogy stabil, stacionárius égetés mehet végbe adott légfelesleg esetén.

A CO-szabályozás viszont azt az előnyt hordozza magában, hogy a CO/ $\lambda$ -karakterisztika változása változó keretfeltételek mellett az égetés minőségét biztosítani tudja.

A CO/ $\lambda$ -szabályozás lényege: a CO-tartalom és a levegőfelesleg ismeretében állítható be az optimális  $\lambda$ -érték. A CO/ $\lambda$ -szabályozást meghatározza a direkt (CO-emisszió) és indirekt (légfelesleg) égetési minőség mérés.

A közös szabályozás alkalmazásával bármely fatüzelő berendezés üzemeltethető minimális CO-emisszióval, változó feltételek (ingadozó tüzelőanyag minőség, tüzelési teljesítmény változása) mellett is, folyamatosan.

Ezzel a közös szabályozással egy olyan optimális koncepciót alkalmazhatunk a gyakorlatban, amellyel az emisszió mértéke jelentősen csökkenthető és a fa energetikai hasznosítása jelentősen javítható (GOOD – NUSSBAUMER, 1998).

### 1.4.3 Nitrogén-oxidok

Oxigén és nitrogén hatféle vegyületet képezhet egymással: NO, NO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Normál hőmérséklet és kis parciális nyomás mellett az N<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O<sub>5</sub> a levegőben elbomlik:



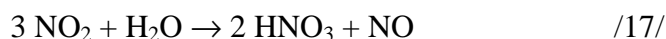
A nitrogén-oxidok gyűjtőnév az NO + NO<sub>2</sub> keverékét takarja, együttes mennyiségüket jelöljük NO<sub>x</sub>-szel - ezek alkotják a levegő szennyező anyagait.

Az NO vízben kevésbé oldódik, de igen reakcióképes gáz. A levegő oxigénjével már szobahőmérsékleten az alábbi reakciót mutatja:



Ez a reakció a füstgázok hűlése során 650 °C alatt megindul és kb. 200 °C-on majdnem teljesen lejátsszódik.

Az NO<sub>2</sub> szintén reakcióképes, vízdékony:



200 °C felett - az előző reakció értelmében - NO-ra és O<sub>2</sub>-re disszociál.

Az NO<sub>x</sub> kibocsátás forrásai elsősorban az égési folyamatok (közlekedés, tüzelőberendezések, erőművek). Az NO<sub>x</sub> jelenléte jelentősen hozzájárul a savas esők kialakulásához. Az erdők károsodásában fontos szerep jut a légköri ózonkoncentráció változásának is. Az NO<sub>x</sub> önmagában jelentéktelen ózonkoncentráció változást okoz, de szénhidrogének jelenlétében az ózonnépződés erősen növekszik.

Két fontos nitrogénforrás különíthető el az NO képződésénél:

- az égési levegő, vagy a tüzelőanyag molekuláris nitrogéntartalma,
- nitrogéntartalmú szerves vegyületek (NX: X jelenti a kARBONT, hidrogént).



Az NO képződésének mechanizmusa

Nitrogénforrás		Reakcióközeg		Mechanizmus
N <sub>2</sub> (levegő, tüzelőanyag)	→	Égéstermék	→	Termikus NO
NX (szerves kötés)	→	Lángfront	→	Tüzelőanyag NO
				Gyors NO

A szakirodalomban eredete alapján háromféle nitrogén-oxidot különböztetnek meg (TAJTHY, 2002):

- termikus NO (a levegő nitrogéntartalmából származó),
- tüzelőanyag NO (a szerves nitrogénvegyületekből származó),
- gyors (prompt) NO (a tüzelőanyag molekuláris nitrogéntartalmából származó).

1 200 °C felett a levegő nitrogénje reagál a levegő oxigénjével és NO<sub>x</sub> keletkezik. Mivel ezt a kritikus hőmérsékletet nem éri el fatüzeléskor, ezért a termikus NO<sub>x</sub>-képződés (Zeldovich-mechanizmus) lényegében nem játszik szerepet.

A fa égésekor emittálódó NO<sub>x</sub> gyakorlatilag kizárólag a tüzelőanyagban lévő nitrogéntartalmából (kémiai NO<sub>x</sub>-nek is nevezik) keletkezik. Az NO<sub>x</sub>-képződés jelentős a használtfa égetése esetén, mivel számos ragasztó- és felületkezelő anyag tartalmaz nitrogént. Összehasonlításként: a tiszta fa 0,2-0,5 %, a használtfa 3-5 % N<sub>2</sub>-tartalommal bír. Tiszta fa égetésekor 100-200 mg/m<sup>3</sup> NO<sub>x</sub>-kibocsátásra számíthatunk, fatermékek, használtfa (felületkezelő anyagok jelenléte) égetése akár 1 000 mg/m<sup>3</sup> emissziót is eredményezhet, ellenintézkedések alkalmazása nélkül, mint pl. fokozatos levegő-hozzávetetés. A lehető leghatékonyabb eljárás során a másodlagos (esetleg harmadlagos) levegőt relatíve későn adagolják az égéstérbe.

A következő táblázatban az elméletileg lehetséges NO<sub>x</sub>-csökkentési határfokokat láthatjuk. Ezek azonban csak optimális üzemfeltételek mellett teljesülhetnek, amelyre a gyakorlatban kevés az esély.

14. táblázat. Fatüzelés elméletileg lehetséges NO<sub>x</sub>-csökkentési határfokai optimális üzemviteli körülmények között

Intézkedés	NO <sub>x</sub> -csökkentés határfoka
Füstgáz visszavezetése	10 %-ig
Kétfokozatú levegőbevezetés	60 %-ig
Háromfokozatú levegőbevezetés	70 %-ig
SNCR*	80 %-ig
SCR**	90 %-ig

\*, \*\* - redukció nem-katalitikus ill. katalitikus módon

Forrás: MARUTZKY, 1997.

A termikus NO<sub>x</sub> magas hőmérsékleten a levegő N<sub>2</sub>-ből és O<sub>2</sub>-ből, a lángfront mögötti utóreakciónában keletkezik. A helyenként fellépő maximális hőmérséklet a döntő jelentőségű a képződése során. Zeldovich modelljén nyomon követhetjük a folyamatokat. 1300-1400 °C között az alábbi reakciók játszódnak le:



A Zeldovich-mechanizmus második reakciólépése /19/ gyorsabban zajlik az elsőnél (NUSSBAUMER, 1997).

Atomos oxigén képződéséhez feltételezzük a kiinduló reakcióban a disszociációs egyensúly meglétét. A kibővített Zeldovich-mechanizmus pótlólagosan figyelembe veszi az alábbi reakciót is:



A prompt-NO<sub>x</sub> C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>-gyökök jelenlétében, valamint a molekuláris nitrogén közti reakciókban, a lángfrontban képződik. Milliszekundumok alatt zajlik a folyamat, és csakúgy, mint termikus NO<sub>x</sub> esetén, keletkezése elsősorban a hőfoknak és az oxigén koncentrációnak, valamint az alkalmazott légfeleslegnek és a tartózkodási időnek a függvénye, csak az egészen magas, az *1 300 °C* tűztér hőmérsékletek felett számottevő. Így az átlagos esetekben figyelmen kívül hagyható (SZALAY, 2001).

Az előzőekből következik, hogy ha a tüzelőanyag nitrogéntartalma  $\text{N} > 0,5 \%$ , és a tűztér hőmérséklete  $< 1300 \text{ °C}$ , akkor a tüzelőanyagból származó NO<sub>x</sub> a meghatározó (TAJTHY, 2002) levegőszennyező.

A tüzelőanyag-NO<sub>x</sub> nitrogéntartalmú tüzelőanyagok elégetése során képződik. A fában aminok és proteinek formájában találjuk, faipari termékekben a gyanta és a kötőanyagok tartalmazzák, pl. KF-gyanta tartalmú forgácslapoknál, karbamid formájában.

- Fa eltüzelésekor elsősorban a tüzelőanyag-N<sub>2</sub>-ből ered az NO<sub>x</sub>-emisszió (WOPERÁNÉ, 1991).
- Egy izoterm laboratóriumi kazánban kimutatták, hogy *800-1 300 °C* között a hőmérsékletnek nincs szignifikáns befolyása az NO<sub>x</sub>-emisszióra.
- Darabos fa elégetésekor, levegő hozzávezetéssel, oxigén és argon keverésével (levegő N<sub>2</sub> hiányában) magas NO<sub>x</sub>-értékek mutatkoztak.

Ezekből az alábbi következtetések vonhatók le fatüzelésre NO<sub>x</sub>-csökkentés vonatkozásában:

- az NO<sub>x</sub> fatüzelésnél egyértelműen a tüzelőanyag N<sub>2</sub>-ből ered,
- az NO<sub>x</sub>-emisszió legfontosabb paraméterei:
  - a tüzelőanyag N<sub>2</sub>-tartalma,
  - O<sub>2</sub>-tartalom a tűztérben és a kiegészi zónában,
  - füstgáz kiegészésének minősége, ill. a CO-tartalom.

A kiegész minőségét többek között a hőmérséklet befolyásolja, amely tehát közvetten az NO<sub>x</sub>-emisszió csökkenését is befolyásolja. A hőmérséklet direkt hatása az emisszió csökkenésére - ellentétben pl. olaj- vagy gáztüzelésnél, ahol túlnyomórészt termikus NO<sub>x</sub> képződik - csak alárendelt jelentőséggel bír.

Fontos tényező a tűztér terhelése. A legtöbb tüzelőberendezésnél a terhelés csökkentésével 20-50 %-os NO<sub>x</sub>-csökkenést értek el, továbbá csökkenthető az NO<sub>x</sub>-képződés az égésgázok jó összekeveredésével is.

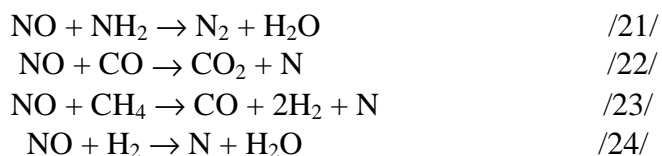
Az égéslevegő rostély feletti hozzávezetésével (egyenáram, ellenáram) szintén elérhető bizonyos mértékű NO<sub>x</sub>-csökkenés, bár a gyakorlati kísérletek nem mutattak ki egyértelmű összefüggéseket (MARUTZKY, 1997).

Biomassza elégetésénél nem az összes tüzelőanyag N<sub>2</sub> alakul át NO-vá, hanem molekuláris N<sub>2</sub> is képződik. Oxidatív atmoszférában, levegő hozzávezetésekor, NO-vá alakulás történik. Erősíthető az oxidáció víz jelenlétével, amely az oxidációs folyamatot a jelenlévő OH-gyökök által támogatja.

N<sub>2</sub>-vé átalakulás redukáló körülmények között megy végbe, különböző reakciókkal. Emellett a tüzelőanyag nitrogénjéből képződött köztes termékek reagálnak egyrészt önmagukkal, emellett NO alakul át N<sub>2</sub>-vé a gázfázisban.

Pirolízis- és füstgáz analízis vizsgálatok alapján elmondható, hogy fatüzelésnél az NO<sub>x</sub>-csökkentésért leginkább a levegőbevezetés a felelős. Emellett a már képződött NO képes oxidálószerként az elégetlen anyagokra hatást gyakorolni (C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>, CO, H<sub>2</sub>) és N<sub>2</sub>-vé alakulni a /22-24/ reakciók szerint.

Homogén NO-felhasználású reakciók:



Heterogén NO-felhasználású reakció:

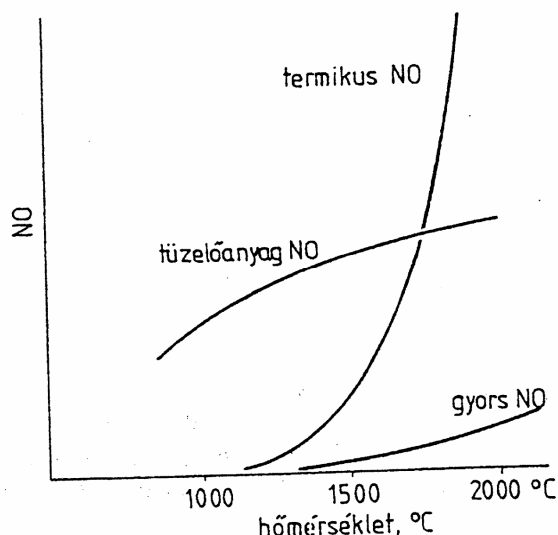


Az NO képződését befolyásolja a lánghőmérséklet, a tartózkodási idő a magas hőmérsékletű zónában, és az alkalmazott légfeszültség.

Megállapíthatjuk, hogy azok a tényezők, amelyek a láng hőmérsékletét növelik, növelik a képződött NO mennyiségét is: égéslevegő és tüzelőanyag előmelegítése, égéslevegő oxigénnel dúsítása, tüzelőanyag dúsítása (10. ábra).

Az NO képződés szempontjából a láng maximális hőmérsékletének van a legnagyobb szerepe. A láng hossza mentén a hőmérséklet csökkenése a képződött termikus NO mennyiségében már nem okoz lényeges változást, a tüzelőanyag NO mennyiségét kicsit csökkenti.

(Megjegyzendő, hogy a gyors NO mechanizmus csak egy különleges esete a tüzelőanyag NO mechanizmusának. A gyors NO abszolút értékei gyakran egy nagyságrenddel kisebbek, mint a termikus NO-é.)



10. ábra.  $\text{NO}_x$  mennyiségének változása a hőmérséklet függvényében

Forrás: SZÜCS – WOPERÁNÉ, 2001.

Az  $\text{NO}_x$ -kibocsátás csökkentésére kidolgozott eljárásoknál alapvető cél  $\text{NO}_x$ -szegény tüzelőberendezések gyártása, valamint a tüzelési folyamat olyan módon történő irányítása, amelyben a tüztérben keletkező  $\text{NO}_x$  mennyisége csökkenthető.

A tüzelési folyamatból származó  $\text{NO}_x$ -kibocsátás csökkentésének másik lehetősége a füstgáztisztítás (MARUTZKY, 1997).

- Tüztéri  $\text{NO}_x$ -csökkentés

A csökkentés érdekében alkalmazott tüzelési módszerek lényege az égési hőmérsékletnek, a lángban kialakult hőmérsékleti csúcsoknak, az égéstermékek magas hőmérsékletű tüztérben való tartózkodási idejének, és a levegőfeleslegnek a csökkentése.

A célok elérését szolgáló gyakorlati intézkedések (NUSSBAUMER, 1997):

- két vagy többfokozatú tüzelés
  - o az égési levegő több fokozatban történő bevezetése a tüztérbe,
  - o a tüzelőanyag többfokozatú elégetése,
  - o az égési levegő és a tüzelőanyag többfokozatú elégetése,
- füstgáz visszavezetése az égési folyamatba
  - o égőn belüli visszaáramlás,
  - o külső visszavezetés,
- $\text{H}_2\text{O}$  adagolása az égési folyamatba
- katalitikus égetés
- kombinált eljárások

### Két- vagy többfokozatú tüzelés

- az égéslevegő többfokozatú bevezetése

A módszer lényege, hogy a tüzelőanyagot első lépésben a sztöchiometrikus égéslevegő egy részével ( $n = 0,7-0,8$ ) égetik el, a fennmaradó levegőt a lángtól távolabb juttatják a tűztérbe. Tüzelőanyag fajtájától függően az összesített levegőtényező  $1,1-1,4$  között mozog. Kísérletileg bizonyított, hogy  $n = 0,7$  alatt nem érdemes tüzelni, mert az  $\text{NO}_x$ -képződés független az  $\text{O}_2$ -koncentrációtól.

Az  $\text{NO}_x$ -csökkenés oka: a legmagasabb hőmérsékletű primer égési zónában levegőhiány van, ez kedvezőtlenül hat az  $\text{NO}_x$ -képződésre. Az égési zóna második és harmadik szakaszában, ahol már levegőfelesleg van, a hőmérséklet csökken,  $\text{NO}_x$  nagyobb mennyiségben nem képződhet.

A levegő lépcsőzetes bevezetése az  $\text{NO}_x$ -csökkentésében kezeletlen fánál 50 %-ot, használt fánál (magas  $\text{N}_2$ -tartalom) kb. 75 %-ot tesz ki.

A gyakorlatban három módszer terjedt el:

- a többfokozatú levegőbevezetést  $\text{NO}_x$ -szegény égőkön belül valósítják meg,
- másik megoldás, hogy az égési levegő egy része az égőkön keresztül, másik része az égők felett jut a tűztérbe,
- harmadik megoldás, ha a tüzelőberendezés összes égőinek egy része levegőhiánnyal, más része légfelesleggel üzemel.

A 15. táblázatban látható a fa és falemez különböző technikával történő elégetésekor elégetésekor keletkező  $\text{NO}_x$ -emisszió értéke, az elérhető  $\text{NO}_x$ -csökkentés, valamint az  $\text{N}_2$  átalakulása  $\text{NO}_x$ -szé.

15. táblázat. NO<sub>x</sub>-emissziók és tüzelőanyag N<sub>2</sub> átalakulása NO-vá, fa és forgácslap eltüzelése során, különböző égetési technika és primer levegő hozzáadással. A redukálózána hőmérséklete 1 160 °C, tartózkodási idő 0,3-0,6 sec.

Tüzelőanyag	Égetési technika	Primer levegő	NO <sub>x</sub> (mg/m <sup>3</sup> ), 13 % O <sub>2</sub>	N átalakulás NO <sub>x</sub> -szé (%)	NO <sub>x</sub> - csökkentés (%)
<b>Fa</b> N = 0,15 súly%	Kétfokozatú égetés redukálókamra nélkül (referencia)	1-1,3	200	39,8	0
	Kétlépcsős égetés alacsony sztöch. értékkel	0,6-0,8	140	28,0	30
	Kétlépcsős égetés redukálókamrával	0,7	76	15,1	62
	Háromlépcsős égetés redukálókamrával	0,8	60	12,0	70
<b>KF- forgácslap</b> N = 2,0 súly%	Kétfokozatú égetés redukálókamra nélkül (referencia)	1-1,3	848	15,3	0
	Kétlépcsős égetés alacsony sztöch. értékkel	0,6-0,8	440	8,1	48
	Kétlépcsős égetés redukálókamrával	0,7	216	4,0	75
	Háromlépcsős égetés redukálókamrával	0,8	176	3,2	79

Forrás: NUSSBAUMER, 1997.

Ahhoz, hogy minimális NO<sub>x</sub>-értékeket kapjunk, lépcsőzetes levegőadagolás mellett, a következőknek kell teljesülniük:

- tartózkodási idő 0,5 s (> 0,3 s) és a gázok megfelelő elkeveredése
- a redukálózána hőmérséklete 1100-1200 °C legyen
- 0,7 - 0,8 primer λ-érték

Különösen a λ -érték határozza meg az NO<sub>x</sub>-csökkentés mértékét. Ha ez az érték < 0,7, akkor a zónában alig van NO. Az NH-vegyületek az utánégetőkamrában NO-vá oxidálódnak. Ha a primer levegő > 1, a nitrogéntartalmú köztestermékek már az elgázosító zónában NO-vá alakulnak, tehát a redukálózánaiban már nem lesz NH-vegyület az NO-leépüléshez.

Mivel csak egy szűk tartományban lehet úgy beállítani a hőmérsékletet és a primer levegőmennyiséget, hogy minimális legyen az NO<sub>x</sub>-emisszió, ezért komoly folyamatszabályozó rendszerre van szükség, hogy különböző teljesítményeknél is a minimális emisszió biztosított legyen a megfelelő kiegészítő feltételek mellett.

- a tüzelőanyag többfokozatú elégetése

Első lépésben a fő tüzelőanyagot λ > 1 mellett elégetik, utána a második adag tüzelőanyagot a füstgázzal összekeverik. Ezzel a második adag tüzelőanyag bevezetéssel λ < 1 érhető el a redukálózánaiban, a képződött NO<sub>x</sub> az NH- és C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>-vegyületek által redukálódik a másodlagos tüzelőanyagból.

A szakaszos adagolással mind a tüzelőanyag  $\text{NO}_x$ , mind a termikus  $\text{NO}_x$  csökkenthető, esseni kutatók 40-70 %-os  $\text{NO}_x$ -csökkentést tudtak elérni.

Alkalmazási területek:

- Fafeldolgozó üzemekben, ahol darabos fa és fapor keletkezik,  $\lambda > 1$  mellett elégethetőek a darabos hulladékok, a fapor a füstgázba juttatható. Főként nagy teljesítményű berendezéseknél (pár  $\text{MW}_{\text{th}}$ ) jöhet ez szóba, mivel a két független tüzelőanyag hozzáadás és a folyamat szabályozása csak magas költségráfordítással valósítható meg.
- Biogén tüzelőanyagok pl. széntüzelésnél, (együttégetés) vagy ipari égetőművekben alkalmazhatók.
- A fosszilis tüzelőanyagok egy része helyettesíthető a megújulókkal, ezáltal az  $\text{NO}_x$ -csökkentő potenciál kihasználható.
- Figyelemmel kell lenni arra, hogy a hamu minősége nem romolhat a másodlagos tüzelőanyag alkalmazásával, és hogy a ráfordítások megnövekedhetnek a salakképződés és a raktározás miatt.

- a tüzelőanyag és az égési levegő többfokozatú bevezetése

Az elégetendő gáz teljes térfogatáramának egy részét a tökéletes égéshez szükséges levegővel elégetik, majd az elégetendő gáz többi részét az égőhöz közel, az égőkamrába vezetve redukáló gázatmoszférát hoznak létre. Harmadik lépésben a maradék égéslevegővel elégetik a redukáló füstgázalkotókat.

#### Füstgáz visszavezetése az égési folyamatba

Az  $\text{NO}_x$ -képződés csökkenése figyelhető meg, ha a füstgáz egy részét visszavezetik az égési folyamatba, és két hatása van: lecsökken az égési hőmérséklet, és a lángban az  $\text{O}_2$ -tartalom is csökken. Ezáltal termikus  $\text{NO}_x$  képződik. A fatüzelésnél alacsonyabb hatásfokot lehet elérni, mint olaj- vagy gáztüzelésnél, ahol főleg a termikus  $\text{NO}_x$  dominál.

A füstgázok visszavezetése azonban lehetőséget biztosít arra, hogy az égéstérben a gázok jó összekeveredésével alacsonyabb légfelesleggel legyen az égetés kivitelezhető. A csökkentett  $\text{O}_2$ -tartalom következtében a tüzelőanyag  $\text{NO}_x$  kismértékben csökkenthető.

A tüzelési gyakorlatban külső és belső füstgáz-visszavezetés terjedt el.

Belső visszavezetéskor a képződött füstgáz egy részét az égőn át juttatják vissza a tüztérbe. Ekkor az égési levegő inert gázokkal hígul, így a láng maximális hőmérséklete és  $\text{O}_2$ -tartalma csökken.

Külső visszavezetésnél az égők felett a tüztérbe áramoltatják vissza a füstgáz egy részét. Ide a hőcserélőkből távozó kb. 300-400 °C-os füstgáz kerül. Ezzel a módszerrel csupán 5-10 %-os  $\text{NO}_x$ -csökkentés érhető el.

### H<sub>2</sub>O adagolása az égési folyamatba

A lehető legkevesebb NO<sub>x</sub>-képződést célzó tüzelési módszerekhez tartozik a víznek vagy gőznek az égési zónába történő porlasztása, a tüzelőanyag jó minőségű elégetése mellett - főként széntüzelésnél. A legnagyobb (80 % felett) csökkenést az égési folyamatba és a munkatérbe egyidejűleg adagolt vízzel érték el.

A vízadagolás következtében fellépő nagymértékű NO<sub>x</sub>-csökkenés a láng maximális hőmérsékletének csökkentésével és az égési folyamatba került gőz katalitikus hatásával magyarázható. Az égési folyamat során keletkező atomos oxigén vízgőz jelenlétében szénnel vagy CO-val reagál elsősorban és csak lényegesen nehezebben nitrogénnel. Az atomos oxigén koncentrációja az NO képződésnél lényeges szerepet játszik. Az NO katalitikus reakciójának egyik fontos redukáló gáza a H<sub>2</sub> ( $2\text{NO} + 2\text{H}_2 = \text{N}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$  reakció szerint).

Az eddigi kutatásokból levonhatjuk azt a következtetést, hogy az égéstérbe porlasztott víz jelentős hőmérsékletesést okoz, technológiai, hőtechnikai, füstgáz-eltávolítási szempontból egyformán hátrányos.

Kazánoknál az NO<sub>x</sub>-csökkentés az égési folyamatba juttatott gőzzel valósulhat meg, amely vagy az égési levegővel, vagy a tüzelőanyaggal kerül a rendszerbe (SZÚCS – WOPERÁNÉ, 2001).

### Katalitikus égetés

Elve azon alapszik, hogy katalizátor hatására kisebb hőmérsékleten megy végbe az égési folyamat, így kevesebb NO keletkezik. A fő nehézség a katalizátorok rövid élettartamában keresendő (elszennyeződés).

A katalizátor anyaga lehet: a platina csoport fémei, króm, cink, króm-oxid és kobalt-oxid. A katalitikus égetés tűzcsöves kazánoknál 1000-1150 °C, vízcsöves kazánoknál 1200-1400 °C körül megy végbe az 1600-1900 °C-os normál tüzelés helyett. Az elérhető NO<sub>x</sub>-csökkenés 80-90 %.

### Kombinált eljárások

Az NO<sub>x</sub>-csökkentés minél nagyobb mértékű eléréséhez a különböző tüzelés eljárások kombinációit szokták alkalmazni. Leggyakrabban a többfokozatú tüzelést és a füstgáz visszavezetését kombinálják.

A tüzelési folyamatnak tüzelőanyagban dús és szegény égési zónára felosztása a füstgáz NO<sub>x</sub>-tartalmát csökkenti. A tüztérben a késleltetett oxigén hozzávezetéssel létesített redukáló atmoszféra még tovább erősíthető, ha füstgázt vezetünk a tüztérbe az égés fokozatai közé.

- Füstgáz NO<sub>x</sub>-tartalmának csökkentése

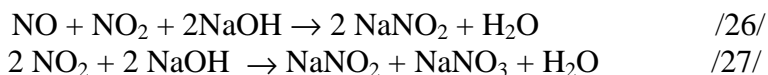
A füstgáz NO<sub>x</sub>-tartalmának csökkentésére nedves és száraz eljárásokat fejlesztettek ki. A nedves eljárás az abszorpciós módszerek konkrét megvalósítása, a száraz eljárásokhoz az adszorpciós és redukciós (katalitikus és nem-katalitikus) NO<sub>x</sub> leválasztási módszerek tartoznak.



### Abszorpciós eljárások

Kevésbé elterjedtek, alkalmazásuk elsődlegesen más (por, SO<sub>2</sub>) szennyezők leválasztásához kapcsolódóan jöhet szóba. Az abszorpciós eljárások a tisztítandó gázt nedves leválasztó berendezésbe (mosótorony, Venturi-tisztító) vezetik, majd a füstgáz cseppleválasztás után távozik a rendszerből. Az eljárások közti különbségek az alkalmazott abszorbens anyagok különbözőségéből adódnak.

Leginkább a NaOH-os elnyeletés jöhet szóba:



Használatos abszorbens még a hidrogén-peroxid és a nátrium-hipoklorit vizes oldata. Ugyancsak abszorbensként használható a nátrium-klorit és nátrium-hidroxid-oldatok keveréke. A kalcium-hidroxid vizes szuszpenziója is megfelelő abszorbens anyagként.

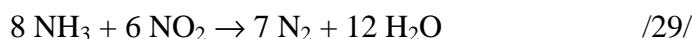
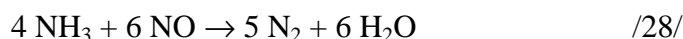
### Adszorpciós eljárások

Adszorbens anyagként szóba jöhet: SnO<sub>2</sub>, SnO<sub>2</sub>+0,5Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, aktív szén, molekulaszűrő, szilikagél, de kísérleteznek: FeSO<sub>4</sub>, PdSO<sub>4</sub>, KMnO<sub>4</sub>, NaOH, CuCl<sub>2</sub> vegyületekkel is.

### Redukciós eljárás katalizátor nélkül (SNCR - selective non-catalitic reduction)

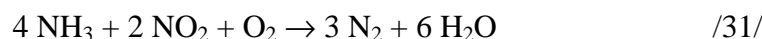
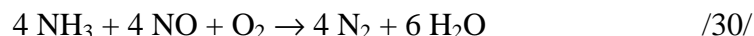
Ennél az eljárásnál a 800-950 °C-os füstgázhoz redukálószer adnak. Redukáló gázként szóba jöhet a metán, a szén-monoxid és az ammónia. A CH<sub>4</sub> és a CO csak O<sub>2</sub> jelenléte nélkül fejt ki hatékony redukciót, az ammónia szelektíven redukálja az NO<sub>x</sub>-et (NUSSBAUMER, 1998).

Az alábbi reakciókkal kell számolnunk oxigén nélkül és oxigén jelenlétében:

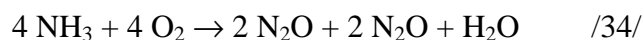
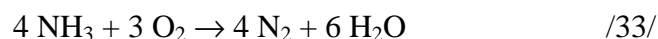
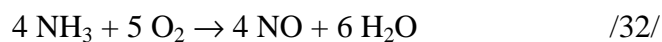


Mivel azonban oxigén mindig jelen van a füstgázban, a /28-29/ egyenletek jelentősége elhanyagolható.

A kívánatos reakciók 850 °C körül az alábbiak:



Oxigén jelenlétében 1 000 °C felett a következő reakciók mennek végbe:



Ezek nemkívánatos reakciók, tehát következtetésként levonhatjuk, hogy csak az igen szűk, 850 °C körüli hőmérsékleti tartomány megfelelő a fa eltüzelésénél a környezetkímélő szempontokat figyelembe véve.

A redukálószer a kazán magas hőmérsékletű szakaszán kell a füstgázhoz juttatni. A füstgáz NO<sub>x</sub>-tartalmát és a beadagolt ammónia mennyiségét folyamatosan ellenőrizni kell, nehogy nitrogén-oxidok helyett a redukálószer túladagolása miatt NH<sub>3</sub> kerüljön ki a rendszerből (BILBAO, 1998).

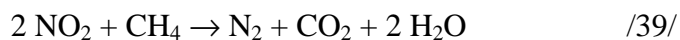
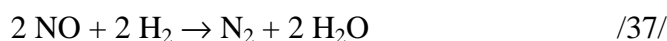
SNCR-rel ammónia vagy karbamidoldat hozzáadásával közel 80 %-os NO<sub>x</sub>-csökkenés érhető el, 2 körüli moltartalom, és 30 mg/m<sup>3</sup> NH<sub>3</sub>-kibocsátás mellett.

Zavarólag hat a füstgáz SO<sub>2</sub>-tartalma, ammónium-szulfát képződése miatt, ezért ezen eljárást elsősorban gáztüzelésű berendezések füstgázkezelésére ajánlhatjuk jó szívvel.

#### Katalitikus redukció (SCR - selective catalitic reduction)

Az eljárásnak a lényege, hogy a tisztítandó NO<sub>x</sub>-tartalmú gázt valamilyen redukáló gázzal keverik, és katalizátor jelenlétében redukálják.

A katalitikus redukáló eljárások az alkalmazott redukálószer és katalizátoranyag tekintetében különböznek egymástól. A redukációs folyamat redukálószer-függően a következő egyenletek szerint megy végbe:



Redukálószerként szóba jöhet még ammónia, magasabb szénatom-számú C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>, és ezek különböző arányú keverékei. Redukáló gáztól függően a redukció más-más hőmérsékleten megy végbe. 150 °C H<sub>2</sub>, 350 °C CO alkalmazásánál.

A megfelelő katalizátorfajta kiválasztása az adott égetési folyamatnál döntő fontosságú lehet. A leggyakoribb katalizátor anyagok: Pt, CuO, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, NiO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, ZnO, BaO.

Az SCR eljárás hátránya, hogy az alkalmazott katalizátorok rendkívüli érzékenységet mutatnak a füstgáz egyéb szennyezőire, alkotóira, mint pl. por, korom és nedvesség.

A japán Hitachi által kifejlesztett száraz Denox-eljárás a másodlagos NO<sub>x</sub>-csökkentő eljárások közül a legelterjedtebben alkalmazott. A lejátszódó reakciók megegyeznek az

SNCR-eljárásnál fentebb ismertetett reakciókkal, de katalizátor jelenlétében  $300-420\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on megy végbe a folyamat. A viszonylag egyszerű elv gyakorlati megvalósítása számos nehézséggel jár, oka, hogy a füstgázok egyéb szennyezőanyagokat (pl. por,  $\text{SO}_2$ ) tartalmaznak.

Az SCR-eljárás során fatüzeléskor elérhető  $90\%$ -os  $\text{NO}_x$ -emissziócsökkenés. Sajnos a bekerülési költségek, különösen kis- és közepes teljesítményű tüzelőberendezések esetén aránytalanul magasak, így elsősorban a nagy teljesítményű kazánokban alkalmazhatóak gazdaságosan. Azt is el kell azonban mondanunk, hogy az ezzel a módszerrel üzembe helyezett kazánoknál a gyakorlati tapasztalatok azt mutatják, hogy a katalizátor élettartama nem kielégítő - ezért további kutatások szükségesek.

Az SCR-eljárás a jelentős  $\text{NO}_x$ -csökkentés mellett dioxinok és furánok füstgázból történő eltávolítására is alkalmas ( $95\%$  felett) (MARUTZKY, 1997).

#### 1.4.4 Porok

A Föld porterhelése alapvetően a természetes (kozmosz és földi) és mesterséges eredetű porokból származik. Az ipari műveletek során keletkező porok nagy koncentrációban és kis helyen keletkezhetnek. Az igazán hatásos környezetvédelmi intézkedések értelem szerűen a koncentrált, kis helyen jelentkező porforrások esetében valósíthatók meg.

Már a nyolcvanas években rájöttek arra, hogy az erdők károsodásában a savas ülepedés mellett a porkoncentrációnak is jelentős a szerepe. Több éves és különböző magasságokban elvégzett immissziós mérések az  $1\ 000\text{ m}$ -es magasságban állapították meg a lebegő por maximális mennyiségét - ott, ahol a legnagyobb mérvű a fapusztulás. A pár mikrométeres részecskék aktív felületére kondenzálódott víz a légkör savas komponenseit oldva a levelek légzőnyílásait eltömíti, így csökkentve az ellenállóképeséget, hozzájárulva a fák pusztulásához.

A por olyan  $2\ 000\ \mu\text{m}$ -nél kisebb méretű szilárd test, amely apró mérete miatt legfeljebb  $1\text{ m/s}$  értékig terjedő, közel állandó sebességgel esik. A por a gyakorlatban nagyon sokszor három fázisú rendszer, akár lebegő állapotban, akár laza halmazban van, mert mindig valamilyen gázközeg vagy a szilárd részecskékre korlátozott folyadék is jelen van. Legveszélyesebbnek a PM 10-es ( $10\ \mu\text{m}$ -nél kisebb átmérőjű) porokat tekintjük, tüdőben illetve a véráramban kifejtett egészségkárosító hatásai miatt.

Fatüzelésnél a füstgáz portartalma elsősorban a tüzelőanyagban megtalálható ásványi anyagokból származik, mint pl. K, Ca, Cl, Mg stb. (NUSSBAUMER, 2006/1). Ha nagyon rossz körülmények között égetünk fát, járulékosan szénből, szén-hidrogénekből és koromból is képződik finompor.

A szerves poroknál kimutatható bizonyos korreláció a füstgáz CO-tartalma és a porkoncentráció között. Tehát közel tökéletes égéskor elérhető az alacsony CO-koncentráció mellett a por mennyiségének jelentős redukálása is.

Szervetlen porok elsősorban a rossz levegőbevezetés és a nem megfelelően előkészített tüzelőanyag (magas nedvességtartalom) következtében jutnak a füstgázba. Közel tökéletes körülmények között a poremisszió csak kis részben származik az elégetlen szennyezőanyagokból, fő részben a szervetlen komponensekből (K, Ca, Mg, P, Cl, S stb.) áll.

Miután ezeket a szervetlen finompor részecskéket a kiégetési feltételek javításával nem lehet csökkenteni, a következő intézkedéseket szükséges megtenni:

- a légfelesleg tényező alacsony szinten tartásával a parázságyban, csökkenteni lehet a füstgáz porkoncentrációját, mert a következő folyamatok zajlanak le:
  - oxigén jelenlétében a káliumvegyületek kálium-oxidokká alakulnak,
  - az oxigén megnöveli a helyi hőmérsékletet,
  - az égéslevegő hozzávetése növeli a gáz sebességét, ezáltal a tüzelőanyag részecskéket magával ragadja.

Ezek a hatások megnövelik a gázfázisba az ásványi anyagok szállítását, amelyek kondenzációja részecskék képződéséhez vezet. Az oxigén-tartalom csökkentésével (légfelesleg csökkentésével) ezáltal a finompor mennyisége csökken.

- az égéshez nem szükséges levegőmennyiség a füstgázok hígulásához vezet, ezzel csökken a kis részecskék nagyobbakká koagulálása, tehát az össz-légfelesleg csökkentésével a részecskék száma is lecsökken (0,2-0,4-es primer levegő hozzávetéssel jelentős csökkentés érhető el; illetve össz-légfelesleg 1,3-1,6 közötti értékeinél szintén).

Fa égésekor a keletkező szilárd légszennyezők az alábbi elem-összetétellel jelennek meg:

16. táblázat. Fa égésekor keletkező szilárd légszennyezők elemi összetétele

Elem	Fa szálló hamu (súly%)*	Rostély hamu**	Átlagos koncentráció fahamuban (mg/kg) **	Ciklonban leválasztott por (86 % hatásfok) (mg/kg)***
K	13,86	66 g/kg	-	60 400
Cl	0,61	-	-	0,45 %
Si	1,18	-	-	-
Ca	24,95	321 g/kg	-	235 000
P	1,67	9,4 g/kg	-	-
Mg	2,94	27 g/kg	-	-
Fe	0,46	-	-	7 700
Al	0,65	-	-	-
Cu	0,029	210 mg/kg	190	-
Pb	-	18 mg/kg	47	100
Cd	-	2,2 mg/kg	0,8	28
Mo	-	4,5 mg/kg	5,0	-
Zn	-	380 mg/kg	480	-
Mn	-	7 850 mg/kg	-	-

\*Forrás: KAUFMANN – NUSSBAUMER, 1998.

\*\*Forrás: HASLER ET AL., 1998.

\*\*\*Forrás: PEDERSEN ET AL., 2000.

A por hordozó gázközegből való, elfogadható költségű leválasztása komoly technikai feladat. A füstgáz portartalmának leválasztása szerint high-dust, illetve low-dust elrendezésről beszélhetünk, azaz a leválasztás a Denox berendezés után ill. előtt történik. A high-dust elrendezésnél a porleválasztót a Denox egység mögé helyezik. A leválasztási hatásfok 50-90 %.

A legfontosabb porleválasztók összehasonlító értékelése az alábbiakban olvasható.

Száraz mechanikus berendezések előnyei:

- folyamatos üzemben képesek száraz és nedves porok leválasztására,
- nagy hőmérsékleti intervallumban képesek működni,
- nem érzékenyek a gázáram porkoncentrációjának változásaira.

Hátrányai:

- $5 \mu\text{m}$ -nél kisebb átmérőjű részecskék leválasztására alkalmatlanok,
- a leválasztás hatásfoka nagyban függ a tisztítandó gáz térfogatáramától,
- gáz halmazállapotú szennyezőket nem tudnak leválasztani.

Nedves mosók előnyei:

- gáz és szilárd szennyezők egyidejű leválasztása,
- tűz- és robbanásveszélyes gázok üzembiztos tisztítására is alkalmazhatóak,
- magas hőmérsékletű gázok hűtésére és tisztítására alkalmasak,
- nedves gázok tisztítása közben sem változik lényegesen az áramlási ellenállásuk,
- nem érzékenyek a porkoncentráció gyors változásaira,
- a gáz térfogatárama széles intervallumban mozoghat,
- jó hatásfokkal választják le a  $0,5 \mu\text{m}$  átmérőjű részecskéket is.

Hátrányai:

- a nedvesség miatt korróziós és eróziós hatások léphetnek fel,
- a jó hatásfokú leválasztáshoz szükséges a viszonylag nagy nyomásesés elérése,
- vízszennyezést okoznak, ezért a beruházási és üzemeltetési költségek magasak.

Elektrosztatikus porleválasztók előnyei:

- a  $0,1 \mu\text{m}$ -nél kisebb átmérőjű részecskék is jó hatásfokkal választhatóak le,
- üzem közben kicsi a nyomásváltozás,
- alacsony üzemeltetési költségek,
- magas hőmérsékletű gázok tisztítására is kiválóan alkalmazhatóak,
- a gáz  $\text{SO}_2$ -tartalma javítja a porleválasztás hatásfokát.

Hátrányai:

- magas beruházási költségek,
- érzékenyek a gázáram nyomás- és térfogatáram változásaira,
- a leválasztandó por fajlagos elektromos ellenállásának változása erősen kihat a leválasztási hatásfokra, és a felhasznált elektromos energia mennyiségére,
- tapadásra és tömörülésre hajlamos porok leválasztására nem alkalmasak.

Porszűrők előnyei:

- $0,1 \mu\text{m}$ -nél finomabb részecskék jó hatásfokú leválasztására képesek,
- a leválasztási hatásfok nem függ a por szemcseösszetételétől,
- kicsi az áramlási ellenállás,
- nem érzékenyek a gáz porkoncentrációjának változásaira.

Hátrányai:

- $100-300 \text{ }^\circ\text{C}$  hőmérsékletű gázok tisztítására alkalmazhatóak üzembiztosan,
- magas harmatpontú gázoknál a szűrő könnyen eltömődik.

### 1.4.5 PAH (policiklusos aromás szén-hidrogének)

A PAH-vegyületekhez a több (legalább kettő) benzolgyűrűt tartalmazó szén-hidrogéneket sorolják. Száznál is több vegyület tartozik ebbe a csoportba, amelyek közül sok karcinogén hatású.

Az utóbbi időkben kezdték felismerni, hogy az egyébként környezetvédelmi szempontból előnyös fitomassza égetés során is keletkezhetnek PAH-vegyületek, ha a tüzelőanyag nedves, az égéstérben lévő hőmérséklet alacsony (kisebb, mint  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) és az oxigénellátás tökéletlen ( $n \leq 1,0-1,2$ ). Nitrogén-oxidok jelenlétében nitro-PAH keletkezik.

PAH-vegyületek főleg szerves anyagok és fosszilis tüzelőanyagok elégetése alkalmával, elsősorban a lakossági szén és a tűzifatüzelésekből, a tökéletlen égés következtében keletkeznek.

A motorhajtó üzemanyagok felhasználásakor, főleg a dízel üzemű járművekből (a kéntartalom csökkentése a PAH-kibocsátást is csökkenti) származnak, de kisebb mértékben a benzines (katalizátoros) gépjárműveknél is keletkeznek.

Származhatnak továbbá a szemét égetéséből, a hulladékok nyíltszíni égetéséből, valamint egyes ipari folyamatokból, mint pl. a festékek, fakonzerváló anyagok gyártása, faanyagok impregnálása, kokszyártás, alumíniumkohászat. Keletkeznek PAH-vegyületek természetes folyamatok során is, pl. erdőtüzek esetén.

A policiklusos aromás szén-hidrogének jelentős része rákkeltő és mutagén hatású (NAGY – PAPP, 1997). Kimutatásukra alkalmasak a nagy érzékenységű kromatográfok. Az egyik legveszélyesebb közülük a benzopirén ( $\text{C}_{20}\text{H}_{12}$ ), amely szerves anyagok pirolízisekor, oxigénhiányos égéskor keletkezik. Képződésük a hideg tűzterű kályhákban a begyűjtés után, illetve a parázsra adagolt tüzelőanyag felmelegedésekor a legintenzívebb.

Keletkezésük szorosan összefügg a tüzelőberendezés típusával, a hőmérséklettel, a tartózkodási idővel, oxigénellátottsággal, és az adott tüzelőanyag összetételével.

A PAH-vegyületek termikusan stabilak, általában nagyobb aromás vegyületek lebomlásából származnak, főleg a füstgázzal távozó szilárd szennyezők felületére adszorbeálódnak, amint a tűzteret elhagyó füstgázban lehül. Azok a PAH-vegyületek a legveszélyesebbek, amelyek általában a koromszemcsékhez kötődve belélegezhetők.

Háztartási kályhában elégetett, fenyőfa okozta fajlagos emisszió értékek (7 %-os  $\text{O}_2$ -tartalomra vonatkoztatva) láthatóak az alábbi táblázatban.

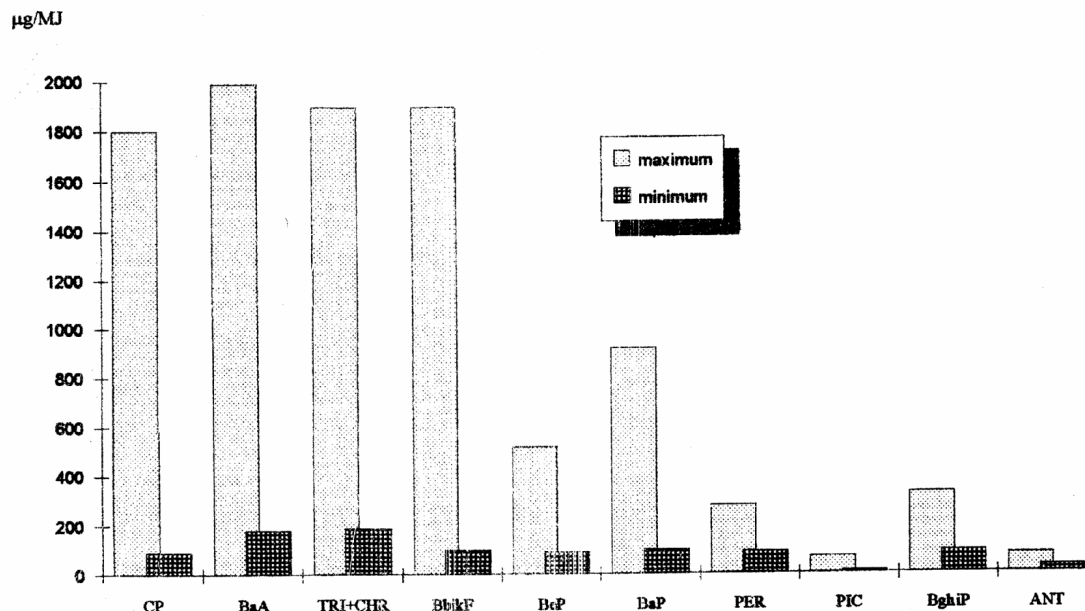
17. táblázat. Fenyőfa égésekor keletkező emissziók értékei

Tüzelőanyag	CO ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	SO <sub>2</sub> ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	NO <sub>2</sub> ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	C <sub>x</sub> H <sub>y</sub> ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	PAH ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	Benzopirén ( $\text{mg}/\text{MJ}$ )
<b>fenyőfa</b>	25.470	55	33	6.340	<b>164,1</b>	<b>0,9</b>

Forrás: NAGY – SZÜCS – SERÉDI – HODVOGNER, 1996.

Az egyes kibocsátó ipari szektorok közül a háztartási tüzeléssel (ezen belül is a fatüzeléssel) kapcsolatos emissziók képezik a legnagyobb hányadot (43 %), ezt követi a primer alumíniumgyártás PAH-kibocsátása (24 %), majd a közlekedési szektor (főleg a dízel olaj) PAH emissziója következik (19 %) (TAJTHY, 2000).

A PAH-emisszió csökkentésére irányuló kutatásokban arra a következtetésre jutottak, hogy egyfokozatú tüzelőberendezésben  $1\ 100\ ^\circ\text{C}$  égéshőmérsékletet kell biztosítani ahhoz, hogy minimális mennyiségű légszennyező keletkezzen. A leobeni egyetemen tízféle PAH-vegyületet mutattak ki faapríték eltüzelésénél, amelyek az alábbi ábrán tanulmányozhatóak (GOD – MUGRAUER, 1990):



11. ábra. Fatüzelés PAH-vegyületei

Forrás: NAGY ET AL., 1996.

A jelölések magyarázatai:

- CP – ciklopenta
- BaA – benzo(a)antracén
- TRI+CHR – trifenilén+krizén
- BbjkF – benzo-fluotantén
- BeP – benzo(e)pirén
- BaP – benzo(a)pirén
- PER – perilén
- PIC – picén
- BghiP – benzo(ghi)perilén
- ANT - antatrén

A primer csökkentési technológiák esetében a POP-vegyületek (persistent organic pollutants - ide tartoznak a PAH-vegyületeken túl a dioxinok, furánok, PCP-k, PCB-k is) keletkezését gátolják meg (helyettesítés, adalék anyagok adagolása, tüzelő berendezés átalakítása, szerkezetének módosítása).

Szekunder technológiák esetében pedig a már keletkezett POP-vegyületeknek a környezetbe történő kijutását igyekeznek meggátolni, de legalábbis kijutásuk mennyiségét igyekeznek korlátozni (aktív szén, vagy koksza adszorpció, mész és aktív szén tisztítás, zsákos szűrők, szelektív katalitikus reakció titán katalizátorral stb....útján).

Új és fejlesztés alatti technológiák: Szuper kritikus oxidáció (supercritical water oxidation, SCWO), elektrokémiai oxidáció, szolvatált elektronos technológia (Solvated electron technology), redukciós reakciók (chemical reduction reaction), halogén mentesítő

eljárások, katalizált lebontás (Base catalyzed decomposition), plazma-íves kezelés, napsugárzással végzett méregtelenítés (solar detoxification), csak hogy a legfontosabbakat említsük.

#### 1.4.6 Dioxinok, furánok

A dioxinoknál két benzolgyűrűt két éterhíd kapcsol össze, a furánoknál egy. A különböző, 2-8 klór helyettesítéstől függően 75 dioxin és 2-8 klór helyettesítéssel 135 furán izomer keletkezik. A klóratomok száma és elhelyezkedése határozza meg ezeknek a vegyületek kémiai és fizikai tulajdonságait, amelyek közül a 2,3,7,8 TCDD (tetraklór-dibenzo-dioxin) az eddig ismert legerősebb szintetikus un. Soveso mérge. A toxikusságot toxikus egyenértékben (international toxic equivalent, TEQ) fejezik ki (KISFALVI, 2003).

Dioxin keletkezik gyakorlatilag minden tüzelés, égés során, a 250 - 450 °C hőmérséklet tartományban, ahol klór van jelen (pl. halogénezett szerves vegyületek). Legfőbb forrásai egyes ipari folyamatok, fosszilis tüzelőanyagok elégetése, primer és szekunder vas- és színesfém kohászat, pl. szinterezés, rézkohászat, PCP és PCB termelése, klórvegyületek szintézise, növényvédőszer gyártása, felhasználása, közúti közlekedés, ahol a benzinadalék is lehetséges dioxin forrás, jelentős kibocsátás származik továbbá a szemét égetéséből is. Keletkezhetnek mind a tűztérben, mind a lehülő füstgázban. A dioxinok képződése függ a hőmérséklettől, a magas hőmérsékletű zónában való tartózkodás idejétől, a koncentrációtól stb.... (NUSSBAUMER, 2004).

Vehlow szemétégető művek vizsgálata során különböző vegyületképződési utakat írt le. Vogg et al. és Stieglitz et al. labor kísérleteikben kimutatták, hogy a dioxinok és furánok szerves klórvegyületek hiányában is keletkeznek szemétégetők szállóporában. Elegendő szénrészecskék jelenléte és klórforrás (bizonyos nehézfémek, mint katalizátorok - a vörösréz hatékonyak bizonyult). Mindezek mellett a hőmérséklet, az O<sub>2</sub>-, C-, Cl-tartalom jelentősen befolyásolják a dioxinok képződését. A legoptimálisabb képződési hőfok 300±25 °C.

Faégetés vonatkozásában dioxinok és furánok elsősorban favédőszerrel kezelt használtfa égetése során keletkeznek, vagy közvetlenül is képződhetnek fából, klór jelenlétében. A legmagasabb dioxin- és furánkoncentráció nem teljes kiégetéskor 600-800 °C között van, 800 °C felett azonos tartózkodási idő mellett felgyorsul a termikus dioxin-lebontási folyamat.

A természetes fa csekély mennyiségben tartalmaz szervesen kötött klórt, 10-100 ppm közötti mennyiségben. Magasabb a klórtartalom azokban az esetekben, amikor pl. sós vízzel vagy az utak szórásával kapcsolatosan kerül a faanyagba klór. Kezelt fa, használtfa esetén gyakran még magasabb értékek mérhetőek.

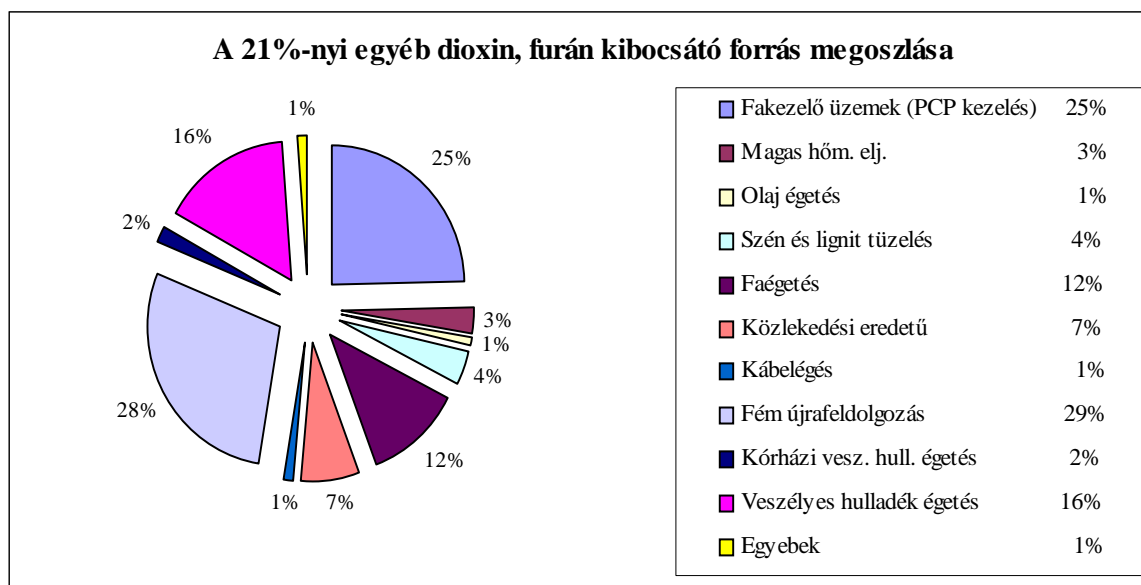
Az észak-olasz Seveso-ban történt baleset óta napjaink legismertebb és legvitatottabb vegyületei a PCDD (poliklórozott dibenzo-p-dioxin) és a PCDF (poliklórozott dibenzo-furán). Rendkívül toxikus szennyezők, főként antropogén eredetűek. Szinte bárhol előfordulhatnak, perzisztensek, felhalmozódásra képesek, öko- és humántoxikus anyagok. Teratogén, karcinogén és immunkárosító tulajdonságaik közismertek.



A dioxinok kizárólag, mint nemkívánatos melléktermékek keletkeznek kémiai és termikus folyamatokban. Majdnem minden égési folyamatban emittálódnak, hiszen alig van olyan nyersanyag, amely ne tartalmazna klórt. A legtöbb dioxin szemétegetőkben keletkezik (az összkibocsátás **79 %-a\***) (KISFALVI, 2003), ebből adódóan a legtöbb vizsgálatot is ezeknél a berendezéseknél végezték.

Fatüzelésnél, ahol gyakran nem tökéletes a kiégés folyamata, potenciálisan is képződhet a dioxin. Tudjuk, hogy a natúr fa is tartalmaz csekély mennyiségű klórt. Nestrick et al. és Thoma vizsgálatai aztán később igazolták a feltevést: dioxinemisszióval kell számolni fatüzeléskor.

\* A fennmaradó **21 %** keletkező dioxin megoszlását az alábbi ábrán követhetjük nyomon:



12. ábra. Az egyéb források dioxin, furán kibocsátási arányai

Forrás: KISFALVI, 2003.

A 21 %-nyi egyéb forrásból 12 %-ot foglal el a faégetésből származó dioxin-kibocsátás.

Néhány éve még azt gondolták, hogy a füstgázban lévő PCDD/F-ek vagy már a tüzelőanyagban benne vannak, vagy un. rokon tulajdonságú prekursorok szállítják oda.

Aztán egyidejű (szemétegetők füstgázában elektrofilter előtt és után végzett) mérésekkel igazolták, hogy a dioxin koncentrációja a nyersgázban alacsonyabb, mint a tiszta gázban.

A dioxinemisszió csökkentése (STRECKER, 1997) nem egyszerű feladat. Lássuk a legelterjedtebb eljárások összefoglalóját:

- Tüzelőanyag-oldali csökkentési intézkedések

A tüzelőanyagban jelenlévő klórtartalom a kiindulási alapja a dioxinok képződésének. Már a natúr fában is találhatunk klórt, a faipari termékeknél pedig ammónium-kloridot is használnak edzőként, ahol a végtermékben akár  $2\ 000\ \text{mg/kg}$  is lehet a klórkoncentráció.

Fenol és formaldehid alapú gyantáknál nem szükséges edző adagolása, a lezajló kémiai reakcióbeli eltérések miatt, viszont NaCl-t alkalmaznak. Mivel a klór alkáli fémmel van kötésben, ezért ez kedvező a dioxinképződés alacsonyan tartásához, ugyanis a nátrium negatívan befolyásolja a dioxin képződését.

További klórforrás a PVC (polivinil-klorid), amelyet felületborításkor használnak. Felülettől függően akár 1 %-ot is elérhet a klórtartalom a laminátban.

Egy vagy több klóratommal rendelkező molekulájú szerves favédőszer 100-200 mg/mg klórt tartalmazhatnak. A korábban széles körben elterjedten alkalmazott pentaklór-fenol (PCP) ma leginkább a használt fatermékek elégetése során okoz problémát.

Csökkentési lehetőségek:

- ammónium-klorid edző helyett ammónium-szulfát alkalmazása,
  - nehézfém-tartalom: favédőszerrel kezelt fánál a réztartalom fatüzeléskor jelentősen elősegíti a dioxinképződést: kezeletlen fától indulva (réztartalom < 10 mg/kg), favédővel kezelt és 630 mg/kg réztartalmú faanyag esetén a dioxinmennyiség 0,01 ng TE/Nm<sup>3</sup><sub>tr</sub> illetve 0,03 TE/Nm<sup>3</sup><sub>tr</sub> értékű,
  - a fa nedvességtartalma is befolyásoló tényező: ha a tüzelőberendezés nem magas nedvességtartalmú faanyag eltüzelésére optimalizált, a tüztér hőmérsékletének csökkenése negatív következményekkel járhat: dioxin képződhet.
- Tüzelés-oldali csökkentési intézkedések

A tüzeléstechnikai feltételek indirekten hatnak a dioxinmisszió nagyságára, mivel befolyásolják a füstgázban a részben kiégett C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> koncentrációját, és az aktív felülettel bíró finompor mennyiségét is.

Az elemi klór jelenlététől eltekintve a szálló por formájában jelen lévő szénrészecskék jelenléte szükséges a füstgázban a dioxinok képződéséhez.

A dioxin mennyiségének minimalizálása érdekében a tüzelőberendezés konstrukciójának módosításait el kell végezni, hogy a lehető legtökéletesebb kiégetés valósulhasson meg.

A tüztér geometriájában szükséges változtatások megtétele után a részben kiégett gázok hosszú ideig képesek magas hőmérsékleten tartózkodni, ennek hiányában a kiégetés nem lesz tökéletes és nem keletkezik CO<sub>2</sub>, mint a teljes oxidáció végeredménye.

Az égés során elkerülhetetlenül keletkező finom porrészecskéket mielőbb el kell távolítani a füstgázból.

Fontos, hogy a kellően magas hőmérsékletű tüztérben a gázok megfelelő ideig tartózkodjanak, elegendő O<sub>2</sub> jelenlétében. A helyileg fellépő esetleges O<sub>2</sub>-hiány következményei ugyanis a későbbi levegő hozzáadagolással (megfelelő λ-érték beállítása szükséges) hidegebb tüztérben már nem háríthatóak el.

Ha túl nagy a levegőfelesleg, magas lesz a hőveszteség, és a füstgázok a tüztérben idő előtt lehűlnek, amely negatív kihatással van a kiégetés hatásfokára és a dioxin képződésére.

A tüzelőberendezés konstrukciójának megfelelő kialakításával a korom és hamu aránya minimalizálható, ezáltal ezeknek a részecskéknek a katalitikus dioxinképző potenciálja lecsökkenthető.

A hirtelen teljesítményingadozások szintén kerülendők, mert kihatással lehetnek az égéslevegő és a tüzelőanyag eloszlására, ezáltal az égés jóságára, a kedvezőtlen  $\lambda$ -értékek pedig a dioxinképződési folyamatoknak kedveznek - cél a folyamatos, változatlan üzemállapot fenntartása égetés során.

Amennyiben sikerül ezeket a tanácsokat megfogadni égetés során, természetes fánál biztonsággal tartható a  $0,1 \text{ ng TE/m}^3$  érték ( $41,5 \text{ MW}$ -os tüzelőberendezésben  $0,04 \text{ ng}$  értéket sikerült betartani, Altholz égetése során).

- Füstgáz-oldali csökkentési intézkedések

Amennyiben lehetséges, tüzelőanyag-, illetve tüzelési oldalról próbáljuk meg csökkenteni a dioxin mennyiségét a füstgázban. Ez azonban nem mindig lehetséges, és faanyagvédőszerrel, illetve más anyagokkal kontaminálódott Altholz esetén szükséges a füstgáz oldaláról megtámogatni a káros emissziók csökkentését.

A leghatásosabb módszer az effektív porleválasztás, amellyel a füstgázban az előírt koncentráció értékek tarthatók (elektrofilterrel). Fatüzelő berendezés emissziós értékeinek vizsgálatokor (elektrofilterrel felszerelve), különböző terhelési állapotoknál, füstgázhőmérséklet változtatással, kimutatható volt a korreláció a füstgáz hőmérséklete és a dioxin kibocsátásának növekedése közt.

Egy másik kísérlet során (elektrofilterrel és ciklonnal), szintén fatüzelő berendezés esetében,  $200 \text{ }^\circ\text{C}$ -os tiszta gáz- és  $240 \text{ }^\circ\text{C}$ -os nyersgázhőmérsékleten vizsgálták a kibocsátást,  $0,11$  ill.  $0,03 \text{ ng TE/m}^3$  volt a dioxinterhelés. Vízhűtéssel a ciklon előtt  $145$ , illetve  $175 \text{ }^\circ\text{C}$ -ra hűtötték a gázokat. Így a kibocsátás változatlan üzemi paraméterek mellett  $0,01$ , illetve  $0,02 \text{ ng}$ -ra csökkent.

Harmadik megoldási lehetőség az aktív szénen/-koxszon történő dioxinleválasztás. A túl nagy nyomásesés elkerülése érdekében törekedni kell elő-porleválasztással max.  $30 \text{ mg/m}^3$  értéken tartani a füstgáz porkoncentrációját, az abszorberig való eljutásig. Egy kísérleti pilóta berendezésben a  $150 \text{ ng}$ -os dioxin koncentrációt  $< 0,15 \text{ ng/m}^3$ -re sikerült levinni.

További csökkentési lehetőség szikraabszorber, elektrofilter és szövet-szűrő kombinációjának alkalmazása. Az eljárás lényege, hogy mésztejet juttatnak a füstgázba. A jelentősen megnövekedett kontaktidő révén a  $2-8 \text{ ng}$  terhelést  $0,1 \text{ ng}$ -ra lehet levinni a füstgázban.

Az SCR-eljárás alkalmazásával jelentősen csökkenthető a dioxin koncentráció a füstgázban:  $0,1-10 \text{ ng}$  közötti értékek  $0,1 \text{ ng}$  alá csökkennek.

SCNR-elven működő berendezéseknél is szép sikereket értek el. Ennek fő oka, hogy az alkalmazott  $\text{NH}_3$  és  $\text{Cu}$  nagyon erős katalitikus hatást fejt ki a dioxinképződés ellenében.

Összegzésül elmondható, hogy a dioxinvegyületek magas ökotoxikus értékeik miatt mindenképpen a legalacsonyabb emissziós szinten tartandók. Az idegen anyagok eltávolításával hozzájárulhatunk a képződési hajlam csökkenéséhez, főként a klórtartalmú vegyületek jönnek szóba e téren, illetve bizonyos nehézfémek.

Szükséges továbbá a lehető legtökéletesebb kiegészi feltételek biztosítása, az égéslevegő megfelelő elkeveredése, kellő idejű tartózkodási idő és a kb.  $1,5 \lambda$ -érték tartása.

Ezáltal a keletkező szén-hidrogének és por mennyisége minimalizálható. Lehetőség szerint teljesítményingadozás nélküli, un. stacionárius égetéssel kell biztosítani a lehető legkevesebb káros anyag kibocsátást.

A korszerű tüzelőberendezéseknek nem okoz gondot ezeknek a feltételeknek a betartása, ám a régebbi, elavult kazánok esetében nem tarthatók folyamatosan ezek a paraméterek állandó értéken, főként, ha különböző szemcseméretű, nedvességű és típusú tüzelőanyag kerül felhasználásra. Ekkor megoldást jelenthet a füstgáz-oldali csökkentés, adszorpciós vagy katalitikus eljárások alkalmazása (NUSSBAUMER, 2004).

## 2. A KUTATÓMUNKA BEMUTATÁSA

### 2.1 A kutatás tárgya, célja és módszere

A fa és fahulladék égetése gázalakú és szilárd (pernye) égéstermék által okozott légszennyezéssel és hamu, valamint salak formájában hulladék keletkezésével jár.

Az utóbbi években megszigorodtak a fa és fahulladékok égetésével kapcsolatos környezetvédelmi előírások. Problémát a tökéletlen égés során keletkező gázalakú égéstermékek és a por okoznak. Nagy gondot jelentenek a vegyi anyagokkal kezelt fahulladék égetésekor felszabaduló légszennyező anyagok. Meg kell említenünk, hogy éppúgy problémát okoz a nem tiszta fa alapú fahulladékok és -termékek hazai viszonyok közötti újrahaznosíthatóságának szabályozatlanságából fakadó nehézségek leküzdése is.

A használt forgácslap hulladék égetésének emissziós vizsgálatával (amelynek elméleti vonatkozásait az 1.3 fejezetben fejtettem ki bővebben) azt a célt kívántam elérni, hogy mérésekkel támasszam alá, hogy hazai viszonyok között, kisüzemi (háztartási) körülmények mellett, nem megfelelő tüzelőberendezés használatával az égetés környezet- és egészségkárosító, alkalmazása nem indokolt.

A falemezgyártás 2020-ig terjedő időszakában változásokra lehet számítani (18. táblázat). Az összes falemezgyártási mennyiség növekedése prognosztizálható, amely maga után vonja a keletkező hulladék mennyiségének növekedését is - ezáltal várhatóan az égetés volumenének növekedését.

18. táblázat. Falemezgyártás várható volumene Magyarországon 1980-2020 között

Termék	me.	1980	1990	2000	2010	2020
Furnér (árufurnér)	$10^6 \text{ m}^2/10^3 \text{ m}^3$	23	16	20	20	20
Furnérból rétegelt termék	$10^3 \text{ m}^3$	15	10	30	30	60
Forgácslemez	$10^3 \text{ m}^3$					
gyantakötésű		211	270	450	450	500
cementkötésű		21	29	30	30	30
gipszkötésű				20	50	60
Pozdorjalemez	$10^3 \text{ m}^3$	51	17	20	50	60
Farostlemez	$10^3 \text{ m}^3$					
kemény		98	50	60	60	60
MDF					60	60
Összes falemez	$10^3 \text{ m}^3$	418	392	630	750	850

Forrás: TÓTH, 1997.

A termelési volumen 2020-ig prognosztizált növekedésével együtt jár az alapanyagigény növekedése is, amely egyrészt a hazai erdőkből, másrészt importból kerül fedezésre.

A piacon megjelent fatüzelésű erőművek várható alapanyag szükséglete szintén növekvő tendenciát mutat (19. táblázat), ezért az ország EU-csatlakozásával járó kötelezettsége (energiaültetvények telepítése) nem halogatható tovább - elsősorban a faipari alapanyag- és a lakossági tűzifaellátás zavartalan biztosítása érdekében.

19. táblázat. A falemezgyártás várható fa alapanyagigénye 2000-2020 (ezer m<sup>3</sup>)

	2000	2010	2020
Furnér és furnérból rétegelt termékek	120	120	170
Faforgács- és farostlemez	930	950	1150
Összesen	1050	1070	1220

Forrás: BONDOR – SOLYMOS, 1998.

A vizsgálatok lebonyolításához szükség volt egy megfelelő kapacitású és a hazai háztartási viszonyokat reprezentatív jó tükröző tüzelőberendezésre, megfelelő mintákra, azok bevizsgálására és akkreditált laboratórium által hitelesített emissziómérésre.

A tüzelőberendezés Győr-Moson-Sopron megye egyik településén üzemelt.

A mintákat kazánban történő elégetést megelőzően előzetes laboratóriumi vizsgálatoknak vettem alá (BME Kémiai Technológiai Tanszék (pirolízis vizsgálatok), Veszprémi Egyetem Vegyipari Műveletek Tanszék (fűtőérték-vizsgálatok), VÉRT Független Anyagvizsgáló Laboratórium (fűtőérték-mérések)).

Az ezekkel kapcsolatos vizsgálataimról szólnak az 1.2.3, 2.1.1, 2.1.2, 2.2.1 és a 2.2.2. fejezetek.

A minták (a hazai két forgácslapgyártó vállalat, a Falco és az Interspan által előállított forgácslapokból származnak): natúr és laminátos forgácslap hulladék, megfelelő aprítás után kerültek a tüztérbe.

Az emissziómérés a győri székhelyű Környezetvédelmi, Természetvédelmi és Vízügyi Felügyelőség Akkreditált Mérőállomása segítségével történt.

Válaszokat kerestem az alábbi kérdésekre:

- A lemez- és bútorigar termékei a fa alkotóelemen kívül sok más, a környezetre és az emberre ártalmas anyagokat is tartalmazhatnak, amelyek a környezetből, és a technológiai folyamatokból kerülnek a termékekbe, végül a fogyasztókhoz (majd az esetleges égetés után a légkörbe). Jó példa erre a *formaldehid*, amely több helyen és formában szabadul fel, minimálisra csökkentése hosszú időn át komoly fejtörést okozott a gyártóknak. Mára ez a probléma megoldódni látszik, a kész forgácslapok E1 emissziós osztályba kerülnek besorolásra, ami azt jelenti, hogy 8 mg/100g CH<sub>2</sub>O (formaldehid) kibocsátás jellemző rájuk. Kérdés: Hová sorolható be a forgácslaphulladék és a használt termék?
- Milyen alapvető különbségek tapasztalhatóak emisszió szempontjából natúr és laminátos, illetve Falco-s és Interspan-os minta égetése során?
- Milyen alapvető változtatások szükségesek háztartási méretű kazánoknál a jobb tüzelési hatások és a kevesebb emisszió eléréséhez?

- A laptermékekhez hozzáadott ragasztó- és segédanyag hogyan befolyásolja a termék életciklusa végén a hasznosíthatósági lehetőségeket?

### 2.1.1 Kaloriméteres vizsgálatok

A témáról bővebben az 1.2.3 fejezetben szóltam, itt most a kalorimetrálás, mint a fűtőérték meghatározásának módszerét szeretném részletesebben tárgyalni.

Szilárd tüzelőanyagok égéshőjének és fűtőértékének meghatározása a kalorikus gépek hatásfokának, az égési folyamatok megítélésének egyik alapfeltétele.

Az égéshő, illetve fűtőérték a pontosan lemért tüzelőanyagok zárt, nyomásálló edény oxigénatmoszférájában való elégetése útján határozható meg. A nyomásálló edényt vízfürdőbe merítik, az égés után megméri a víz felmelegedését. A víz hőmérsékletének időbeli változásához a környezet befolyása is figyelembe vehető.

Az elégetett tüzelőanyag mennyiségéből, a készülék vízértékéből és az égés utáni hőmérséklet változásából számítható a tüzelőanyag égésekor felszabadult hőmennyiség, amelynek a tüzelőanyag tömegegységére vonatkoztatott értéke a felső fűtőérték vagy égéshő (FÜLÖP, 1969).

A kalorimetrálás általános előírásai

- a kalorimetráló helyiség más helyiségektől elkülönített szoba legyen, lehetőleg északi fekvésű, a nap sugárzásától teljesen védett,
- a hőmérséklet és a levegőnedvesség ingadozása a legcsekélyebb legyen,
- jelentős légáramlatok a munka idején (fűtés, szellőztetés) ne keletkezzenek,
- a helyiségben nem szabad izzó kemencét, meleg főzőlapokat, meggyújtott gázégőket és egyéb, meleget kibocsátó készülékeket tartani,
- az oxigénpalackot a feldőlés ellen rögzíteni kell,
- PB vagy más éghető gázt tartalmazó palack az oxigénpalackkal egyidejűleg nem tárolható,
- tiszta oxigén használatakor fennálló robbanásveszély miatt a kalorimétert, a kaloriméter-bombát, az összekötő csővezetékét és a manométert a zsiradéktól vagy olajtól óvni kell,
- a nagy nyomásnak kitett alkatrészeket, a bombát, a manométert és az összekötő csővezetékeket legalább félévenként vízzel történő *180 at* próbanyomásnak kell alávetni.

A vizsgálatokhoz szükséges minta

Szilárd tüzelőanyagok vizsgálata során a legnagyobb hibaforrás a mintavételezés. Kalorimetrálás előtt a minta lehetőleg minél nagyobb részét légszárzóra kell szárítani, és a szárítás előtt és után végzett mérlegeléssel az elpárolgott vízmennyiséget meg kell állapítani. A szárítókészülékben abszolút vízmentesre való szárítás nem ajánlott, mert lehet, hogy a tüzelőanyag a kalorimetrálás előkészítése közben vizet vesz fel.

A vizsgálathoz szükséges eszközök (pl. KL-10 típusú automata kaloriméter)  
(MSZ 24000-5 : 1978. Az égéshő meghatározása és a fűtőérték kiszámítása.)

- Kaloriméter-bomba: saválló acélból készült henger. Kb. 300 ml. Fedelén két szelep található az oxigén ki- és bevezetésére, és csatlakozó póluspár a villamos gyújtás részére.
- Kaloriméter-edény: a kiemelés megkönnyítésére füllel ellátott lemezből készült, nikkelezett, vagy krómozott, polírozott hengeres edény. A bombánál kb. 15 cm-rel magasabb. Ebbe kerül az a víz, amelybe a bomba merül, és amelynek hőmérsékletváltozásából számítható ki a fejlődött hőmennyiség.
- Kaloriméter-termosztát: kettős falú, hengeres edény, állandó környezeti hőmérsékletet biztosít. Az edény a hőkapacitás növelése érdekében legalább ötször annyi vizet tartalmaz, mint a kaloriméter vízértéke. Tetején a hőmérő számára nyílás van készítve a köpenyben lévő víz hőmérsékletének ellenőrzése végett. Belső fenekén hőszigetelő anyagból 3 lábbon álló polcocska van, a kaloriméter-edény elhelyezése számára.
- Hőmérő
- Keverő: a kaloriméter-edényben lévő víz keverésére szolgál, amely villamos motorral hajtott mechanikus szerkezet. Vagy függőleges mozgást végez, vagy lapátos rendszerű.
- Kaloriméter-tégely, gyújtóhuzal és pamut: a tégely készülhet kvarcból, platinából vagy rozsdamentes acélból. A tégely a kaloriméter-bomba fedeléből alányúló tartóra kerül. A tégelyben elhelyezett minta meggyújtására platina-, nikkel-, vagy acélhuzal szolgál. Égéshőjük figyelembe veendő! A gyújtás feltétlen biztosítására pamutszálat is alkalmaznak, amit a gyújtóhuzalra hurkolnak, és a por vagy pasztilla alakú tüzelőanyaggal hoznak érintkezésbe.
- Áramforrás és gyújtóberendezés
- Oxigén, 25-30 at nyomású, hidrogénmentes
- Töltőberendezés: oxigénpalackból oxigént tölt fel.

A vizsgálat olyan kaloriméterrel végezhető el, amelynek ismert a vízértéke. A kaloriméter vízértéke az a grammban kifejezett 15 °C hőmérsékletű vízmennyiség, amely azonos hőmérsékletemelkedéskor ugyanannyi hőt vesz fel, mint a kaloriméter.

A vizsgálat részletei nem képezik tárgyát az értekezésnek, a vonatkozó szabványok pontos leírással szolgálnak. Az eredményeket az 1.2.3 és 2.1.1 fejezetekben mutattam be.

### 2.1.2 A pirolízis folyamata

A pirolízis a szerves anyagú hulladék megfelelően kialakított reaktorban, hő hatására, oxigénszegény vagy oxigénmentes közegben - esetleg inert gáz (pl. nitrogén) bevezetés közben -, szabályozott körülmények között bekövetkező kémiai lebontása. A folyamat során hő hatására a vegyi kötések felbomlanak. A képződő elemek lehűlés közben újraegyesülnek és egyszerűbb vegyületeket alkotnak. A felmelegítés és hűtés feltételeinek szakszerű beállításával lehetővé tehető, hogy a (legveszélyesebb) hulladékokból környezeti szempontból kevésbé veszélyes anyagok keletkezzenek (BARÓTFI, 2000/1).

A hőbontás során a szerves hulladékból

- pirolízisgáz
  - folyékony termék (olaj, kátrány, szerves savakat tartalmazó bomlási víz)
  - szilárd végtermék (piroliziskoksz)
- keletkezik.

Ezek összetétele, aránya és mennyisége a kezelt hulladék összetételétől, a reaktor üzemi viszonyaitól és szerkezeti megoldásától függ elsősorban.

A végtermék energiahordozóként (fűtőgáz, tüzelőolaj, koksz), ritkábban vegyipari másodnyersanyagként (pl. a gázterméket szintézisgázzá konvertálva metanol előállításához) és esetenként egyéb célokra (talajjavítás szilárd, szénben dús maradékkal; fakonzerválás vizes maradékkal; granulált salakolvadék építőipari adalékanyagként) hasznosítható.

A hőbontás során döntő a hőmérséklet, a felfűtési és a reakcióidő, a szemcse-, ill. darabnagyság és az átkeveredés mértéke, hatékonysága.

A végtermék összetételének és részarányának alapvető meghatározója a hőmérséklet. A hőátadástól függ a felfűtési sebesség, amely szintén hat a termékek összetételére.

Az alkalmazott hőmérséklettartomány általában 450-550 °C, egyes eljárások ennél nagyobb hőmérsékleten is üzemelnek.

A reaktorok fűtési mód szerint:

- közvetett (reaktorfalon keresztül, ill. cirkulációs közeg segítségével) és
  - közvetlen
- fűtési megoldásúak.

A közvetett fűtésű reaktorban a pirolízis és a hőenergiát szolgáltató parciális égés közös térben zajlik. A reaktorfalon keresztüli hőközlés rossz hatásfokú, és a reaktor érzékeny a tűzálló falazat minőségére, viszont egyszerűen üzemeltethető és jól szabályozható. A cirkulációs közegű hőátadás jó hatásfokú, de bonyolultabb az üzemeltetés.

A legjobb hőátadási viszonyok a közvetlen fűtési módszerrel érhetők el, ám ilyenkor megnő a gáz szén-dioxid-, víz- és nitrogén-oxid tartalma és körülményesebb a folyamat szabályozása is.

A hőbontás legnagyobb előnye az, hogy termékei hasznosítható alifás és aromás szénhidrogének, és légszennyező hatása jelentősen kisebb, mint a hulladékégetésé.

Hátránya a fokozott anyagelőkészítési igény, valamint hogy főként kis hőmérsékletű eljárásokban a gáztisztítás összetettebb és komplikáltabb, és a keletkező, többnyire erősen szennyezett mosóvizet is tisztítani kell. Hátrány továbbá, hogy az égetéshez képest nagyobb a valószínűsége a nehezen bomló, nem tökéletes égéstermékek képződésének.

A hőbontási eljárások különleges típusához tartoznak az elgázosítási módszerek, ahol a szerves anyagok hőbontása min. 850 - 950 °C hőmérsékleten (max. 1 600 - 1 700 °C), segédanyagok - levegő, oxigén, vízgőz - jelenlétében megy végbe, a lehető legnagyobb gázkihozatal érdekében.

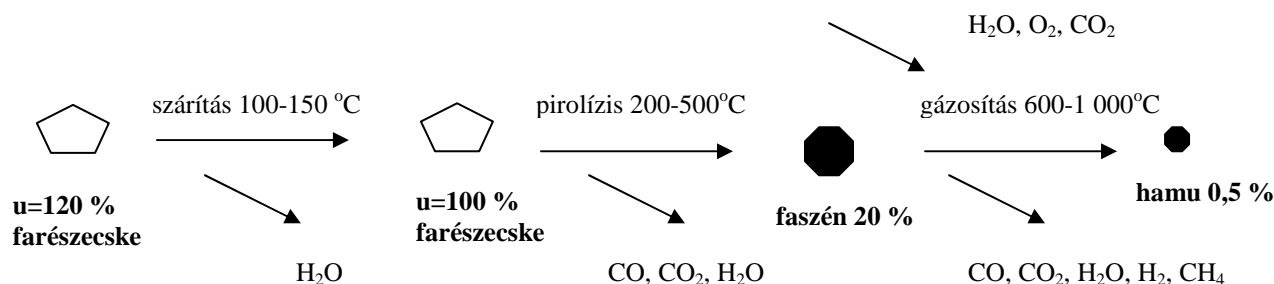
Az elgázosításhoz szükséges energiát a szerves anyagok parciális égetése biztosítja. A gáztermék főleg hidrogént és szén-monoxidot tartalmaz, fűtőértéke levegővel történő elgázosításkor átlagosan 5 000 kJ/m<sup>3</sup>, oxigénnel történő elgázosításkor átlagosan 10 000 kJ/m<sup>3</sup>.



A gáztermék energetikai hasznosításra kerül, amennyiben szintézisgázkénti felhasználásra van mód, akkor az elgázosító segédanyagként oxigént kell alkalmazni és nyomás alatti üzemelés szükséges (pl. metanol előállításnál). Ez főleg a vegyipari vagy petrokémiai üzemekben gazdaságos.

A legújabb elgázosítási eljárások az égetés és a hőbontás előnyeit kombinálva, a másodlagos környezetszennyező hatásokat minimalizálva, a korszerű hulladékégetőkhöz hasonló beruházási és üzemeltetési költségekkel a jövő alternatív eljárásainak tekinthetők a szilárd hulladékok termikus kezelésében a már kiforrott égetéses technológiával szemben/mellett.

Minden lignocellulóz pirolizálható, a legtöbb eredményt eddig a fapirolízissel érték el.



13. ábra. A pirolízis és a gázosítás részfolyamatai

Forrás: KOTSIS – MAROSVÖLGYI, 2006.

A fa és fahulladékok pirolízise során a végtermék a fagáz. Az elgázosításra többféle módszer áll rendelkezésre. Az egyik esetben oxidáló közegek nélkül végzünk hőbontást, amelynek során a nagy széntartalmú anyagok lebomlanak és depolimerizálódnak. Eredményül fagázt, faszén, kátrányt és kátrányos vizet kapunk.

A kátrányt 800 °C körüli hőfokon Ni-katalizátorral, vízgőz jelenlétében el lehet távolítani a nyersgázból.

Egy másik módszer esetében magas hőmérséklet mellett oxidáló közeg is jelen van a reakció során. A folyamatban a fa bomlik és polimerizálódik, kis molekulájú gázok és szénhidrogének képződnek. Az oxidáló közeg jelenléte miatt a szilárd anyag mennyisége erőteljesen csökken, így az esetleg nem kívánatos faszén és kátrány mennyisége alacsony szinten tartható. Az ilyen módszerekkel előállított fagáz nagy nitrogén- és szén-dioxid tartalmú, ennek eredményeképpen a fűtőérték 10-12 MJ/m<sup>3</sup>. A fagázt - a versenyképesség érdekében - igen jó hatásfokú gépben, célszerűen gázmotorban hasznosíthatjuk (ŐSZ – BIHARI, 1998).

#### Faipari hulladék pirolízise

A faipari hulladék pirolízisét egy laboratóriumi kísérleti csökemencében (Kalória Kft. és Ezila Kft., valamint BME VMK Kémiai Techn. Tanszék kísérleti berendezése) végeztem el (5. MELLÉKLET; 14. ábra). A szilárd anyagok pirolízisére kialakított berendezés részletes ismertetése nem lehetséges sem jogi, sem technika-védelmi szempontból, a legfontosabb tudnivalók azonban a következőkben mondhatók el:

A csőreaktor három kemence fűti, ezek hőmérséklete külön-külön szabályozható. Méréskor minden esetben kb. 10 g anyag került egy fémcsónakba, majd a csőreaktorba.

A reaktorcső 1 m hosszú, 2 cm belső átmérőjű, króm-nikkel ötvözet.

Az I. kemencében a beadagolt víz gőzzé alakítása és a vízgőz túlhevítése történik.

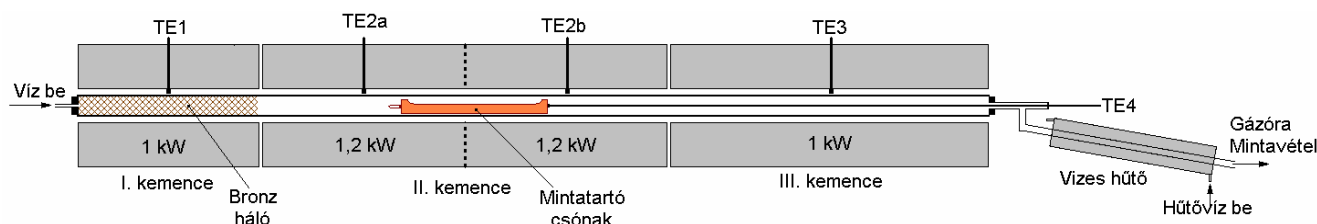
A II. kemence kétszektoros, szektoronként külön termoelemmel és szabályzóval.

A II. kemencét a kívánt hőmérsékletre felfűtve, az anyag egyenletesen elbomlott. A kemencében megolvadt az anyag, a hőmérséklet hatására a hosszú láncok töredezték, a képződött kisebb molekulák (de abszolút értelemben még mindig nagyok) a magas hőmérséklet hatására gőz állapotba jutottak, és az áramló vízgőzzel a III. kemencébe jutva pirolizálódtak.

A III. kemencében történik a pirolízis (steam cracking) 800-860 °C-on.

A reaktorcsőbe nyúlik egy termoelem (TE), amely a mintatartó csónak falával érintkezik, így nyomon követhető a minta hőmérséklete.

A hőbomláskor keletkezett gázok hűtőn keresztül áramoltak, a kondenzálódott cseppfolyós anyag mennyiségét mértem. A nem kondenzálódott gázok mennyisége gázóraba vezetés után lett mérve. A reakció befejezése után a lehűlt reaktorból a mintatartó edényt kivettem, amelyben szemmel láthatóan kokszt maradt vissza. Ennek mennyisége gravimetrikusan, a gázok összetétele pedig gázkromatográfal került meghatározásra.



14. ábra. A pirolízis-berendezés felépítése

### 2.1.3 Az égetés

Különböző tüzelőanyagokkal történő összehasonlítás alapján elmondhatjuk (20. táblázat), hogy a fatüzelés behozhatatlan előnnyel bír a CO<sub>2</sub>-kibocsátás terén, életsiklusából adódóan. Ez vonatkozik bármilyen tüzelőberendezésben történő elégetésére. A szén-dioxid-semlegesség nagy előny és érv a fatüzelés mellett, de csak ha a többi gáz kimenő paraméterei nem okoznak környezeti többletterhelést.

Probléma viszont a CO és a C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>, valamint az NO<sub>x</sub> mennyisége. Ezek értékei csak szabályozott tűzterű, tüzelőanyag és égéslevegő beadagolású és leválasztó berendezéssel rendelkező kazánokban tarthatóak határérték alatt (amennyiben vonatkozik rájuk).

20. táblázat. **Tüzelőanyagok káros anyag kibocsátása**

<b>Tüzelőanyag/káros anyag/emisszió (kg/TJ)</b>	<b>Por</b>	<b>C<sub>x</sub>H<sub>y</sub></b>	<b>NO<sub>x</sub></b>	<b>SO<sub>2</sub></b>	<b>CO</b>	<b>CO<sub>2</sub></b>
Koksz	60	10	70	340	4 500	104 000
Kőolaj	5	10	40	140	50	78 000
Földgáz	0	5	40	0	50	52 000
<b>Fatüzelés hagyományos technológiával</b>	<b>70</b>	<b>1 000</b>	<b>50</b>	<b>10</b>	<b>6 000</b>	<b>0</b>
<b>Fatüzelés korszerű technológiával</b>	<b>14</b>	<b>9</b>	<b>42</b>	<b>10</b>	<b>366</b>	<b>0</b>
Korszerű aprítéktüzelés	4	2	45	10	16	0
CO <sub>2</sub> -egyenérték	-	21	200	-	-	1

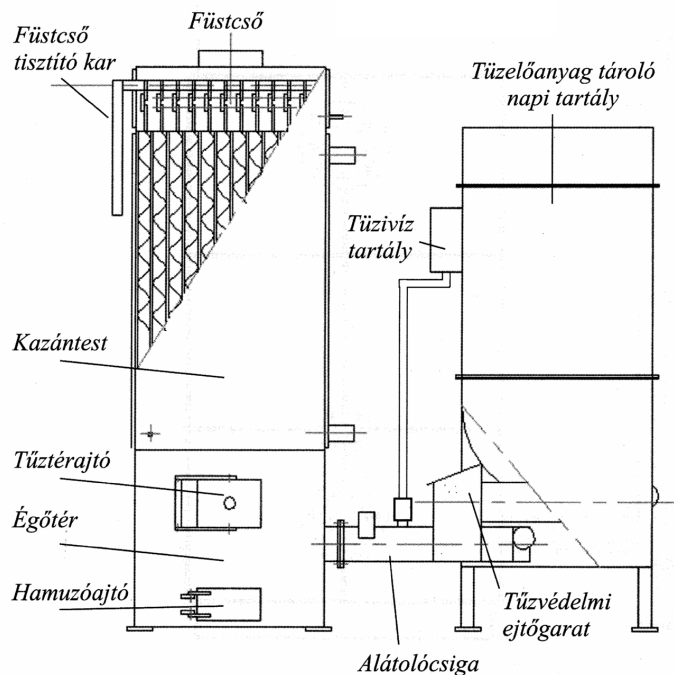
Forrás: BAI, A. – LAKNER, Z. – MAROSVÖLGYI, B. – NÁBRÁDI, A., 2002.

A különböző energiahordozók elégetésekor a kibocsátott szennyezőanyagok mennyisége eltér. A táblázatban félreértésre adhat okot, hogy bármely típusú fatüzelést is tekintjük, a szén-dioxid emisszió nulla. Ez a légtér *terheltségére* vonatkozó adat, azaz fa eltüzelésekor nem nő a légkör szén-dioxid terhelése. Ez az állítás azonban nem fedti teljesen a valóságot, hiszen az akár *100-120 év* során a faanyagban akkumulált CO<sub>2</sub> égetéssel órák alatt kerül vissza a légkörbe, időbeli eloszlása tehát nem egyenletes.

A használt forgácslap alapú termék fatüzelésű kiskazánban történő elégetésének a célja az volt, hogy hazai viszonyok között információt szerezzek arról, hogy a kisüzemi/háztartási igények fedezésére szolgáló forgácslap alapú termékek égetése mekkora környezeti kibocsátással jár, és ennek ismeretében (valamint a tüzelőberendezés bizonyos műszaki paramétereinek változtatására vonatkozóan javaslatot téve) a hazai jogszabályalkotás ezen a területen hiányosságokat felmutató szabályozásának kiterjesztéséhez hozzájáruljak.

### 2.1.3.1 A berendezés bemutatása

A berendezés fatüzelésű kazán, lakossági és kisüzemi felhasználásra készült. Rendeltetése: fűtési melegvíz előállítása *90/70 °C*.



15. ábra. A tüzelőberendezés általános felépítése

Tüzelőberendezés kialakítása:

- kézi működtetésű, mozgórostélyos.

A 21. táblázat a berendezés műszaki adatait tartalmazza.

21. táblázat. A berendezésre jellemző műszaki adatok

MEGNEVEZÉS	AT-03
Hőteljesítmény; melegvíz	35 kW (20 kW); 30 000 kcal/h
Tüzelőanyag	Automata üzemmód: fűrészpor, forgács, pellet, 15-20 mm apríték Kézi üzemeltetés: tűzifa (hasábfa)
Tüzelőanyag igény	max. 12 kg/h
Huzatigény	50 mbar
Vill. teljesítmény igény	220 V; max. 0,5 kW, 50 Hz

A berendezés műszaki specifikációja

engedélyezési nyomás: 1,5 bar

próbanyomás: 2,0 bar

legkisebb megengedett teljesítmény 30 %

legnagyobb megengedett teljesítmény 120 % rövid időre, max.10 perc

maximális előremenő hőmérséklet: 90 °C

minimális visszatérő hőmérséklet: 50 °C

tüzelőberendezés kialakítása: automatikus üzemmű, síkrostélyos

tüzelőanyag: fűrészpor-forgács, apríték, kézi adagolással hasábfa

névleges fűtőérték: 11-13 MJ/kg

hatásfok: 80 % ( $\pm 5$  %)

kilépő füstgáz hőmérséklet: 200-250 °C

tűztér depresszió /átlagos/: 60 - 150 Pa

A tüzelőberendezés legfontosabb részei

- Hőhasznosító

A kazántest kazánlemezéből hegesztve készül. A köpeny sarkai szilárdságnövelő íves kialakításúak, a sík felületek a szétnyomódás ellen több átkötő rúddal vannak biztosítva. A hegesztési varratok a kazánbiztosítási szabályzatban foglaltaknak megfelelő kialakításúak. A melegvíz kazán besugárzott lángterű, ehhez kapcsolódóan egyhuzamú függőleges füstcsöves rendszerű. A lángtérben lángterelő lemez tárcsa található. Hőhasznosító része a tüzelőberendezés acél lemezszekrényén van elhelyezve.

A füstcsövekből kilépő füstgáz a felső fordítókamrán keresztül távozik a kazánból. A tűzteret tisztítás és vizsgálat céljából a kazán elején elhelyezett ajtón keresztül lehet megközelíteni. A tűztérajtó alatt helyezkedik el a hamuzó ajtó.

A konvektív járatokat a felső fordítókamra eltávolítása után lehet felülről tisztítani, majd a lángtéren lévő alsó tisztítócsonkon keresztül a hamut egyszerűen eltávolítani. A tűztéri ajtó, fordító- és füstkamra zárófelületeinek tömítését elhasználódás után cserélni kell a légtömörség biztosítása érdekében. A kazán 3 cm-es hőszigeteléssel és festett panelburkolattal van ellátva.

Az előremenő és a légtelenítő csonk az oldalfalon felülről, a visszatérő és ürítő csonk a berendezés oldalfalán alulról található.

Az üzemviteli és biztonsági műszereket az előremenő csonk után a fűtési csővezetékben kell elhelyezni.

- Tűztér

A tűztér hegesztett acélvázból készül, tartja a melegvízes kazántestet és benne található a tüzelő berendezés szerkezete.

A tüzelőberendezés kettős köpenyű, tűzálló falazatú. A kettős köpeny biztosítja az égési levegő előmelegítését. A tűztér elején karon kifordítható tűzálló betétes ajtólap található kémlelő nyílással.

A tüzelőanyag a tűztér oldalfalán keresztül jut be a tűztér alatt elhelyezett rostélyszerkezetre. A darabos tüzelőanyagot a tűztérajtón keresztül lehet beadagolni.

A rostély a tűztér alatt elhelyezett sínen hosszirányban elmozdítható. A rostélyt a hátsó szerelő ajtón keresztül eltávolítható a tűztérből.

- Égéslevegő rendszer

Az égéslevegő az égőtér hátsó oldalán elhelyezett ventilátorral van biztosítva külön-külön szabályozhatóan.

A ventilátor egy csonkkal csatlakozik a kazántesthez. A csatlakozó csonkban található a primer és szekunder levegő szabályozó csappantyú. A primer levegő a tűztér kettős köpenyén, a hamutéren áthaladva a rostély résein keresztül jut a tűztérbe. A szekunder levegő a kettős köpenyen és a tűztér hőálló bélésében lévő fűvókákon keresztül áthaladva felmelegszik, így segíti az égést. A levegő beszabályozásával lehet az égés jóságát beállítani.

- Füstgáz rendszer

Az égéstermékeket megfelelő kéményhuzattal (60 - 100 mbar), vagy füstgázelszívó ventilátorral kell a kazánból elszívatni. A porleválasztáshoz ciklon beépítése javasolt. A füstcsatornába szabályozó csappantyút kell beépíteni, amellyel be lehet állítani az égési depressziót (60 - 150 mbar). A füstgázelszívó ventilátornak biztosítania kell üzemszünet esetén is a füstgáz gravitációs áramlását. Felszerelése közvetlenül a kazán füstcsonkjára történhet.

- Melegvizes fűtési rendszer

A melegvízfűtési rendszer 90/70 °C-os rendszerben üzemel. A fűtési rendszert célszerű zárt rendszerűnek választani.

- Tűzvédelem

A tüzelőberendezés automatikus tüzelőanyag adagolója visszaégés ellen kettős biztosítással rendelkezik. Az egyik a segédenergia nélkül működtetett elárasztó szelep, a másik egy tűzvédelmi termosztát által 24 V-os rendszerrel működtetett hangjelző és a tüzelőanyag adagolócsigát automatikusan működtető vezérlés.

- Tüzelőanyag ellátás

A tüzelőanyag automata üzemnél a tüzelőberendezés oldalfalán át kerül be a tüztérbe, a mozgó rostélyszerkezetre. A kazánba juttatott tüzelőanyag előszárítását és kigázosítását a tűzálló samott falazat hő (vissza)sugárzása és az előmelegített égési levegő végzi.

### 2.1.3.2 Kibocsátási határértékek (Emisszió-határértékek)

Ahhoz, hogy az égetés után a mért adatokból pontos és tüzelőanyagra jellemző kibocsátási értékek szülessenek, és azokat értelmezni lehessen, a határértékekről kellő részletességű információra van szükség. Az emisszió hatékony értelmezése és alkalmazása az alábbi fogalmak egyértelmű használatát követeli meg (BARÓTFI, 2000/1):

*Légszennyező anyag:* a levegő minőségét hátrányosan befolyásoló anyag, amely az emberi tevékenység következtében kerül a légtérbe, káros lehet az ember egészségére, vagy a környezet minőségére, károsíthatja az anyagi javakat, megakadályozhatja vagy befolyásolhatja a környezet jogszerű használatát.

*Kibocsátási határérték:* a levegőnek jogszabályban vagy hatósági határozatban meghatározott olyan mértékű szennyezése, amely nem léphető túl.

*Légszennyező forrás:* a berendezésnek, létesítménynek az a pontja, felülete, amelyből, amelyről légszennyező anyag kerül a levegőbe. Fajtái: helyhez kötött pont-, felületi (diffúz)-, vonal- és mozgó légszennyező forrás.

A helyhez kötött légszennyező pontforrásokra technológiai, egyedi, össztömegű kibocsátási határértékek állapíthatók meg.

- A technológiai kibocsátási határértékeket a BAT figyelembevételével szükséges megállapítani.

A BAT (best available techniques) a kor technikai színvonalának megfelelő, rendelkezésre álló legjobb technika, amelyet a kibocsátások megelőzése vagy csökkentése, valamint a környezet egészére gyakorolt hatás mérséklése érdekében alkalmaznak, és amely a kibocsátási határértékek megállapításának alapjául szolgál.

- *a legjobb* azt jelenti, hogy az alkalmazott technika a leghatékonyabb a környezet magas szintű védelme érdekében.

- *a rendelkezésre álló* technika: fejlesztési szintje lehetővé teszi az érintett ágazatokban történő alkalmazását, megfelelő műszaki és gazdasági feltételek mellett. Az elfogadható gazdasági feltételek megítélésénél a költség/haszon arányt kell mérlegelni.

- *a technika* fogalmába beleértendő az alkalmazott technológia és módszer, amelynek alapján a berendezést (technológiát, létesítményt) tervezik, építik, karbantartják, üzemeltetik és működését megszüntetik. A BAT nem csúcstechnikát jelent, hanem a piacon elérhető, megfelelő működési referenciával rendelkező eljárásokat, amelyek alkalmazása gazdaságilag is indokolt.

A technológiai kibocsátási határértékek két fő csoportja:

- általános technológiai kibocsátási határértékek,
- eljárás-specifikus technológiai kibocsátási határértékek.

- **Általános technológiai kibocsátási határértékek**

Szennyezőanyag csoportokra állapítják meg a szennyezőanyag fizikai, kémiai tulajdonságai és a környezetre gyakorolt hatása alapján.

- **Eljárás-specifikus technológiai határértékek**

Olyan technológiára állapítják meg, amelyek fejlettségi szintje bizonyos szennyezőanyagok tekintetében szigorúbb, vagy enyhébb követelmények betartását teszi lehetővé.

Az eljárás-specifikus határértékek - a részletesen szabályozott technológiák kivételével - csak az eljárás meghatározott anyagaira vonatkoznak, az egyéb szennyező anyagokra az általános technológiai kibocsátási határértékeket kell alkalmazni.

Részletesen szabályozott technológiák (a környezetre jelentős hatást gyakorló technológiai folyamatok) például:

- tüzelési eljárások,
- hulladékok égetése,
- illékony szerves vegyületek felhasználása.

Az ezekre vonatkozó szabályozások a kibocsátási határértékeken túl részletes előírásokat tartalmaznak a technológiák működtetési feltételeire - üzemeltetési paraméterekre, kibocsátások és működési jellemzők ellenőrzésére, mérésre és adatszolgáltatásra, egyéb műszaki követelményekre.

A korábban általánosan alkalmazott területi kibocsátási határértékek helyett a technológiai kibocsátási határértékek rendszerét írják elő a jogszabályok.

A két megközelítési mód közötti különbségek az alábbiak:

A területi kibocsátási határérték értékét a következő tényezők határozták meg:

- a kibocsátó forrás magassága,
- az adott telephelyen lévő, azonos magassági kategóriába tartozó források száma,
- az adott anyagra vonatkozó 24 órás levegőminőségi határérték,
- a kibocsátás térségében fennálló alap-légszennyezettség.

A technológiai kibocsátási határérték értéke függ:

- a légszennyező anyag tömegáramától,
- a légszennyező anyag veszélyességétől,
- az elérhető legjobb technika szintjétől (BAT).

A technológiai kibocsátási határérték megadása úgy történhet, hogy a kibocsátott légszennyező anyag tömegét kell vonatkoztatni a véggáz (füstgáz) térfogatára, illetőleg a bevezetett energiamennyiségre, a vizsgálati ciklusra, a termék mennyiségére stb. Ennek megfelelően a határértékek mértékegysége lehet általános esetben:  $\text{mg/m}^3$ , ppm, térf%; energiatermelés esetén: g/GJ; olyan technológiáknál, amelyeknél a kibocsátás a termék egységére vonatkoztatható: kg/t termék,  $\text{g/m}^2$  termék.

A technológiai kibocsátási határértékeknel  $\text{Nm}^3/\text{h}$  mértékegységben meg kell adni a száraz füstgáz térfogatáramát normál állapotban: 273 K hőmérsékleten és 101,3 kPa nyomáson, a vízgőztartalomra vonatkozó korrekció elvégzése után (normál állapotú, száraz füstgáz).

- Az egyedi kibocsátási határértéket (szigorúbb, mint az országosan érvényes határértékek) akkor állapítja meg a hatóság, ha
  - a technikai és műszaki fejlődés meghaladja az országos érvényű határértékek megállapításához alapul vett BAT szintjét és annál szigorúbb határérték betartását is lehetővé teszi,
  - az adott terület légszennyezettsége olyan magas, hogy a levegőminőségi határértékek betartásához nem elég a BAT alkalmazása, hatékonyabb intézkedések szükségesek a légszennyező anyag kibocsátás megelőzésére, csökkentésére.

- Össztömegű kibocsátási határérték egy meghatározott területre vagy termelési ágra szennyezőforrás-csoportra megállapított, kibocsátható szennyezőanyag összmennyiség. Azért állapítják meg, hogy egy adott területen egy meghatározott forráscsoport kibocsátásának fokozatos mérséklését el lehessen érni. Kiemelt alkalmazási területe a határokon áttérjedő légszennyezések mérséklésére szolgáló nemzetközi egyezmények teljesítésének biztosítása. (Jelenleg az  $50 \text{ MW}_{th}$  vagy annál nagyobb bemenő hőteljesítményű tüzelőberendezésekre kerültek megállapításra.)



### 2.1.3.3 Emisszió meghatározása

- Gázemisszió

Az elemzendő gáz megfelelő előkészítése, a mérés szakszerűsége lényeges feltétele a biztonságos gázelemzésnek és ez alapján a technológiai folyamatrészt megbízható, pontos kiértékelésének. A mérések kivitelezési lépései:

- a technológia, vagy művelet megismerése, adatgyűjtés, helyszíni szemle,
- mérőhely kijelölése, mérőállás kialakítása,
- mérési terv elkészítése,
- mérőhely ellenőrzése,
- méréshez szükséges eszközök és egyéb feltételek előkészítése, biztosítása,
- a mérőeszközök kihelyezése a mérőhelyre, mérőkörök összeállítása,
- mérés.

Alapvető feladat a mérés ideje alatt az üzemvitel figyelemmel kísérése, valamint az üzemviteli adatok pontos rögzítése és mellérendelése a mérési eredményekhez.

A mérés előkészítése

- Gázmintavételi hely kiválasztása

A gázmintát a technológiai berendezés olyan helyéről kell venni, ahol a vizsgálandó gáz koncentráció a technológiai folyamat adott részének működését jól jellemzi, és az üzemmenet változását gyorsan követi.

- Porszűrés

A mérendő gázt porszennyeződéstől mentesíteni kell.

- Nedvességleválasztás

A mérendő gázt célszerű a nedvességtől megtisztítani, leválasztani. A nedvesség a porral összecementeződik, meggátolva a gázáramlást. Egyes gázelemzők működését zavarja, a mérést pontatlanná teszi (pl. infravörös elven működő elemzők).

Nedvességleválasztásra a mérési rendszerben többféle módszer használatos, ezt a mérendő komponens kémiai tulajdonságai alapján kell eldönteni (Pl. kifagyasztásos módszer: a mintavételi rendszerben a szonda után helyezkedik el a gázhűtő).

- Zavaró komponensek kiszűrése

A jól megválasztott mérőeszköz biztosítja a reprodukálható mérést. A mérési elvet zavaró komponens szűréssel, semlegesítéssel el lehet távolítani.

- A mintagáz szállítása

A leszívott gázmennyiség ismerete fontos a gázelemző beállításához. A mintavételi rendszer része a mennyiségmérő és a jelző egység (gázóra vagy rotaméter).

A gázelemzéshez különféle elveken üzemelő gázelemző készülékek használatosak.

Kiegészítő mérések és eszközök

A gázemisszió mérésnél a gázalkotók mérésén kívül az összkibocsátás megismeréséhez különböző méréseket szükséges elvégezni. Ezek:

- Hőmérsékletmérés
- Gázmennyiségmérés
- Térfogatáram mérése (MSZ 21853/2-76)  
A mérést a szabvány alapján kell elvégezni: fel kell venni a mérési keresztmetszetben a mérési pontokat és meg kell mérni a hordozógáz hőmérsékletét. A módszer Prandtl-csöves dinamikus nyomásmérése alapszik. Feltétele, hogy a  $p_{din} < 9, 806 Pa$ .
- Gázelőkészítő egység  
A mérendő gáz tisztítását végzi a por és vízgőz tartalmából.
- Regisztráló és adatgyűjtő egység  
Korábban a mért értékeket vonal-, pontíron és adatgyűjtő készülékkel, ma számítógépen rögzítik.

#### Gázemisszió meghatározása

- Folyamatos méréssel

A gázminta elvétele és az egyes komponensek koncentrációjának meghatározása egyidejűleg és folyamatosan történik. Időben állandó emisszió esetén a mérések időtartama rövidebb. Időben változó emisszió esetén a súlyozott átlag koncentráció segítségével kell az átlagos emissziót meghatározni.

Mintavevő szondaként minden olyan cső alkalmazható, amelynek anyaga hő- és korrózióálló, abszorpciót, kemisorpciót nem hoz létre a mérendő komponensekkel.

A mérési gyakorlatban folyamatosan mérhető az oxigén, a kén-dioxid, szén-monoxid, nitrogén-oxidok, a sósav, a klór, az ammónia és a szerves anyagok összkoncentrációja. A többi gáznemű légszennyező anyag mérésére kvázi folyamatos, vagy szakaszos mérési módszerek használatosak.

A folyamatos mérésre kidolgozott szabványok nem mérőműszereket, hanem mérési elveket határoznak meg:

- Kén-dioxid mérésére a konduktrometria és az infravörös abszorpció
- Szén-monoxid meghatározására az infravörös abszorpció
- Nitrogén-oxidokhoz a kemilumineszcencia elvén működő készülékek terjedtek el
- Szén-hidrogének összkoncentrációjának mérésére lángionizációs detektort alkalmaznak, ahol a szerves anyagok mennyiségét metán- vagy propán egyenértékben adják meg.

- Szakaszos méréssel

A gáznemű légszennyezők két nagy csoportja a szerves és a szerves légszennyező anyagok.

A szerves légszennyezőknél a leválasztás abszorpcióval történik, a szerves légszennyezőket adszorpció segítségével lehet megkötni. A mintavétel időtartama általában 10-30 perc közötti.

A minták számát a technológia, az emisszió jellege és időbeli változása határozza meg, ugyanis a minták számát úgy kell meghatározni, hogy a koncentrációértékekből számított emisszió mértéke a vizsgált technológia, vagy technológiai berendezés emisszióját reprezentatíven tükrözze a mérések ideje alatti üzemvitelre jellemzően.

- Pormintavétel

A szilárd halmazállapotú tüzelőanyagok elégetésekor szálló pernye keletkezik, amely a tüzelőanyag éghetetlen, és el nem égett összetevőiből áll. A poremisszió jelentős részét az el nem égett apró szemcséjű szálló kokszt és korom teszi ki.

A szálló pernye fajlagos mennyisége és szemcsefinomsága a rostély fajtájától, a huzat mértékétől, a tüztér terhelésétől, a hőhordozó fajtájától, valamint a tüzelési rendszertől függ.

Szilárd anyag emissziójának mérése

- Szakaszos méréssel

A szilárd szennyezők koncentrációjának mérése általában szakaszos gravimetrikus módszerrel történik, amikor a lemért mennyiségű és állapotú gázmintát izokinetikusan elszívják a zárt csatornában áramló hordozógázból és annak szilárdanyag tartalmát leválasztják, megméri.

A mérést megelőzően a gázmintában levő por leválasztására szolgáló eszközt (patron, szűrőbetét stb.) vagy anyagot (üveg-, kvarcgyapot, membránszűrő stb.) a kitisztítás, illetve a kiszáritás után pontosan le kell mérni.

A mintavételeket követően a mintákat súlyállandóságig ki kell szárítani, ezt követően történik az analitikai pontosságú visszamérés. A porminták tömegét a visszaméréskor mért tömeg és a mintavételt megelőző bemérés különbsége adja. A minta tömegének és a gázminta térfogatának hányadosa adja a koncentráció értékét.

A gázmintában lévő por, vagy szilárd anyag leválasztására alkalmas minden olyan mintavevő berendezés, amely a szabványnak megfelel, vagyis 98 %-os hatásfokkal választja le az 1  $\mu\text{m}$  feletti portartalmat. A leválasztás belső-, vagy külsőtéri leválasztóval történhet.

Belső-téri leválasztó alkalmazása esetén a leválasztás a csatornában, a hordozógázban történik. Külsőtéri leválasztás esetén a csatornába benyúló szondafejlet a leválasztóval szondaszár, vagy flexibilis tömlő köti össze.

- Folyamatos méréssel

A kéményeken és kürtőkön távozó füst- és véggázok porkoncentrációjának mérésére különböző mérési elven működő, folyamatosan mérő műszereket fejlesztettek ki. Ekkor egy fizikai jelenség segítségével a hordozógáz porkoncentrációjának változását elektromos jellé alakítják, majd erősítik. Ezután az elektromos jel alkalmas kijelzésre, regisztrálásra.

A leggyakrabban alkalmazott mérési elvek:

- fotometria, b-sugár abszorpció, triboelektromosság, piezoelektromosság.

- Az emissziómérésben alkalmazható mérő-ellenőrző készülékek kiválasztása, mérési módszerek

Egy mérés során általában a szilárdanyag, szén-monoxid, nitrogén-oxidok és kén-dioxid kibocsátásokról kell megbízható adatokat szolgáltatni.

A kibocsátásokat kg/h értékben kell megadni, a térfogatáram ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) számításához szükséges adatokat (füstgázcsatorna hőmérséklet, áramlási sebesség, nyomás) mérő berendezések beépítésére is szükség van.

A füstgáz oxigéntartalmának mérését is el kell végezni, mert változása alapján lehet következtetni egyrészt a tüzelőberendezés működtetésének hatékonyságára, másrészt a füstgázvezető rendszer állapotára (légbetörések).

Emisszióméréshez használt műszerek működési elve, mérési módszer kiválasztása

A mérési elv - módszer kiválasztásának két területe: mintavételes és „in situ” mérés. Az utóbbi években kezd elterjedni az „in situ”, a mintavétel nélküli, közvetlen mérés módszere, amikor gáz/füstgázcsatornák átvilágítására révén adódó fényelnyelés mértékét meghatározó műszerek segítségével történik a mérés.

A mintavételes eljárásoknál a legegyszerűbb mozgó állomás a hordozható gázelemző műszer. A mozgó gázelemző állomások tipikus képviselője a gázelemző mérőkocsi. Ebben a célnak megfelelően cserélhető, kocsiban beépített műszerek és tartozékok vannak.

A mérések végrehajtásához alkalmazott szabványok pontosan meghatározzák a mérési körülményeket, az alkalmazandó eszközöket és módszereket. A legfontosabb és a mérésben alkalmazottakról pár mondat erejéig szólni szükséges.

- o A térfogatáram meghatározása

A gyakorlati meghatározáskor a mérési keresztmetszetet (A)  $k$  számú egyenlő nagyságú  $\Delta A_i$  részterületekre kell bontani, és az ezekhez tartozó meghatározott pontokban vagy közvetlenül a sebességet mérni arra alkalmas eszközzel, vagy a sebesség meghatározásához szükséges paraméterek mérése alapján számítással határozni meg a sebességet. Az emissziómérés során célszerű a nyomáskülönbség-mérésén alapuló sebesség meghatározást alkalmazni (pl. Prandtl-csőes mérés).

Ebből kitűnik, hogy a csatornában áramló gáz hőmérsékletének, statikus nyomásának, nedvességtartalmának és összetételének mérése lehetővé teszi a főgázáram sűrűségének kiszámítását, amely ahhoz kell, hogy a Prandtl-csővel mért nyomáskülönbség (dinamikus nyomás) értékével a sebesség számolható legyen.

A dinamikus nyomás értékeit a Prandtl-csőhöz csatlakoztatott DIGIMA LPU típusú elektronikus mikromanométerrel mértem, a szabvány szerinti mérési pontokon a Prandtl-csövet befelé és kifelé mozgatva.

A statikus nyomás értékének meghatározásához is ez a műszer volt használatos. A mérési hiba a vonatkozó szabványok szerint lett számítva (MSZ 21853-1:1976, MSZ 21853-2:1998, MSZ ISO 9096:1994). Mérési bizonytalanság:  $\pm 2,0 \%$ .

A mérési körülményeknek megfelelően számított átlagsebesség és a mérési keresztmetszet alapján számítható a térfogatáram.

A mérési hely kiválasztása

A mérési helyet hosszú és egyenes, lehetőleg függőleges, állandó alakú és keresztmetszetű, meglévő, illetve a szükségnek megfelelően kialakított csatornaszakaszban kell kiválasztani, minél távolabb olyan akadálytól, amely örvénylést kelthet, vagy az áramlási irányt megváltoztathatja (könyök, ventilátor).

- A füstgáz szilárd anyag tartalmának meghatározása

Kézi gravimetriás módszerrel történik, szakaszos mintavétellel, elve pedig a következő: a füstgázáramból a reprezentatív mérési pontokon a mérés időtartama alatt részgázáramot kell leszívni, izokinetikusan szabályozott áramlási sebességgel, és a leszívott térfogatot mérni.

A gázmintában lévő szilárd anyagot a korábban lemért tömegű sík szűrőn le kell választani, majd szárítani és ismét lemérni. A mintavevő berendezés szűrő előtti részeiben lerakódó szilárd anyagot szintén össze kell gyűjteni és le kell mérni. A szűrő tömegnövekedése és a szűrő előtti lerakódás tömege a gázmintában lévő pornak tekinthető, amely lehetővé teszi a szilárdanyag-koncentráció kiszámítását.

A Ströhlein STE 4 típusú, porhüvelyes szűrőfejjel szerelt szondában Schleicher-Schuell 603 G minőségű szűrőanyag volt. A vonatkozó szabvány: MSZ EN 13284-1. Mérési bizonytalanság:  $\pm 10\%$ .

- A gázban lévő oxigén koncentrációjának meghatározása

Az alapelv az oxigénmolekuláknak a mágneses térben bekövetkező polarizációja. A mérés során az oxigéntartalmú gáz a mérőcellába jutva az eredeti mágneses teret megváltoztatja. Az eredeti állapot helyreállításához a gerjesztőáram változtatására van szükség, amely arányos a vizsgálandó gáz oxigéntartalmával. Az átlagos oxigéntartalmat  $\Phi\%$  (V/V), integrálással vagy legalább 2 percenként végzett koncentráció-leolvasások számtani középértékének kiszámításával kell meghatározni.

A gázban lévő oxigén koncentrációjának mérése folyamatos mintavételezéssel a Servomex cég által gyártott 0420 típusú, a paramágneses szuszceptibilitás érzékelésén alapuló műszerrel történt. A vonatkozó szabvány: MSZ 21853-27:1993. Mérési bizonytalanság:  $\pm 2,5\%$ .

- A gáz szén-dioxid koncentrációjának meghatározása

Infravörös abszorpciós módszerrel történik, amelynek elve: A szén-dioxid az infravörös sugarakat elnyeli. Az elnyelés maximuma  $4,2-4,3\ \mu\text{m}$  közé esik és mértéke arányos a szén-dioxid-koncentrációval.

A szén-dioxid koncentráció időben folyamatos meghatározására a Servomex cég által gyártott 1420B típusú, az infravörös fény abszorpciójának érzékelésén alapuló műszert alkalmaztam. A vonatkozó szabvány: MSZ 21852-19:1981. Mérési bizonytalanság:  $\pm 3,8\%$ .

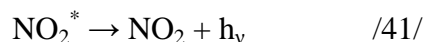
- A gáz szén-monoxid koncentrációjának meghatározása

Infravörös abszorpciós módszerrel történik, amelynek elve: A szén-monoxid  $4,6\ \mu\text{m}$  hullámhossz közelében jellemző sugárelnyelést mutat. Az elnyelés mértéke arányos a vizsgált hordozógáz szén-monoxid koncentrációjával.

A szén-monoxid koncentráció időben folyamatos meghatározására M-48H típusú a Thermo Environmental Instruments HC által gyártott, az infravörös fény abszorpciójának érzékelésén alapuló műszert használtam. A vonatkozó szabvány: MSZ 21853-8:1977. Mérési bizonytalanság:  $\pm 2,5\%$ .

- A gáz nitrogén-oxidok (NO+NO<sub>2</sub>) koncentrációjának meghatározása

Kemilumineszcenciás módszerrel történik, amelynek elve: Ózon hatására a gázmintában lévő NO gerjesztett állapotú NO<sub>2</sub>-vé alakul. A gerjesztett molekulák jellemző hullámhosszú fényenergia kisugárzása közben alapállapotba jutnak:



A kisugárzott energiát egy folyamatosan mérő műszer elektromos jellé alakítja, amely regisztrálható. A jel arányos a gázminta NO-koncentrációjával.

A gázminta NO<sub>2</sub><sup>-</sup> (és egyéb N<sub>x</sub>O<sub>x</sub><sup>-</sup>) tartalmát a mérőműszerbe beépített konverter NO-vá alakítja és méri. A konvertert megkerülve csak a NO-tartalmat, a gázmintát a konverteren átvezetve az összes NO<sub>x</sub>-tartalmat kell mérni és NO<sub>2</sub>-ben kifejezve szükséges megadni.

A gáz nitrogén-oxidok (NO+NO<sub>2</sub>) koncentrációját Thermo Environmental Instruments Model 42 típusú műszerrel mértem. A vonatkozó szabvány: MSZ 21853/9:1978. Mérési bizonytalanság: ± 3,1 %.

- A gázok elégetlen C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>-tartalom koncentrációjának meghatározása

A gázok elégetlen szén-hidrogén tartalmának koncentrációját Bernath-Atomic gyártmányú, 3005 típusú műszerrel mértem. A műszer mérőkamrájában H<sub>2</sub> láng ég. Az égéshez szükséges levegőt a műszer megtisztítja. A láng hatására a szénhidrogének ionizálódnak. A mérőkamra mágneses erőtere ionáramot gerjeszt, amelyet a FID detektor érzékel és elektromos jellé alakít. A műszer a mért értéket propán (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>) egyenértékben adja meg. A vonatkozó szabvány: MSZ 13107:1985. Mérési bizonytalanság: ± 3,0 %.

- A gázok SO<sub>2</sub>-tartalmának meghatározása

A gáz kén-dioxid tartalmának meghatározására időben folyamatos mintavételezéssel, Thermo Environmental Instruments Model 40 típusú fluoreszcenciás gázelemzőt használtam.

A fluoreszcenciához szükséges gerjesztési energiát impulzus üzemű, UV-fényt emittáló lámpa szolgáltatja, amely a kén-dioxid 230-190 nm abszorpciós sávjában sugároz. A fenti hullámhosszúságú fotonokat a kén-dioxid molekula elnyeli, ezáltal gerjesztődik, majd spontán fotonemisszióval alapállapotba jut. Az emittált fotonáram erőssége egyenesen arányos a kén-dioxid molekulák számával. A fotonáram a foton sokszorozón elektromos áramot hoz létre, amelyet erősítenek. A vonatkozó szabvány: MSZ 21853-6:1984. Mérési bizonytalanság: ± 3,0 %.

- A gáz hőmérsékletének mérése

A gáz hőmérsékletét Jumo TDat-74/1 típusú hőmérővel mértem, amelyhez Ni-CrNi hőelem csatlakozott. Mérési bizonytalanság: ± 0,5°C.

- A gáz nedvességtartalmának meghatározása

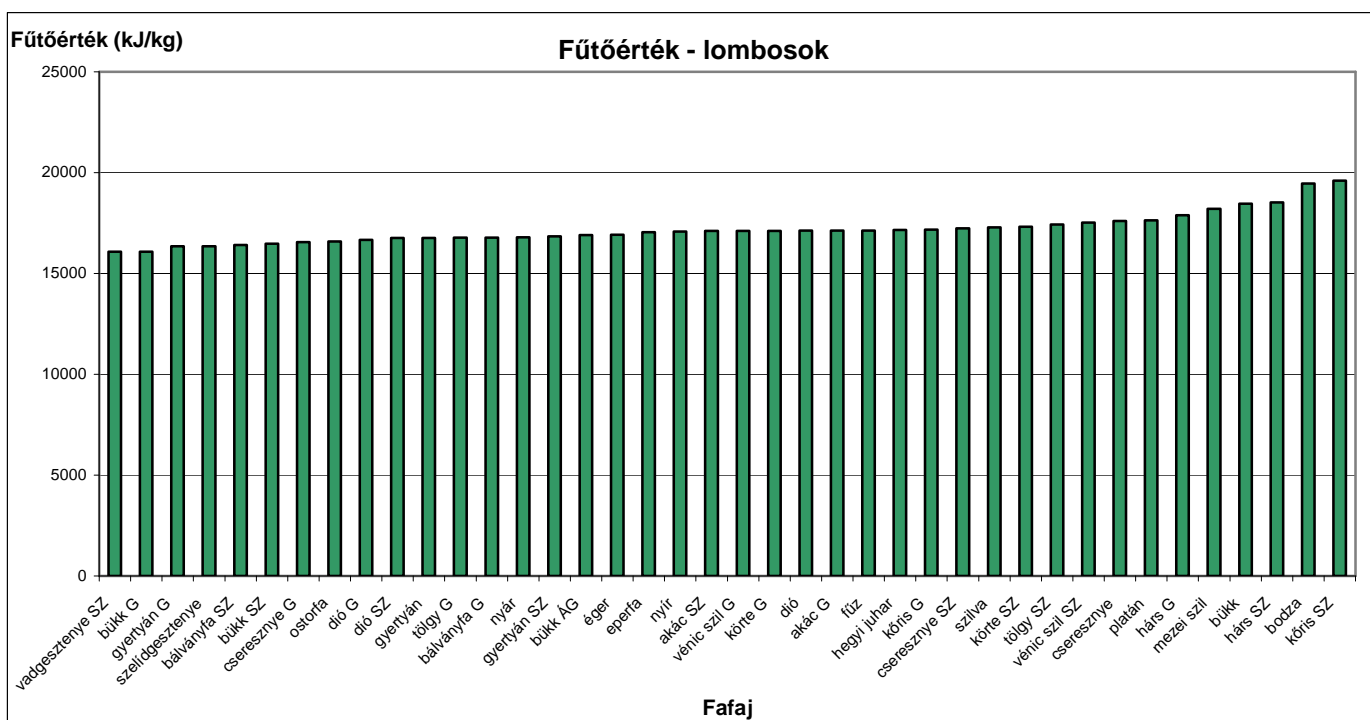
A meghatározás kifagyasztásos módszerrel történt. A leszívott mintagáz nedvességtartalmát lekondenzáltatva megmértem a kondenzátum tömegét és a mintagáz térfogatát. Ezekből az adatokból került kiszámításra a gáz nedvességtartalma. Mérési bizonytalanság:  $\pm 10 \%$ .

## 2.2 Mérési eredmények

A következőkben az elvégzett mérések eredményeit szeretném bemutatni, a fent alkalmazott szisztéma szerinti bontásban, kutatási területenként.

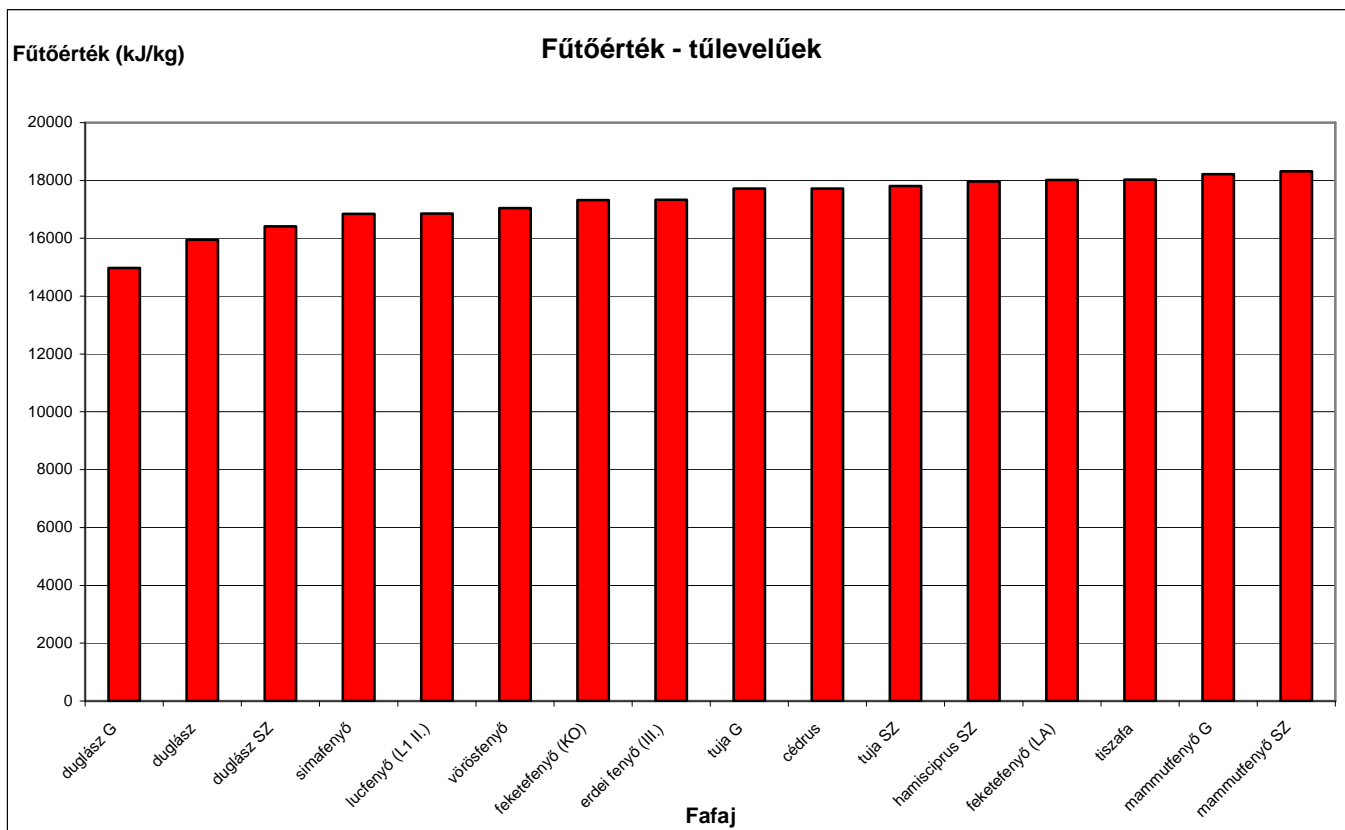
### 2.2.1 Kalorimetrikus mérések eredményei

Az elkészített diagramok mutatják be méréseim eredményeit (SZÉLL, 2002). A 16. ábrán fűtőértékük szerint növekvő értékben állítottam sorba a lombos fajokot; legkisebbnek a vadgesztenye szíjácsa bizonyult:  $16\ 073\ \text{kJ/kg}$ ; legmagasabb értéket a kóris szíjácsánál mértem:  $19\ 607\ \text{kJ/kg}$ .



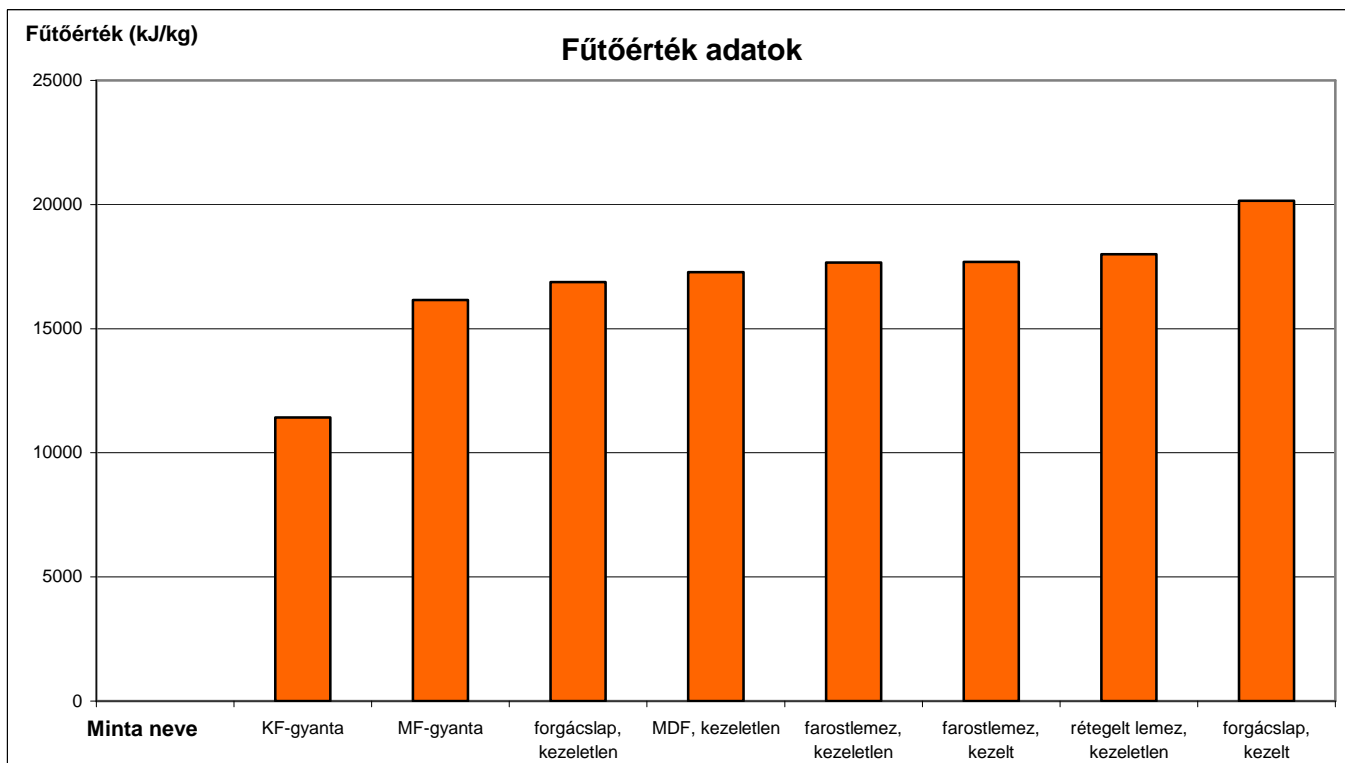
16. ábra. Lombos fajok fűtőértéke

(Rövidítések magyarázata: SZ: szíjács, G: geszt, KF: karbamid-formaldehid-gyanta, MF: melamin-formaldehid-gyanta)



17. ábra. Tűlevelű fajok fűtőértéke

A 17. ábrán a tűlevelű fajoknál a duglászfenyő gesztje adta a legkisebb fűtőértéket: 14 979 kJ/kg; a legmagasabb értékkel a mammutfenyő szíjácsa szerepel: 18 317 kJ/kg.



18. ábra. Különböző falemezek és gyanták fűtőértéke



A 18. ábrán láthatóak a különböző falemez- és gyantaminták kaloriméterben meghatározott fűtőértékei. Nyolc minta állt rendelkezésemre: KF-gyanta, MF-gyanta, kezelt és kezeletlen forgácslap, kezelt és kezeletlen farostlemez, natúr MDF- és rétegelt lemez.

A KF-gyanta  $11\,417\text{ kJ/kg}$ , az MF-gyanta  $16\,153\text{ kJ/kg}$  fűtőértékkel rendelkezik. A natúr forgácslap  $16\,879\text{ kJ/kg}$ , a kezelt forgácslap pedig  $20\,158\text{ kJ/kg}$  fűtőértékű.

## 2.2.2 Fapirolízis eredményei

A négy mintán tüzelőberendezésben történő elégetésük előtt fapirolízis vizsgálatokat végeztem, hogy meghatározzam a visszamaradó faszén-folyadék-gáz arányát.

A négy minta jelölésére a továbbiakban használatos jelek: Falco natúr:  $F_n$ , Falco laminátos:  $F_l$ , Interspan natúr:  $I_n$ , Interspan laminátos:  $I_l$ .

A következő eredményeket kaptam:

### 1-számú minta ( $F_l$ ):

A fa bontásra került  $450\text{ °C}$ -on, a pirolizálás  $800\text{ °C}$ -on történt.

- A bemért fából  $19\text{ m/m}\%$  maradt vissza faszén formájában.
- $58\text{ m/m}\%$  alakult át folyadékká, amelynek pH-ja:  $4,2$
- $23\text{ m/m}\%$  alakult át gázzá.

Gázösszetétel:

- $52,07\text{ m/m}\%$  etilén
- $9,76\text{ m/m}\%$  propilén
- $10,5\text{ m/m}\%$   $C_4$  telített
- $5,5\text{ m/m}\%$   $C_4$  telítetlen
- $22,17\text{ m/m}\%$  metán

### 2-számú minta ( $I_n$ ):

A fa bontásra került  $450\text{ °C}$ -on, a pirolizálás  $800\text{ °C}$ -on történt.

- A bemért fából  $18\text{ m/m}\%$  maradt vissza faszén formájában.
- $56\text{ m/m}\%$  alakult át folyadékká, amelynek pH-ja:  $4,2$
- $26\text{ m/m}\%$  alakult át gázzá.

Gázösszetétel:

- $56,5\text{ m/m}\%$  etilén
- $15,7\text{ m/m}\%$  propilén
- $11\text{ m/m}\%$   $C_4$  telített
- $6\text{ m/m}\%$   $C_4$  telítetlen
- $10,8\text{ m/m}\%$  metán

### 3-számú minta (I<sub>1</sub>):

A fa bontásra került 450 °C-on, a pirolizálás 800 °C-on történt.

- A bemért fából 16 m/m% maradt vissza faszén formájában.
- 52 m/m% alakult át folyadékká, amelynek pH-ja: 4,2
- 32 m/m% alakult át gázzá.

Gázösszetétel:

- 54,3 m/m% etilén
- 10,42 m/m% propilén
- 11,23 m/m% C<sub>4</sub> telített
- 5,36 m/m% C<sub>4</sub> telítetlen
- 18,69 m/m% metán

### 4-es számú minta (F<sub>n</sub>):

A fa bontásra került 450 °C-on, a pirolizálás 800 °C-on történt.

- A bemért fából 20 m/m% maradt vissza faszén formájában.
- 56 m/m% alakult át folyadékká, amelynek pH-ja: 4,2
- 24 m/m% alakult át gázzá.

Gázösszetétel:

- 54,1 m/m% etilén
- 10,35 m/m% propilén
- 5,4 m/m% C<sub>4</sub> telített
- 5,88 m/m% C<sub>4</sub> telítetlen
- 7,5 m/m% metán
- 16,77 m/m% egyéb

## 2.2.3 Az égetés mért eredményei

Az eredmények bemutatása előtt szükségesnek tartom, hogy egy hasonló paraméterekkel rendelkező másik fatüzelésű kazán korábban (hazai körülmények között), hasonló módszerrel elvégzett méréséről készült jegyzőkönyvet is csatoljak, amely összehasonlítási alapot adhat az elvégzett mérés eredményeinek igazolásához és „jósgához”. (A jegyzőkönyvet a győri KöFe bocsátotta rendelkezésemre.) A kibocsátásokat a 3.2 fejezetben összehasonlítom az általam mért emissziós értékekkel.

- Nézzük a referencia-kazánra vonatkozó legfontosabb információkat:

A telephelyen rönkárú feldolgozás és feldolgozott faáru szárítása, igények szerinti gőzölése történik. A méréssel ellenőrzött tevékenység a faanyagok szárításához és gőzöléséhez szükséges hőenergia előállítása volt.

A hőenergiát egy, a Calor 2000 Kft. által gyártott lébényi fatüzelésű kiskazán biztosítja (<140 kW teljesítményű, hosszú, nagy tüzterű, melegvízes rendszerben működő, kézi adagolású, fektetett elrendezésű kazán).

A szárító kazánhoz P1, a gőzölő kazánhoz P2 pontforrás csatlakozik. A távozó füstgáz elszívó ventilátor nélkül, kéményhuzattal távozik a szabadba.

A továbbiakban a P1 jelű pontforrásra vonatkozó adatokat közlöm.

#### Üzemviteli körülmények

Kézi szabályozás. A felhasznált tüzelőanyag a telephelyen keletkező fahulladék.

Tüzelőanyag felhasználás: szárító kazán: kb. 10-15 kg/h.

#### Mérési és számítási eredmények

P1 pontforrás (Szárító kazán kémény)

#### 22. táblázat. Mért referencia-adatok P1 pontforrásra

<b>Merési keresztmetszet m<sup>2</sup></b>	0,049
<b>Barometrikus nyomás Pa</b>	100 400
<b>Környezeti hőmérséklet K</b>	301
<b>Közeg hőmérséklete K</b>	569
<b>statikus nyomása Pa</b>	-25,2
<b>dinamikus nyomása Pa</b>	3,96
<b>sűrűsége (effektív) kg/m<sup>3</sup></b>	0,6071
<b>sűrűsége (nedves normál) kg/Nrn<sup>3</sup></b>	1,2773
<b>sűrűsége (száraz normál) kg/Nm<sup>3</sup></b>	1,3089
<b>N a sebességeloszlás egyenlőtlensége</b>	1,1462
<b>K korrekciós tényező</b>	0,9160
<b>átlagos sebessége m/s</b>	3,96
<b>effektív térfogatárama m<sup>3</sup>/h</b>	690
<b>normál térfogatárama Nm<sup>3</sup>/h</b>	330
<b>száraz normál térfogatárama Nm<sup>3</sup>/h</b>	310

A füstgáz főbb összetevőinek átlagos koncentrációja:

#### 23. táblázat. Mért füstgáz-összetevők P1 pontforrásra

<b>O<sub>2</sub>-tartalom tf%</b>	15,96
<b>CO<sub>2</sub>-tartalom tf%</b>	4,27
<b>Nedvességtartalom tf %</b>	6,70

A folyamatosan mért gázkomponensek félórás középértékei a 4/2004. KvVM-ESzCsM-FVM együttes rendelete és a 17/2001. KöM rendelet alapján:

24. táblázat. Füstgáz-összetevők félórás középértékei P1 pontforrásra 1.

Idő	SO <sub>2</sub> (mg/Nm <sup>3</sup> )	CO (mg/Nm <sup>3</sup> )	NO <sub>x</sub> (mg/Nm <sup>3</sup> )
30 perc	20,34	3 348,35	107,88
30 perc	26,28	2 911,13	103,29
30 perc	18,52	2 071,59	79,97
<b>Átlag</b>	<b>21,71</b>	<b>2 777,02</b>	<b>97,05</b>

A szakaszos mintavétellel mért szennyezőanyagok értékei az adott mintavételi időtartamra:

25. táblázat. Füstgáz-összetevők félórás középértékei P1 pontforrásra 2.

Idő	Szilárd (nem toxikus) (mg/Nm <sup>3</sup> )	SO <sub>3</sub> (mint SO <sub>2</sub> ) (mg/Nm <sup>3</sup> )
30 perc	3,64	<2*
30 perc	2,49	<2*
30 perc	2,37	<2*
<b>Átlag</b>	<b>2,83</b>	<b>&lt;2*</b>

\*: kimutathatósági határ

Számított eredmények

A folyamatosan mért gázkomponensek félórás középértékei a 4/2004. KvVM-ESzCsM-FVM együttes rendelete és a 17/2001. KöM rendelet alapján, valamint a H 18927-2/2003. számú határozat alapján 5%-os O<sub>2</sub>-tartalomra vonatkoztatva. Az átszámításokat a mindenkoros időtartamra vonatkozó átlagos oxigénkoncentrációval végezték el:

26. táblázat. Füstgáz-összetevők félórás középértékei P1 forrásra - számított értékek 1.

Idő	SO <sub>2</sub> (mg/Nm <sup>3</sup> )	CO (mg/Nm <sup>3</sup> )	NO <sub>x</sub> (mg/Nm <sup>3</sup> )
30 perc	53,56	8 816,93	284,05
30 perc	76,08	8 428,57	299,05
30 perc	84,21	9 420,34	363,62
<b>Átlag</b>	<b>71,28</b>	<b>8 888,61</b>	<b>315,57</b>

A szakaszos mintavétellel mért szennyezőanyagok eredményei az adott mintavételi időtartamra átlagolva a vonatkoztatási 5%-os O<sub>2</sub>-tartalomra átszámítva:

27. táblázat. Füstgáz-összetevők félórás középértékei P1 forrásra - számított értékek 2.

Idő	Szilárd (nem toxikus) (mg/Nm <sup>3</sup> )	SO <sub>3</sub> (mint SO <sub>2</sub> ) (mg/Nm <sup>3</sup> )
30 perc	9,58	<2*
30 perc	7,21	<2*
30 perc	10,78	<2*
<b>Átlag</b>	<b>9,19</b>	<b>&lt;2*</b>

\*: kimutathatósági határ

- Az általam végzett mérésekre vonatkozó alapinformációk

A kísérleti tervet a következő négy szempont szerint állítottam össze:

- Minta megnevezése (jel, anyag, mennyiség)
- Vizsgálandó füstgáz-komponensek és mérési módszerek
- Mérés elvégzése
- Kiértékelés

A mérésről készült fotódokumentáció a 6. MELLÉKLETben tekinthető meg.

Az előzetesen felaprított forgácslap hulladék kalapácsos darálóval homogenizálásra, ezt követően a kazán tároló hombárájába került. Innen egy csigas adagoló rendszer juttatja a kazánba, illetve a tüztérbe.

A primer levegő befúvása a rostélyon keresztül történik a 750 °C tüztérhőfok eléréséig. A füstgáz elszívását egy darab, Carborobot kazánoknál használatos ventilátor biztosította.

A kazán főbb műszaki adatai:

kazán típusa:	HAT-30
hőteljesítmény:	20 kW
üzembehelyezés éve:	2003
primer levegő ventilátor max. teljesítménye:	kb. 150 m <sup>3</sup> /h
füstgáz elszívó ventilátor max. teljesítménye:	kb. 960 m <sup>3</sup> /h

A pontforrás

magassága:	7 m
keresztmetszete:	0,0625 m <sup>2</sup>

Üzemviteli körülmények a mérés időszakában

A kazánban négy fajta forgácslap hulladékot tüzeltem:

1. Nyers forgácslap hulladék – aprítva FALCO ( 8 kg/h) F<sub>n</sub>
2. Laminált forgácslap hulladék – aprítva FALCO (13 kg/h) F<sub>1</sub>
3. Laminált forgácslap hulladék – aprítva INTERSPAN (15 kg/h) I<sub>1</sub>
4. Nyers forgácslap hulladék – aprítva INTERSPAN (10 kg/h) I<sub>n</sub>

A négy üzemállapotban folyamatosan mért és regisztrált füstgázjellemzők: O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CO, NO, NO<sub>x</sub>, C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>, T, p<sub>din.</sub>

Az első üzemállapotban a CO-mérő műszer méréstartománya 5 000 ppm volt, ezért a tapasztalt magas értékek miatt a továbbiakban a legnagyobb, 10 000 ppm-es méréstartomány került alkalmazásra.

Az elégetlen szén-hidrogének mérésekor több alkalommal szondaszűrő eltömődés lépett fel.

A szakaszos mintavétellel mért szilárd szennyezőanyag és nedvesség értékei, valamint a statikus nyomás értékek az adott mintavételi időtartamra:

28. táblázat. Mért szilárd anyag-, nedvesség- és statikus nyomás értékek a füstgázban

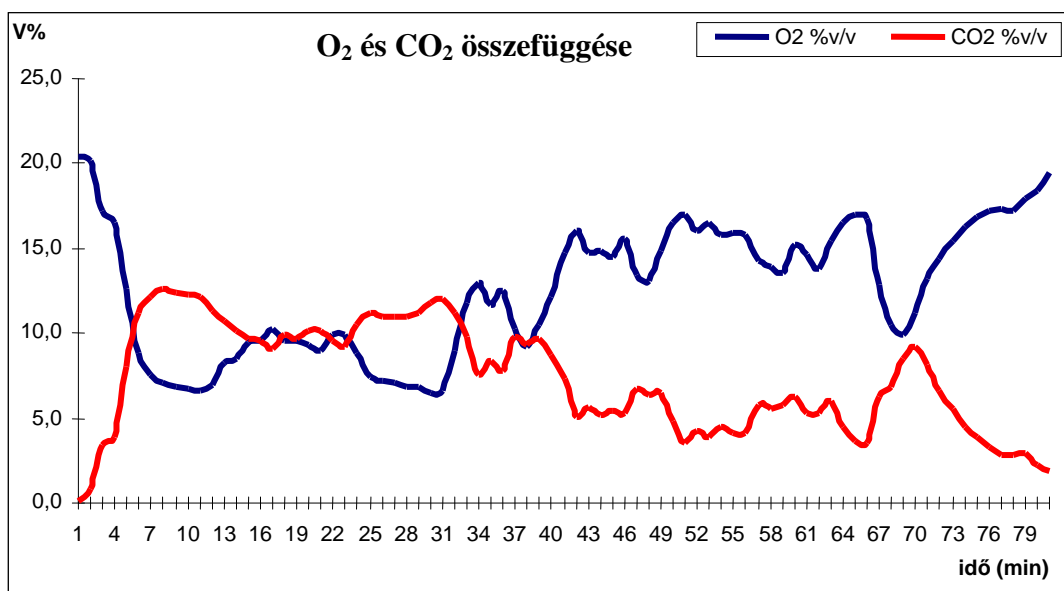
	Szilárd (nem toxikus) (mg/m <sup>3</sup> )	Nedvesség (mg/Nm <sup>3</sup> )	Nedvesség (tf %)	Statikus nyomás (Pa)
1. üzemállapot	3 393,47	40 405	5,03	3,4
2. üzemállapot	2 269,70	40 594	5,05	4,1
3. üzemállapot	728,06	31 458	3,92	3,8
4. üzemállapot	533,69	28 745	3,58	5,5

A részletes mérési eredmények a 7. MELLÉKLETben találhatóak.

A mérés kivitelezése és az eredmények bemutatása

A méréseket két napon át végeztem, napi két-két minta égetésével. Az első napon Falco által gyártott forgácslap minta került a kazánba, natúr és lamináttal bevont. A második napon Interspan natúr és laminátos mintát égettem. A szakaszos mintavétellel vett pormennyiség háromszori vett minták átlagából került kiszámításra, a gázok mintavételénél törekedtem a háromszori mérésnek megfelelő időtartamú vizsgálat elvégzésére.

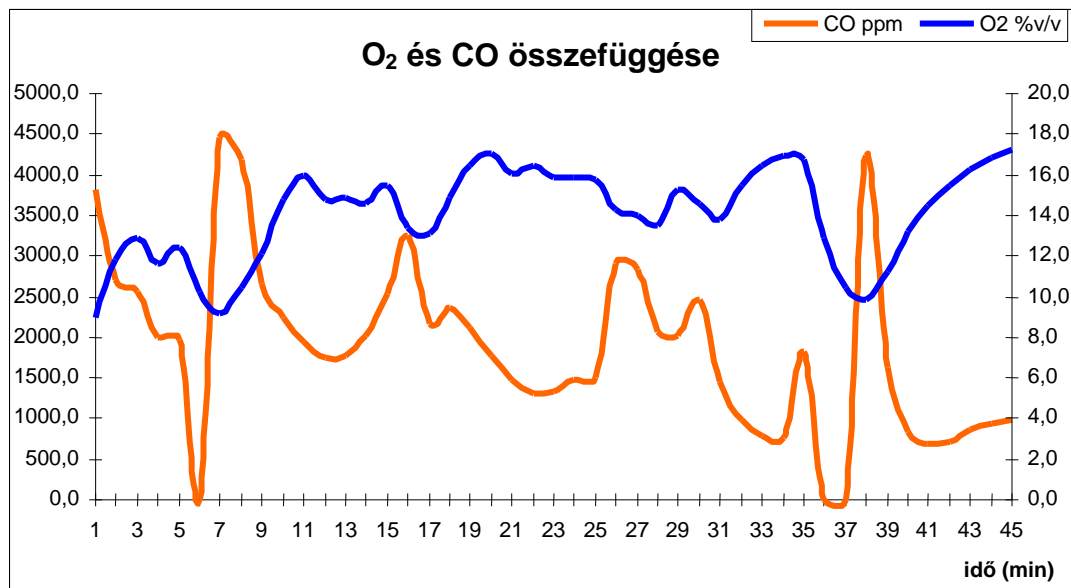
- Az F<sub>n</sub> minta égetésének eredményei grafikusán



19. ábra. O<sub>2</sub> és CO<sub>2</sub> kapcsolata a mérés teljes ideje alatt

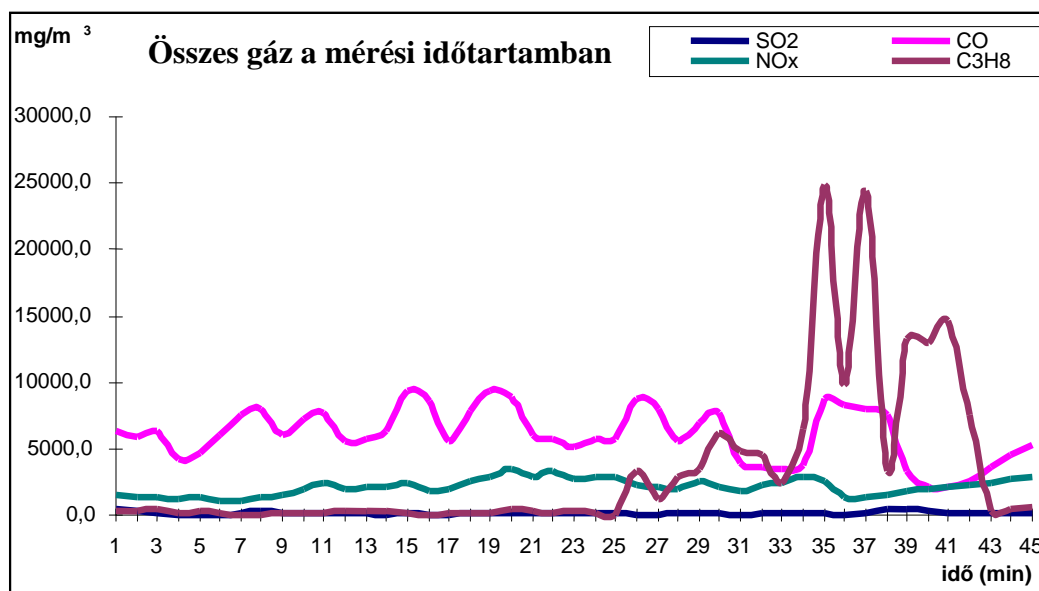
A 19. ábrán a két makrokomponens, az oxigén és a szén-dioxid időbeli változása látható (egymás tükörképeinek tekinthetők). A görbék lefutásából következtethetünk a beadagolt minta eloszlására, az égés közben történt ajtónyitásokra, és a levegőszabályozásra.

A mérés teljes időtartama 80 perc volt. A többi füstgázalkotóra vonatkozó eredmények ebből az időintervallumból kerültek kiválasztásra, 3x15 percekben.



20. ábra. Az oxigén és a szén-monoxid kapcsolata a kiválasztott idő alatt

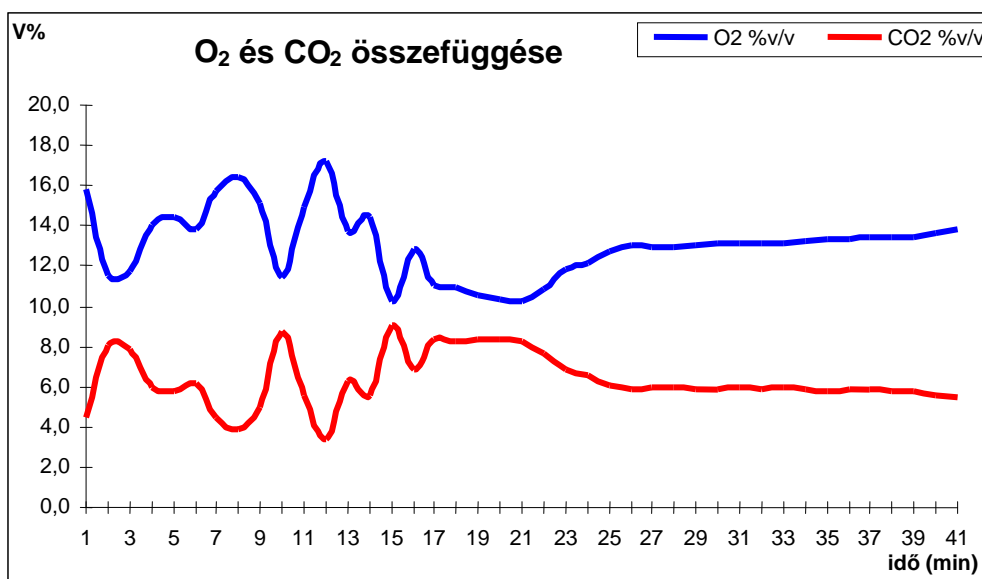
A 20. ábrán az oxigén és a szén-monoxid időbeli változása követhető végig, a kiválasztott 3x15 perces intervallumban.



21. ábra. Az összes gáz egymáshoz viszonyított aránya a mérés ideje alatt

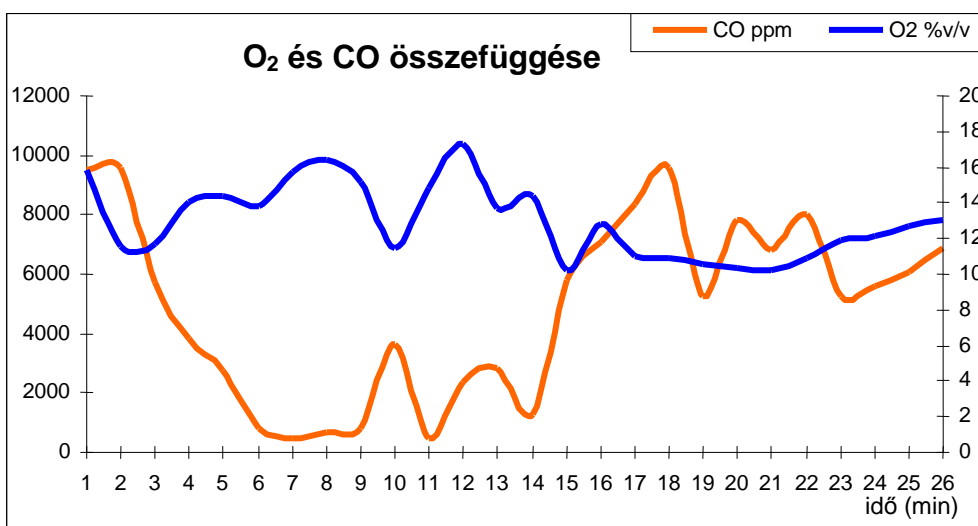
A 21. ábrán a mért kén-dioxid, nitrogén-oxidok, elégetlen szén-hidrogének és szén-monoxid gázok koncentrációjának időbeli változása látszik.

- Az F<sub>1</sub> minta égetésének eredményei grafikusán



22. ábra. O<sub>2</sub> és CO<sub>2</sub> kapcsolata a mérés teljes ideje alatt

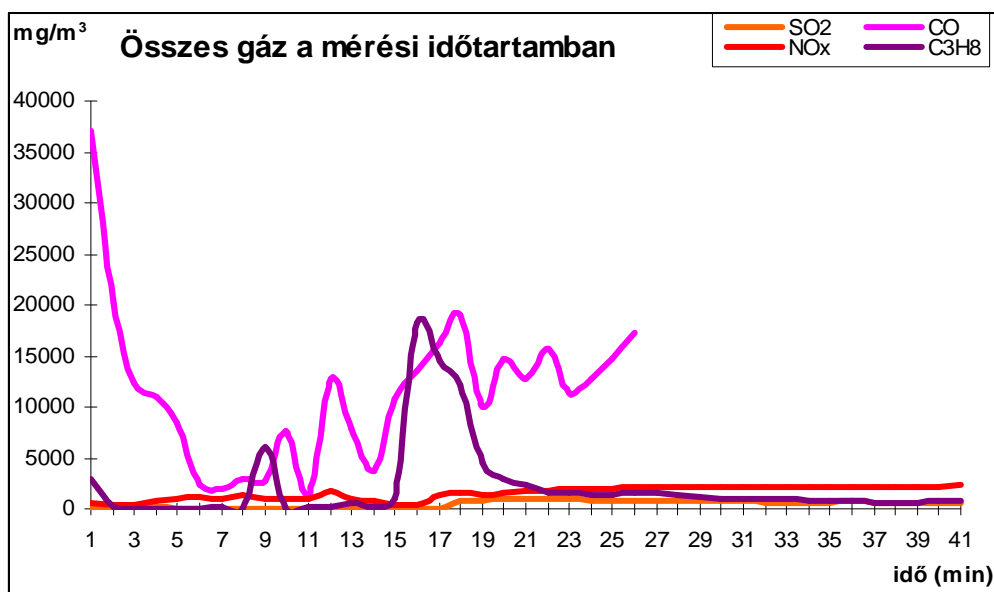
A 22. ábrán a két makrokomponens, az oxigén és a szén-dioxid időbeli változása látható (egymás tükörképeinek tekinthetők). A görbék lefutásából következtethetünk a beadagolt minta eloszlására, az égés közben történt ajtónyitásokra, és a levegőszabályozásra. A mérés teljes időtartama 41 perc volt. A többi füstgázalkotóra vonatkozó eredmények ebből az időintervallumból kerültek kiválasztásra, 2x15 és 1x11 percekben.



23. ábra. Az oxigén és a szén-monoxid kapcsolata a kiválasztott idő alatt

A 23. ábrán az oxigén és a szén-monoxid időbeli változása követhető végig, a szén-monoxid mérő műszer méréstartományán túli értékei miatt rövidebb, 26 percnyi intervallumban.

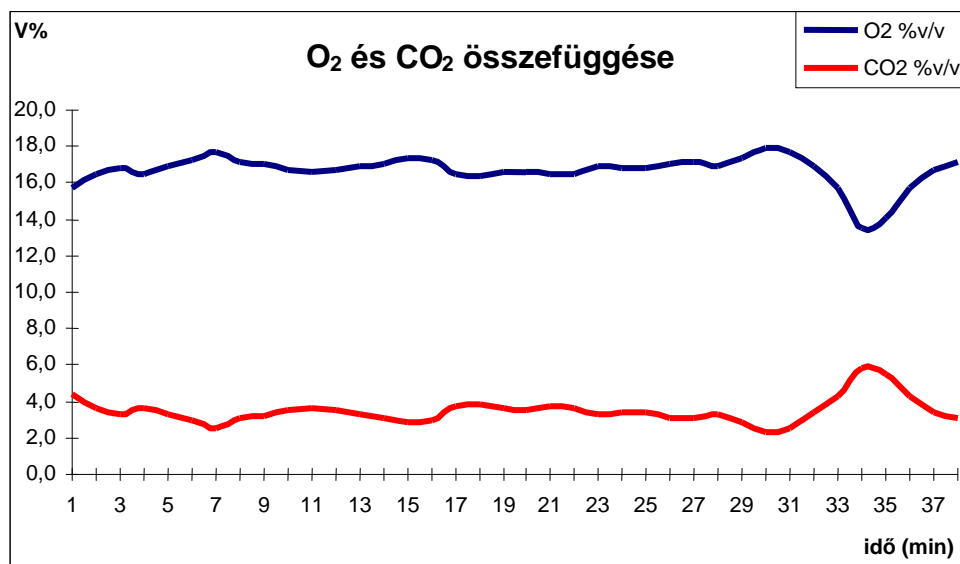




24. ábra. Az összes gáz egymáshoz viszonyított aránya a mérés ideje alatt

A 24. ábrán a mért kén-dioxid, nitrogén-oxidok, elégetlen szén-hidrogének és szén-monoxid gázok koncentrációjának időbeli változása látszik.

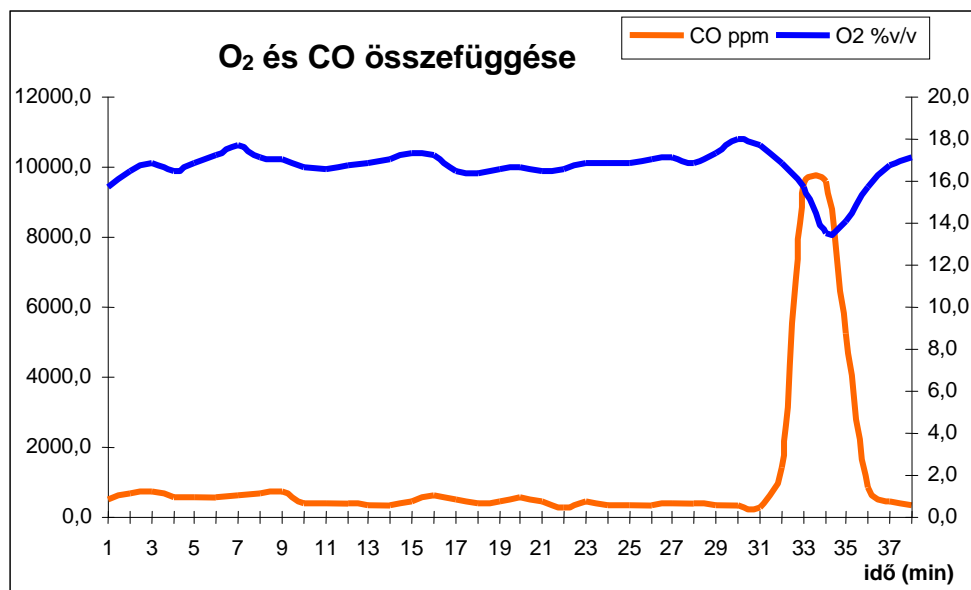
- Az I<sub>1</sub> minta égetésének eredményei grafikusán



25. ábra. O<sub>2</sub> és CO<sub>2</sub> kapcsolata a mérés teljes ideje alatt

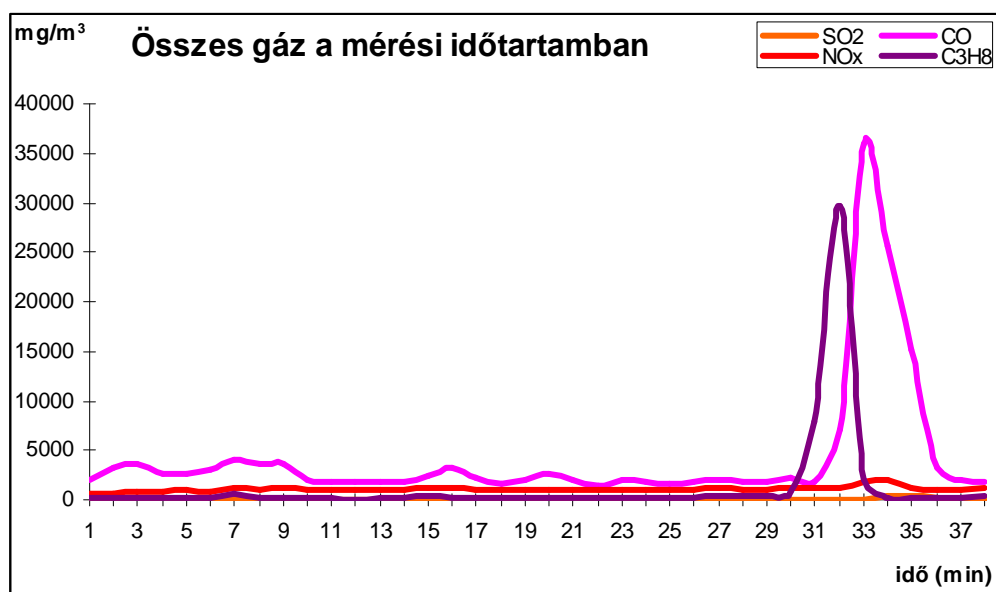
A 25. ábrán a két makrokomponens, az oxigén és a szén-dioxid időbeli változása látható (egymás tükörképeinek tekinthetők). A görbék lefutásából következtethetünk a beadagolt minta eloszlására, az égés közben történt ajtónyitásokra, és a levegőszabályozásra.

A közel egyenes vonalú lefutású görbék az égetés kiegyenlített körülményeit mutatják. A mérés teljes időtartama 38 perc volt. A többi füstgázalkotóra vonatkozó eredmények ebből az időintervallumból kerültek kiválasztásra, 2x15 és 1x8 percekben.



26. ábra. Az oxigén és a szén-monoxid kapcsolata a kiválasztott idő alatt

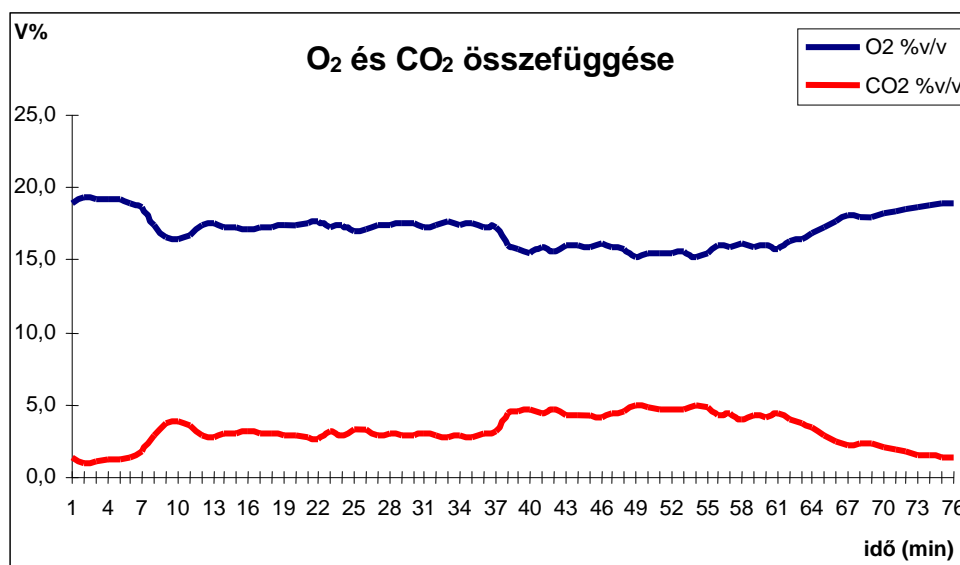
A 26. ábrán az oxigén és a szén-monoxid időbeli változása követhető végig. Jól látszik, ahogyan az égési folyamat zavarása a 31. percben megjelenik a füstgázok koncentrációjának változásában.



27. ábra. Az összes gáz egymáshoz viszonyított aránya a mérés ideje alatt

A 27. ábrán a mért kén-dioxid, nitrogén-oxidok, elégtelen szén-hidrogének és szén-monoxid gázok koncentrációjának időbeli változása látszik. A 30. perc körüli égési körülmény-változás a CO és a C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> füstgázkomponenseknél is megjelenik, és kiugróan magas értékeket mértem.

- Az  $I_n$  minta égetésének eredményei grafikusán



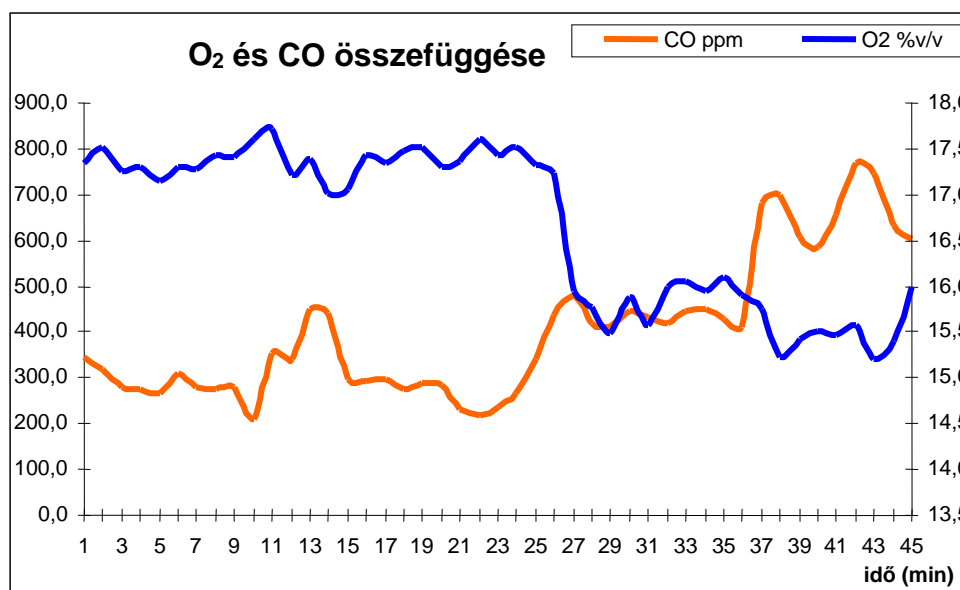
28. ábra.  $O_2$  és  $CO_2$  kapcsolata a mérés teljes ideje alatt

A 28. ábrán a két makrokomponens, az oxigén és a szén-dioxid időbeli változása látható (egymás tükörképeinek tekinthetők).

A görbék lefutásából következtethetünk a beadagolt minta eloszlására, az égés közben történt ajtónyitásokra, és a levegőszabályozásra.

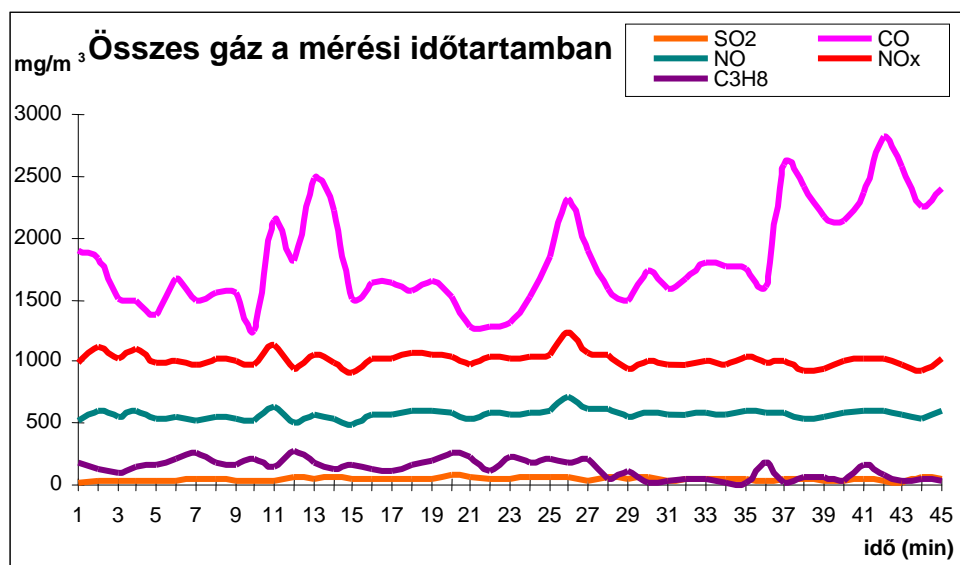
A közel egyenes vonalú lefutású görbék az égetés kiegyenlített körülményeit mutatják. A mérés 10., 37., 61. perceiben történt kisebb ingadozás - elmondhatjuk, hogy ezen üzemállapotban sikerült a legegyenletesebb égetési feltételeket biztosítani.

A mérés teljes időtartama 76 perc volt. A többi füstgázalkotóra vonatkozó eredmények ebből az időintervallumból kerültek kiválasztásra, 3x15 percekben.



29. ábra. Az oxigén és a szén-monoxid kapcsolata a kiválasztott idő alatt

A 29. ábrán az oxigén és a szén-monoxid időbeli változása követhető végig. Jól látszik az oxigén-koncentráció változásának szén-monoxidra gyakorolt hatása, legmarkánsabban a 27. perctől kezdődően figyelhetjük meg.



30. ábra. Az összes gáz egymáshoz viszonyított aránya a mérés ideje alatt

A 30. ábrán a mért kén-dioxid, nitrogén-oxidok és nitrogén-monoxid, elégtelen szén-hidrogének és szén-monoxid gázok koncentrációjának időbeli változása látszik.

A nitrogén-monoxidot érdekességként tüntettem fel az ábrán, jól láthatóan mutatja a keletkezett NO<sub>2</sub>-mennyiséget, amennyiben az NO<sub>x</sub>-ből kivonjuk az NO-t.

A mérés 11., 26., 36. és 41. perceiben történt változásokat leginkább a CO-görbe alakulásának megtekintésével érthetjük meg: a szakaszos tüzelőanyag-beadagolás és a levegőellátottságban keletkező zavarok vezet(het)nek a kiugróan magas emissziós értékekhez.

### 3. AZ EREDMÉNYEK KIÉRTÉKELÉSE

#### 3.1 Faforgácslap hulladék égetés emissziós mérési eredményeinek kiértékelése

A kiértékelést az alábbi szempontok figyelembe vételével végeztem el:

- összefüggést kerestem az oxigén- és szén-dioxid koncentráció időbeli alakulásában
- összefüggést kerestem az oxigén- és szén-monoxid koncentráció időbeli változásaiban
- vizsgáltam a füstgáz mért alkotóinak időbeli koncentráció-változásait és kapcsolatot kerestem közöttük
- vizsgáltam a kén-dioxid-emisszió megjelenését, tekintettel a forgácslap edzőjében található kénre,

valamint

- kiértékeltem az egyes gyárak natúr és laminátos mintáinak égetésekor keletkező, mért füstgázkomponenseket,
- összehasonlításokat végeztem a két gyár natúr, illetve laminátos mintáinak égetésekor keletkező füstgázalkotóival,
- összehasonlítottam az egyes gyárak natúr és laminátos mintáinak füstgázait.

A kiértékeléshez az alábbi módszereket alkalmaztam:

- matematikai-statisztikai (átlag, minimum, maximum) értékek meghatározása,
- grafikusán ábrázoltam az egyes füstgázkomponenseket és kapcsolatot kerestem időbeli változásaikban,
- a mérések elvégzése után a nyers adatok ismeretében az alábbi számításokat végeztem el a kiértékeléshez:
  - Az O<sub>2</sub>- és CO<sub>2</sub>-koncentrációkat térf%-ban kaptam meg, amelyeket nem számoltam át, hanem meghagytam az eredeti mértékegység-dimenziót.
  - A füstgázalkotók koncentrációit ppm-ben kaptam meg, az értékelésükhöz szükséges volt 273 K-re és 101 300 Pa-ra átszámolni (a kapott koncentráció mg/m<sup>3</sup>-ben), az alábbi egyenlet szerint (az egyetemes gáztörvényből levezetett módon):

$$(C \times p \times M) / (1\ 000 \times R \times T)$$

ahol:

C : a füstgázösszetevő koncentrációja ppm-ben

p : külső légnyomás (értéke: 101 300 Pa)

M : gáz mólömege (g)

R : egyetemes gázállandó (értéke: 8,314 J x K<sup>-1</sup> x mol<sup>-1</sup>)

T : hőmérséklet (értéke: 273 K)

- A légszennyező anyagok mért koncentrációját tüzelési és termikus technológiáknál - amennyiben jogszabály más értéket nem határoz meg - a száraz véggáz 5 %-os O<sub>2</sub> tartalmára kell vonatkoztatni.

A légszennyező anyagok mért koncentrációját a következő képlet alkalmazásával kell a megadott O<sub>2</sub>-tartalomra vonatkoztatni:

$$C_V = \frac{21 \text{ (tf\%)} - O_V \text{ (tf\%)}}{21 \text{ (tf\%)} - O_M \text{ (tf\%)}} \cdot C_M$$

ahol:

C<sub>V</sub>: vonatkoztatási O<sub>2</sub>-tartalomra átszámított koncentráció, mg/m<sup>3</sup>-ben,

O<sub>V</sub>: vonatkoztatási O<sub>2</sub>-koncentráció, térfogatszázalékban,

O<sub>M</sub>: a füstgázban mért O<sub>2</sub>-koncentráció, térfogatszázalékban,

C<sub>M</sub>: a légszennyező anyag mért koncentrációja, mg/m<sup>3</sup>-ben (átszámított érték 273 K-re, 101,3 kPa-ra és száraz gázra, ha jogszabály másként nem rendelkezik),

tf%: térfogatszázalék.

- A további számolások és képletek hely hiányában a Környezetvédelmi mérések 74-83. oldalain találhatóak (VASS – ERDŐS – SZALAY, 2000).

### 3.1.1 F<sub>n</sub> minta égetésének értékelése

A szilárd (nem toxikus) por, amelyet szakaszos mintavétellel vettem, 3 393,47 mg/m<sup>3</sup> koncentrációjú volt. Ez az érték a mérés ideje alatt háromszori mintavétel átlagából lett kiszámítva. A füstgáz nedvességtartalma 5,03 térfogat%. A statikus nyomás értéke 3,4 Pa, tehát a külső légköri nyomáshoz képest túlnyomás uralkodott.

A füstgáz hőmérséklete 22,3 °C-tól (a felfűtéstől) egészen 227,3 °C-ig emelkedett. A dinamikus nyomás értékek alacsonyak voltak a mérés során, 0-3 Pa közötti értékeket mértem. Ez információt ad a távozó füstgáz sebességére vonatkozóan (alacsony értéket, 2-4 m/s számított értéket kaptam, ez azt jelenti, hogy a kívánt 6-7 m/s helyett a füstgáz lassabban távozott el a kéményen át).

A kazán tüzttere kicsi, térfogata kb. 0,018 m<sup>3</sup>, a tüzelőanyag elégetéséből származó gázok tartózkodási ideje rendkívül alacsony (tized másodpercekben mérhető), ezért már most kijelenthető, hogy a kazán konstrukcióján módosítani kell, hogy a legalább 2 sec tartózkodási idő meglegyen. A tüztér hőmérséklete átlagosan 900 °C feletti, a csúcsérték 1011 °C volt. Elmondható, hogy a 850 °C-ot a kazán tartani tudja, a füstgáz ventilátor működtetésével, a rásegítő ventilátor használata nélkül. A szakaszos tüzelőanyag beadagolás miatt (és vélhetően a nem homogén eloszlatusú minta okán, valamint a tüztér ajtajának üzem közben történt nyitások miatt) a füstgázok koncentrációja időben nem volt állandó, jól elkülöníthető szakaszok figyelhetők meg.

Az alacsony oxigén-koncentráció a füstgázban magas szén-dioxid koncentrációt eredményezett, ezért az alsó, rásegítő ventilátor nyitott állapotban (üzemen kívül) természetes huzatot biztosított a füstgázventilátorral.

A reprezentativitás érdekében választott kazán jól tükrözi a tüzelőanyag beadagolásánál fellépő, általánosan kialakult helyzetet, az alátoló csiga (helyzeténél fogva) a kazán tulsó oldalán halmozza fel az anyagot, így a tüztér nem egyenletes terheléssel üzemel. Ennek megoldása szintén a konstrukció (konkrétan a beadagolást végző csiga elhelyezése azon a ponton, ahol a beadagolás által a tüztérben tartózkodó anyag eloszlása egyenletessé tehető) változtatása lehet.

A melegvízes kazán előremenő vize téli időszakban átlagosan 70-80 °C, a mérés alatt ezt az értéket túlléptük (90 °C), ezért szükség volt a túlnyomásszabályozóval a víz elvezetésére.

A visszatérő ágban 20 °C hőmérsékletkülönbség van, a zárt rendszerű fűtés jó hatásfokkal üzemel.

A kémény konstrukciója hibás (általánosságban elmondható, hogy ez majdnem minden berendezésre igaz), mert a kazánhoz képest túl nagy az átmérője (építési hatóság felelőssége - kémény méretezése a kazánhoz), ezért a dinamikus nyomás értéke kicsi, lassú a gázok eltávozása. Az elfogadottnak tekintett 6-7 m/s a kimenő gáz térfogatáramát és hígulását kedvező mértékben befolyásolja, csökkenti a környezeti károkat.

A 17/2001-es KöM rendelet - kis teljesítményű tüzelőberendezésekre vonatkozó egyéb rendeletek híján - előírja, hogy a légszennyező anyagok mért koncentrációját tüzelési és termikus technológiáknál - amennyiben jogszabály más értéket nem határoz meg - a száraz véggáz 5 %-os O<sub>2</sub> tartalmára kell vonatkoztatni. A számítások ez alapján történtek.

A 21. ábrán a mért kén-dioxid, nitrogén-oxidok, elégetlen szén-hidrogének és szén-monoxid gázok koncentrációjának időbeli változása látszik.

Az elégetlen szén-hidrogének a mérési idő végén kiugró értéket mutatnak (a kén-dioxid mérését zavarja a szén-hidrogén jelenléte), az oxigéntartalom csökkenése és a CO növekedése mellett.

A CO mérésére a 10 000 ppm-es méréstartomány alkalmazására volt szükség, mert a tökéletlen égés során nagy koncentrációban (de nem folyamatosan) jutott a levegőbe. Ez elsődlegesen a kazán rossz konstrukciójával és a rövid tartózkodási idővel magyarázható.

A mért kén-dioxid értékek (142 mg/m<sup>3</sup> átlagos érték) elsősorban nem a minta faanyagtartalmából, hanem a hozzáadott segédanyagból (edző: ammónium-szulfát) adódtak.

A nitrogén-oxidok (2 100 mg/m<sup>3</sup> körüli átlagértékkel) az atmoszférikus N<sub>2</sub> megkötésével és a fosszilis tüzelőanyagok szerves kötésben lévő heterociklikus nitrogénvegyületeinek pirolízise és oxidációja útján keletkeznek. Stacionárius tüzelés (kazánok) nitrogén-oxid emissziói főleg a tüzelőszer szerves kötésben lévő N<sub>2</sub>-jéből származnak - tüzelőanyag-NO<sub>x</sub> (BEÉR, 1993).

29. táblázat. F<sub>n</sub> minta füstgázkomponenseinek mért értékei és számított koncentrációi

Gázkomponensek	Mért értékek (tf%, ppm)			Koncentráció (mg/m <sup>3</sup> )*		
	Min.	Átlag	Max.	Min.	Átlag	Max.
Oxigén	8,95	14,09	17,27	-	-	-
Szén-dioxid	3,28	6,2	11,26	-	-	-
Kén-dioxid	8,46	23,96	131,77	46,24	141,9	499,9
Szén-monoxid	697,17	2 081,7	4 457,4	2 125,9	6 072,6	9 397,8
Nitrogén-oxidok (NO <sub>2</sub> -ben kifejezve)	324,5	410,5	569,92	1 100,8	2 124,9	3 484,66
Szén-hidrogének (propánban kifejezve)	7,17	775,8	8 185,8	42,92	3 392,8	24 904,47

\* - a gázok száraz fizikai normál állapotára és 5 % O<sub>2</sub>-tartalomra vonatkoztatva

A 29. táblázatban olvashatók az égetés során mért gázalkotó-koncentráció értékek és a belőlük számított eredmények, mg/m<sup>3</sup>-ben kifejezve.

A táblázatból kiolvasható leglényegesebb információ, hogy forgácsleghulladék égetése során kén-dioxid emisszióval kell számolni, ennél a kis teljesítményű kazánál átlagosan 142 mg/m<sup>3</sup> mennyiségben. Az edző (ammónium-szulfát) 0,6-1 %-ban van jelen a forgácsleghulladékban (gyanta szárazanyagra vonatkoztatva). A faanyagból égés során keletkező kén-dioxid mennyisége elhanyagolható, tehát az edző mennyisége befolyásolja az emissziót.

A szén-monoxid és a szén-hidrogének magas értékei egyértelműen a tökéletlen égés következményei, a gázok rövid tartózkodási ideje nem teszi lehetővé magas hőmérsékleten sem a tökéletes kiégést.

A véggáz paramétereit az alábbi táblázatban tüntettem fel (a mérés során a λ értéke 3 körül mozgott):

30. táblázat. A füstgáz jellemző paramétereit

<b>mérési szelvény keresztmetszete:</b>	0,0625 m <sup>2</sup>
<b>véggáz hőmérséklete:</b>	452,65 K
<b>véggáz dinamikus nyomása:</b>	1,55 Pa
<b>véggáz statikus nyomása:</b>	3,4 Pa
<b>véggáz sűrűsége (effektív):</b>	0,601 kg/m <sup>3</sup>
<b>véggáz sűrűsége (nedves, normál):</b>	0,8452 kg/Nm <sup>3</sup>
<b>véggáz sűrűsége (száraz, normál):</b>	0,8473 kg/Nm <sup>3</sup>
<b>véggáz áramlási sebessége:</b>	2,27 m/s
<b>effektív térfogatáram:</b>	511,2 m <sup>3</sup> /h
<b>térf. áram normál állapotban:</b>	307,5 Nm <sup>3</sup> /h
<b>térf. áram normál, száraz állapotban:</b>	292,78 Nm <sup>3</sup> /h



A 31. táblázatban a füstgázkomponensek mérési időtartam alatti számított emissziói szerepelnek:

31. táblázat. A füstgáz komponenseinek emissziói

Füstgáz-komponens	Emisszió (kg/h)
Nedvesség:	11,83
Szén-dioxid:	35,72
Kén-dioxid:	0,02
Szén-monoxid:	0,76
Nitrogén-oxidok:	0,246
Propán:	0,446

A por emissziójának számítása a szakaszos mintavételből következően bonyolultabb és csak *I-I* mérési szakaszt jellemezhetünk vele.

A szakaszos mintavételi időszakban előfordult, hogy a CO értéke a méréshatáron túllépett, ezért a gáz koncentrációjának pontos ismerete nélkül a poremisszió sem adható meg.

A mérési jegyzőkönyvben feltüntetett porkoncentráció a mérések átlagára vonatkozik.

A táblázatban feltüntetett emisszió értékek a mérési időtartamra vonatkoznak, kén-dioxid esetében 0,02 kg/h, szén-dioxidnál 35,72 kg/h mennyiség adódott.

### 3.1.2 F<sub>1</sub> minta égetésének értékelése

A szilárd (nem toxikus) por, amelyet szakaszos mintavétellel vettem, 2 269,70 mg/m<sup>3</sup> koncentrációjú volt. Ez az érték a mérés ideje alatt háromszori mintavétel átlagából lett kiszámítva. A füstgáz nedvességtartalma 5,05 térfogat%. A statikus nyomás értéke 4,1 Pa, tehát a külső légköri nyomáshoz képest túlnyomás uralkodott.

A füstgáz hőmérséklete 103,1 °C-tól egészen 187,2 °C-ig emelkedett. A dinamikus nyomás értékek alacsonyak voltak a mérés során, 1-3 Pa körüli értékeket mértem. Ez információt ad a távozó füstgáz sebességére vonatkozóan (alacsony értéket, 2-4 m/s számított értéket kaptam, ez azt jelenti, hogy a kívánt 6-7 m/s helyett a füstgáz lassabban távozott el a kéményen át).

A 24. ábrán a mért kén-dioxid, nitrogén-oxidok, elégtelen szén-hidrogének és szén-monoxid gázok koncentrációjának időbeli változása látszik.

A magas füstgázhőmérséklet miatt a minta mérésére rövidebb idő adódott, ugyanis az előremenő víz hőfoka megugrott és a felesleges hőt el kellett vezetni, ezért nem volt gazdaságos a kazán üzemeltetése (a laminátos minta égése során a hőfok hamar a 200 °C közelébe jutott, a füstgáz hőmérsékletét viszont e fölé nem ajánlott engedni).

A CO értékei csak mintegy 25 percig értékelhetőek, a 10 000 ppm méréshatárt túllépve a műszer nem mért adatokat.

Az elégtelen szén-hidrogének jól követik a CO mozgását és két csúcsban jelentkezett a maximális koncentráció (1 130 és 4 738 ppm) az oxigéntartalom csökkenése és a CO növekedése mellett.

A mért kén-dioxid értékek (468 mg/m<sup>3</sup> átlagos érték) elsősorban nem a minta faanyagtartalmából, hanem a hozzáadott segédanyagból (edző: ammónium-szulfát) adódtak.

A nitrogén-oxidok (1 558 mg/m<sup>3</sup> körüli átlagértékkel) az atmoszférikus N<sub>2</sub> megkötésével és a fosszilis tüzelőanyagok szerves kötésben lévő heterociklikus nitrogénvegyületeinek pirolízise és oxidációja útján keletkeznek.

32. táblázat. F<sub>1</sub> minta füstgázkomponenseinek mért értékei és számított koncentrációi

Gázkomponensek	Mért értékek (tf%, ppm)			Koncentráció (mg/m <sup>3</sup> )*		
	Min.	Átlag	Max.	Min.	Átlag	Max.
Oxigén	10,2	13,1	17,3	-	-	-
Szén-dioxid	3,4	6,3	9,0	-	-	-
Kén-dioxid	4,0	86,6	216,3	21,35	467,83	924,24
Szén-monoxid	447,83	4 894,37	9 592,83	1 462,72	11 587,6	36 982,23
Nitrogén-oxidok (NO <sub>2</sub> -ben kifejezve)	95,5	376,3	581,8	416,96	1 557,87	2 281,86
Szén-hidrogének (propánban kifejezve)	0,5	593,6	4738,4	2,44	2 134,98	18 228,62

\* - a gázok száraz fizikai normál állapotára és 5 % O<sub>2</sub>-tartalomra vonatkoztatva

A táblázatban olvashatóak az égetés során mért gázalkotó-koncentráció értékek és a belőlük számított eredmények, mg/m<sup>3</sup>-ben kifejezve.

A leglényegesebb információ, hogy forgácslap hulladék égetése során kén-dioxid emisszióval kell számolni, ennél a kis teljesítményű kazánnál átlagosan 468 mg/m<sup>3</sup> mennyiségben. Az edző (ammónium-szulfát) 0,6-1 %-ban van jelen a forgácslapban (gyanta szárazanyagra vonatkoztatva). A faanyagból égés során keletkező kén-dioxid mennyisége elhanyagolható, tehát az edző mennyisége befolyásolja az emissziót.

A szén-monoxid és a szén-hidrogének magas értékei egyértelműen a tökéletlen égés következményei, a gázok rövid tartózkodási ideje nem teszi lehetővé magas hőmérsékleten sem a tökéletes kiégést.

A véggáz paramétereit az alábbi táblázatban tüntettem fel: (a mérés során a λ értéke 2,6 körül mozgott)

33. táblázat. A füstgáz jellemző paraméterei

<b>mérési szelvény keresztmetszete:</b>	0,0625 m <sup>2</sup>
<b>véggáz hőmérséklete:</b>	415,85 K
<b>véggáz dinamikus nyomása:</b>	1,7 Pa
<b>véggáz statikus nyomása:</b>	4,1 Pa
<b>véggáz sűrűsége (effektív):</b>	0,739 kg/m <sup>3</sup>
<b>véggáz sűrűsége (nedves, normál):</b>	1,131 kg/m <sup>3</sup>
<b>véggáz sűrűsége (száraz, normál):</b>	1,148 kg/m <sup>3</sup>
<b>véggáz áramlási sebessége:</b>	2,14 m/s
<b>effektív térfogatáram:</b>	478,8 m <sup>3</sup> /h
<b>térfogatáram normál állapotban:</b>	313,13 m <sup>3</sup> /h
<b>térfogatáram normál, száraz állapotban:</b>	298,08 m <sup>3</sup> /h

A 34. táblázatban a füstgázkomponensek mérési időtartam alatti számított emissziói szerepelnek.

34. táblázat. A füstgáz komponenseinek emissziói

<b>Füstgáz-komponens</b>	<b>Emisszió (kg/h)</b>
Nedvesség:	12,1
Szén-dioxid:	36,96
Kén-dioxid:	0,073
Szén-monoxid:	1,82
Nitrogén-oxidok:	0,23
Propán:	0,347

A por emissziójának számítása a szakaszos mintavételből következően bonyolultabb és csak I-I mérési szakaszt jellemezhetünk vele.

A szakaszos mintavételi időszakban előfordult, hogy a CO értéke a méréshatáron túllépett, ezért a gáz koncentrációjának pontos ismerete nélkül a poremisszió sem adható meg.

A mérési jegyzőkönyvben feltüntetett porkoncentráció a mérések átlagára vonatkozik.

A táblázatban feltüntetett emisszió értékek a mérési időtartamra vonatkoznak, kén-dioxid esetében 0,07 kg/h, szén-dioxidnál 36,96 kg/h mennyiség adódott.

### 3.1.3 F<sub>n</sub> és F<sub>l</sub> forgácslapok égetési eredményeinek összehasonlítása

Figyelembe véve a tüzelés során a füstgáz hőmérsékletét, a torlónyomás értékeit, a beadagolás szakaszosságát, az alábbi megállapítások tehetők:

A laminátos forgácslap a rápréselt impregnált nátronpapírral „terhelt”, azaz a modifikált műgyantával (KF-MF-, vagy MF-gyanta) átitatott papír jelenléte kismértékben ugyan, de változtatja a mérési eredményeket.

Nyers minta esetében az oxigén értékek 9-17 tf% között, laminátosnál 10-17 tf% között mozogtak. Szén-dioxidnál szintén nincs jelentős eltérés: 3-11, illetve 3-9 tf%.

35. táblázat.  $F_n$  és  $F_1$  minták emisszióinak összehasonlítása

Gázkomponensek	Koncentráció ( $\text{mg/m}^3$ )* $F_n$			Koncentráció ( $\text{mg/m}^3$ )* $F_1$		
	Min.	Átlag	Max.	Min.	Átlag	Max.
Kén-dioxid	46,24	141,9	499,9	21,35	467,83	924,24
Szén-monoxid	2 125,9	6 072,6	9 397,8	1 462,72	11 587,6	36 982,23
Nitrogén-oxidok ( $\text{NO}_2$ -ben kifejezve)	1 100,8	2 124,9	3 484,66	416,96	1 557,87	2 281,86
Szén-hidrogének (propánban kifejezve)	42,92	3 392,8	24 904,47	2,44	2 134,98	18 228,62

\* - a gázok száraz fizikai normál állapotára és 5 %  $\text{O}_2$ -tartalomra vonatkoztatva

A kén-dioxid koncentrációja átlagosan 142 és 467  $\text{mg/m}^3$ , ezek az értékek alapvetően függetlenek a kazán „jóságától”, azaz a mérési körülményektől és a tüzelőberendezés beállításaitól, mert amíg a CO, a  $\text{C}_x\text{H}_y$ , az  $\text{NO}_x$  nagy mennyiségű jelenléte elsődlegesen az égés tökéletlenségével és a tartózkodási idő rövidegével magyarázható, addig a kén az edzőben adott mennyiségben van jelen és magas hőmérsékleten (a hidrogénből keletkező és a fából elpárolgó víz jelenlétében) az átalakulás során lezajló folyamatokból felszabadulva kénsav, majd  $\text{SO}_x$  keletkezik (amit  $\text{SO}_2$ -ként adtunk meg a táblázatban).

A kénsav (és egyéb maró hatású anyagok) jelenléte felveti a kazánok korrózióvédelmének kérdését is, a füstgáz hűtésével, az üzemeltetési körülmények alapos kiválasztásával a kiválási folyamat kezelhető.

A szén-monoxid 6 000, illetve 11 500  $\text{mg/m}^3$  átlagos koncentrációval a környezetszennyezés jelentős forrása, a kazán paramétereinek változtatása nélkül a kibocsátott értékek értelmezhetetlenül nagyok (a füstgáz színe jól jelzi az égés tökéletességét, ez esetben sötétszürke színt látunk, azaz a kazán helytelenül működött). A  $\lambda$ -szám helyes megválasztása nélkülözhetetlen és a tartózkodási idő megnövelése (pl. tüztér geometriájának változtatásával) segít a CO drasztikus csökkentésében.

A nitrogén-oxidok 2 100 és 1 500  $\text{mg/m}^3$  koncentrációban voltak jelen, lényegében itt is a műszaki paraméterek nem kellő beállítása okozta a jelentős mennyiségű kibocsátást.

A propánban kifejezett szén-hidrogén mennyiség tág határok között mozgott, nagyságrendi különbségekkel, viszonylag rövid mérési időintervallumon belül (42 - 24 900, 2 - 18 000  $\text{mg/m}^3$ ).

Az ilyen szabályozatlan körülmények között üzemelő kazán jelentős környezetszennyezéssel bír és említést kell tenni a kellemetlen szaghatásról is, amely Falco-

minták esetében az elégetlen szén-hidrogénekből eredt (Interspan-mintáknál ebben szerepet játszik a forgácslapban jelenlévő fenyő-alapanyag is (terpéntartalom)).

A füstgáz tartózkodási ideje a tüztérben

Nyers mintánál  $0,142$  s és laminátos mintánál  $0,13$  s tartózkodási időt számoltam a mért adatokból. Ez azt jelenti, hogy rendkívül kevés idő áll rendelkezésre a füstgáznak arra, hogy tökéletesen kiegészve környezetre ártalmatlan anyagokká alakuljon át. A  $2$  s, ami előírás a füstgázok tartózkodási idejére, a kazán paramétereinek változtatásával, a belső felület megnövelésével, a füstgázventilátor szabályozásával és a primer-szekunder levegőbetáplálás összehangolásával érhető el.

A füstgázkomponensek emissziói

A kén-dioxid  $0,02$  és  $0,07$  kg/h emissziós értékű, a laminátos minta (az inhomogén anyageloszlás és egyenlőtlen betáplálás miatt valószínűsíthetően) több edzőt tartalmazott, amely nem a gyártási folyamatból, illetve egyéb esetleges szennyezőkből ered. Itt kell felhívni a figyelmet arra, mennyire fontos már a kezdetektől odafigyelni a lehetőleg folyamatos tüzelőanyag-betáplálásra, illetve a homogén tüzelőanyag létrehozására.

Szén-monoxid esetén  $0,76$  és  $1,82$  kg/h emisszió került a levegőbe, elmondható, hogy a  $2$ . üzemállapotban közel háromszoros mennyiségű a kibocsátás, tehát a rövid tartózkodási idő alatt nem kellően elégett ki a füstgáz.

Nitrogén-oxidok és szén-hidrogének kibocsátásában jelentős eltérés nem mutatkozott.

### 3.1.4 I<sub>1</sub> minta égetésének értékelése

A szilárd (nem toxikus) por, amelyet szakaszos mintavétellel vettem,  $728,06$  mg/m<sup>3</sup> koncentrációjú volt. Ez az érték a mérés ideje alatt háromszori mintavétel átlagából lett kiszámítva. A füstgáz nedvességtartalma  $3,92$  térfogat%. A statikus nyomás értéke  $3,8$  Pa, tehát a külső légköri nyomáshoz képest túlnyomás uralkodott.

A füstgáz hőmérséklete  $150$  °C-tól egészen  $180$  °C-ig emelkedett. A dinamikus nyomás értékek alacsonyak voltak a mérés során,  $2-3$  Pa körüli értékeket mértem. Ez információt ad a távozó füstgáz sebességére vonatkozóan (alacsony értéket,  $2-4$  m/s számított értéket kaptam, ez azt jelenti, hogy a kívánt  $6-7$  m/s helyett a füstgáz lassabban távozott el a kéményen át).

A  $25$ . ábrán a két makrokomponens, az oxigén és a szén-dioxid időbeli változása látható (lényegében egymás tükörképeinek tekinthetők). Megfigyelhető, hogy a két gázkomponens a mérés időtartama alatt viszonylag stabil értékeket mutatott,  $16-17$  tf% az oxigénnél és  $3-4$  tf% a szén-dioxidnál. A kazán paraméterek beállítása ennél a mérésnél jobban sikerült.

A  $26$ . ábrán az oxigén és a szén-monoxid időbeli változása követhető végig, a szén-monoxid értékeket sikerült határérték alatt tartani, csupán a mérés utolsó szakaszában történt egy nagyobb ugrás, ami a nem egyenletes tüzelőanyag beadagolás és a tüztérajtó nyitásával magyarázható elsősorban.

A 27. ábrán a mért kén-dioxid, nitrogén-oxidok, elégetlen szén-hidrogének és szén-monoxid gázok koncentrációjának időbeli változása látszik.

A grafikonon jól látszik, hogy a mért komponensek értékét sikerült stabilan tartani, az időszak végén történt külső beavatkozás változtatta meg a gázok koncentrációit.

A magas füstgázhőmérséklet miatt a minta mérésére rövidebb idő adódott, ugyanis az előremenő víz hőfoka megugrott és a felesleges hőt el kellett vezetni, ezért nem volt gazdaságos a kazán üzemeltetése (a laminátos minta égése során a hőfok hamar a 200 °C közelébe jutott, a füstgáz hőmérsékletét viszont e fölé nem ajánlott engedni).

A CO értékeit (leégett szakasz után vagyunk) a 300-600 ppm körüli értéken tartottuk, a mérés végén a szén-hidrogénnel párhuzamosan emelkedett meg a koncentráció értéke.

A mért kén-dioxid értékek (49,66 mg/m<sup>3</sup> átlagos érték) elsősorban nem a minta faanyagtartalmából, hanem a hozzáadott segédanyagból (edző: ammónium-szulfát) adódtak. Jól látszik a különbség a két forgácslapgyártó vállalat alkalmazott edzője között, a kéntartalom ugyanis alig mérhető az Interspan-mintánál, amíg a Falco által használt segédanyagok relatíve magas kéntartalommal rendelkeznek.

A nitrogén-oxidok (1 070 mg/m<sup>3</sup> körüli átlagértékkel) az atmoszférikus N<sub>2</sub> megkötésével és a fosszilis tüzelőanyagok szerves kötésben lévő heterociklikus nitrogénvegyületeinek pirolízise és oxidációja útján keletkeznek. Az NO<sub>x</sub> alacsonyan tartásával (az égés feltételeinek kedvezőbb szabályozásával) jelentős környezetszennyezés előzhető meg.

36. táblázat. I<sub>1</sub> minta füstgázkomponenseinek mért értékei és számított koncentrációi

Gázkomponensek	Mért értékek (tf%, ppm)			Koncentráció (mg/m <sup>3</sup> )*		
	Min.	Átlag	Max.	Min.	Átlag	Max.
Oxigén	13,5	16,7	18,0	-	-	-
Szén-dioxid	2,3	3,5	5,8	-	-	-
Kén-dioxid	0,0	6,3	73,5	0,42	49,66	476,94
Szén-monoxid	305,0	1 108,5	9 599,3	1 403,52	4 291,58	36 030,86
Nitrogén-oxidok (NO <sub>2</sub> -ben kifejezve)	87,3	143,5	438,8	633,31	1 073,46	1 933,62
Szén-hidrogének (propánban kifejezve)	13,4	163,3	3 905,5	98,31	1 264,3	29 704,8

\* - a gázok száraz fizikai normál állapotára és 5 % O<sub>2</sub>-tartalomra vonatkoztatva

A 36. táblázatban olvashatók az égetés során mért gázalkotó-koncentráció értékek és a belőlük számított eredmények, mg/m<sup>3</sup>-ben kifejezve.

A táblázatból kiolvasható, hogy forgácslaphulladék égetése során kén-dioxid emisszióval kell számolni, ennél a kis teljesítményű kazánál átlagosan 49,66 mg/m<sup>3</sup> mennyiségben. Az edző (ammónium-szulfát) 0,6-1 %-ban van jelen a forgácslapban (gyanta szárazanyagra vonatkoztatva). A faanyagból égés során keletkező kén-dioxid mennyisége elhanyagolható, tehát az edző mennyisége befolyásolja az emissziót.

Különbség látszik a két gyár felhasznált edzője között, amely a füstgázok koncentrációjában jelentkezik.

A szén-monoxid és a szén-hidrogének magas értékei egyértelműen a tökéletlen égés következményei, a gázok rövid tartózkodási ideje nem teszi lehetővé magas hőmérsékleten sem a tökéletes kiégést.

A véggáz paramétereit az alábbi táblázatban tüntettem fel: (a mérés során a  $\lambda$  értéke 4,9 körül mozgott)

37. táblázat. A füstgáz jellemző paraméterei

<b>mérési szelvény keresztmetszete:</b>	0,0625 m <sup>2</sup>
<b>véggáz hőmérséklete:</b>	430,55 K
<b>véggáz dinamikus nyomása:</b>	2,3 Pa
<b>véggáz statikus nyomása:</b>	3,8 Pa
<b>véggáz sűrűsége (effektív):</b>	0,325 kg/m <sup>3</sup>
<b>véggáz sűrűsége (nedves, normál):</b>	0,513 kg/Nm <sup>3</sup>
<b>véggáz sűrűsége (száraz, normál):</b>	0,523 kg/Nm <sup>3</sup>
<b>véggáz áramlási sebessége:</b>	3,76 m/s
<b>effektív térfogatáram:</b>	838 m <sup>3</sup> /h
<b>térfogatáram normál állapotban:</b>	524,83 Nm <sup>3</sup> /h
<b>térfogatáram normál, száraz állapotban:</b>	505,07 Nm <sup>3</sup> /h

A 38. táblázatban a füstgázkomponensek mérési időtartam alatti számított emissziói szerepelnek.

38. táblázat. A füstgáz komponenseinek emissziói

<b>Füstgáz-komponens</b>	<b>Emisszió (kg/h)</b>
Nedvesség:	15,89
Szén-dioxid:	34,47
Kén-dioxid:	$9,07 \times 10^{-3}$
Szén-monoxid:	0,699
Nitrogén-oxidok:	0,149
Propán:	0,162

A por emissziójának számítása a szakaszos mintavételből következően bonyolultabb és csak I-I mérési szakaszt jellemezhetünk vele.

A mérési jegyzőkönyvben feltüntetett porkoncentráció a mérések átlagára vonatkozik.

A táblázatban feltüntetett emisszió értékek a mérési időtartamra vonatkoznak, kén-dioxid esetében  $9,07 \times 10^{-3}$  kg/h, szén-dioxidnál 34,47 kg/h mennyiség adódott.

### 3.1.5 I<sub>n</sub> minta égetésének értékelése

A szilárd (nem toxikus) por, amelyet szakaszos mintavétellel vettem, 533,69 mg/m<sup>3</sup> koncentrációjú volt. Ez az érték a mérés ideje alatt háromszori mintavétel átlagából lett kiszámítva. A füstgáz nedvességtartalma 3,58 térfogat%. A statikus nyomás értéke 5,5 Pa, tehát a külső légköri nyomáshoz képest túlnyomás uralkodott.

A füstgáz hőmérséklete 128 °C-tól egészen 170 °C-ig emelkedett. A dinamikus nyomás értékek alacsonyak voltak a mérés során, 1-3 Pa körüli értékeket mértem. Ez információt ad a távozó füstgáz sebességére vonatkozóan (alacsony értéket, 2-4 m/s számított értéket kaptam, ez azt jelenti, hogy a kívánt 6-7 m/s helyett a füstgáz lassabban távozott el a kéményen át).

A 28. ábrán a két makrokomponens, az oxigén és a szén-dioxid időbeli változása látható (egymás tükörképeinek tekinthetők). Megfigyelhető, hogy a két gázkomponens a mérés időtartama alatt viszonylag stabil értékeket mutatott, 15-18 tf% az oxigénnél és 3-5 tf% a szén-dioxidnál. A kazán paraméterek beállítása ennél a mérésnél jobban sikerült.

A 29. ábrán az oxigén és a szén-monoxid időbeli változása követhető végig, a szén-monoxid értékeket sikerült mérési határérték alatt tartani, egyenletes növekedés figyelhető meg a mérés utolsó szakaszáig, ennek oka a nem egyenletes tüzelőanyag beadagolás és a tüztérajtó nyitásával magyarázható.

A 30. ábrán a mért kén-dioxid, nitrogén-oxidok és nitrogén-monoxid, elégtelen szén-hidrogének és szén-monoxid gázok koncentrációjának időbeli változása látszik. A grafikonon jól látszik, hogy a mért komponensek értékét sikerült viszonylag stabilan tartani. Látható, hogy a mérés 11., 26., 36. és 42. perci körül történtek koncentráció változások (növekedés), oka a tüzelőanyag beadagolásának szakaszossága és a levegőfelesleg tényező helytelen megválasztása volt.

A magas füstgázhőmérséklet miatt az előremenő víz hőfoka megugrott és a felesleges hőt el kellett vezetni, ezért nem volt gazdaságos a kazán üzemeltetése (a laminátos minta égése során a hőfok hamar a 200 °C közelébe jutott, a füstgáz hőmérsékletét viszont e fölé nem ajánlott engedni).

A CO értékeit a 300-600 ppm körüli értéken tartottuk, jól megfigyelhető a szén-hidrogénnel párhuzamos koncentráció növekedés, amit kismértékben a nitrogén-oxidok változása is követett.

A mért kén-dioxid értékek (46,39 mg/m<sup>3</sup> átlagos érték) elsősorban nem a minta faanyagtartalmából, hanem a hozzáadott segédanyagból (edző: ammónium-szulfát) adódtak. Jól látszik a különbség a két forgácslapgyártó vállalat alkalmazott edzője között, a kéntartalom ugyanis alig mérhető az Interspan-mintánál, amíg a Falco által használt segédanyag(ok) relatíve magas kéntartalommal rendelkez(ne)ik.

A nitrogén-oxidok (1 000 mg/m<sup>3</sup> körüli átlagértékkel) az atmoszférikus N<sub>2</sub> megkötésével és a fosszilis tüzelőanyagok szerves kötésben lévő heterociklikus nitrogénvegyületeinek pirolízise és oxidációja útján keletkeznek.



Az NO<sub>x</sub> alacsonyan tartásával (az égés feltételeinek kedvezőbb szabályozásával) jelentős környezetszennyezés előzhető meg.

39. táblázat. A gázkomponensek mért értékei és számított koncentrációi

Gázkomponensek	Mért értékek (tf%, ppm)			Koncentráció (mg/m <sup>3</sup> )*		
	Min.	Átlag	Max.	Min.	Átlag	Max.
Oxigén	15,2	16,66	17,7	-	-	-
Szén-dioxid	2,6	3,64	5,0	-	-	-
Kén-dioxid	1,51	4,38	7,97	18,93	46,39	78,5
Szén-monoxid	211,7	404,5	767	1 245,76	1 823,0	2 822,7
Nitrogén-oxidok (NO <sub>2</sub> -ben kifejezve)	100,64	133,35	171,39	900,7	1 014,14	1 232,38
Szén-hidrogének (propánban kifejezve)	1,42	16,52	32,83	8,84	129,78	270,55

\* - a gázok száraz fizikai normál állapotára és 5 % O<sub>2</sub>-tartalomra vonatkoztatva

A 39. táblázatban olvashatók az égetés során mért gázalkotó-koncentráció értékek és a belőlük számított eredmények, mg/m<sup>3</sup>-ben kifejezve.

A táblázatból kiolvasható, hogy forgácsleghulladék égetése során kén-dioxid emisszióval kell számolni, ennél a kis teljesítményű kazánnál átlagosan 46,39 mg/m<sup>3</sup> mennyiségben. Az edző (ammónium-szulfát) 0,6-1 %-ban van jelen a forgácsleghulladékban (gyanta szárazanyagra vonatkoztatva). A faanyagból égés során keletkező kén-dioxid mennyisége elhanyagolható, tehát az edző mennyisége befolyásolja az emissziót.

Különbség látszik a két gyár felhasznált edzője között, amely a füstgázok koncentrációjában jelentkezik.

A szén-monoxid magas értéke egyértelműen a tökéletlen égés következménye, a füstgázok rövid tartózkodási ideje nem teszi lehetővé magas hőmérsékleten sem a tökéletes kiégést.

A szén-hidrogének viszonylag alacsony értékei a kellemetlen szaghatást mérséklék.

A véggáz paramétereit az alábbi táblázatban tüntettem fel: (a mérés során a λ értéke 4,9 körül mozgott)

40. táblázat. A füstgáz jellemző paraméterei

<b>mérési szelvény keresztmetszete:</b>	0,0625 m <sup>2</sup>
<b>véggáz hőmérséklete:</b>	430,75 K
<b>véggáz dinamikus nyomása:</b>	1,66 Pa
<b>véggáz statikus nyomása:</b>	5,5 Pa
<b>véggáz sűrűsége (effektív):</b>	0,251 kg/m <sup>3</sup>
<b>véggáz sűrűsége (nedves, normál):</b>	0,396 kg/Nm <sup>3</sup>
<b>véggáz sűrűsége (száraz, normál):</b>	0,407 kg/Nm <sup>3</sup>
<b>véggáz áramlási sebessége:</b>	3,64 m/s
<b>effektív térfogatáram:</b>	792 m <sup>3</sup> /h
<b>térfogatáram normál állapotban:</b>	501,93 Nm <sup>3</sup> /h
<b>térfogatáram normál, száraz állapotban:</b>	484,6 Nm <sup>3</sup> /h

A 41. táblázatban a füstgázkomponensek mérési időtartam alatti számított emissziói szerepelnek.

41. táblázat. A füstgáz komponenseinek emissziói

<b>Füstgáz-komponens</b>	<b>Emisszió (kg/h)</b>
Nedvesség:	13,92
Szén-dioxid:	34,63
Kén-dioxid:	$6 \times 10^{-3}$
Szén-monoxid:	0,245
Nitrogén-oxidok:	0,13
Propán:	0,015

A por emissziójának számítása a szakaszos mintavételből következően bonyolultabb és csak I-I mérési szakaszt jellemezhetünk vele.

A mérési jegyzőkönyvben feltüntetett porkoncentráció a mérések átlagára vonatkozik.

A táblázatban feltüntetett emisszió értékek a mérési időtartamra vonatkoznak, kén-dioxid esetében  $6 \times 10^{-3}$  kg/h, szén-dioxidnál 34,63 kg/h mennyiség adódott.

### 3.1.6 I<sub>n</sub> és I<sub>1</sub> forgácslapok égetési eredményeinek összehasonlítása

Figyelembe véve a tüzelés során a füstgáz hőmérsékletét, a torlónyomás értékeit, a beadagolás szakaszosságát, a kazánparaméterek pontosabb beállításait, az alábbi megállapítások tehetők:

A laminátos forgácslap a rápréselt impregnált nátronpapírral „terhelt”, azaz a modifikált műgyantával (KF-MF-, vagy MF-gyanta) átitatott papír jelenléte kismértékben ugyan, de változtatja a mérési eredményeket.

Nyers minta esetében az oxigén értékek 15-18 tf% között, laminátosnál 16-17 tf% között mozogtak. Szén-dioxidnál szintén nincs jelentős eltérés: 3-5, illetve 3-4 tf%.

42. táblázat. I<sub>n</sub> és I<sub>1</sub> minták emisszióinak összehasonlítása

Gázkomponensek	Koncentráció (mg/m <sup>3</sup> )* I <sub>n</sub>			Koncentráció (mg/m <sup>3</sup> )* I <sub>1</sub>		
	Min.	Átlag	Max.	Min.	Átlag	Max.
Kén-dioxid	18,93	46,39	78,5	0,42	49,66	476,94
Szén-monoxid	1 245,76	1 823,0	2 822,7	1 403,52	4 291,58	36 030,86
Nitrogén-oxidok (NO <sub>2</sub> -ben kifejezve)	900,7	1 014,14	1 232,38	633,31	1 073,46	1 933,62
Szén-hidrogének (propánban kifejezve)	8,84	129,78	270,55	98,31	1 264,3	29 704,8

\* - a gázok száraz fizikai normál állapotára és 5 % O<sub>2</sub>-tartalomra vonatkoztatva

A kén-dioxid koncentrációja átlagosan 46,39 és 49,66 mg/m<sup>3</sup>, ezek az értékek alapvetően függetlenek a kazán „jóságától”, azaz a mérési körülményektől és a tüzelőberendezés beállításaitól, mert amíg a CO, a C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>, az NO<sub>x</sub> nagy mennyiségű jelenléte elsődlegesen az égés tökéletlenségével és a tartózkodási idő rövidségével magyarázható, addig a kén az edzőben adott mennyiségben van jelen és magas hőmérsékleten (a hidrogénből keletkező és a fából elpárolgó víz jelenlétében) az átalakulás során lezajló folyamatokból felszabadulva kénsav, majd SO<sub>x</sub> keletkezik (amit SO<sub>2</sub>-ként adtunk meg a táblázatban).

A szén-monoxid 1 800, illetve 4 300 mg/m<sup>3</sup> átlagos koncentrációval a környezetszennyezés jelentős forrása, a kazán paramétereinek változtatása nélkül a kibocsátott értékek értelmezhetetlenül nagyok (a füstgáz színe jól jelzi az égetés tökéletességét, ez esetben sötétszürke színt láttunk, azaz a kazán helytelenül működött). A λ-szám helyes megválasztása nélkülözhetetlen és a tartózkodási idő megnövelése (pl. tüztér geometriájának változtatásával) segít a CO drasztikus csökkentésében.

A nitrogén-oxidok 1 000 és 1 000 mg/m<sup>3</sup> koncentrációban voltak jelen, lényegében itt is a műszaki paraméterek nem kellő beállítása okozta a jelentős mennyiségű kibocsátást.

A propánban kifejezett szén-hidrogén mennyiség tág határok között mozgott, nagyságrendi különbségekkel, viszonylag rövid mérési időintervallumon belül (9 - 270, 98 - 29 700 mg/m<sup>3</sup>).

Az ilyen szabályozatlan körülmények között üzemelő kazán jelentős környezetszennyezéssel bír és említést kell tenni a kellemetlen szaghatásról is, amely Falco-minták esetében az elégetlen szén-hidrogénekből eredt (Interspan-mintáknál ebben szerepet játszik a forgácslapban jelenlévő fenyő-alapanyag is (terpéntartalom)).

A füstgáz tartózkodási ideje a tüztérben

Mindkét mintánál 0,08 s tartózkodási időt számoltam a mért adatokból. Ez azt jelenti, hogy rendkívül kevés idő áll rendelkezésre a füstgáznak arra, hogy tökéletesen kiégve

környezetre ártalmatlan anyagokká alakuljon át. A 2 s, ami előírás a füstgázok tartózkodási idejére, a kazán paramétereinek változtatásával, a belső felület megnövelésével, a füstgázventilátor szabályozásával és a primer-szekunder levegőbetáplálás összehangolásával érhető el.

A füstgázkomponensek emissziói

A kén-dioxid  $6 \times 10^{-3}$  és  $9 \times 10^{-3}$  kg/h emissziós értékű, a laminátos minta (az inhomogén anyageloszlás és egyenlőtlen betáplálás miatt valószínűsíthetően) több edzőt tartalmazott, amely nem a gyártási folyamatból, illetve egyéb esetleges szennyezőkből ered. Itt kell felhívni a figyelmet arra, mennyire fontos már a kezdetektől odafigyelni a lehetőleg folyamatos tüzelőanyag-betáplálásra, illetve a homogén tüzelőanyag létrehozására.

Szén-monoxid esetén 0,24 és 0,7 kg/h emisszió került a levegőbe, elmondható, hogy a 3. üzemi állapotban közel háromszoros mennyiségű a kibocsátás, tehát a rövid tartózkodási idő alatt nem kellően égett ki a füstgáz.

Nitrogén-oxidok kibocsátásában jelentős eltérés nem mutatkozott.

Szén-hidrogén emissziók: 0,015 és 0,162 kg/h, a különbség a kazán paramétereinek beállításában és a tökéletlen égésben keresendő.

### **3.1.7 $F_n$ és $I_n$ forgácslapok emisszióinak összehasonlítása**

Rögtön az elején azt a megállapítást tehetjük, hogy - amint az várható volt a hipotézisünk alapján - ugyanazokat a mérési körülményeket a 4 minta égetése során tökéletesen nem sikerült biztosítani.

A mérés kivitelezése során törekedtünk a minták homogén eloszlására, a természetes huzat és a füstgázventilátor helyes alkalmazására, a tüztér hőmérsékletének legalább 850 °C-on tartására, és a körülményekhez képest a tüzelés folyamatának minél kevesebbszer történő megzavarására.

A mérés során alkalmazott kazán, jól szemléltetve a hazai állapotokat, a már többször említett nem kellő szabályozottságával és rossz hatásfokával, a tüzelőanyag szakaszos beadagolásával és az égéslevegő szabályozhatatlanságával különböző mérési eredményeket produkált.

Ezek természetesen nemcsak a tüzelőberendezés hibáiból különböznek, a gyártók által használt fa- és segédanyagok különbözősége is hozzájárult az eltérő emissziós értékekhez.

43. táblázat. A gázkomponensek koncentrációi natúr mintáknál

Gázkomponensek	Koncentráció (mg/m <sup>3</sup> )* F <sub>n</sub>			Koncentráció (mg/m <sup>3</sup> )* I <sub>n</sub>		
	Min.	Átlag	Max.	Min.	Átlag	Max.
Kén-dioxid	46,24	141,9	499,9	18,93	46,39	78,5
Szén-monoxid	2 125,9	6 072,6	9 397,8	1 245,76	1 823,0	2 822,7
Nitrogén-oxidok (NO <sub>2</sub> -ben kifejezve)	1 100,8	2 124,9	3 484,66	900,7	1 014,14	1 232,38
Szén-hidrogének (propánban kifejezve)	42,92	3 392,8	24 904,47	8,84	129,78	270,55

\* - a gázok száraz fizikai normál állapotára és 5 % O<sub>2</sub>-tartalomra vonatkoztatva

A 43. táblázat adataiból jelentősnek látszik az eltérés az alkalmazott edző tekintetében, amelynek égése során keletkező kén-dioxid mennyisége 142, illetve 46 mg/m<sup>3</sup>.

Szén-monoxid esetében egyértelműen a rossz hatásfokú tüzelés, a tartózkodási idő nem megfelelő nagysága okozza a különbségeket.

A nitrogén-oxidok a tüztér megfelelő hőmérséklete mellett alacsonyan tarthatóak, de a tartózkodási idő növelése mindenképp fontos feltétele a csökkentésüknek.

Az elégtelen szén-hidrogének mennyisége az égés zavartalansága, az égéslevegő megfelelő adagolása mellett alacsonyan tartható.

A λ-szám 3, illetve 4,9 körüli érték volt. A kívánatos érték 1-2 közötti. Így biztosítható a tökéletes kiégés, a primer és szekunder levegő adagolása mellett.

A kibocsátott emissziók összehasonlítása látható a 44. táblázatban.

44. táblázat. A füstgáz komponenseinek emissziói natúr mintáknál

Füstgáz-komponens	Emisszió (kg/h)	
	F <sub>n</sub>	I <sub>n</sub>
Nedvesség:	11,83	13,92
Szén-dioxid:	35,72	34,63
Kén-dioxid:	0,02	6*10 <sup>-3</sup>
Szén-monoxid:	0,76	0,245
Nitrogén-oxidok:	0,246	0,13
Propán:	0,446	0,015

Az emissziók vizsgálatakor megállapítható, hogy szén-dioxid esetében jelentős különbség nincsen.

Kén-dioxidnál a már taglalt eltérések miatt az emisszió mennyiségében is látszik a különbség.

A szén-monoxid időbeli változásai, az égés tökéletlensége, a tartózkodási idő rövidege okozta a jelentős mennyiségbeli eltérést.

Az elégetlen szén-hidrogének szaghatása  $F_n$  minta esetében érezhetően intenzívebb és kellemetlen volt, a tüzelési körülmények szabályozásával (tüzelőanyagra jellemző égési viszonyok és paraméterek megismerése, megtapasztalása után) lehetett az I minta esetében a kevesebb emissziót elérni.

### 3.1.8 $F_1$ és $I_1$ forgácslapok emisszióinak összehasonlítása

A mérés kivitelezése során törekedtünk a minták homogén elosztatására, a természetes huzat és a füstgázventilátor helyes alkalmazására, a tüztér hőmérsékletének legalább  $850\text{ }^\circ\text{C}$ -on tartására, és a körülményekhez képest a tüzelés folyamatának minél kevesebbszer történő megzavarására.

A mérés során alkalmazott kazán, jól szemléltetve a hazai állapotokat, a már többször említett nem kellő szabályozottságával és rossz hatásfokával, a tüzelőanyag szakaszos beadagolásával és az égéslevegő szabályozhatatlanságával különböző mérési eredményeket produkált.

Ezek természetesen nemcsak a tüzelőberendezés hibáiból különböznek, a gyártók által használt fa- és segédanyagok különbözősége is hozzájárult az eltérő emissziós értékekhez.

45. táblázat. A gázkomponensek koncentrációi laminátos mintáknál

Gázkomponensek	Koncentráció ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )* $F_1$			Koncentráció ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )* $I_1$		
	Min.	Átlag	Max.	Min.	Átlag	Max.
Kén-dioxid	21,35	467,83	924,24	0,42	49,66	476,94
Szén-monoxid	1 462,72	11 587,6	36 982,23	1 403,52	4 291,58	36 030,86
Nitrogén-oxidok ( $\text{NO}_2$ -ben kifejezve)	416,96	1 557,87	2 281,86	633,31	1 073,46	1 933,62
Szén-hidrogének (propánban kifejezve)	2,44	2 134,98	18 228,62	98,31	1 264,3	29 704,8

\* - a gázok száraz fizikai normál állapotára és 5 %  $\text{O}_2$ -tartalomra vonatkoztatva

A táblázat adataiból jelentősnek látszik az eltérés az alkalmazott edző tekintetében, amelynek égése során keletkező kén-dioxid mennyisége 467, illetve  $50\text{ mg}/\text{m}^3$ .

Szén-monoxid esetében egyértelműen a rossz hatásfokú tüzelés, a tartózkodási idő nem megfelelő nagysága okozza a különbségeket.

A nitrogén-oxidok a tüztér megfelelő hőmérséklete mellett alacsonyban tarthatóak, de a tartózkodási idő növelése mindenképp fontos feltétele a csökkentésüknek.

Az elégetlen szén-hidrogének mennyisége az égés zavartalansága, az égéslevegő megfelelő adagolása mellett alacsonyban tartható.

A  $\lambda$ -szám 2,6, illetve 4,9 körüli érték volt. A kívánatos érték 1-2 közötti. Így biztosítható a tökéletes kiégés, a primer és szekunder levegő adagolása mellett.

A kibocsátott emissziók összehasonlítása a következő táblázatban látható.

46. táblázat. A füstgáz komponenseinek emissziói laminátos mintáknál

Füstgáz-komponens	Emisszió (kg/h)	
	F <sub>I</sub>	I <sub>I</sub>
Nedvesség:	12,1	15,89
Szén-dioxid:	36,96	34,47
Kén-dioxid:	0,073	9,07x10 <sup>-3</sup>
Szén-monoxid:	1,82	0,699
Nitrogén-oxidok:	0,23	0,149
Propán:	0,347	0,162

Az emissziók vizsgálatakor megállapítható, hogy szén-dioxid esetében jelentős különbség nincsen.

Kén-dioxidnál a már taglalt eltérések miatt az emisszió mennyiségében is látszik a különbség.

A szén-monoxid időbeli változásai, az égés tökéletlensége, a tartózkodási idő rövidege okozta a mennyiségbeli eltérést.

Az elégtelen szén-hidrogének szaghatása F<sub>I</sub> minta esetében érezhetően intenzívebb és kellemetlen volt, a tüzelési körülmények szabályozásával (tüzelőanyagra jellemző égési viszonyok és paraméterek megismerése, megtapasztalása után) lehetett az I<sub>I</sub> minta esetében a kevesebb emissziót elérni.

### 3.2 Konklúziók

A 2.2.3 fejezetben egy korábban, de hasonló körülmények között elvégzett mérés kivonatos jegyzőkönyvét csatoltam. Lássuk, milyen átfogó megállapításokat tehetünk ennek tükrében, az általam végzett égetéssel párhuzamba állítva:

- Mindkét méréssorozat - a tüzelőberendezés teljesítménye alapján - a 17/2001. KöM rendelet (5 %-os O<sub>2</sub>-tartalomra átszámítás) hatálya alá tartozik, ezért a számított eredmények átlagait összehasonlíthatjuk. Természetesen a megadott információkon kívül minden egyéb adat bizalmas, ezért csak a meglévőkre támaszkodhattam. Így viszont az összehasonlítási lehetőségek elég szűkre szabottak, csupán arra elégségesek, hogy lássuk, nemcsak az általam végzett égetés (használt forgácslap alapú termék), hanem fatelepi átlagos összetételű fahulladék égetése is lehet környezetszennyező, amennyiben az nem a tüzelőanyagnak megfelelő kazánparaméterekkel történik, vagy ha szennyeződés éri a fát.
- A referencia-kazán füstgázkoncentráció-értékei az alábbi táblázatban olvashatóak.

47. táblázat. A referencia-kazán füstgázösszetevőinek koncentráció-értékei

Gázkomponensek	Koncentráció (mg/m <sup>3</sup> ) Sz*
	Átlag
Kén-dioxid	71,28
Szén-monoxid	8 888,61
Nitrogén-oxidok	315,57

\* Sz - szárító kazán kéménye

- Az általam vizsgált tüzelőanyagoknál az alábbi koncentrációk adódtak:

48. táblázat. A négy minta füstgázösszetevőinek koncentrációi

Gázkomponensek	Koncentráció (mg/m <sup>3</sup> )			
	F <sub>n</sub>	I <sub>n</sub>	F <sub>1</sub>	I <sub>1</sub>
	Átlag			
Kén-dioxid	141,9	46,39	467,83	49,66
Szén-monoxid	6 072,6	1 823,0	11 587,6	4 291,58
Nitrogén-oxidok	2 124,9	1 014,14	1 557,87	1 073,46

- Megállapíthatjuk, hogy a fatelepi fahulladékban, pillanatnyi összetétel esetén jelen van a kén. Ezért kén-dioxid-emisszióval kell számolni, körülbelül olyan nagyságrendben, mintha Interspan által gyártott forgácslapból készült, használt terméket égetnénk.
- Megállapíthatjuk, hogy a szén-monoxid kibocsátás értékei igen magasak. Nagyon nehéz elavult műszaki paraméterekkel rendelkező kazánban a tűztér állandó hőmérsékleten tartását, a megfelelő tartózkodási időt, a homogén tüzelőanyag-adagolást, a füstgáz áramlási sebességét biztosítani, különösen, ha a berendezés méretezése eredendően rossz. Ebben a helyzetben a hiányzó (140 kW<sub>th</sub> alatti névleges teljesítményű tüzelőberendezésekre vonatkozó) jogszabály megalkotásával - kényszerítő erejénél fogva - kezdetét vehetné a hazai géppark korszerűsítése.
- Megállapíthatjuk, hogy az NO<sub>x</sub>-kibocsátás a fatelepi hulladéknál alacsony, összehasonlítva a forgácslapéval (amelynek magas értékeiben a kötőanyag nitrogéntartalma is szerepet játszik). A jobb hatásfok elérése a füstgázok magas hőmérsékleten való, hosszabb tartózkodási idejének biztosításával lehetséges. A téma bővebb kifejtését az 1.4.3 fejezetben foglaltam össze.



## 4. ÖSSZEFOGLALÁS

A 21. század elejére az emberiség már olyan nagy mértékben használja ki a Föld erőforrásait, hogy azok készletei vészesen megcsappantak (ezzel együtt a keletkező hulladékok mennyisége évről évre nő), természeti kincsei károsodtak és a sokféleség, ami korábban jellemezte a bolygót, veszendőben van.

A fosszilis energiahordozók (elsősorban a kőolaj és földgáz) készletei egyes borúlátó becslések szerint 30 éven belül kimerülnek. A kutatások már megindultak a megújuló, környezet- és természetbarát erőforrások fokozottabb felhasználása irányában. Ugyanakkor érdekes tendencia mutatkozik pl. Németországban, ahol a túlzottan magas gázárak ismét előtérbe helyezhetik a szén használatát az energiaellátásban.

A fa, mint teljesen környezetbarát, megújuló nyersanyag mindig fontos támasza volt az emberiségnek, és úgy tűnik, ez a jövőben is így lesz.

Hazánk EU-csatlakozásával járó kötelezettség, hogy az energiatermelésben növelni kell a megújuló energiák részarányát 6 %-ra, az áramtermelésben 3,6 %-ra. Ez elsődlegesen a fából valósítható meg, a szél-, nap-, víz- és geotermikus energiáink felhasználása csekély ütemben növekszik. Emiatt megjelentek az elsősorban a faipar nyersanyagforrásaira támaszkodó fatüzelésű erőművek, amelyek jelentős mennyiségű, folyamatos nyersanyag-utánpótlásra tartanak igényt. Ám az erdőből a faipar számára eddig biztosított faanyag gazdasági szempontból jobban hasznosul, ha terméket állítunk elő belőle, mintha eltüzeljük. Megoldásként energiaerdők és -ültetvények telepítése látszik célravezetőnek - a minimális környezetvédelmi feltételek megvalósulása mellett.

A fatüzelés végigkísérte az embert élete során, az erdőből származó faanyag jelentős része égetéssel hasznosult és hasznosul ma is. A faanyag 100 %-ban természetes, elégetése során azok az anyagok távoznak el belőle, amelyeket beépített.

A faiparban a lemezipar térhódításával az erdő gyengébb faválasztékait is fel lehetett dolgozni, és az előállított agglomerált lapok számos kedvező tulajdonságuk révén hamar elterjedtek. A bútorgyártás egyre nagyobb arányban alkalmaz farostlemezt, forgácslapot a bútorok előállításához, de készül raklap, láda is forgácslapból, valamint az építőipar is fontos felvevőpiaca a laplemezek széles választékának.

A forgácslapgyárak mára a technológiai folyamatokban keletkező hulladékok nagy részét újra tudják hasznosítani, ezáltal alapanyagot spórolnak, a termékbe beépítve a másodlagos nyersanyagokat sokszor kedvezőbb tulajdonságokkal rendelkező termékeket képesek előállítani, valamint hulladékszegénnyé teszik a termelést.

Azonban nem minden területen működik ilyen rendezetten a hulladékok, másodlagos anyagok kérdése, ez vezetett az értekezés alap gondolatához. A forgácslapból készült, használt termékek nagy része a használat után (becslések szerint évente kb. 400 ezer m<sup>3</sup> használt forgácslap kerül égetésre vagy szeméttelpre (SCHÖBERL, 1999)) ellenőrizetlen utakon jár, a törvény előírta visszavételi kötelezettség nem, vagy hiányosan valósul meg, az értékes faalapú anyag sokszor hulladéklerakón vagy kazánban végzi.

Nem mindegy, milyen tüzelőberendezést használunk a vegyi/kémiai anyagokkal társított lapok megsemmisítéséhez (amelyek nem tiszta fa eredetük miatt környezeti kockázatot rejtenek magukban).

Közepes és nagy teljesítményű tüzelőberendezések kibocsátásának meghatározására létezik hazai jogszabályi keret (elsősorban a tiszta fát égethetjük el bennük). A kazánba kerülő anyagot csak olyan tüzeléstechnikai paraméterek egyidejű megléte esetén lehet határértéket meg nem haladó módon elégetni, amelyek garantálják a folyamatos, környezetbarát és emissziószegény kibocsátást.

De mi a helyzet a kiskazánokkal, a háztartási tüzelőberendezésekkel, amelyeknek sem számáról, sem műszaki állapotáról nincsenek pontos adataink? Égetés viszont itt is zajlik - számos jogi, környezeti, egészségügyi, gazdasági és emberi konfliktust vonva maga után.

Kutatásom során azt vizsgáltam, hazai körülmények között, hogy a két forgácslapgyár által termelt nyers és felületkezelt forgácslapokból előállított termékek életciklusuk végén a kazánban végezve milyen környezeti kockázatot képviselnek és mit lehet tenni annak érdekében, hogy szabályozott körülmények közepette történjen meg az égetés?

Ennek érdekében mintákat szereztem be és felderítettem, hogy Győr-Moson-Sopron megyében hol található olyan tüzelőberendezés, amely a fenti kritériumokat hordozza magában. A következő lépés a megfelelően hiteles, mindenki által elfogadott mérési módszer és berendezés megszerzése volt. Így esett a választás egy akkreditált laboratóriumra, amely vállalta, hogy segít a doktori munka kivitelezésében, kellően tapasztalt és a kiértékelésben is rutint szerzett, ráadásul referencia-mérési adatsort is rendelkezésre tud bocsátani.

Két napon keresztül történt az égetés, és hogy reprezentálni lehessen a hazai viszonyok közt uralkodó rendezetlenséget és műszaki hatásfokot, a mérés elvégzése során azokat a paramétereket alkalmaztam én is, amelyek egy teljesen hétköznapi (családi házas vagy kisüzemi) fűtésnél megfigyelhetők. Ez azt a célt szolgálta, hogy bemutatásra kerüljön, milyen viszonyok között történik napjainkban is a tüzelés, illetve, hogy a törvényileg nem egyértelműen definiált fahulladék-kategória milyen lehetőségeket (kiskapukat) nyújt a tovább már nem hasznosítható termékek elégetéséhez.

Általánosan elmondható, hogy az utánégetővel nem rendelkező, a tüztéri 850 °C-ot 2 másodpercig biztosítani nem tudó, (számítógépes) vezérléssel nem rendelkező, rossz kémény-tüztér arányokkal bíró, szakaszos tüzelőanyag-beadagolású, a  $\lambda$ -értéket az optimális érték közelében tartani nem képes kazánok létjogosultsága lejárt.

Az EU-csatlakozással még inkább előtérbe került a legjobb elérhető technikák (BAT) alkalmazásának kényszere. Ez vonatkozik esetünkben a kazángyártókra abból a szempontból, hogy olyan berendezéseket gyártsanak és árusítsanak minősítés/bevizsgálás után, amelyek maradéktalanul lehetővé teszik, hogy használt laptermékek (forgácslap alapúak) elégethetőek legyenek olyan emissziós értékekkel, amelynek meghatározása ugyan még várat magára, de praktikusán azt a koncentráció-értéket kell megcélozni (a technológiai fejlesztés keretei között), amellyel a környezet terhelése - a nagy létszámban jelenlévő kiskazánok miatt - minimális, az adott elérhető legjobb technológia használatával.

Szót kell ejteni azokról a társított anyagokról (ragasztókról, felületkezelő anyagokról, faanyagvédő szerekről stb.), amelyek veszélyességükből (jogszabály szerint meghatározva) kifolyólag a laptermék hulladékát a veszélyes kategóriába sorolják. Ezek a hulladékok csak veszélyes hulladék égetőben ártalmatlaníthatóak.

Nincs kellő mértékben meghatározva már maga a hulladék fogalma sem, nemhogy a veszélyesség kritériuma vagy az az adott maximális koncentrációérték, amely felett a hulladék nem égethető el hagyományos tüzelőberendezésben.

A hazai jogszabályalkotóknak sok teendőjük van még. Elég, ha csak a német szabályozást megnézzük, látható, hogy a faipar területén problémamentes a hulladékok kezelése, felhasználása és ártalmatlanítása, mert a szakma képviselőit meghallgatva, a gyártási folyamatokat és a felhasznált segédanyagokat kielégítő szinten ismerve megalapozott döntéshozatal történt - amelynek hosszú távú előnyeit gazdasági-társadalmi szinten élvezik.

Javaslatként szeretném megfogalmazni, hogy a hazai szabályozásban a  $140 \text{ kW}_{\text{th}}$ -nál kisebb bemenő hőteljesítményű tüzelőberendezések kibocsátására alkossanak rendeletet, amely egyrészt előírja, milyen paraméterekkel (kémény, tüztér, adagolórendszer, égéslevegő, ventilátor, utánégető stb.) kell rendelkeznie a berendezésnek, másrészt - és ez általánosságban érvényes minden, faanyaggal tüzelő berendezésre - a németországi metodikát adaptálva a hazai viszonyokra, sorolja be kategóriákba a fahulladékokat, kezdve a tiszta fától egészen a favédőszerrel átitatott lemeztermékek hulladékáig.

Ez hozzájárul ahhoz, hogy a faipari kisvállalkozók és a nagyvállalatok, valamint az átlagpolgárok tisztában legyenek a különböző típusú fahulladékokkal, azok környezeti illetve egészségügyi kockázataival és veszélyességük mértékével, a felhasználási lehetőségekkel.

A tüzelőberendezések korszerűsítésére célszerű volna pályázati lehetőségeket kidolgozni, vagy állami támogatásban részesíteni a kazángyártókat a versenyképesség és ár fenntartása érdekében, és meg kell oldani a használt fatermékek visszavételét, nagyüzemi hasznosítását a környezeti és egészségügyi kockázatok minimalizálása, valamint az alapanyagkészlet kímélése céljából.

Ha a kazángyártók a fentebb tárgyalt paraméterekkel rendelkező, kisteljesítményű tüzelőberendezések gyártását vállalják, amelyben az A II kategóriájú (nem veszélyes) fahulladék kockázat nélkül és az előírt határértékeket betartva eltüzelhető, akkor lakossági/kisüzemi célú égetése is szóba jöhet.

Az elvégzett munka mérési eredményei reprezentatíven tükrözik a kiskazánok emissziós értékeit forgácslaphulladék eltüzelése esetén, ezt kiindulópontként tekintve, a méréseket megismételve, támpontot nyújthatnak a szabályozás során meghatározandó kibocsátási határértékek precíz, betartható és tartható megállapításához.

Bízom abban, hogy elképzelésem meghallgatásra talál.

## 5. ÁBRAJEGYZÉK

1. *ábra.* Hulladékhasznosítási körfolyamat
2. *ábra.* Fafeldolgozási hulladékok felhasználási területei 2003-ban
3. *ábra.* Használt forgácslap hulladékának kezelési lehetőségei
4. *ábra.* Forgácslapgyártás folyamatábrája, a gyártás során keletkező hulladékok keletkezési helyeivel és azok felhasználásával
5. *ábra.* A nedvességtartalom hatása a fa fűtőértékére
6. *ábra.* Különböző minták fűtőértékeinek összehasonlítása
7. *ábra.* Fa égetésének folyamata
8. *ábra.* CO/λ jelleggörbe
9. *ábra.* CO/λ jelleggörbe változása
10. *ábra.* NO<sub>x</sub> mennyiségének változása a hőmérséklet függvényében
11. *ábra.* Fatüzelés PAH-vegyületei
12. *ábra.* Az egyéb források dioxin, furán kibocsátási arányai
13. *ábra.* A pirolízis és a gázosítás részfolyamatai
14. *ábra.* A pirolízis-berendezés felépítése
15. *ábra.* A tüzelőberendezés általános felépítése
16. *ábra.* Lombos fafajok fűtőértéke
17. *ábra.* Tülevelű fafajok fűtőértéke
18. *ábra.* Különböző falemezek és gyanták fűtőértéke
19. *ábra.* O<sub>2</sub> és CO<sub>2</sub> kapcsolata a mérés teljes ideje alatt
20. *ábra.* Az oxigén és a szén-monoxid kapcsolata a kiválasztott idő alatt
21. *ábra.* Az összes gáz egymáshoz viszonyított aránya a mérés ideje alatt
22. *ábra.* O<sub>2</sub> és CO<sub>2</sub> kapcsolata a mérés teljes ideje alatt
23. *ábra.* Az oxigén és a szén-monoxid kapcsolata a kiválasztott idő alatt
24. *ábra.* Az összes gáz egymáshoz viszonyított aránya a mérés ideje alatt
25. *ábra.* O<sub>2</sub> és CO<sub>2</sub> kapcsolata a mérés teljes ideje alatt
26. *ábra.* Az oxigén és a szén-monoxid kapcsolata a kiválasztott idő alatt
27. *ábra.* Az összes gáz egymáshoz viszonyított aránya a mérés ideje alatt
28. *ábra.* O<sub>2</sub> és CO<sub>2</sub> kapcsolata a mérés teljes ideje alatt
29. *ábra.* Az oxigén és a szén-monoxid kapcsolata a kiválasztott idő alatt
30. *ábra.* Az összes gáz egymáshoz viszonyított aránya a mérés ideje alatt

## 6. TÁBLÁZATJEGYZÉK

1. táblázat. Használt fa jellemző paraméterei
2. táblázat. Használt fa (Altholz) felhasználása Németországban
3. táblázat. Használt fa (Altholz) hasznosítása üzemenagyság szerint Németországban
4. táblázat. Natúr és kezelt fa elem tartalma
5. táblázat. Fa, valamint forgácslap/farostlemezt elemi összetétele és fűtőértéke
6. táblázat. Néhány fafaj átlagos égéshője
7. táblázat. Fontosabb fafajok égéshője tömegre (kJ/kg) és fatérfogatra (MJ/m<sup>3</sup>) vonatkoztatva (u = 0 %)
8. táblázat. A különböző állapotú fa fűtőértéke
9. táblázat. Forgácslap-minták fűtőérték adatai
10. táblázat. Fa és fahulladékok idegenanyagai
11. táblázat. Fa- és fahulladékégető berendezéseknél használt porleválasztók
12. táblázat. Tiszta fa és fahulladék (A I) por és CO kibocsátási határértékei (BImSchV szerint)
13. táblázat. Nyers, ill. felületkezelt falemezek, valamint ragasztott rétegelt hosszoldott fatermékek és hulladékaik (A II) por és CO kibocsátási határértékei (BImSchV szerint)
14. táblázat. Fatüzelés elméletileg lehetséges NO<sub>x</sub>-csökkentési hatásfokai optimális üzemi körülmények között
15. táblázat. NO<sub>x</sub>-emissziók és tüzelőanyag N<sub>2</sub> átalakulása NO-vá, fa és forgácslap eltüzelése során, különböző égetési technika és primer levegő hozzáadással. A redukálózóna hőmérséklete 1 160 °C, tartózkodási idő 0,3-0,6 sec.
16. táblázat. Fa égésekor keletkező szilárd légszennyezők elemi összetétele
17. táblázat. Fenyőfa égésekor keletkező emissziók értékei
18. táblázat. Falemezgyártás várható volumene Magyarországon 1980-2020 között
19. táblázat. A falemezgyártás várható fa alapanyagigénye 2000-2020 (ezer m<sup>3</sup>)
20. táblázat. Tüzelőanyagok káros anyag kibocsátása
21. táblázat. A berendezésre jellemző műszaki adatok
22. táblázat. Mért referencia-adatok P1 pontforrásra
23. táblázat. Mért füstgáz-összetevők P1 pontforrásra
24. táblázat. Füstgáz-összetevők félórás középértékei P1 pontforrásra 1.
25. táblázat. Füstgáz-összetevők félórás középértékei P1 pontforrásra 2.
26. táblázat. Füstgáz-összetevők félórás középértékei P1 forrásra - számított értékek 1.
27. táblázat. Füstgáz-összetevők félórás középértékei P1 forrásra - számított értékek 2.
28. táblázat. Mért szilárd anyag-, nedvesség- és statikus nyomás értékek a füstgázban
29. táblázat. F<sub>n</sub> minta füstgázkomponenseinek mért értékei és számított koncentrációi
30. táblázat. A füstgáz jellemző paraméterei
31. táblázat. A füstgáz komponenseinek emissziói
32. táblázat. F<sub>1</sub> minta füstgázkomponenseinek mért értékei és számított koncentrációi
33. táblázat. A füstgáz jellemző paraméterei
34. táblázat. A füstgáz komponenseinek emissziói
35. táblázat. F<sub>n</sub> és F<sub>1</sub> minták emisszióinak összehasonlítása
36. táblázat. I<sub>1</sub> minta füstgázkomponenseinek mért értékei és számított koncentrációi
37. táblázat. A füstgáz jellemző paraméterei
38. táblázat. A füstgáz komponenseinek emissziói
39. táblázat. A gázkomponensek mért értékei és számított koncentrációi
40. táblázat. A füstgáz jellemző paraméterei
41. táblázat. A füstgáz komponenseinek emissziói

- 42. táblázat.  $I_n$  és  $I_l$  minták emisszióinak összehasonlítása
- 43. táblázat. A gázkomponensek koncentrációi natúr mintáknál
- 44. táblázat. A füstgáz komponenseinek emissziói natúr mintáknál
- 45. táblázat. A gázkomponensek koncentrációi laminátos mintáknál
- 46. táblázat. A füstgáz komponenseinek emissziói laminátos mintáknál
- 47. táblázat. A referencia-kazán füstgázösszetevőinek koncentráció-értékei
- 48. táblázat. A négy minta füstgázösszetevőinek koncentrációi

## 7. TÉZISEK

A forgácslap alapú, használt fatermékek égetése, valamint a kiértékelés elvégzése után a következő téziseket fogalmaztam meg:

1. Megállapítom, hogy a hazai kis névleges bemenő hőteljesítményű ( $< 140 \text{ kW}_{\text{th}}$ ) tüzelőberendezések többségének műszaki állapota nem felel meg sem a hazai, sem az EU által elvárt minőségi szintnek, a szabályozatlanságból és a műszaki paraméterek nem kellő alaposágú megválasztása miatt az égetés során a távozó füstgázok koncentrációja igen magas, a szén-monoxid értékek a mérőműszer felső mérési határát is túlléphetik.

A légszennyezés mértéke ebből következően nagy, nemcsak környezeti, hanem egészségügyi problémák is felléphetnek a tüzelőberendezés tartós használata során.

2. Megállapítom, hogy forgácslap alapú termék tüzelőberendezésben való energetikai hasznosítását és a távozó füstgáz összetételét nagyban befolyásolja, hogy milyen faalapanyagból és segédanyagok hozzáadásával készült.

Az Interspan főleg fenyő és nyár, a Falco pedig lombos faalapanyagból állít elő forgácslapot. A falemezek színében és térfogati sűrűségbeli különbségén túl eltérés mutatkozik a fenyőben lévő gyantatartalom miatt az égési tulajdonságokban: a gyantatartalom kismértékben emeli a fa fűtőhatását és a „kék köd”-jelenség kialakulását.

A kaloriméteres vizsgálatok során a négyféle laplemez fűtőérték és egyéb adatai a következőkben foglalhatók össze: a laminátos forgácslap fűtőértéke (a laminát miatt) magasabb a nyersnél, átlagosan 1-2 MJ/kg-mal.

A minták bombakén tartalma (amely nem fa-eredetű) 1 % körüli, jelentős érték és a hozzáadott edzóból származik.

3. A fában gyakorlatilag nincs kén. Megállapítom, hogy az alkalmazott edzónél (ammónium-szulfát) minőség- és koncentrációbeli különbség lép fel, (a különböző hazai gyárak falemezei esetén) az égetés során a füstgázban megjelenő (és fatüzelésnél nem jellemző) kén-dioxid gáz fő forrása tehát a hozzáadott edző.

4. Méréseim alapján megállapítom, hogy a két hazai gyár forgácslapjaiban jelen lévő kénmennyiség eltérő, tehát a kén-dioxid emisszió is különbözik:  $I_n$ -minta átlagos koncentrációja  $46,39 \text{ mg/m}^3$ ,  $F_n$ -minta átlagos koncentrációja  $141,9 \text{ mg/m}^3$ . Felületkezelt mintáknál:  $I_1$ -minta átlagos koncentrációja  $49,66 \text{ mg/m}^3$ ,  $F_1$ -minta átlagos koncentrációja  $467,83 \text{ mg/m}^3$ .

5. Forgácslaptermék pirolízise során a következő értékeket és anyagokat mértem a  $800 \text{ }^\circ\text{C}$ -on elvégzett művelet során (F - Falco, I - Interspan):

F-mintáknál faszén formában az anyag egyötöde maradt vissza. 56-58 m/m% alakult át 4,2-es pH-jú folyadékká és a keletkezett gázok összetétele az alábbi: több, mint 50 % etilén, 10 % propilén, natúr mintánál 7,5 % metán és 5,4 %  $C_4$  telített, laminátosnál 22 % metán és 10,5 %  $C_4$  telített.

I-mintáknál faszén formában az anyag körülbelül egyhatoda maradt vissza. 54-56 m/m% alakult át 4,2-es pH-jú folyadékká és a keletkezett gázok összetétele az alábbi: több, mint 50

% etilén, natúr mintánál 10,8 % metán és 15,7 % propilén, laminátosnál 18,69 % metán és 10,42 % propilén.

6. Megállapítom, hogy a kísérletben résztvevő tüzelőberendezésben a füstgázok tartózkodási ideje rendkívül alacsony (tized másodpercek a 2 másodperces minimum helyett), ezért a tüzelőberendezés konstrukciós változtatása (pl. tűztér fajlagos felületének növelése) elengedhetetlen ahhoz, hogy megvalósuljon a tökéletes égés és alacsony értéken tartható legyen a fatüzelés emissziója (elsősorban az  $\text{NO}_x$ ,  $\text{C}_x\text{H}_y$ , CO esetén).

A szakaszos helyett folyamatos tüzelőanyag beadagolás és a  $\lambda$ -szám 1-2 közötti, optimálishoz közeli tartása (primer és szekunder levegő szabályozott hozzáadása és füstgázventilátor működésének paraméterezése) hozzájárulhat a tökéletes égés körülményeinek megteremtéséhez.

7. Megállapítom, hogy a tűztér ajtajának működés közben történő nyitása, a nem homogén mintából történő, szakaszos tüzelőanyag-beadagolás és az égéslevegő szabályozatlan hozzáadása elsősorban a füstgáz szén-hidrogén és szén-monoxid koncentrációját jól nyomon követhetően megemeli; Falco-mintáknál (az égési folyamat szabályozatlanságából adódóan) a szén-hidrogén értékek 2000-3000  $\text{mg}/\text{m}^3$ , a szén-monoxid értékek 6000-11000  $\text{mg}/\text{m}^3$  értékek körül változtak. Ugyanezek az értékek Interspan-mintáknál 100-1200, illetve 1800-4200  $\text{mg}/\text{m}^3$  körüli értékeknek adódtak. A teendő: faanyagra megállapított optimális égéslevegő, valamint szabályozott tüzelőanyag-beadagolás alkalmazása, ezen kívül a tüzelőberendezés műszaki paramétereinek fatüzelésre történő beoptimalizálása elengedhetetlen a környezetkímélő égetés megvalósításához.

8. Megállapítom, hogy a hazai törvényhozásból hiányzik egy, kizárólag a fa és fahulladékokkal foglalkozó jogszabály, amely egyértelműsítene a különböző fahulladék kategóriákat, a veszélyességet (ebből következően a hasznosítási lehetőségeket) jelentő adalékanyagok körét és koncentrációját.

Ma a nyers vagy laminátos forgácslap (a német szabályozásban A II kategória) égetése a károsabb fahulladékokkal egy megítélés alá kerül, ami a kisvállalkozók/háztartások számára súlyos probléma.

9. Az asztalos és faipari vállalkozók (és a háztartások) által használt kis teljesítményű kazánokra nincsenek (differenciált módon sem) előírva a kibocsátási határértékek a berendezés teljesítménye alapján. Az elvégzett mérések alapján - a megfelelő konstrukcióval rendelkező és hitelesített tüzelőberendezések forgalomba hozatala után - paraméterezhetővé válhat a kiskazánok füstgáz emissziója, ezáltal a környezetszennyezés mértéke csökkenthető.

A kibocsátási határértékek megadása és a fahulladékok kategorizálása elengedhetetlen, a hazai viszonyokra adaptálva - javaslatom a német szabályozás átvétele.



## 8. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönöm doktori munkám során nyújtott támogatását, értékes szakmai tanácsait, javaslatait, valamint fáradhatatlan ösztönzését *Schöberl Miklósnak*, témavezetőmnek;

rajta kívül mindazoknak köszönettel tartozom, akik lehetővé tették, hogy elkészüljön a munka, nevezetesen:

- ❖ Albert Leventének a darológép használatáért,
- ❖ Asztalos Gyulának rendkívül hasznos gyakorlati meglátásaiért, a tüzelőberendezés biztosításáért, a minták előkészítésében nyújtott segítségéért,
- ❖ Barta Editéknak, Polgár Rudolfnak és Stipta Józsefnek a számításokért,
- ❖ a Botanikus Kert dolgozóinak a minták előkészítésében nyújtott segítségéért,
- ❖ Divós Ferencnek a szitaberendezés használatáért,
- ❖ Erdős Józsefnek és Balogh Csabának, valamint kollégáiknak a mérés kivitelezésében nyújtott segítségükért és a kiértékelés megkönnyítéséért,
- ❖ a Faanyagtudományi Intézet munkatársainak a famintákért,
- ❖ a Falco Rt., a Falco Sopron Irodabútor Stúdió, a Bástya Bútorlap Centrum Kft. és az Interspan Kft. munkatársainak a minták előkészítésében nyújtott segítségükért,
- ❖ Fekete Szabolcsnak a mintákkal kapcsolatos mindennemű szervező munkáért,
- ❖ Horváth Imrének és munkatársainak a berendezés fáradságos szállításáért,
- ❖ a Kémiai Intézetnek a kaloriméter használatáért,
- ❖ Kisfalvi Árpádnak a dioxin- és furánvegyületekben való elmélyüléséért,
- ❖ a Lemezipari Tanszék dolgozóinak, a szemléletformálásban játszott szerepükért,
- ❖ Mátyás Csabának a háttér biztosításáért,
- ❖ munkatársaimnak,
- ❖ Nagy Gézának a szakirodalomért,
- ❖ Nagy Lajosnak és kollégáinak a pirolízis vizsgálatokért,
- ❖ Németh Józsefnek többek között az életciklus-elemzés rejtelseibe történő bevezetéséért,
- ❖ Németh Károlynak, hogy elindított doktori pályámon,
- ❖ Pájer Józsefnek, hogy nagyfokú türelmet és megértést tanúsított doktori feladatokkal kapcsolatos teendőim ellátásából adódó elfoglaltságaim elvégzéséhez,
- ❖ Próder Józsefnek a fűtőérték vizsgálatokban nyújtott segítségéért,
- ❖ a szombathelyi KöFe-nek az információkért, a felajánlott lehetőségért, a jegyzőkönyvekért,
- ❖ Szűcs István Urat külön köszönet illeti az évek során tartott kapcsolatért, a szakirodalomhegyekért és az egyetemeink közötti baráti kapcsolatok ápolásáért,
- ❖ Takáts Péternek (hálából) az adatokért és a szitaberendezés használatáért,
- ❖ Tóth Dezsőnek a mérési helyszín kiválasztásáért,
- ❖ Tóth Sándor Úrnak a szakirodalmakért,
- ❖ Vatai Józsefnek és kollégáinak az országos tüzelőberendezés felmérés adataiért,
- ❖ a Vértesi Erőmű munkatársainak a kaloriméteres vizsgálatokért,
- ❖ mindazoknak, akik a véletlen folytán nem kerültek felsorolásra.

Köszönöm családomnak szeretetüket, támogatásukat és végtelen türelmüket.

Köszönetet szeretnék mondani *Winkler Andrásnak*, hozzám való határtalan jóindulatáért és feltétlen támogatásáért - nélküle bizonyosan nem jutottam volna el ideig.

## 9. FELHASZNÁLT IRODALMAK JEGYZÉKE

ALPÁR, T. (1971): Forgácslapipari kutatások többféle fafaj együttes felhasználásával kapcsolatban. Faipar XXI. No. 8., pp. 247-251.

ÁRVAI, J. (1992): Hulladékgazdálkodási kézikönyv. Mezőgazda Kiadó, Budapest. p 550.

BAI, A. – LAKNER, Z. – MAROSVÖLGYI, B. – NÁBRÁDI, A. (2002): A biomassza felhasználása. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest. p. 226.

BAI, A. – ZSUFFA, L. (2001): A biomassza tüzelési célú hasznosítása. Gondolatok a jövőbeni elterjesztéshez. Fűtéstechnika, megújuló energiaforrások. Műszaki Kiadványok, Budapest. IV. No. 64., pp. 81-84.

BALOGH, I. – SZÜCS, I. – WOPERÁNE (1983): Levegőtisztaság-védelmi módszerek és berendezések. BME, Budapest, Tankönyvkiadó. p 190.

BAROS, Z. (2003): Biogén eredetű megújuló energiaforrások és felhasználási lehetőségeik. Segédanyag a „Légköri erőforrások” című speciálkollégiumhoz. Budapest. p 13.

BARÓTFI, I. (SZERK.) (2000/1): Környezettechnika. Mezőgazda Kiadó, Budapest. p 981.

BARÓTFI, I. (2000/2): Biomassza alkalmazások Magyarországon - Megújuló energiák Magyarországon és Németországban konferencia előadaskötete, Budapest.

BEÉR, J. (1993): Stacionárius égetés, mint környezetvédelmi vezérmotívum. Magyar Kémikusok Lapja, XLVIII. No. 1., pp. 1-14.

BILBAO, R. ET AL. (1998): NO<sub>x</sub> reduction in biomass combustion by NH<sub>3</sub>-SNCR. pp. 1712-1715. In: KOPETZ, H. – WEBER, T. – PALZ, W. – CHARTIER, P. – FERRERO, G. L. (EDITED) (1998): 10<sup>th</sup> European Conference and Technology Exhibition. Biomass for Energy and Industry. Germany, C.A.R.M.E.N.

BOHOCZKY, F. (1998): A biomassza energetikai hasznosítása. Alternatív energiák, 7. füzet, Budapest.

BOHOCZKY, F. (2004): Környezetvédelem és az energetika.  
<http://www.energiamedia.hu/menu/kornyved/kornyved004.html>

BONDOR, A. – SOLYMOS, R. (SZERK.) (1998): Magyarország az ezredfordulón. Erdő-Vad-és Fagazdaság. MTA Agrártudományok Osztálya, Budapest. p 233.

BORONKAI, L. (2003/1): Ökológiai mérleg készítése faipari termékekre. Faipar 51., No. 3. pp. 13-18.

BORONKAI, L. (SZERK.) (2003/2): Faipari kézikönyv III. Faipari Tudományos Alapítvány, Sopron. p 365.

BORONKAI, L. – GERGELY, G. – MOLNÁR, S. (2003): NKFP Erdő és Fa 7.6 alprogram: Modellek és adatbázis kidolgozása fatermékek, faszerkezetek ökológiai mérlegének összeállításához. A fafeldolgozás környezetvédelmi hatásainak vizsgálata, különös figyelemmel a keményfa porok okozta egészségügyi problémákra, új típusú elszívófejek és rendszerek kialakítása. III. Részjelentés (Forgácsolaggyártás ökológiai mérlegének összeállítása. Gőz-gáz kibocsátás csökkentésének lehetőségei). Sopron.

BORONKAI, L. – GERGELY, G. – MOLNÁR, S. (2004): NKFP Erdő és Fa 7.6 alprogram: Modellek és adatbázis kidolgozása fatermékek, faszerkezetek ökológiai mérlegének összeállításához. A fafeldolgozás környezetvédelmi hatásainak vizsgálata, különös figyelemmel a keményfa porok okozta egészségügyi problémákra, új típusú elszívófejek és rendszerek kialakítása. IV. Részjelentés (Bútoripari üzemek ökológiai mérlegének elkészítése. Tüzelőberendezések környezetszennyezése.). Sopron.

BORONKAI, L. – MOLNÁR, S. (2002): NKFP Erdő és Fa 6.14.7.6 alprogram: Modellek és adatbázis kidolgozása fatermékek, faszerkezetek ökológiai mérlegének összeállításához. A fafeldolgozás környezetvédelmi hatásainak vizsgálata, különös figyelemmel a keményfa porok okozta egészségügyi problémákra, új típusú elszívófejek és rendszerek kialakítása. Részjelentés (Szakirodalom feldolgozása, ökológiai mérlegek sémáinak elkészítése). Sopron.

CSEVÁR, A. (SZERK.) (2000): Hulladékgazdálkodási tanácsadó. Verlag Dashöfer, Budapest. p 2600.

DIBÁCZI, A. (2005): Elsődleges fafeldolgozás környezeti terhelések felmérése rakodólap és bútorléc gyártás esetén. Szakdolgozat, NyME-FMK, Sopron.

DITTRICH, R. (1979): Die Verbrennung von Holzabfällen - ein Weg zur Heizkosteneinsparung. Holzrundschau. p 315.

EBERT, H. P. (1997): Fatüzelés. Cser Kiadó, Budapest. p 111.

EGYED, A. (1994): A faalapanyagok komplex felhasználásának lehetőségei. Szakdolgozat, Sopron.

FARKAS, O. – NAGY, G. (1985): Tüzeléstan. Tankönyvkiadó, Budapest. p 460.

FENYVESI, L. – PECZNIK, P. (2004): Is Hungary the source of bioenergy for Europe? pp. 542-545. In: HELM, P. – GRASSI, A. – FJÄLLSTRÖM, T. – VAN SWAAIJ, W. P. M. (EDITED)(2004): Second World Biomass Conference. Biomass for Energy, Industry and Climate Protection. Italy. Vol. I.

FLEISCHER, G. – ACKERMANN, R. – SCHILLING, R. (1993): Ein Schritt auf dem Weg zur Ökobilanz. AbfallwirtschaftsJournal 5, No. 5. pp. 379-396.

FÖRSTNER, U. (1993): Környezetvédelmi technika. Springer Hungarica Kiadó, Budapest. pp. 373-412.

FRANKE, R. – ROFFAEL, E. (1998): Zum Recycling von Span- und MDF-Platten. Holz als Roh- und Werkstoff. 56. No. 6., p 381.

FRÜHWALD, A. (1998): Wood Products at the end of their Life. Material Recycling, Energy Generation, or Landfill Technical, Economical and Ecological Aspects. In: Workshop proceedings, Recycling, Energy, and Market interactions. UN-ECE Timber Committee, Istanbul, Turkey.

FRÜHWALD, A. – POHLMANN, C. M. (2001): Informationsdienst Holz. Holz, Rohstoff der Zukunft - nachhaltig verfügbar und umweltgerecht. DGfH, München.

FRÜHWALD, A. – SCHARAI-RAD, M. – HASCH, J. (1997): Informationsdienst Holz. Erstellung von Ökobilanzen für die Forst- und Holzwirtschaft. DGfH, München.

FRÜHWALD, A. – WEGENER, G. – SCHARAI-RAD, M. – ZIMMER, B. – HASCH, J. (1996): Grundlagen für Ökopprofile und Ökobilanzen in der Forst- und Holzwirtschaft. Abschlußbericht DGfH/FAF, München/Bonn, p 168.

FÜLÖP, Z. (1969): Hőtechnikai alapmérések. Tankönyvkiadó, Budapest. p 240.

GAEGAUF, C. K. – WIESER, U. (1998): Biomass burner with low emissions of particulates. pp. 1509-1512. In: KOPETZ, H. – WEBER, T. – PALZ, W. – CHARTIER, P. – FERRERO, G. L. (EDITED) (1998): 10<sup>th</sup> European Conference and Technology Exhibition. Biomass for Energy and Industry. Germany, C.A.R.M.E.N.

GÉMESI, J. (2002): Az állami erdőgazdálkodás fejlesztése. In: PÉTERFALVI, J. (SZERK.) NYME EMK X. Wood Tech Erdészeti Szakmai Konferencia, Sopron.

GILBERT, T. (1988): Abgase von Feuerungsanlagen. VDI Berichte Nr. 674. pp. 1-12.

GOD, CH. – MUGRAUER, F. (1990): Umweltbelastung durch kleine Einzelfeuerungen für feste Brennstoffe. Montanuniversität, Leoben.

GOOD, J. – NUSSBAUMER, TH. (1998): Efficiency improvement and emission reduction by advanced combustion control technique with CO/LAMBDA control and setpoint optimization. pp. 1362-1365. In: KOPETZ, H. – WEBER, T. – PALZ, W. – CHARTIER, P. – FERRERO, G. L. (EDITED) (1998): 10<sup>th</sup> European Conference and Technology Exhibition. Biomass for Energy and Industry. Germany, C.A.R.M.E.N.

DE GRUITER, C. J. (1998): Stop burning biomass! pp. 377-379. In: KOPETZ, H. – WEBER, T. – PALZ, W. – CHARTIER, P. – FERRERO, G. L. (EDITED) (1998): 10<sup>th</sup> European Conference and Technology Exhibition. Biomass for Energy and Industry. Germany, C.A.R.M.E.N.

HALUPCZOK, U. (2000): Problemlose Verwertung von imprägniertem Holz. Holz-Zentralblatt, Nr. 123. p 1677.

HASCH, J. (2001): Ökologische Betrachtung von Holzspan- und Holzfaserverwerkstoffen. Dissertation Univ. Hamburg.

HASLER, PH. – CANDINAS, T. – NUSSBAUMER, TH. (1998): Utilization of ashes from the combustion of hay, miscanthus, hemp, straw, and wood as fertilizer. pp. 192-195. In: KOPETZ, H. – WEBER, T. – PALZ, W. – CHARTIER, P. – FERRERO, G. L. (EDITED) (1998):

10<sup>th</sup> European Conference and Technology Exhibition. Biomass for Energy and Industry. Germany, C.A.R.M.E.N.

HEINZINGER, W. (1988): Die Chance Holz. Der andere Weg. Leuschner und Lubensky Verlag, Graz. p 387.

HELLER, W. (1995): Die Spanplatten-fibel. Eigenausgabe, Hameln. p 366.

HERBELL, J-D. – NEUMANN, P. – BRILL, S. – SENGER, W. (1997): Konzept einer Anlage zur energetischen Verwertung von Alt- und Resthölzern im Rahmen geschlossener Produktkreisläufe. pp. 243-246. In: MARUTZKY, R. (1997): Moderne Feuerungstechnik zur energetischen Verwertung von Holz und Holzabfällen. Springer-VDI-Verlag, Düsseldorf, p 357.

HORVÁTH, G. (1995): Forgácslap gyártástechnológiák környezetvédelmi felmérése és összehasonlítása. Egyetemi diploma, Sopron.

HÓBÖR, T. (SZERK.) (2002): Tegyük rá pontot! Magyar Asztalos és Faipar, No. 1., p. 47.

HÓBÖR, T. (SZERK.) (2003): Dobjuk el a kazánunkat! II. rész. Magyar Asztalos és Faipar, No. 6., pp.74-75.

JAAKKO PÖYRY CONSULTING (1998): Government Policy Effects on Substitution. Unpublished note. On assignment for the Joint FAO-ECE Team of Public Relation Specialists in the Forest and Forest Industry Sector, The Subgroup Substitution Project. Vantaa, Finland.

JIRKOWSKY, CH. (2001): Rauchgasreinigung von Biomasse-Kleinfeuerungen. Holz-Zentralblatt, Nr. 55. p 716.

JUNG, L. (2006): A faenergetika súlya az erdőgazdálkodásban. I. Ökoenergetikai és IX. Biomassza Konferencia, Sopron. p 20.

KARLSSON, R. (1994): LCA as a guide for the improvement of recycling. Proceeding of the European Workshop on Allocation in LCA, Leiden.

KAUFMANN, H. – NUSSBAUMER, TH. (1998): Characteristics and formation of fly ash particles in biomass furnaces. pp. 1326-1329. In: KOPETZ, H. – WEBER, T. – PALZ, W. – CHARTIER, P. – FERRERO, G. L. (EDITED) (1998): 10<sup>th</sup> European Conference and Technology Exhibition. Biomass for Energy and Industry. Germany, C.A.R.M.E.N.

KAZAI, Zs. (2006): Zöldek állásfoglalása a hazai biomassza felhasználásról. Veszprém.  
<http://www.zoldtech.hu/cikkek/20060314zoldek>

KÁLDI, P. – SCHOLTZ, J. (1975): A levegőtisztaság védelme. BME, Budapest. p 194.

KÁNNÁR, A. (1996): A kéreg hasznosításának lehetőségei. Diplomadolgozat, Sopron.

KISFALVI, Á. (2003): Toxikus szerves mikroszennyező komponensek (dioxinok, furánok és PCB-k) előfordulási lehetőségei a környezetben I. ÁNTSZ Budapest Fővárosi Intézet, Közegészségügyi Laboratóriumi Főosztály, Budapest.

<http://www.aquadocinter.hu/themes/Dioxin/Dioxin20030703.htm>

KOLLMANN, F. (1982): Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe. 2. Auflage, Springer Verlag Berlin, Heidelberg, N.Y.

KOVÁCS, B. (2004): Levegőtisztaság-védelem. Veszprémi Egyetemi Kiadó, Veszprém. p 208. [http://vek3.uranus.vein.hu:4505/www\\_eng/pdf/63774](http://vek3.uranus.vein.hu:4505/www_eng/pdf/63774)

KOVÁCS, I. (1979): Faanyagismerettan. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest. p 382.

KOVÁCS, J. – MOLNÁR, S. (1997): Gondolatok a fahasznosítási és feldolgozási stratégia kialakításához. Bútor és Faipar, III. No. 1-2., p. 28.

KOVÁCS, J. – MOLNÁR, S. (1998): A fafeldolgozás ökológiai összefüggései. ProfiFa, No. 6., pp. 38-39.

KOTSIS, L. – MAROSVÖLGYI, B. (2006): Kémiai és energetikai célú gáz előállítása biomasszából. I. Ökoenergetikai és IX. Biomassza Konferencia, Sopron. p 16.

KÖNIG, B. – ROFFAEL, E. – DIX, B. – SCHNEIDER, TH. (2006): Emissionen von Spanplatten mit hohem Rindenanteil. Holz-Zentralblatt, Nr. 6. pp. 160-161.

KÖRNYEZETVÉDELMI KISKÖNYVTÁR 3. (1999): Kézikönyv a veszélyes hulladékokról. Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó, Budapest.

KRAUSE, TH. (1997): Neue MSR-Konzepte an Holzfeuerungsanlagen. pp. 77-84. In: MARUTZKY, R. (1997): Moderne Feuerungstechnik zur energetischen Verwertung von Holz und Holzabfällen. Springer-VDI-Verlag, Düsseldorf, p 357.

KRIPPENSTAPEL, CH. (2001): In unbehandeltem Holz kein Formaldehyd nachweisbar. Holz-Zentralblatt, Nr. 126. p. 1555.

KUCERA, J. L. (1996): A fa tulajdonságai és hasznosítása, Bútor és Faipar II. No. 11-12., pp. 22-25.

KUHLMANN, A. (1993): Amit a vállalkozónak a környezetvédelemről tudni kell. Ipar a Környezetért Alapítvány, Budapest. pp. 50-59.

LÁBODY, J. (1995): Bevezetés a veszélyes hulladékok égetésének technológiájába. I-IV. kötet. Ipar a Környezetért Alapítvány, Budapest.

LÁBODY, J. (2000): Veszélyes hulladékok égetése, korszerű égetőművek üzemeltetése. NETI Kft., Budapest. I. kötet. p 236.

LÁNG, I. (SZERK.) (1985): A biomassza komplex hasznosításának lehetőségei. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest. p 249.

LÁZÁR, L. ÉS MUNKAKÖZÖSSÉGE (1969): Faforgács- és pozdorjalapok. Műszaki Könyvkiadó, Budapest. p 281.

LELIS, R. – ROFFAEL, E. (2001): Formaldehyd- und Säureabgabe bei Spanplatten. Holz-Zentralblatt, Nr. 57. pp. 750-751.

MAIR, R. – POINTNER, L. (REDAKT.) (2003): TÜV Österreich. Prüfbericht der akkreditierten Prüf- und Überwachungsstelle. Geschäftsbereich Umwelttechnik und Chemie. Prüfzentrum Wels. Durchführung von Emissionsmessungen an der Pelletsfeuerungsanlage, Salzburg. p 25.

MANTAU, U. – WEIMAR, H. (2003): Standorte der Holzwirtschaft, Altholz. Abschlussbericht. Universität Hamburg, p 18.

MAROSVÖLGYI, B. (1997): A fa, mint energiahordozó, energetikai faültetvények. In: A biomassza energetikai hasznosítása (Barótfi I. szerk.), Budapest. pp. 1-68.

MAROSVÖLGYI, B. (1998): A fa energetikai célú hasznosítása. MTA Erdészeti Bizottsági Ülése, Budapest.

MAROSVÖLGYI, B. (2001): Biomassza-hasznosítás I. NyME Energetikai Tanszék, előadások. Sopron.

MAROSVÖLGYI, B. (2002): Új igények és lehetőségek a fa energetikai hasznosításában. NyME EMK X. Woodtech Erdészeti Szakmai Konferencia, Sopron.

MAROSVÖLGYI, B. (2006): Energetikai ültetvények. Eredmények és gondok az alkalmazásban. I. Ökoenergetikai és IX. Biomassza Konferencia, Sopron. p 25.

MAROSVÖLGYI, B. – ZSUFFA, L. (1999): Faapríték-tüzelés. "Csináljuk jól!" - sorozat. Budapest. No. 7., pp. 3-15.

MARTON, M. (1996): A fa alapú fűrészipari hulladékok energetikai célú hasznosítása. Szakdolgozat, Sopron.

MARUTZKY, R. (1990): Entsorgung von mit Holzschutzmitteln behandelten Hölzern. Holz als Roh- und Werkstoff. 48. No. 1., p. 19.

MARUTZKY, R. (1996): Qualitätsanforderungen und Entsorgungswege für Rest- und Gebrauchthölzer. In: Marutzky/Schmidt (Hrsg.), Alt- und Restholz. Düsseldorf, VDI-Verlag, pp. 25-47.

MARUTZKY, R. (1997/1): Moderne Feuerungstechnik zur energetischen Verwendung von Holz und Holzabfällen. Springer - VDI - Verlag, Düsseldorf. p 357.

MARUTZKY, R. (1997/2): Energiegewinnung aus Rest- und Gebrauchtholz. pp. 1-18. In: MARUTZKY, R. (1997): Moderne Feuerungstechnik zur energetischen Verwertung von Holz und Holzabfällen. Springer-VDI-Verlag, Düsseldorf, p 357.

MARUTZKY, R. – SCHMIDT, W. (1996): Alt- und Restholz. Energetische und stoffliche Verwertung, Beseitigung, Verfahrenstechnik, Logistik. VDI Verlag, Düsseldorf. p 204.

MARUTZKY, R. – SEEGER, K. (1999): Energie aus Holz und anderer Biomasse. DRW-Verlag, Stuttgart. p 352.

MENSING, A. – MAYER, B. – PAULI, B. (1997): Energetische Verwertung von Holzresten mit der Wirbeldüsenrostfeuerung. pp. 111-121. In: MARUTZKY, R. (1997): Moderne Feuerungstechnik zur energetischen Verwertung von Holz und Holzabfällen. Springer-VDI-Verlag, Düsseldorf, p 357.

MÉRÉSI JEGYZŐKÖNYV GYŐR KÖFE, 2005.

MOHN, J. – HOFER, P. (2000): Emissionen und Stoffflüsse von (Rest-)Holzfeuerungen. Messverfahren, Auswertung und Resultate. EMPA Bericht, Dübendorf. p 180.

MOLNÁR, S. (1999): Faanyagismerettan, Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest. p 467.

MOLNÁR, S. (SZERK.) (2000): Faipari kézikönyv I. Faipari Tudományos Alapítvány, Sopron. p 428.

MOLNÁR, S. – TÓTH, B. (2006): A faipari, fűrészipari feldolgozás és a biomassa energetikai hasznosításának kapcsolata Magyarországon. I. Ökoenergetikai és IX. Biomassa Konferencia, Sopron. p 23.

MOLNÁRNÉ POSCH, P. (SZERK.) (2002): Faipari kézikönyv II. Faipari Tudományos Alapítvány, Sopron. p 461.

MOSER, M. – PÁLMAI, GY. (1984): A környezetvédelem alapjai. Tankönyvkiadó, Budapest. p 494.

MOSER, M. – PÁLMAI, GY. (2006): A környezetvédelem alapjai. Tankönyvkiadó, Budapest.

NAGY, G. (1994): Mező- és erdőgazdálkodási hulladékok környezetkímélő eltüzelésére kifejlesztett kazáncsalád. YMMF Tudományos Közleményei, 21. szám, pp. 98-109.

NAGY, G. – PAPP, Z. (1997): Levegővédelem.  
<http://zeus.sze.hu/ejegyzet/ejegyzet/levved/levegő/node40.htm>

NAGY, G. – SZÜCS, I. – SERÉDI, Á. – HODVOGNER, K. (1996): Növényi hulladékok energetikai hasznosítása. SZIF Tudományos Közleményei, No. 8. p. 12.

NAGY, G. – SZÜCS, I. – WOPERÁNÉ – HERCZKU, ZS. (1994): Biomassa környezetkímélő eltüzelése. Energiagazdálkodás XXXV. évf. pp. 353-357.

NAGY, J. (2006): A biomassa energetikai felhasználása, hazai szabályozás. I. Ökoenergetikai és IX. Biomassa Konferencia, Sopron. p 34.



NÉMETH, G. (2002): Fafeldolgozási hulladékok kezelése, felhasználhatósága. Diplomaterv, Sopron.

NÉMETH, G. – VARGA, M. (2002/1): Fafeldolgozási hulladékok kezelése, felhasználhatósága I. Magyar Asztalos és Faipar, No. 6., pp. 127-129.

NÉMETH, G. – VARGA, M. (2002/2): Fafeldolgozási hulladékok kezelése, felhasználhatósága II. Magyar Asztalos és Faipar, No. 7., pp. 147-149.

NÉMETH, G. – VARGA, M. (2002/3): Fafeldolgozási hulladékok kezelése, felhasználhatósága III. Magyar Asztalos és Faipar, No. 9., pp. 151-153.

NÉMETH, G. – VARGA, M. (2004): Modellek a faiparban keletkező hulladékok kezelésére és hasznosítására. I. rész. Faipar 52. No. 3. pp. 7-12.

NÉMETH, J. (1997/1): A fa, mint környezetbarát nyersanyag. In: SOLYMOS, R. (SZERK.) Az erdő- és fagazdaság szerepe és fejlesztése. 5. fejezet. MTA, Budapest.

NÉMETH, J. (1997/2): A fagazdaság minőségi fejlesztése. In: "Agro-21" Füzetek, Az agrárgazdaság jövőképe, pp. 69-89. MTA, Budapest.

NÉMETH, K. (1977): Forgácsolapüzemek formaldehid emissziója. Faipar, XXVII. No. 8., p. 246.

NÉMETH, K. (1997): Faanyagkémia. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest. p 123.

NÉMETH, K. (1998): A faanyag degradációja. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest. p 101.

NÉMETH, K. – SZABÓ, I. (1998): Ragasztás a faiparban. Faipari Tudományos Alapítvány, Sopron. p 250.

NUSSBAUMER, TH. (1997): Primär- und Sekundärmaßnahmen zur Stickoxidminderung bei Holzfeuerungen. pp. 279-305. In: MARUTZKY, R. (1997): Moderne Feuerungstechnik zur energetischen Verwertung von Holz und Holzabfällen. Springer-VDI-Verlag, Düsseldorf, p 357.

NUSSBAUMER, TH. (1998/1): NO<sub>x</sub> reduction in biomass combustion: primary and secondary measures. pp. 1318-1321. In: KOPETZ, H. – WEBER, T. – PALZ, W. – CHARTIER, P. – FERRERO, G. L. (EDITED) (1998): 10<sup>th</sup> European Conference and Technology Exhibition. Biomass for Energy and Industry. Germany, C.A.R.M.E.N.

NUSSBAUMER, TH. (1998/2): Technology and economics of urban waste combustion. pp. 1315-1317. In: KOPETZ, H. – WEBER, T. – PALZ, W. – CHARTIER, P. – FERRERO, G. L. (EDITED) (1998): 10<sup>th</sup> European Conference and Technology Exhibition. Biomass for Energy and Industry. Germany, C.A.R.M.E.N.

NUSSBAUMER, TH. (2004): Emissions of PCDD/F and PAH from private waste incineration. pp. 1435-1438. In: HELM, P. – GRASSI, A. – FJÄLLSTRÖM, T. – VAN SWAAIJ,

W. P. M. (EDITED) (2004): Second World Biomass Conference. Biomass for Energy, Industry and Climate Protection. Italy. Vol.II.

NUSSBAUMER, TH. (2006/1): Low-Particle-Konzept für Holzfeuerungen. Holz-Zentralblatt, Nr. 1. pp. 13-14.

NUSSBAUMER, TH. (2006/2): Vom bewährten Brennstoff zum modernen Treibstoff. Holz-Zentralblatt, Nr. 55. p 764.

OHT 2003-2008. (Melléklet az Országgyűlés 110./2002. (XI. 26.) OGY határozatához) 110/2002. (XII. 12.) OGY határozata az Országos Hulladékgazdálkodási Tervről.

OLESSÁK, D. – SZABÓ, I. (1984): Energia hulladékból. Műszaki Könyvkiadó, Budapest. p 190.

OROSZ, J. – ORTUTAY, B. – SZALAY, L. (SZERK.) (1975): Hulladékhasznosítás, energia- és anyagtakarékosság a feldolgozó iparban. FAKI, Sopron. p 182.

ŐSZ, J. – BIHARI, P. (1998): Höellátás. Phare Program HU-94.05, Budapest. p 122.

PEDERSEN, A. J. ET AL. (2000): Electrolytic removal of cadmium from wood and straw combustion fly ashes. pp. 167-170. In: KYRITSIS, S. – BEENACKERS, A. A. C. M. – HELM, P. – GRASSI, A. – CHIARAMONTI, D. (EDITED) (2000): First World Conference on biomass for Energy and Industry. Spain. Vol. I.

PETERS, F. (2006): Die Holzfeuerungstechnik entwickelt sich. Holz-Zentralblatt, Nr. 55. p 766.

PETERS, S. (1997): Muffeleinblasfeuerung für feinstückige Holzabfälle. pp. 187-189. In: MARUTZKY, R. (1997): Moderne Feuerungstechnik zur energetischen Verwertung von Holz und Holzabfällen. Springer-VDI-Verlag, Düsseldorf, p 357.

PETRI, L. (SZERK.) (1986): Levegőtisztaság védelem. FATE, Budapest. p 82.

RICHTER, K. – GUGERLI, H. (1996): Holz und Holzprodukte in vergleichenden Ökobilanzen. Holz als Roh- und Werkstoff 54., pp. 225-231.

RICHTER, K. (2000): Lebenszyklusanalyse von Holz als Rohstoff. Holz-Zentralblatt, Nr. 120. p 1637.

ROFFAEL, E. (1982): Die Formaldehyd-Abgabe von Spanplatten und anderen Werkstoffen. DRW Verlag, Weinbrenner - KG. p 156.

ROFFAEL, E. (2000): Holz als Rohstoff in der Holzwerkstoffindustrie. Holz-Zentralblatt, Nr. 138. pp. 1899-1902.

ROFFAEL, E. (2006): Ursachen für Emissionen aus Holz und Holzwerkstoffen. Holz-Zentralblatt, Nr. 20. pp. 630-631.

RUZSICS, SZ. (2004): A forgácslapgyártásnál használt alapanyagok önköltségének elemzése. Faipar 52., No. 3. pp. 3-7.

SCHMITT, U. (1996): Lehetnek-e rákkeltő hatásúak a faporok? Bútor és Faipar II. No. 1., pp. 16-17.

SCHÖBERL, M. (1999): Fából készült és elhasznált termékek újrahasznosítása. Magyar Asztalos és Faipar No. 4., pp. 152-153.

SCHÖBERL, M. (2003): Faipari környezetvédelem. Egyetemi jegyzet, kézirat, Sopron.

SCHÖBERL, M. – SZÉLL, A. (2002/1): Fa és fahulladékok égetése I. Magyar Asztalos és Faipar, Nr. 10. pp. 129-131.

SCHÖBERL, M. – SZÉLL, A. (2002/2): Fa és fahulladékok égetése II. Magyar Asztalos és Faipar, Nr. 11. pp. 106-107.

SCHÖBERL, M. – SZÉLL, A. (2002/3): Fa és fahulladékok égetése III. Magyar Asztalos és Faipar, Nr. 12. pp. 152-153.

SCHÖBERL, M. – SZÉLL, A. (2003): Fa és fahulladékok égetése IV. Magyar Asztalos és Faipar, Nr. 3. pp. 172-173.

SOLYMOS, R. (SZERK.) (2005): Erdő- és fagazdaságunk időszerű kérdései. Tanulmánykötet 2003-2004. MTA Agrártudományok Osztálya Erdészeti Bizottsága, Budapest. p 411.

STIPTA, J. (2000): Utólagosan felszabaduló formaldehid mennyisége a nedvesség függvényében. Sopron, konferenciaanyag.

STIPTA, J. (2002): Találkozások: a karbamidgyanta. Magyar Asztalos és Faipar, No. 1., pp. 50-51.

STRECKER, M. (1997): Dioxinminderung bei Holzfeuerungen. pp. 322-347. In: MARUTZKY, R. (1997): Moderne Feuerungstechnik zur energetischen Verwertung von Holz und Holzabfällen. Springer-VDI-Verlag, Düsseldorf, p 357.

SZALAY, D. (2001): A nitrogén-oxidok forrásai és ártalmatlanítási lehetőségei. In: NAGY, G. (SZERK.) (2001): II. Környezettudományi Tanácskozás előadásai. Győr. pp. 111-117.

SZALAY, L. (SZERK.) (1977): A faanyag hulladék kémiai és biológiai hasznosítása. FAKI, Sopron. p 142.

SZALAY, L. (1981): A fahulladék hasznosítása. Műszaki Könyvkiadó, Budapest. p 228.

SZENTES, T. (2000): Fatüzelésű kazán működési feltételei javításának vizsgálata. Miskolci Egyetem, diplomamunka. pp. 38-48.

SZÉLL, A. (2002): Különböző faanyagok és faalapú termékek fűtőértékének meghatározása kaloriméterrel. Előadás a Magyar Tudomány Napja alkalmából, Sopron.

- SZÉLL, A. (2003): Forgácslap életciklus elemzése. Írásbeli szigorlat, Sopron.
- SZÜCS, I. – KOVÁTS, A. – SERÉDI, Á. – ERŐSS, M. (1993): Ipari környezetvédelem. Miskolci Egyetemi Kiadó, Miskolc, p 373.
- SZÜCS, I. – WOPERÁNÉ (2001): Levegőtisztítás. Miskolci Egyetem, Miskolc. pp. 11-263.
- SZÜCS, I. – WOPERÁNÉ – MIKÓ, J. – SZEMMELVEISZNÉ – NAGY, G. – E. WAGNEROVÁ (2001): Kutatási jelentés (KM020821-01/2000-2001.): Biomassza Kétfokozatú Elégetése. Miskolc, p 38.
- TAJTHY, T. (2000): Környezetben tartósan megmaradó szerves vegyületek (POP-ok) kibocsátása az atmoszférába. Összefoglaló. KGI, Budapest. p 9.
- TAJTHY, T. (SZERK.) (2002): Az energia felhasználáshoz kapcsolódó légköri környezetszennyezés. Budapest, p 90.
- TAKÁTS, P. (1993): Faalapú kompozitlemezek formaldehid tartalmának meghatározása. Egyetemi jegyzet. Kézirat, Sopron. p 35.
- TECHNISCHE BETRIEBSDOKUMENTATION (1984): Automatischer Kalorimeter Typ KL - 10. Bydgoszcz, Poland.
- TÓTH, S. (1997): Az ezredforduló fagazdasága. Bútor és Faipar 1997/5-6, pp. 12-13.
- TÓTH, S. (2001): A fafeldolgozás 1945 után. Agroinform Kiadó és Nyomda, Budapest. p 382.
- TYIHÁK, E. (2003): Formaldehid-ciklus az élővilágban. Kézirat - magánközlés, Budapest.
- VARGA, M. – ALPÁR, T. – NÉMETH, G. (2005): General waste handling and recycling in particle board production. University of West Hungary, Sopron. p 12.
- VARGA, M. – NÉMETH, G. (2002-2004): NKFP "Erdő- Fa kutatási program" 7.4.: Fafeldolgozási hulladékok keletkezése, kezelése, felhasználhatósága.
- VARGA, T. (1999): A forgácslapok eltüzelése. Magyar Asztalos és Faipar, No. 6., p 64.
- VALET, K. (2001): Feinstäube im Abgas von Holzfeuerungen als Problem. Holz-Zentralblatt, Nr. 118. p. 1452.
- VASS, I. – ERDŐS, J. – SZALAY, D. (2000): Környezetvédelmi mérések. Jegyzet. SZIF-Universitas Kft., Győr. p 108.
- VÁRKONYI, T. (SZERK.) (1977): A levegőszennyeződés. Műszaki Könyvkiadó, Budapest. p 140.
- VERMES, L. (1998): Hulladékgazdálkodás, hulladékhasznosítás. Mezőgazda Kiadó, Budapest. p 201.

VILLÁNYI, A. (2002): A másodlagos faiparban keletkező hulladékok hasznosíthatóságának vizsgálata. Diplomaterv, NyME-EMK, Sopron.

VOGEL, K. – WOEST, A. (2006): Holzspäne: Für mehr als nur zum Heizen geeignet. Holz-Zentralblatt, Nr. 20. pp. 632-633.

WEBER, R. (1992): Von Problem, Holz sauber zu verbrennen. Sanitär- und Heizungstechnik. Nr. 2. pp. 61-65.

WEGENER, G. – ZIMMER, B. (1997): Informationsdienst Holz. Ökobilanzen Holz. Fakten lesen, verstehen und handeln. DGfH, München.

WEGENER, G. – ZIMMER, B. (1998): Zur Ökobilanzierung von Holz und Holzprodukten. Fachtagung Umweltschutz in der Holzwerkstoffindustrie, 24.-25.6, Göttingen, Tagungsband Uni-Göttingen/DBU, pp. 16-27.

WEGENER, G. – ZIMMER, B. – FRÜHWALD, B. – SCHARAI-RAD, M. (1997): Ökobilanzen Holz. Informationdienst Holz, Deutsche Gesellschaft für Holzforschungen. V., München, 24.

WELLING, J. (1993/1): Ökobilanz "Holz"; Eine Herausforderung für die Zukunft. Kurzreferat, München.

WELLING, J. (1993/2): Statusreport zum Thema "Berücksichtigung von Holz in Ökobilanzen" angefertigt durch Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft im Auftrage des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, p 15.

WINKLER, A. (1995): Európa faellátásának helyzete. In: MOLNÁR, S.: A fagazdaság helyzete és kutatásai az ezredfordulón. Faipar 43., No. 10., pp. 187-189.

WINKLER, A. (1998): Faforgácslapok. Dinasztia Kiadó, Budapest. p 183.

WINKLER, A. (1999): Farostlemezek. Dinasztia Kiadó, Budapest. p 171.

WINKLER, A. (2004): Fatüzelésű Magyarország. Faipar, 52. No. 1. p. 1.

WINKLER, A. (SZERK.) (2005): Sarangolt ipari fa választékok hazai hasznosításának fejlesztése. pp. 192-206. IN: MOLNÁR, S. (SZERK.) (2005): Erdő-fa hasznosítás Magyarországon. Sopron.

WINKLER, A. (2006): Örök társunk, a fa. 1-6. rész.

<http://www.hetedhethatar.hu/master.html?http://www.hetedhethatar.hu/szerzok/winklerandras.htm>

WOPERÁNÉ (1991): SO<sub>x</sub> és NO<sub>x</sub> emisszió csökkentése. Ethnica Alapítvány, Debrecen. p 160.

WOPERÁNÉ – NAGY, G. – MIKÓ, J. – SZÜCS, I. (2001): Faapríték tüzelés laboratóriumi vizsgálata melegmodellen. In: NAGY, G. (SZERK.): II. Környezettudományi Tanácskozás előadásai, Győr, SZIF ÉKF. p 10.

WOPERÁNÉ – SZÜCS, I. (1988): Energiahordozók eltüzelésekor keletkező légszennyezők és csökkentésük lehetőségei. In. FÁBIÁN, GY. (SZERK.): Környezettanulmányi kutatások az MTA Területi akadémiai Bizottságainál. II. kötet, Budapest. pp. 81-126.

WOPERÁNÉ – SZÜCS, I. (1994): Levegőtisztaság-védelem a tüzeléstechnikában. Miskolci Egyetemi jegyzet, Miskolc, p 126.

ZILAI, J. (2002): Légtechnika és környezetvédelem a faiparban. Magyar Asztalos és Faipar, No. 10., pp. 73-75.

ZSUFFA, L. (2000): PHARE Projekt HU 9604 Nemzeti Favagyon Hasznosítása, Az energetikai felhasználás team beszámolója, Budapest. p 49.

## **SZABVÁNYOK**

EN ISO 14042 (2000): Environmental management - Life cycle assessment - Life cycle impact assessment.

MSZ 13107 (1985): Technológiai légszennyező források vizsgálata. Gázállapotú szénhidrogén-emisszió meghatározása.

MSZ 21852-19 (1981): Légszennyező források vizsgálata. Széndioxid-emisszió meghatározása.

MSZ 21853-1 (1976): Légszennyező források vizsgálata. Általános előírások.

MSZ 21853-2 (1998): Légszennyező források vizsgálata. A térfogatáram meghatározása.

MSZ 21853-27 (1993): Légszennyező források vizsgálata. Az oxigéntartalom folyamatos mérése.

MSZ 21853-6 (1984): Légszennyező források vizsgálata. Kén-dioxid emisszió folyamatos mérése.

MSZ 21853-8 (1977): Légszennyező források vizsgálata. Szén-monoxid emisszió meghatározása.

MSZ 21853-9 (1978): Légszennyező források vizsgálata. A nitrogén-oxidok emissziójának mérése kemilumineszcenciás és infravörös abszorpciós módszerrel.

MSZ 24000-23 (1977): Szenek laboratóriumi vizsgálata. A nedvességtartalom meghatározása.

MSZ 24000-5 (1978): Az égéshő meghatározása és a fűtőérték kiszámítása.

MSZ EN 13284-1 (2001): Helyhez kötött légszennyező források emissziója.

MSZ EN ISO 14040 (1998): Környezetközpontú irányítás. Életciklus-értékelés. Alapelvek és keretek.

MSZ EN ISO 14041 (2001): Környezetközpontú irányítás. Életciklus-értékelés. A cél és a tárgy meghatározása és leltárelemzés.

MSZ EN ISO 14043 (2001): Környezetközpontú irányítás. Életciklus-értékelés. Életciklus-értelmezés.

MSZ ISO 1171 (1993): Szilárd ásványi tüzelőanyagok.

MSZ KGST 1461-78 (1978): Szilárd tüzelőanyag hamujának mennyiségi meghatározása.

## VONATKOZÓ JOGSZABÁLYOK JEGYZÉKE

- 4/1986. (VI. 2.) OKTH RENDELKEZÉS a levegő tisztaságának védelméről szóló 21/1986. (VI. 2.) MT rendelet végrehajtásáról /hatályon kívül helyezte: 14/2001./
- 21/1986. (VI. 2.) MT RENDELET a levegő tisztaságának védelméről /hatályon kívül helyezte: 21/2001./
- 11/1991. (V. 16.) KTM RENDELET a hulladékégetés technológiai kibocsátási határértékeinek és azok alkalmazására vonatkozó szabályok megállapításáról (meglévő égető-, együttegető művek esetében, a levegőtisztaság-védelmi előírások tekintetében 2004. december 31-ig a 3/2002. (II. 22.) KöM rendelet egyes előírásaival együtt kell alkalmazni) (2005. január 1-jével hatályát veszti)
- 1995. ÉVI LIII. TÖRVÉNY a környezet védelmének általános szabályairól
- 22/1998. (VI. 26.) KTM RENDELET az 50 MW<sub>th</sub> és az ennél nagyobb hőteljesítményű tüzelőberendezések légszennyező anyagainak kibocsátási határértékeiről /hatályon kívül helyezte: 10/2003./
- 7/1999. (VII. 21.) KÖM RENDELET a 140 kW<sub>th</sub> és az ennél nagyobb, de 50 MW<sub>th</sub>-nál kisebb bemenő hőteljesítményű, helyhez kötött *gázturbinák* légszennyező anyagainak technológiai kibocsátási határértékeiről
- 2000. ÉVI XXV. TÖRVÉNY a kémiai biztonságról
- 2000. ÉVI XLIII. TÖRVÉNY a hulladékgazdálkodásról
- 2000. ÉVI CXXIX. TÖRVÉNY a környezet védelmének általános szabályairól szóló 1995. évi LIII. törvény módosításáról
- 25/2000. (IX. 30.) EÜM-SzCSM EGYÜTTES RENDELET a munkahelyek kémiai biztonságáról
- 26/2000. (IX. 30.) EÜM RENDELET a foglalkozási eredetű rákkeltő anyagok elleni védekezésről és az általuk okozott egészségkárosodások megelőzéséről
- 41/2000. (XII. 20.) EÜM-KÖM EGYÜTTES RENDELET az egyes veszélyes anyagokkal, illetve veszélyes készítményekkel kapcsolatos egyes tevékenységek korlátozásáról

- 44/2000. (XII. 27.) EÜM RENDELET a veszélyes anyagokkal és a veszélyes készítményekkel kapcsolatos egyes eljárások, illetve tevékenységek részletes szabályairól
- 1/2001. (I. 24.) KÖM RENDELET a hulladékok jegyzékéről /2002. január 1-től hatályon kívül; 16/2001. /
- 10/2001. (IV. 19.) KÖM RENDELET Az egyes tevékenységek és berendezések illékony szerves vegyület kibocsátásának korlátozásáról
- 14/2001. (V. 9.) KÖM-EÜM-FVM EGYÜTTES RENDELET a légszennyezettségi határértékekről, a helyhez kötött légszennyező pontforrások kibocsátási határértékeiről
- 16/2001. (VII. 18.) KÖM RENDELET a hulladékok jegyzékéről
- 17/2001. (VIII. 3.) KÖM RENDELET a légszennyezettség és a helyhez kötött légszennyező források kibocsátásának vizsgálatával, ellenőrzésével, értékelésével kapcsolatos szabályokról
- 21/2001. (II. 14.) KORM. RENDELET a levegő védelmével kapcsolatos egyes szabályokról
- 23/2001. (XI. 13.) KÖM RENDELET a 140 kW<sub>th</sub> és az ennél nagyobb, de 50 MW<sub>th</sub>-nál kisebb névleges bemenő hőteljesítményű tüzelőberendezések légszennyező anyagainak technológiai kibocsátási határértékeiről
- 25/2001. (XII. 7.) KÖM-EÜM-FVM EGYÜTTES RENDELET a légszennyezettségi határértékekről, a helyhez kötött légszennyező pontforrások kibocsátási határértékeiről szóló 14/2001. (V. 9.) KÖM-EÜM-FVM együttes rendelet módosításáról
- 98/2001. (VI. 15.) KORM. RENDELET a veszélyes hulladékkal kapcsolatos tevékenységek végzésének feltételeiről (102-es rendeletet váltotta fel)
- 120/2001. (VI. 30.) KORM. RENDELET a levegő védelmével kapcsolatos egyes szabályokról szóló 21/2001. (II. 14.) Korm. rendelet módosításáról
- 3/2002. (II. 22.) KÖM RENDELET a hulladékok égetésének műszaki követelményeiről, működési feltételeiről és a hulladékégetés technológiai kibocsátási határértékeiről
- 4/2002. (X. 7.) KvVM RENDELET a légszennyezettségi agglomerációk és zónák kijelöléséről
- 10/2002. (III. 26.) KÖM RENDELET a hulladékok jegyzékéről szóló 16/2001. (VII. 18.) KÖM rendelet módosításáról
- 274/2002. (XII. 21.) KORM. RENDELET a levegő védelmével kapcsolatos egyes szabályokról szóló 21/2001. (II. 14.) Korm. rendelet és a felszíni vizek minősége védelmének egyes szabályairól szóló 203/2001. (X. 26.) Korm. rendelet módosításáról



- 2003. ÉVI LXXXIX. TÖRVÉNY a környezetterhelési díjról
- 1/2003. (I. 9.) KvVM-ESZCSM-FVM EGYÜTTES RENDELET a légszennyezettségi határértékekről, a helyhez kötött légszennyező pontforrások kibocsátási határértékeiről szóló 14/2001. (V. 9.) KöM-EüM-FVM együttes rendelet módosításáról
- 7/2003. (V. 16.) KvVM-GKM EGYÜTTES RENDELET az egyes levegőszennyező anyagok összkibocsátási határértékeiről
- 10/2003. (VII. 11.) KvVM RENDELET az 50 MW<sub>th</sub> és annál nagyobb névleges bemenő hőteljesítményű tüzelőberendezések működési feltételeiről és légszennyező anyagainak kibocsátási határértékeiről
- 19/2003. (XII. 10.) KvVM RENDELET a hulladékok égetésének műszaki követelményeiről, működési feltételeiről és a hulladékégetés technológiai kibocsátási határértékeiről szóló 3/2002. (II. 22.) KöM rendelet módosításáról
- 22/2003. (XII. 27.) KvVM RENDELET a 140 kW<sub>th</sub> és az ennél nagyobb, de 50 MW<sub>th</sub>-nál kisebb névleges bemenő hőteljesítményű tüzelőberendezések légszennyező anyagainak technológiai kibocsátási határértékeiről szóló 23/2001. (XI. 13.) KöM rendelet módosításáról
- 30/2003. (V. 21.) ESZCSM RENDELET a veszélyes anyagokkal és a veszélyes készítményekkel kapcsolatos egyes eljárások, illetve tevékenységek részletes szabályairól szóló 44/2000. (XII. 27.) EüM rendelet módosításáról
- 164/2003. (X. 18.) KORM. RENDELET a hulladékkal kapcsolatos nyilvántartási és adatszolgáltatási kötelezettségekről
- 192/2003. (XI. 26.) KORM. RENDELET a veszélyes hulladékkal kapcsolatos tevékenységek végzésének feltételeiről szóló 98/2001. (VI. 15.) Korm. rendelet módosításáról
- 4/2004. (IV. 7.) KvVM–ESZCSM–FVM EGYÜTTES RENDELET a légszennyezettségi határértékekről, a helyhez kötött légszennyező pontforrások kibocsátási határértékeiről szóló 14/2001. (V. 9.) KöM-EüM-FVM együttes rendelet módosításáról
- 7/2004. (IV. 27.) KvVM RENDELET a légszennyezettség és a helyhez kötött légszennyező források kibocsátásának vizsgálatával, ellenőrzésével, értékelésével kapcsolatos szabályokról szóló 17/2001. (VIII. 3.) KöM rendelet módosításáról
- 19/2005. (VII. 26.) KvVM–EÜM–FVM EGYÜTTES RENDELET a légszennyezettségi határértékekről, a helyhez kötött légszennyező pontforrások kibocsátási határértékeiről szóló 14/2001. (V. 9.) KöM-EüM-FVM együttes rendelet módosításáról
- 36/2006. (II. 20.) KORM. RENDELET a levegő védelmével kapcsolatos egyes szabályokról szóló 21/2001. (II. 14.) Korm. rendelet módosításáról

## **10. MELLÉKLETEK**