

## Emise látek znečišťujících ovzduší provozem lokálních topenišť

Viktor Tekáč<sup>1</sup>, Libor Čapla<sup>1</sup>, Petr Buryan<sup>1</sup>, Markéta Macháčová<sup>1</sup>, Sergej Skoblja<sup>1</sup>,  
Tomáš Bičák<sup>1</sup>, František Skácel<sup>1</sup> a Karel Cíahotný<sup>1</sup>

### The emission of air pollutants from the operation of local furnaces

The aim of this paper is to determine the mass as well as the power engineering emission factors, which are necessary for the comparison of the emissions by pollutants originating from local small-power sources of retail consumers at the combustion of various solid fuels and natura gas.

Two model apparatur: were used for the investigation of pollutants such as CO, NO+NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, volatile organic matter, which was also aimed at the identification and quantification of individual organic materials contained in the combustion products.

The data concerning the contents of O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O have been also obtained.

**Key words:** emission, solid fuel, natural gas.

### Úvod

I přes intenzivní plynofikaci, která v posledních letech probíhá v České republice, jsou statisíce domácností v ČR stále odkázány na vytápění lokálními spotřebiči na tuhá paliva. V roce 1993 činil podíl těchto domácností 42 % (Český statistický úřad, 1995).

Podíl lokálních stacionárních spotřebičů, zařazovaných do kategorie malých zdrojů (s výkonem do 0,2 MW) v kontextu celkových emisí jednotlivých sledovaných kategorií zdrojů znečišťujících ovzduší v roce 1996 v ČR je v hrubých rysech uveden v tab.1 (Ročenka ČHMÚ, 1997).

Pro potřeby různých inventarizací jsou malé zdroje jakými jsou malá lokální topeniště, využívaná pro vytápění domácností, malých komunálních podniků, atd. dle kategorií SNAP 97 (Selected Nomenclature for Air Pollution for CORINAR 94) zařazovány mezi plošné zdroje.

Tab.1. Rozdělení celoročních emisí ČR v roce 1996 podle kategorií zdrojů znečišťujících ovzduší.

| Kategorie zdrojů   | tuhé látky          |     | SO <sub>2</sub>     |     | NO <sub>x</sub>     |     | CO                  |     | C <sub>x</sub> H <sub>y</sub> |     |
|--------------------|---------------------|-----|---------------------|-----|---------------------|-----|---------------------|-----|-------------------------------|-----|
|                    | t.rok <sup>-1</sup> | %   | t.rok <sup>-1</sup> | %   | t.rok <sup>-1</sup> | %   | t.rok <sup>-1</sup> | %   | t.rok <sup>-1</sup>           | %   |
| velké              | 101244              | 54  | 848195              | 87  | 186194              | 42  | 314493              | 34  | 22576                         | 13  |
| střední            | 26439               | 14  | 32492               | 3   | 10280               | 2   | 48587               | 5   | 13452                         | 7   |
| malé               | 49833               | 27  | 84178               | 9   | 19258               | 4   | 281589              | 30  | 62676                         | 35  |
| celkem stacionární | 177516              | 95  | 964866              | 99  | 215733              | 9   | 644370              | 69  | 98704                         | 55  |
| mobilitní          | 9944                | 5   | 8044                | 1   | 224711              | 51  | 289774              | 31  | 81311                         | 45  |
| CELKEM             | 187459              | 100 | 972910              | 100 | 440444              | 100 | 934144              | 100 | 180015                        | 100 |

Na rozdíl od velkých energetických celků je situace při spalování tuhých paliv v malých lokálních spotřebičích komplikována tím, že spaliny z lokálních spotřebičů, situovaných v husté občanské zástavbě s pomalým rozptylem do vertikálních i horizontálních vrstev atmosféry, mají nízké vyústění svých komínů nad okolním terénem a jejich lokalizace v terénních podmínkách ovlivňuje přísně situování potřeb obyvatelstva, kde determinujícím faktory jsou zejména ekonomika a dostupnost jednotlivých druhů paliv v daných územních lokalitách.

Kouř z lokálních spotřebičů na tuhá paliva obsahuje nadměrné množství organických látek, vyznačujících se nepříjemným zápachem, přičemž celá řada těchto látek je známa svými karcino-

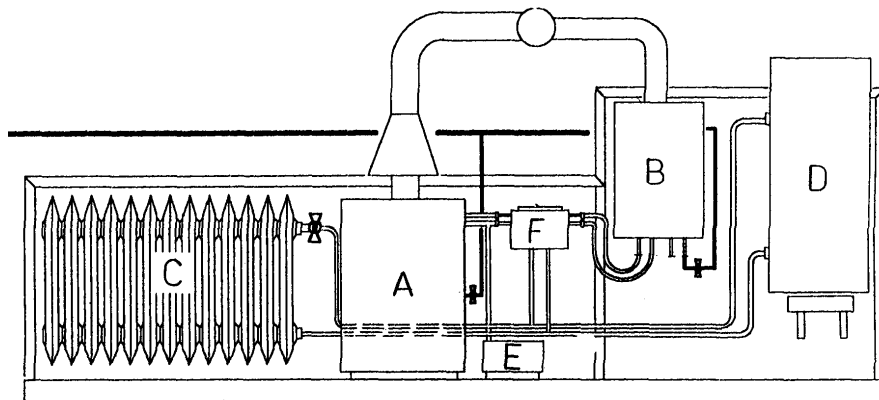
<sup>1</sup> Viktor Tekáč, Libor Čapla, Petr Buryan, Markéta Macháčová, Sergej Skoblja, Tomáš Bičák, František Skácel a Karel Cíahotný, Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Ústav plynárenství, koksochemie a ochrany ovzduší, Technická 5, 166 28 Praha 6, Česká republika  
(Recenzovaná a revidovaná verze doručena 30.10.1998)

genními, toxickými či mutagenními účinky. Při exploataci malých topenišť se negativně uplatňují i jejich specifické konstrukční prvky a bohužel i samotná nekázeň obyvatel, vyznačující se spalováním komunálního odpadu (např. substancí obsahujících halogeny, síru, gumu, umělé hmoty, atd.) a méně-hodnotných paliv. Mimo acidifikace ovzduší obytných zón, jsou těkavé organické látky emitované lokálními topeništi do ovzduší prekursory pro ozón a řadu dalších fotochemických oxidantů, podílejících se na fotochemickém smogu. Účinky lokálních topenišť jsou patrné zejména v krizových smogových situacích, kdy omezení jejich provozu je velmi problematické.

Vzhledem k tomu, že plynofikace všech domácností v České republice je v blízké době z ekonomických i technických důvodů nereálná, rozhodli jsme se v rámci výzkumného projektu EU JOULE II získat experimentální údaje pro zhodnocení ekologických důsledků používání lokálních spotřebičů na tuhá paliva.

### Experimentální část

Experimentální práce probíhaly v několika etapách. V první byly sestaveny dvě testovací aparatury. Jedna byla vybavena plynovými spotřebiči, druhá lokálním spotřebičem na tuhá paliva. Následovaly základní spalovací zkoušky. Na jejich základě byla provedena modifikace testovacích zařízení a měřících procedur. Ve třetí fázi byly připraveny vzorky aditivovaných hnědouhelných paliv s cílem redukovat emise oxidu siřičitého při jejich spalování. V poslední fázi experimentálních prací byly provedeny zevrubné spalovací zkoušky, z nichž podstatná část byla zaměřena na určení emisních vlastností testovaných paliv při spalování v lokálních spotřebičích malých výkonů.

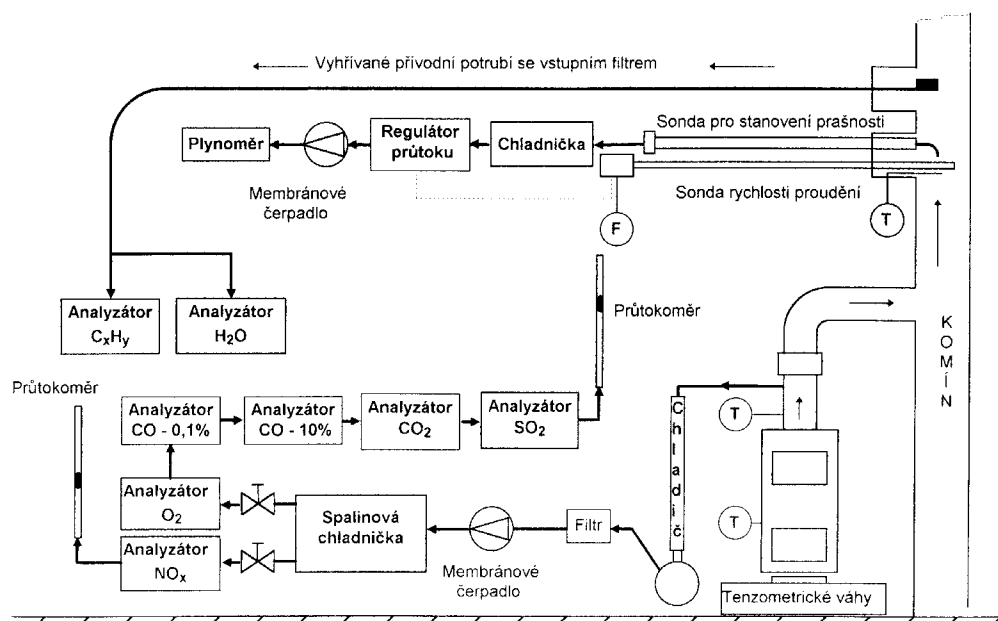


Obr.1. Schéma testovacího zařízení na zemní plyn.

Nákres testovacího zařízení pro zemní plyn je uveden na obr.1. Zařízení je vybaveno dvěma kotly - teplovodním kotlem značky VIADRUS typ G27 ID (A) o jmenovitém výkonu 32,0 kW až 37,5 kW a závěsným kotlem značky THERM, typ 12 S (B) o jmenovitém výkonu 15 kW. Ohřátá voda byla z kotlů vedena do topného tělesa (C) a do zásobníku teplé užitkové vody - (D).

Schéma zařízení pro analýzu spalín z tuhých paliv je uvedeno na obr.2. Hlavní částí tohoto zařízení jsou násypná šachtová kamna typu PETRA o výkonu 7 kW, která jsou značně rozšířena v českých domácnostech a zejména v rekreačních objektech. Kamna jsou umístěna na tenzometrických vahách SOEHNLE, s váživostí 150 kg a s dělením  $\pm 20$  g. Pomocí vah byla měřena rychlost odhořívání, jako nezbytný parametr pro bilanční výpočet hmotnostního toku znečišťujících látek na základě spalovacích rovnic. Spalovací prostor a kouřovod jsou osazeny termočlánky, umožňujícími sledovat časový průběh teploty ve vrstvě paliva a teplotu spalín.

Vzhledem k širokému spektru sledovaných znečišťujících látek byly pro vzorkování analyzovaných spalín používány celkem čtyři odběrní trasy. První trasou se vstupní spalínovou chladničkou byly dopravovány spaliny do analyzátorů pro stanovení kyslíku, oxidu uhličitého, oxidu uhelnatého, oxidu dusíku a oxidu siřičitého. Druhá trasa (není ve schématu na obr. 2 uvedena) sloužila pro záchyt organických látek v impingerech naplněných aktivovaným adsorbentem, případně v impingerech chlazených na  $-70$  °C a naplněných acetonem nebo toluenem. Třetí trasa byla tvořena vstupním vyhřívaným keramickým filtrem a teflonovým potrubím, vyhřívaným na  $180$  °C. Tato trasa sloužila k odběru spalín pro stanovení celkového obsahu těkavých organických látek. Čtvrtá trasa je tvořena titanovou záchytnou sondou pro izokinetický odběr a následné gravimetrické stanovení tuhých znečišťujících látek. Tato čtvrtá trasa nebyla instalována na zařízení pro měření emisí ze spalování zemního plynu.



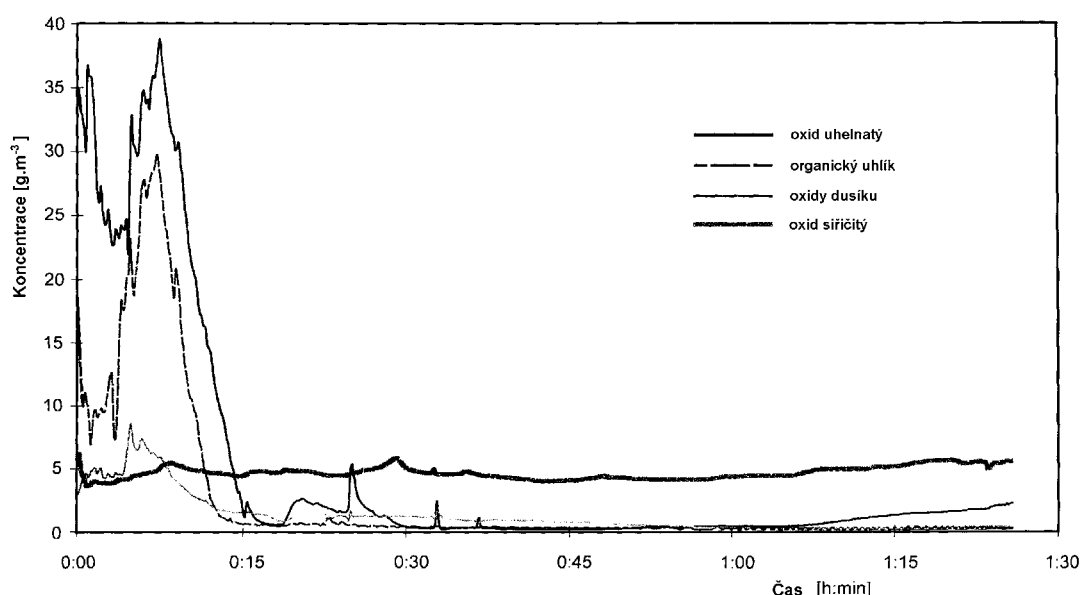
Obr.2. Schéma zařízení pro sledování škodlivin ve spalinách z pevných paliv.

K vlastnímu stanovení sledovaných analytů byly použity tyto přístroje, pro:

**oxid siřičitý** - IČ analyzátor URAS 3G, Hartmann & Braun (rozsahy: 0 - 1 500 ppm, 0 - 7 000 ppm),  
**oxidy dusíku** - chemiluminiscenční analyzátor 955 NO/NO<sub>x</sub>, Rosemount (rozsahy: 0 - 10 ppm, 0 - 100 ppm, 0 - 250 ppm, 0 - 1 000 ppm, 0 - 2 500 ppm, 0 - 10 000 ppm), oxid uhelnatý - IČ analyzátor INFRALYT 1210 a 2100, Junkalor (rozsahy: 0 - 1 000 ppm, 0 - 10 000 ppm, 0 - 100 000 ppm),  
**oxid uhlíčitý** - IČ analyzátor INFRALYT 2100, Junkalor (rozsahy: 0 - 10 %, 0 - 20 %),  
**kyslík** - paramagnetický analyzátor MAGNOS 6G, Hartmann & Braun (rozsahy: 0 - 5 %, 0 - 10 %, 0 - 25 %),  
**vodní pára** - vysokoteplotní psychrometr HYGROPHIL 4220, Ultrakust (rozsahy: 0 - 100 %),  
**těkavé látky** - plamenoionizační analyzátor FID 3-100, J.U.M. Engineering (rozsahy: 0-10ppm, 0-100ppm, 0-1000ppm, 0-10000 ppm, 0-100000 ppm),  
**individuální organické látky** - plynový chromatograf HP 6890GC s FID detektorem HP G1035A a MS detektorem HP 5973 MSD, Hewlett-Packard (rozsahy: 1,8 - 800 amu),  
**sběr a zpracování dat** - šestnáctikanálová měřicí ústředna BMC.

Všechny uvedené analyzátorů pracují kontinuálně, t.j. umožňují sledovat časový průběh obsahu znečišťujících látek ve spalinách po celou dobu trvání spalovacího cyklu. V případě měření emisí ze spalování zemního plynu nebyla doba trvání měřicího cyklu nijak omezena. Doba trvání cyklu při sledování emisí ze spalování tuhých paliv činila 1,5-2 hodiny podle druhu paliva. Vlastní cyklus začínal nadávkováním 5,0 kg paliva do kamen, předehřátých na teplotu 400 - 500 °C. Po deseti-minutové fázi rozhořívání byl omezen přívod spalovacího vzduchu (pro zajištění přibližně stejné rychlosti odhořívání) a spalování probíhalo až do poklesu teploty palivové vrstvy na 400-500 °C. Po odhořívání byl přidán nový pětikilogramový vzorek téhož paliva a celý cyklus byl opakován.

Základní soubor naměřených údajů je pro každé testované palivo tvořen časovým průběhem složení spalin a objemového (v případě zemního plynu) nebo hmotnostního toku paliva. Ilustrativní časový průběh obsahu znečišťujících látek ve spalinách z hnědého uhlí je uveden na obr.3. Ze známého elementárního složení paliva a výše uvedených závislostí byly pro jednotlivá paliva vypočteny pomocí spalovacích rovnic hmotnostní emisní faktory. Tyto emisní faktory vyjadřují hmotnost znečišťující látky uvolněné do venkovního ovzduší při spálení paliva o jednotkové hmotnosti. Ze známé výhřevnosti a hmotnostních emisních faktorů byly vypočteny energetické emisní faktory, vyjadřující hmotnost jednotlivých znečišťujících látek, vzniklých při uvolnění jednotkového množství energie.



Obr.3. Spalování lignitu – závislost obsahu hlavních polutantů na čase spalování. Hodnoty koncentrace jsou vztahovány k normálním podmínkám (suché spaliny, referenční obsah kyslíku 6 obj. %).

### Testovaná paliva

Testovací program zahrnoval celkem 12 druhů paliv - zemní plyn rozváděný pražskou plynárenskou sítí a 11 druhů tuhých paliv. Jednalo se o: hnědé uhlí (důl Vršany), černé uhlí (důl Kladno), černouhelný koks (Třinec), jasanové dřevo (Šluknovsko), dřevní brikety I (vyrobené z čistých pilin - briketárna Ždírec), dřevní brikety II (vyrobené z dřevního odpadu včetně kůry - briketárna Bělušice), hnědouhelné brikety I (Vřesová), hnědouhelné brikety II (úpravna Komořany), aditivované hnědouhelné brikety I (s přidavkem kaustifikačních kalů odpadajících při zpracování fenolů), aditivované hnědouhelné brikety II (s přidavkem vápence) a aditivované hnědouhelné brikety III (s přidavkem vápenného hydrátu). Molární poměr Ca/S se u aditivovaných briket pohyboval v rozmezí 1,25 - 1,30, přičemž veškeré aditivované brikety byly vyrobeny ze stejného uhlí jako hnědouhelné brikety II. Charakteristické vlastnosti všech použitých paliv jsou uvedeny v Tab. I.

Tab.I. Vlastnosti testovaných paliv.

| Palivo                               | $W_i^r$        | $A^a$ | $C^a$ | $H^a$ | $N^a$ | $S^a$  | $Q_i^r$                |
|--------------------------------------|----------------|-------|-------|-------|-------|--------|------------------------|
|                                      | [hmotnostní %] |       |       |       |       |        | [MJ.kg <sup>-1</sup> ] |
| zemní plyn                           | 0,0            | 0,0   | 72,2  | 24,0  | 3,7   | 0,0    | 49,1                   |
| hnědé uhlí                           | 29,3           | 8,6   | 45,5  | 3,0   | 0,7   | 0,72   | 18,1                   |
| černé uhlí                           | 10,3           | 16,8  | 59,9  | 4,8   | 1,0   | 0,63   | 24,8                   |
| černouhelný koks                     | 0,2            | 14,3  | 88,8  | 0,4   | 1,1   | 0,54   | 30,0                   |
| jasanové dřevo                       | 16,9           | 0,6   | 41,5  | 5,1   | 0,5   | <0,03  | 16,2                   |
| dřevní brikety I <sup>A</sup>        | 7,0            | 0,4   | 42,8  | 5,8   | 0,2   | <0,03  | 17,2                   |
| dřevní brikety II <sup>A</sup>       | 6,7            | 4,8   | 43,1  | 5,9   | 0,1   | < 0,03 | 16,7                   |
| hnědouhelné brikety I <sup>A</sup>   | 9,7            | 8,8   | 54,8  | 5,0   | 0,9   | 0,57   | 30,0                   |
| hnědouhelné brikety II <sup>A</sup>  | 13,3           | 9,8   | 62,5  | 5,7   | 1,0   | 1,66   | 22,3                   |
| aditivované brikety I <sup>A</sup>   | 11,5           | 14,9  | 61,9  | 5,8   | 1,0   | 1,42   | 21,5                   |
| aditivované brikety II <sup>A</sup>  | 12,3           | 15,1  | 61,7  | 5,7   | 1,0   | 1,45   | 21,7                   |
| aditivované brikety III <sup>A</sup> | 10,4           | 15,6  | 62,1  | 5,7   | 1,0   | 1,50   | 21,2                   |

A) viz výše

### Výsledky

V průběhu testování uvedených paliv bylo provedeno více než 46 spalovacích zkoušek, tzn., že byl shromážděn rozsáhlý soubor experimentálních dat, z kterých uvádíme pouze nejdůležitější poznatky.

Typický průběh hmotnostní koncentrace sledovaných polutantů ve spalínách vznikajících během hoření 5,00 kg hnědého uhlí v experimentálních kamnech, je uveden na obr. 3. Uvedené hmotnostní koncentrace jsou vyjádřeny pro suché spaliny za normálních stavových podmínek a referenční obsah kyslíku 6%. Záznam spalovacího cyklu zde názorně charakterizuje časovou periodu po přiložení uhlí do pece a jeho rozhořívání, resp. periodu následného odhořívání.

Emisní charakteristiky sledovaných paliv jsou uvedeny v tab. II a tab. III. Hmotnostní emisní faktory v tab. II prezentují hmotnosti znečišťujících látek emitovaných do vnějšího ovzduší při spálení 1 kg paliva, energetické emisní faktory v tab. III představují hmotnosti uvolněných polutantů při získání 1 MJ energie dokonalým spálením paliva.

Tab.II. Hmotnostní emisní faktory testovaných paliv.

| Palivo                  | CO                                      | SO <sub>2</sub> | NO <sub>x</sub> <sup>A</sup> | C <sub>org</sub> | Tuhé látky |
|-------------------------|-----------------------------------------|-----------------|------------------------------|------------------|------------|
|                         | [g polutantu . kg <sup>-1</sup> paliva] |                 |                              |                  |            |
| zemní plyn              | 0,4                                     | 0,0             | 1,8                          | 0,0              | 0,0        |
| hnědé uhlí              | 114                                     | 11              | 2,3                          | 31               | 1,5        |
| černé uhlí              | 56                                      | 16              | 2,7                          | 24               | 0,9        |
| černouhelný koks        | 13                                      | 1,2             | 1,4                          | < 0,01           | 0,9        |
| jasanové dřevo          | 128                                     | < 0,2           | 1,6                          | 1,3              | 0,3        |
| dřevní brikety I        | 116                                     | < 0,2           | 1,7                          | 9,3              | 2,3        |
| dřevní brikety II       | 128                                     | < 0,2           | 1,6                          | 17,4             | 1,2        |
| hnědouhelné brikety I   | 74                                      | 5,3             | 2,0                          | 0,4              | 2,4        |
| hnědouhelné brikety II  | 76                                      | 24,9            | 2,1                          | 43               | 3,1        |
| aditivované brikety I   | 80                                      | 14,4            | 1,9                          | 48               | 2,8        |
| aditivované brikety II  | 77                                      | 17,9            | 2,0                          | 45               | 2,4        |
| aditivované brikety III | 79                                      | 13,1            | 2,0                          | 47               | 2,1        |

A) NO<sub>x</sub> - celkový obsah oxidů dusíku vyjádřených jako NO<sub>2</sub>

Tab.III. Energetické emisní faktory všech testovaných paliv.

| Palivo                  | CO                                                  | SO <sub>2</sub> | NO <sub>x</sub> <sup>A</sup> | C <sub>org</sub> | Tuhé látky |
|-------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------|------------------------------|------------------|------------|
|                         | [g polutantu . MJ <sup>-1</sup> výhřevnosti paliva] |                 |                              |                  |            |
| zemní plyn              | 0,01                                                | 0,00            | 0,04                         | 0,00             | 0,00       |
| hnědé uhlí              | 6,3                                                 | 0,6             | 0,13                         | 1,70             | 0,08       |
| černé uhlí              | 2,2                                                 | 0,6             | 0,11                         | 1,00             | 0,04       |
| černouhelný koks        | 0,4                                                 | 0,4             | 0,05                         | 0,00             | 0,03       |
| jasanové dřevo          | 7,9                                                 | < 0,01          | 0,10                         | 0,10             | 0,02       |
| dřevní brikety I        | 6,7                                                 | < 0,01          | 0,10                         | 0,50             | 0,14       |
| dřevní brikety II       | 7,7                                                 | < 0,01          | 0,10                         | 1,01             | 0,07       |
| hnědouhelné brikety I   | 3,1                                                 | 0,2             | 0,09                         | 0,02             | 0,10       |
| hnědouhelné brikety II  | 3,4                                                 | 1,1             | 0,09                         | 1,90             | 0,14       |
| aditivované brikety I   | 3,7                                                 | 0,67            | 0,09                         | 2,20             | 0,13       |
| aditivované brikety II  | 3,5                                                 | 0,82            | 0,09                         | 2,10             | 0,11       |
| aditivované brikety III | 3,7                                                 | 0,62            | 0,10                         | 2,20             | 0,10       |

A) NO<sub>x</sub> - celkový obsah oxidů dusíku vyjádřených jako NO<sub>2</sub>

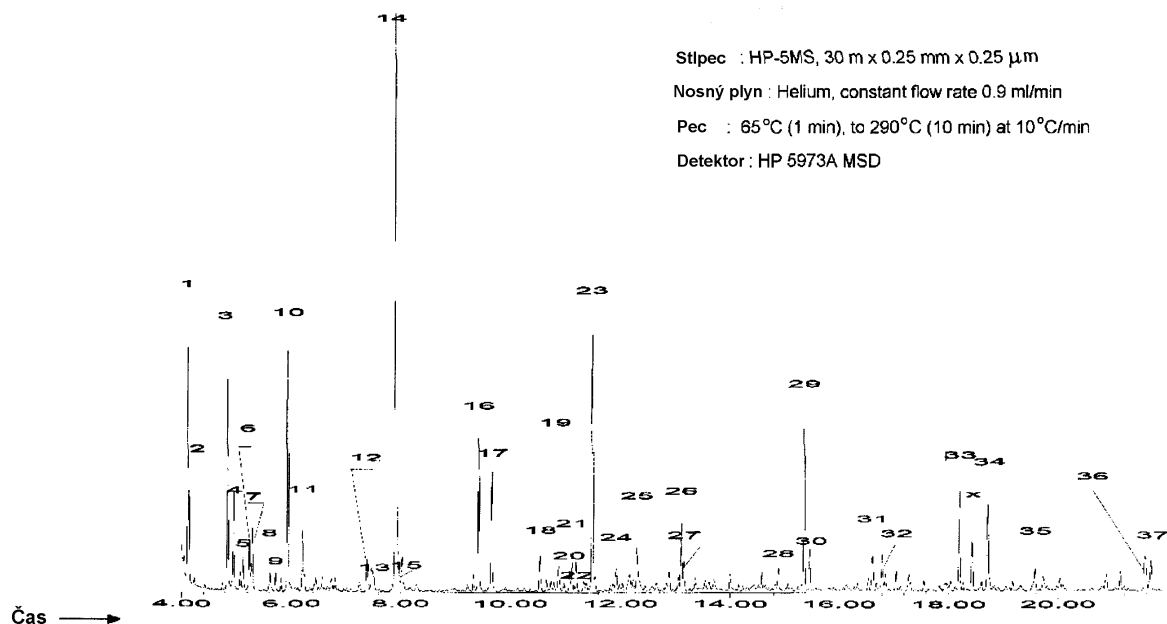
Tab.IV. Hmotnostní koncentrace hlavních skupin organických látek identifikovaných ve spalínách.

| Palivo                  | Polyaromáty           | Benzen a homology | Fenoly | Alkoholy | Aldehydy | eterocykly | Nitrily |
|-------------------------|-----------------------|-------------------|--------|----------|----------|------------|---------|
|                         | [μg.m <sup>-3</sup> ] |                   |        |          |          |            |         |
| zemný plyn              | <0,1                  | <0,1              | <0,1   | <0,1     | <0,1     | <0,1       | <0,1    |
| hnědé uhlí              | 347                   | 39                | 21     | 17       | 16       | 18         | 15      |
| černé uhlí              | 156                   | 17                | 18     | 6        | 11       | 15         | 13      |
| černouhelný koks        | 89                    | 12                | 9      | 3        | 5        | 11         | 8       |
| jasanové dřevo          | 215                   | 86                | 54     | 78       | 36       | 10         | 3       |
| dřevní brikety I        | 376                   | 175               | 108    | 95       | 47       | 12         | 4       |
| dřevní brikety II       | 408                   | 194               | 95     | 99       | 54       | 8          | 3       |
| hnědouhelné brikety I   | 105                   | 67                | 19     | 15       | 15       | 22         | 6       |
| hnědouhelné brikety II  | 363                   | 54                | 33     | 27       | 25       | 21         | 16      |
| aditivované brikety I   | 420                   | 78                | 78     | 31       | 41       | 18         | 19      |
| aditivované brikety II  | 395                   | 61                | 28     | 27       | 22       | 17         | 19      |
| aditivované brikety III | 370                   | 45                | 31     | 25       | 25       | 15         | 14      |

V tab. IV jsou uvedeny hmotnostní koncentrace hlavních skupin organických polutantů, identifikovaných ve spalínách. Emisní faktory těchto skupin látek neuvádíme, protože nemáme dosud ověřenu správnost kvantitativních výpočtů. S ohledem na průběh spalovaného procesu v lokálním topeništi - viz. obr.3 je zde velmi problematický jejich dlouhodobý koncentrační záchyt i reprodukovatelnost některých dat. V tab. V je uvedeno relativní zastoupení organických látek, identifikovaných ve spalínách z hoření hnědého uhlí. Na obr.4 je chromatogram, použitý jako základ pro výpočet údajů v tab. V. Jak tab. V, tak obr.4 jsou uvedeny jako typický příklad souborů experimentálních dat, shrnutých do tab. IV.

Tab.V. Relativní zastoupení identifikovaných organických látek ve spalínách z hnědého uhlí.

| Látka                    | %     | Látka                       | %     |
|--------------------------|-------|-----------------------------|-------|
| Benzen                   | 2,26  | Acenaftýlen                 | 11,68 |
| Methylbenzen             | 0,18  | 1,2-Dimethylnaftalen        | 0,53  |
| 1,4 + 1,3-Dimethylbenzen | 1,80  | Acenaften                   | 0,18  |
| Fenylacetylen            | 1,01  | 4-Methyl-1,1'-bifenylyl     | 0,60  |
| Styren                   | 4,04  | Dibenzofuran                | 2,10  |
| Fenol                    | 2,14  | Fluoren                     | 5,63  |
| C <sub>3</sub> -benzen   | 0,4   | 2-Methyl-9H-fluoren         | 1,02  |
| Isokyanobenzen           | 0,27  | 1-Methyl-9H-fluoren         | 0,44  |
| Benzofuran               | 3,73  | Fenantren                   | 4,94  |
| Dekan                    | 1,53  | Antracen                    | 1,76  |
| Inden                    | 2,19  | 3-Methylfenantren           | 0,44  |
| 2-Methylfenol ?          | 0,20  | 2-Methylfenantren           | 0,65  |
| C <sub>4</sub> -Benzen   | 0,32  | 2-Methylantracen            | 0,45  |
| 2-Methylbenzofuran       | 0,43  | 4H-Cyclopenta[def]fenantren | 0,98  |
| 1-Methylen-1H-inden      | 0,46  | 9-Methylfenantren           | 0,36  |
| Naftalen                 | 21,78 | 4-Methylfenantren           | 0,74  |
| Benzo[b]thiofen          | 0,59  | 2-Fenylnaftalen             | 0,30  |
| Indol                    | 0,39  | Fluoranten                  | 0,91  |
| 2-Methylnaftalen         | 8,38  | Látka o M = 202             | 0,67  |
| Naftalen                 | 5,57  | Látka o M = 202             | 0,3   |
| Bifenylyl                | 1,81  | Pyren                       | 0,65  |
| 2,6-Dimethylnaftalen     | 0,75  | 11H-Benzo[a]fluoren         | 0,70  |
| 1,3-Dimethylnaftalen     | 1,19  | 11H-Benzo[b]fluoren         | 0,62  |
| 1,7-Dimethylnaftalen     | 0,74  | 4-Methylpyren               | 0,14  |
| 2-Ethenylnaftalen        | 2,24  | Benzo[ghi]fluoranten        | 0,31  |
| 1,2-Dimethylnaftalen ?   | 0,52  | Benzo[a]anthracen           | 0,22  |
| 1,5-Dimethylnaftalen ?   | 0,26  | Chrysen                     | 0,14  |



Obr.4. GC-MS chromatogram – separace uhlovodíků uvolňovaných při spalování lignitu.

## Závěr

Informace o malých zdrojích emisí charakteru domácích a komunálních topenišť o výkonu do 200 kW jsou potřebné v souladu s mezinárodní inventarizací emisí CORINAR i pro národní bilanci států. S ohledem na charakter těchto plošných zdrojů lze národní emise sledovat pouze na podkladě zjištěných potřebných kapacitních statistických údajů a různých emisních faktorů.

Z našich měření vyplynuly i vzájemné proporce mezi emisními charakteristikami 12 sledovaných paliv. Zatímco u oxidů dusíku jsou emisní faktory pro všechna paliva na řádově stejné úrovni, u ostatních polutantů má zemní plyn jednoznačně nejnižší emise. Paliva na bázi dřeva se sice vyznačují nízkým obsahem sloučenin síry, avšak produkce oxidu uhelnatého dosahuje enormní úrovně. Aditivované hnědouhelné brikety sice mají měřitelné desulfurizační vlastnosti, ale dosažený efekt je stejného řádu jako u neaditivovaného paliva.

Velmi významné rozdíly byly prokázány i v emisích organických látek. Zatímco při hoření zemního plynu jsou ve spalínách prakticky přítomny pouze alkany a některé homology benzenu, při hoření všech tuhých paliv se uvolňují velká množství celé řady dalších organických látek souvisejících s termickou destrukcí spalované organické substance, resp. s následnými sekundárními termosyntetickými pochody.

Měření potvrdila, že využívání dnes tak zvaných ekologických dřevních briket sice omezuje emise oxidů síry, ale v ostatních emisních parametrech si tato paliva zachovávají nečistoty uhelných paliv (vysoký obsah CO ve spalínách, problematická tepelná účinnost, špatná regulovatelnost výkonu, malý uživatelský komfort).

Pokud bude snaha zlepšit kvalitu ovzduší v obytných zónách, zatěžovaných v posledních letech navíc emisemi z narůstajícího automobilového provozu, pak jediným ekonomickým řešením přijatelným i pro malé spotřebitele nebo i střední podniky je náhrada stávajících jednotek spalujících uhlí za kotle na plynná paliva.

## Poděkování

*Realizace experimentální části této studie by nebyla možná bez pomoci řady podniků i jednotlivců. Proto bychom rádi poděkovali Pražské plynárenské, a.s., a společnosti s r.o. GASON Chrudim, kteří se podíleli na zhotovení testovacího zkušebního zařízení vybaveného plynovými spotřebiči. Za technickou pomoc při přípravě hnědouhelných paliv děkujeme Mostecké uhelné, a.s., za rozsáhlou finanční podporu IVD University of Stuttgart, který nás přizval k mnohostranné spolupráci na řešení PECO projektu JOULE II „Novel Approaches in Advanced Combustion Technologies“.*

## Literatura

Předběžná energetická bilance ČR v roce 1993. *Český statistický úřad, Praha, 1995.*  
Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 1996. *Ročenka ČHMÚ, Praha, 1997.*