

Meranie vlhkosti spalín (1)

Dušan Kisel
Juraj Kolesár

Cieľom príspevku je poukázať na požiadavky a podmienky stanovenia emisných limitov zdrojov znečisťovania.

V prvej časti článku uvádzame základné pojmy o vlhkosti spalín, naznačené princípy ich merania a na príklade prístrojov testu predstavíme najnovšie smery a trendy v tejto oblasti. V ďalšej časti príspevku uvedieme postup určenia obsahu vodnej pary v spaliniach z merania relatívnej vlhkosti. V závere predstavíme analyzátory testu, ktoré umožňujú monitorovať emisie v meraniach na stanovenie EL, ako aj v prevádzkových meraniach s možnosťou určenia obsahu vodnej pary v spaliniach.

1. Podmienky stanovenia emisných limitov

Nariadením vlády 92/1996 Z. z. sa vykonáva zákon o ochrane ovzdušia a určuje zoznam znečisťujúcich látok, ich limity znečisťovania a doby na ich dosiahnutie, kategorizáciu zdrojov, všeobecné podmienky ich prevádzkovania a podmienky stanovenia emisných limitov (EL).

Koncentrácia plynov sa môže vyjadrovať viacerými spôsobmi: najčastejšie sa vyjadruje ako objemová alebo hmotnostná koncentrácia. V nariadení vlády sa definujú emisné limity pre znečisťujúce látky jednotlivých typov zdrojov znečisťovania podľa toho, či ide o zdroj nový alebo existujúci.

Podmienky určenia EL ako hmotnostnej koncentrácie sú určené nasledovne:

1. **pre nové zdroje**, pokiaľ to nie je uvedené inak, sú vyjadrené ako koncentrácia **v suchom plyne** po prepočítaní na štandardné stavové podmienky (tlak = 101 325 Pa, teplota = 0 °C a vlhkosť = 0 obj. % H₂O) a určený referenčný obsah kyslíka,
2. **pre niektoré vybrané technológie** (sušenie dreva, rafinácia cukru, výroba perlitov atď.) sa počítajú koncentrácie **vo vlhkom plyne** (t. j. taká vlhkosť, ktorá vyplýva z technologického procesu) po prepočítaní na štandardné stavové podmienky a referenčný obsah kyslíka, ak je určený,
3. **pre existujúce zdroje**, pokiaľ to nie je uvedené inak, sa vyjadrujú ako koncentrácia **vo vlhkom plyne** po prepočítaní na štandardné stavové podmienky a určený referenčný obsah kyslíka.

Z uvedených podmienok vyplýva, že treba poznať vlhkosť spalín, ak sa počítajú koncentrácie vo vlhkom plyne (bod 2 a 3). Ďalším prípadom, keď treba merať vlhkosť spalín, je napr. vyhodnotenie teplotných bilancií pecí alebo iných spaľovacích zariadení. Teplota spalín bude v uvedených prípadoch vysoká (závisí od miesta odberu) a kladie zvýšené nároky na merací systém a jeho odolnosť voči teplote.

Ak sú koncentrácie merané za iných než štandardných stavových podmienok, použijú sa prepočtové vzťahy na prepočet na štandardné stavové podmienky a určený referenčný obsah kyslíka, pretože iba takto možno porovnávať zdroje znečisťovania navzájom.

Vlhkosť plynu ovplyvňuje výsledok koncentrácií objemových a hmotnostných koncentrácií, podobne ako ho ovplyvňuje obsah kyslíka v spaliniach. Rozdiely sú obvyčajne 5 až 7 %, v niektorých prípadoch až 15 až 30 %.

2. Prepočet koncentrácií

Prepočet koncentrácie na štandardné stavové podmienky suchého plynu a referenčného obsahu kyslíka v spaliniach je daný vzťahom:

$$C_n^{s,r} = \frac{273,15 + t}{273,15} \cdot \frac{101,325}{p} \cdot \frac{100}{100 - W} \cdot \frac{20,95 - O_{2,ref}}{20,95 - O_{2,mer}} \cdot C_p \quad (1)$$

kde $C_n^{s,r}$ je koncentrácia po prepočte na štandardný stav v suchom plyne a referenčné podmienky dané obsahom O₂,

C_p – koncentrácia zodpovedajúca prevádzkovým podmienkam (meraný),

t – teplota odpadového plynu pri prevádzkových meraniach (°C),

p – absolútny tlak odpadového plynu zodpovedajúci prevádzkovým podmienkam (kPa),

W – obsah vody v spaliniach (obj. % H₂O),

$O_{2,ref}$ – referenčný obsah kyslíka v spaliniach (obj. %),

$O_{2,mer}$ – obsah kyslíka v spaliniach zodpovedajúci prevádzkovým podmienkam (meraný) (obj. %).

Stavové veličiny pri prevádzkovom meraní sú veličiny, ktoré má odpadový plyn (spaliny) pri prechode analyzátorom.

Prevádzkovateľ analyzátora si musí uvedomiť, ako pracuje jeho analyzátor a podľa toho posúdiť príslušne stavové veličiny pri prepočte na štandardné stavové podmienky. Merací systém (analyzátor) principiálne pozostáva z nasledujúcich častí:

- analyzátor, predúpravná jednotka vzorky plynu, odberová sonda

Pre zaistenie suchých spalín treba použiť **predúpravnú jednotku**, (tzv. **sušičku spalín**, resp. **odlučovač vlhkosti**), ktorý zabezpečuje ochladzovanie plynu a odlučovanie kondenzátu tak, aby výsledná meraná hodnota mohla byť vzťahovaná na suchý plyn priamo z údajov analyzátora (vyhodnocovacej jednotky) bez dodatkových prepočtov alebo iných korekcií.

Použitie predúpravnej jednotky má dve základné funkcie:

1. Rýchle a kontrolované odstránenie vlhkosti – obsahu vodnej pary H₂O v spaliniach tak, aby nedochádzalo k postupnému ochladzovaniu spalín v kondenzačných nádobách a na stenách plynovej sondy, pretože skondenovaná voda reaguje vzájomne so zložkami, najmä s NO₂ a SO₂ a spôsobuje podstatný pokles ich reálnej koncentrácie.
2. Zabezpečiť stavové veličiny spalín tak, aby sa čo najviac približovali štandardným. Stavové veličiny po prechode predúpravnou jednotkou sa približujú k stavovým veličinám suchého plynu (t. j. $t = 3 \text{ °C} \rightarrow 0 \text{ °C}$ a $W = 0$ obj. % H₂O)

3. Vlhkosť spalín

Atmosférický vzduch je zmesou niekoľkých plynov s určitým množstvom vodných pár. Nazýva sa vlhký vzduch. Zloženie suchého vzduchu na zemskom povrchu bolo pre zjednotenie výpočtov medzinárodne normované. Hlavnými zložkami atmosféry sú dusík N₂ (78,09 %) a kyslík O₂ (20,95 %), argón Ar (0,93 %), a kyslíčnik uhličitý CO₂ (0,03 %). Ďalšie zložky – Ne, He, Kr, Xe, H₂, a O₃, predstavujú iba stopové množstvá.

Spaľovanie predstavuje rýchlu oxidáciu paliva so súčasným vývinom značného množstva tepla viazaného v palive. Výsledkom dokonalého spaľovania sú okrem tepla aj spaliny, ktoré obsahujú N₂ (81 – 88 %), CO₂ (9,5 – 18,9 %), SO₂ (0,1 %) a vodnú paru H₂O, ktorá sa uvoľňuje zo spaľovania vodíka. Istá časť vody je obsiahnutá aj v palive a v privádzanom vzduchu, a tým sa zväčšuje podiel vodnej pary v spaliniach. Ďalšie produkty spaľovania sú zanedbateľné, pretože ich koncentrácia predstavuje podiel objemu < 1 % preto spaliny budeme posudzovať so svojimi vlastnosťami za vlhký vzduch s koncentráciou vodnej pary 10 – 20 obj. % H₂O.

Prevádzkovateľ spaľovacieho zariadenia má teda možnosť určiť množstvo vodnej pary v spaliniach teoretickým výpočtom alebo meraním. Výpočet je zdĺhavý a prácny, preto meranie dáva často reálnejší obraz o skutočnom stave spaľovacieho procesu a je nezaopovedateľné.

Ing. Dušan Kisel, CSc.
Ing. Juraj Kolesár, CSc.

Meranie vlhkosti spalín (2)

Dušan Kisel
Juraj Kolesár

Cieľom príspevku je poukázať na požiadavky a podmienky stanovenia emisných limitov zdrojov znečisťovania. V prvej časti článku uvádzame základné pojmy o vlhkosti spalín, naznačené princípy ich merania a na príklade prístrojov testo predstavíme najnovšie smery a trendy v tejto oblasti. V ďalšej časti príspevku uvedieme postup určenia obsahu vodnej pary v spaliniach z merania relatívnej vlhkosti. V závere predstavíme analyzátory testo, ktoré umožňujú monitorovať emisie v meraniach na stanovenie EL, ako aj v prevádzkových meraniach s možnosťou určenia obsahu vodnej pary v spaliniach.

3. Vlhkosť spalín

Vodné pary vo vzduchu sa správajú podobne ako suchý vzduch, t. j. ako ideálny plyn, preto sa riadia Daltonovým zákonom pre zmes ideálnych plynov a stavovou rovnicou ideálnych plynov. Podľa Daltonovho zákona je celkový tlak vlhkého vzduchu (barometrický tlak) daný súčtom parciálnych tlakov suchého vzduchu p_v a vodných pár p_p .

$$p = p_v + p_p \quad (\text{Pa}) \quad (2)$$

Medzi základné veličiny určujúce vlhkosť patria:

1. **Absolútna vlhkosť Φ** , je hmotnosť vodných pár obsiahnutých v 1 m^3 vzduchu. Je to teda merná hmotnosť pary (ρ_p). Môže byť tiež vyjadrená parciálnym tlakom pár p_p . Vypočíta sa podľa vzťahu:

$$\Phi = \frac{m_p}{V} \quad (\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}, \text{ resp. } \text{g} \cdot \text{m}^{-3}) \quad (3)$$

kde m_p je hmotnosť vodnej pary (kg, g),
 V – objem vlhkého vzduchu (m^3).

2. **Relatívna vlhkosť φ** sa používa ako veličina najčastejšie. Udáva do akej miery je vodná para vo vzduchu nasýtená. Určuje sa ako pomer hmotnosti vodných pár v jednotke objemu k maximálnej novej hmotnosti vodnej pary v jednotke objemu pri tej istej teplote. Vyjadruje sa v % a pri platnosti stavovej rovnice platí:

$$\varphi = 100 \frac{\Phi_p}{\Phi_p^{**}} = 100 \frac{p_p}{p_p^{**}} = 100 \frac{\rho_p}{\rho_p^{**}} \quad (\% \text{ rV}) \quad (4)$$

kde Φ_p je absolútna vlhkosť vodnej pary ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$),
 Φ_p^{**} – absolútna vlhkosť vodnej pary v stave nasýtenia ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$),
 p_p – parciálny tlak vodnej pary (Pa),
 p_p^{**} – parciálny tlak vodnej pary v stave nasýtenia (Pa),
 ρ_p – merná hmotnosť pary ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$),
 ρ_p^{**} – merná hmotnosť pary v stave nasýtenia ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$).

Medzi ďalšie veličiny vlhkosti patria:

3. **Merná vlhkosť vzduchu x (vodný obsah)** udáva hmotnosť vodnej pary v kg na hmotnosť 1 kg suchého vzduchu ($\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$). Podľa definície:

$$x = \frac{m_p}{m_s} \quad (\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}, \text{ resp. } \text{g} \cdot \text{kg}^{-1}) \quad (5)$$

kde m_s je hmotnosť suchého vzduchu (kg).

4. **Teplota rosného bodu t_r** , je teplota, pri ktorej pary vo vzduchu (pri ochladzovaní bez kondenzácie) sú práve sýte, t. j. teplota,

pri ktorej sa začína kondenzácia. Poznanie teploty rosného bodu má značný význam z hľadiska posúdenia korózie spalín.

Vzájomný vzťah medzi relatívnou a absolútnou vlhkosťou vyjadruje vzťah:

$$\Phi_p = \varphi \cdot \Phi_p^{**} = \frac{\varphi \cdot p_p^{**}}{R_p \cdot T} \quad (6)$$

kde R_p je plynová konštanta vodnej pary

$$(R_p = 461,5 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}),$$

T – termodynamická teplota (K) $T = 273,15 + t$,

t – teplota ($^{\circ}\text{C}$).

Z rovníc (5) a (6) možno odvodiť vzťah medzi relatívnou vlhkosťou φ a mernou vlhkosťou x :

$$x = \frac{0,622 \cdot \varphi \cdot p_p^{**}}{p - \varphi \cdot p_p^{**}} \quad (7)$$

Parciálny tlak vodných pár p_p^{**} možno odčítať z tabuliek vlastností vlhkého vzduchu, napr. tab. 1 [1], alebo určiť výpočtom pre $t \in <0, 80 \text{ }^{\circ}\text{C}>$ podľa vzťahu (2):

$$p_p^{**} = \exp \left(23,58 - \frac{4044,6}{235,628 + t} \right) \quad (8)$$

4. Meranie vlhkosti

V súčasnosti je na trhu dostupných niekoľko metód merania vlhkosti vodnej pary. Medzi najznámejšie princípy patria: psychrometrický, gravimetricko-absorpčný, gravimetricko-kondenzačný, elektrovodivostný s LiCl senzorom atď.

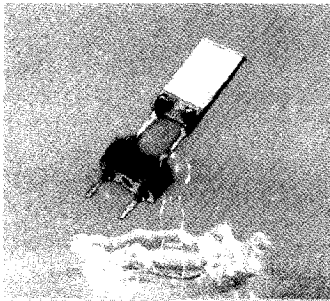
Všetky tieto princípy sú charakterizované viacerými obmedzeniami, napr. v prípade psychrometrickej metódy sú to: časová konštanta (viac ako 15 min.), potrebný je vlastný ventilátor (min. $2,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$), nutnosť dopĺňovať vodu, obťažná kalibrácia, odčítanie hodnôt z nomogramu, presnosť $\leq 1,5 \%$, obmedzenie meracieho rozsahu a maximálnej teploty. Podobne to platí aj pre ostatné princípy.

Uvedené (označme ich klasické) metódy merania vlhkosti neumožňujú kontinuálne meranie vlhkosti. Testo ponúka nový princíp na meranie vlhkosti pomocou kapacitných snímačov, ktoré nemajú uvedené obmedzenia a vyznačujú sa jedinečnými technickými parametrami.

Vlhkostný kapacitný senzor testo umožňuje merať relatívnu vlhkosť v rozsahu 0 až 100 % rV a rozmedzí teplôt -30 až $+180 \text{ }^{\circ}\text{C}$! Pasívny tenkovrstvový snímač má klasickú štruktúru (obr. 1). Na $0,6 \text{ mm}$ hrubej keramickej podložke s rozmermi $6 \times 10 \text{ mm}$ je na-

teplota [$^{\circ}\text{C}$]	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
parciálny tlak [Pa]	610,8	1 227,5	2 337	4 241	7 374	12 334	19 917	31 165	47 356	70 108	101 322
teplota [$^{\circ}\text{C}$]	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
parciálny tlak [Pa]	101 322	143 265	198 535	270 114	361 375	476 015	618 015	791 985	1 002 729	1 255 251	1 555 040

Tab.1 Parciálny tlak vodnej pary v stave nasýtenia



Obr.1 Kapacitný vlhkosťný senzor testo

nesená kovová základná elektróda, ktorá je pokrytá vrstvou plastického polyméru. Na zlepšenie vlastností senzora pri vysokých úrovniach vlhkosti je medzi základnú elektródu a vrstvu polyméru nanesená tenká metaloxidová vrstva. Na polymér je naparená porózna, vodnú paru prepúšťajúca kovová elektróda, ktorá vytvára spolu so základnou elektródou kondenzátor

s dielektrikom (polymér). Vplyvom zmien vlhkosti sa menia dielektrické vlastnosti polyméru, a tým aj výsledná kapacita senzora, ktorá sa meria a tak sa vyhodnocuje relatívna vlhkosť vzduchu.

Nepatrné odchýlky od linearity, ako aj teplotný koeficient senzorov je kompenzovaný pomocou elektroniky. Presnosť senzora je $\pm 1\%$ rV (volba) a časová konštanta je ≤ 15 s. Sensory vlhkosti **testo** možno použiť aj na meranie vlhkosti spalín (výborné osvedčenie z PTB skúšobne) do teplôt až $+180\text{ }^\circ\text{C}$ v súčinnosti s prístrojmi **testo** 635, **testo** 650 a **testo** 400, ako aj s **analýzátorom spalín testo 350**. S uvedeným typom senzora tak možno kontinuálne merať a vyhodnocovať zmeny vlhkosti spolu s analýzou spalín.

Medzi základné výhody snímačov vlhkosti testo patria: rýchla časová odozva, časová a teplotná stálosť, odolnosť voči spalínám a ďalším agresívnym prostrediam, jednoduchá kalibrácia, teplotná zaťažiteľnosť až do $+180\text{ }^\circ\text{C}$.

4. 1 Výpočet obsahu vodnej pary z merania relatívnej vlhkosti

Uvažujme spaľovanie zemného plynu. Pri analýze spalín pomocou analyzátoru s predúpravou jednotkou boli namerané napr. tieto veličiny: $O_2^s = 3,0\%$, $CO_2^s = 10,1\%$, nadbytok vzduchu $\lambda = 1,15$. Ďalej boli namerané: teplota spalín $t = 70\text{ }^\circ\text{C}$ a relatívna vlhkosť spalín $\phi = 52,58\%$ rV a $p = p_0$. Meranie teploty a relatívnej vlhkosti spalín ϕ je realizované pomocou kapacitného snímača **testo**.

Určíme obsah vodnej pary v spalínach a zloženie spalín.

1. Určíme absolútnu vlhkosť spalín podľa vzťahu (6)

$$\Phi_p = \frac{\phi \cdot p_p}{R_p \cdot T} = \frac{0,5258 \cdot 31165}{(461,51 \cdot (273,15 + 70))} = 0,10347 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

2. Určíme obsah vodnej pary W_v podľa vzťahu

$$W_v = 100 \cdot \frac{\Phi_p}{\rho_p} = 100 \cdot \frac{0,10347}{0,639} = 16,19 \text{ obj. } \% \text{ H}_2\text{O}$$

kde $\rho_p = 0,639 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ pri $t = 70\text{ }^\circ\text{C}$ a $p = p_0$

3. Určíme zloženie suchých spalín:

$O_2^s = 3,0\%$, $CO_2^s = 10,1\%$ a zvyšok predstavuje dusík $N_2^s = 86,9\%$ (ak ďalšie zložky spalín zanedbáme)

4. Určíme zloženie vlhkých spalín prepočtom obsahu O_2^s a CO_2^s na vlhké spaliny podľa vzťahu

$$O_2^v = O_2^s \frac{100 - W_v}{100} = 3,0 \cdot \frac{100 - 16,19}{100} = 2,51\%$$

a

$$CO_2^v = CO_2^s \frac{100 - W_v}{100} = 10,1 \cdot \frac{100 - 16,19}{100} = 8,46\%$$

vodná para predstavuje $H_2O = 16,19\%$ a zvyšok je dusík $N_2^v = 72,83\%$ (ak ďalšie zložky spalín zanedbáme).

5. Analyzátory emisií

Konstruktívne možno analyzátory **testo** rozdeliť na dve skupiny - ručné a prenosné. Modely zo série **testo 346**, **testo 300** patria do skupiny ručných analyzátorov. Analyzátor **testo 350** patrí do skupiny prenosných a spolu s predúpravou jednotkou spalín tes-

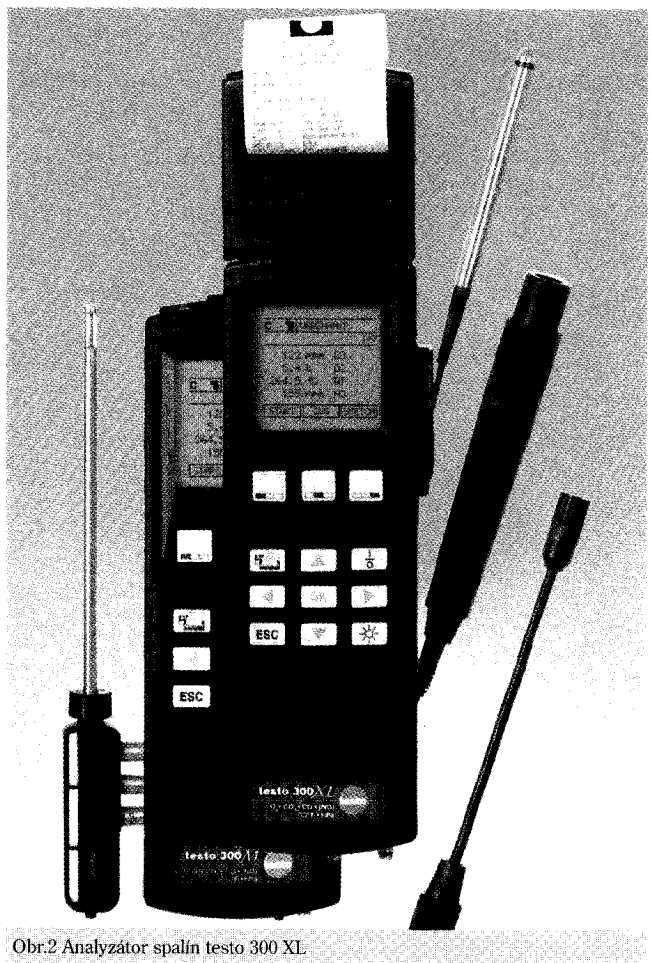
to 339 vytvára emisný merací systém - EMS. **testo 360** je najvýkonnejší prenosný model a svojou konštrukciou predstavuje EMS. Obidva EMS spĺňajú základné technické požiadavky na EMS na vykonávanie jednorazových meraní na potreby konania pred orgánmi štátnej správy ochrany ovzdušia.

5.1 Ručné analyzátory testo 300 M, 300XL a testo 346

Modely zo série **testo 300 M**, **300 XL** (obr. 2) a **346** patria do skupiny kompaktných ručných analyzátorov. Pomenovanie vyplýva z ich malých rozmerov a hmotnosti. Umožňujú presné a rýchle meranie teploty spalín a okolia, obsahu O_2 , CO_2 , CO , NO (max. 3 senzory v jednom prístroji), komínového ťahu. Model **testo 300 XL** umožňuje navyše merať aj diferenčný tlak (meranie rýchlosti prúdenia spalín), meria úniky CO s CO sondou a únik plynu CH_4 s indikáciou alarmu. Analyzátory počítajú nadbytok vzduchu, účinnosť spaľovania a komínovú stratu. Merané údaje možno prenášať na IR tlačiareň alebo PC.

Vlastnosti: pamäť pre 20, resp. 100 blokov meraní, zobrazenie 4 meraných hodnôt súčasne na veľkom grafickom displeji, rýchle a presné zobrazenie meraných hodnôt, prsvietenie LCD displeja, prácu z dobijateľných batérií alebo siete, vymeniteľnosť batérií, možnosť vložiť do protokolu tlaču tri voľne programovateľné riadky, kalibráciu, resp. výmenu nových senzorov bez potreby testovacích plynov, elektronickú a mechanickú ochranu preťaženia senzora CO , vložiť hodnotu CO_{2max} , merať teplotu na dvoch vstupoch a mnohé ďalšie užitočné funkcie.

Hlavné oblasti použitia: jednoduché a optimálne nastavenie horákov v kúrenárskych aplikáciách, vhodný najmä pre servisných technikov a údržbárov, malé a veľké projekčné kancelárie, pečiarske cechy v priemysle, elektrárne.



Obr.2 Analyzátor spalín testo 300 XL

Ing. Dušan Kisel', CSc.
Ing. Juraj Kolesár, CSc.

Meranie vlhkosti spalín (3)

Cieľom príspevku je poukázať na požiadavky a podmienky stanovenia emisných limitov zdrojov znečisťovania.

V prvej časti článku uvádzame základné pojmy o vlhkosti spalín, naznačené princípy ich merania a na príklade prístrojov testo predstavíme najnovšie smery a trendy v tejto oblasti. V ďalšej časti príspevku uvedieme postup určenia obsahu vodnej pary v spaliniach z merania relatívnej vlhkosti. V závere predstavíme analyzátory testo, ktoré umožňujú monitorovať emisie v meraniach na stanovenie EL, ako aj v prevádzkových meraniach s možnosťou určenia obsahu vodnej pary v spaliniach.

5.2 Prenosný analyzátor testo 350

Modulárny analyzátor spalín testo 350 (obr. 3) patrí do skupiny prenosných analyzátorov a umožňuje presné a rýchle meranie teploty spalín a okolia, obsah O_2 , CO_2 , CO , NO , NO_2 a SO_2 (max. 5 senzorov v jednom prístroji), komínový fah, relatívnu vlhkosť okolia a spalín (do $+140/180$ °C), rýchlosť prúdenia spalín. Ďalej počítá nadbytok vzduchu, účinnosť spaľovania a komínovú stratu, rosný bod atď. Merané údaje možno prenášať na IR tlačiareň cez IR rozhranie alebo na PC pomocou kábla.

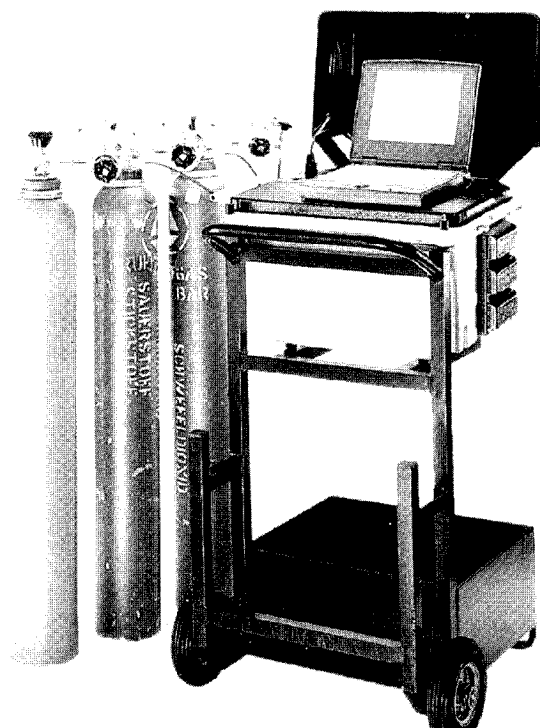
Vlastnosti: analyzátor testo 350 má vlastnosti zhodné s ručnými analyzátormi a navyše napr. umožňuje, aby si užívateľ zvolil počet meraných plynov (max. 5) a podľa potreby ich neskôr rozšíril.

testo 350 je prvý prenosný analyzátor spalín na svete s možnosťou merať vlhkosť okolia a rýchlosť prúdenia spalín. Na meranie vlhkosti sa používajú kapacitné senzory TESTO, ktoré umožňujú merať vlhkosť v rozsahu 0 až 100 % relatívnej vlhkosti pri teplotách -30 až $+180$ °C. Meranie rýchlosti prúdenia spalín sa uskutočňuje pomocou Prandtlovej rúrky v rozsahoch 1,0 až 10(30) m.s⁻¹, ale do teplôt až 700 °C.

Hlavné oblasti použitia: testo 350 je obzvlášť vhodný na monitorovanie emisií a nastavovanie veľkých priemyselných spaľovacích zariadení. V spolupráci s predúpravou jednotkou testo 339



Obr.3 Analyzátor spalín testo 350



Obr.4 EMS testo 360

(sušička spalín) vytvára **emisný merací systém** a možno ho použiť na „oficiálne“ merania emisií spaľovacích zariadení do 25 MW.

Analyzátor bol podrobený technickej skúške v Slovenskom metrologickom ústave a má pridelenú štátnu značku schváleného typu meradla TQS 452/95-022.

5.3 Prenosný analyzátor na oficiálne merania testo 360

Analyzátor spalín testo 360 (obr. 4) umožňuje presné, rýchle a dlhodobé meranie teploty spalín a okolia, obsah O_2 , CO_2 , CO , NO , NO_2 , SO_2 , $CxHy$ (max. 7 senzorov v jednom prístroji), komínový fah, obsah vody v spaliniach, rýchlosť prúdenia spalín.

Vlastnosti: analyzátor testo 360 umožňuje, aby si užívateľ zvolil počet meraných plynov a podľa potreby ich neskôr rozšíril (max. 6 plynov). Svojou konštrukciou je predurčený na dlhodobé merania bez dozoru s automatickou kalibráciou na mieste merania. Prístroj má integrovaný PC na úschovu nameraných údajov, čo dovoľuje realizovať dlhodobé merania v teréne a ich podrobné vyhodnotenie v kancelárii.

Hlavné oblasti použitia: testo 360 je obzvlášť vhodný na monitorovanie emisií, nastavovanie veľkých priemyselných spaľovacích zariadení, ako aj na oficiálne merania emisií spaľovacích zariadení bez obmedzenia výkonu a typu paliva. Možno ho použiť na merania veľkých spaľovacích zdrojov, spaľovní odpadov a procesné merania v priemysle.

Ing. Dušan Kiseľ, CSc.
Ing. Juraj Kolesár, CSc.

Meranie vlhkosti spalín

(4)

Dušan Kiseľ, Juraj Kolesár

Cieľom príspevku je poukázať na požiadavky a podmienky stanovenia emisných limitov zdrojov znečisťovania. V prvej časti článku uvádzame základné pojmy o vlhkosti spalín, naznačené princípy ich merania a na príklade prístrojov testo predstavíme najnovšie smery a trendy v tejto oblasti. V ďalšej časti príspevku uvidíme postup určenia obsahu vodnej pary v spaliniach z merania relatívnej vlhkosti. V závere predstavíme analyzátory testo, ktoré umožňujú monitorovať emisie v meraniach na stanovenie EL, ako aj v prevádzkových meraniach s možnosťou určenia obsahu vodnej pary v spaliniach.

6. Meranie vlhkosti analyzátorom spalín testo 360

Na obr. 5 je zobrazený postup spalín v analyzátoch testo 360. Spaliny prechádzajú vyhrievanou plynovou sondou na vstup analyzátora. Spaliny sú odoberané v mieste odberu plynovou sondou – multifunkčnou alebo priemyselnou, s teplotou asi +150 °C. Ďalej prechádzajú kyslíkovým senzorom O₂ (tzv. vlhký kyslík), do predúpravnej jednotky, kde dochádza k odstráneniu vodnej pary a kondenzátu. Suché spaliny ďalej postupujú cez filtre a čerpadlo dvoma vetvami na analýzu jednotlivých zložiek O_{2s}, CO₂, NO, NO₂, SO₂ a CO. Senzor CO je doplnený pomocným čerpadlom na jeho preplachovanie v prípade vysokých koncentrácií CO.

Modul merania vlhkého kyslíka O_{2v} v spojení s elektrochemickým senzorom, ktorý

meria obsah (tzv. suchého kyslíka) O_{2s} slúži k určeniu vlhkosti spalín. Samotný modul na meranie O_{2v} je vyhrievaný na teplote 700 °C! Porovnaním oboch hodnôt kyslíka sa určuje obsah vodnej pary v spaliniach v rozsahu 3 až 31 obj. % H₂O s presnosťou ±2 obj. % H₂O.

Výpočet vlhkosti spalín W_v sa realizuje podľa vzťahu:

$$W_v = 100 - \frac{100 \cdot O_2^v}{O_2^s} \text{ obj. \% H}_2\text{O}$$

Vlhkosť spalín teda možno merať priamo analyzátorom bez obmedzenia teploty spalín a, prirodzene, je spojitý, ako aj celková analýza spalín.

Záver

Autori poukázali na súčasný stav v konštrukcii prenosných analyzátorov spalín a ich možnosti použitia pre prevádzkové me-

rania látok znečisťujúcich ovzdušie. Naznačili problematiku stanovenia EL a zabezpečenie štandardných stavových podmienok analyzátorov spalín. Bola predstavená koncepcia merania relatívnej vlhkosti spalín pomocou kapacitných vlhkosťných senzorov testo, ako aj priamo obsah vodnej pary v spaliniach pomocou EMS testo 360. Na príklade výpočtu bol ukázaný postup stanovenia obsahu vodnej pary v spaliniach a zloženie spalín.

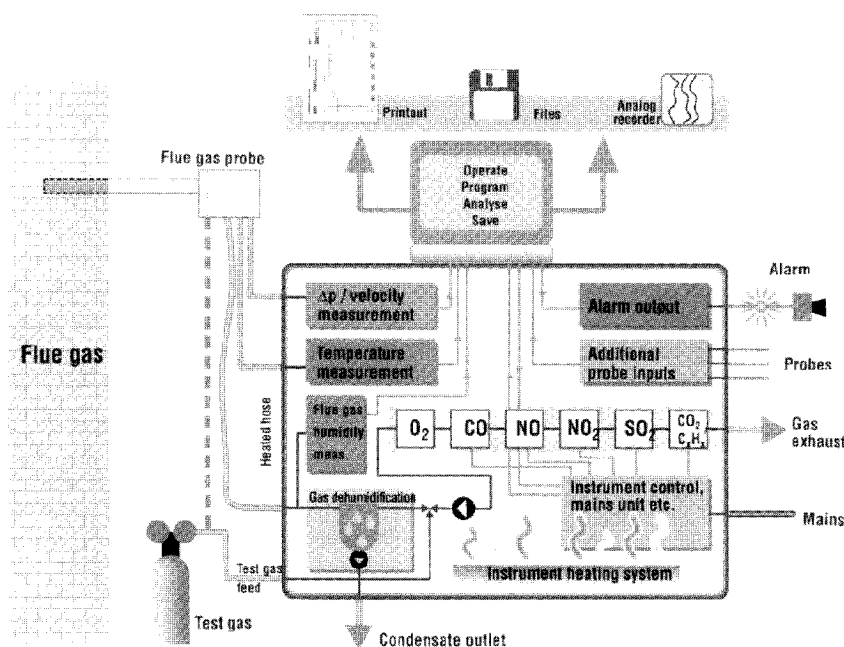
Analýzátory testo možno použiť pri optimalizácii spaľovacieho procesu všetkých typov fosílnych palív a v závislosti od zvoleného typu analyzátora aj v nasledovných technológiách: meranie na plynových turbínach, stacionárnych piestových spaľovacích motoroch (diesel, benzín), pri výrobe koksu, pražení rúd, v hutníckej druhovýrobe, na aglomerácii, na elektrických oblúkových a indukčných peciach, kuplových peciach, pri výrobe medi, ďalej pri spaľovaní komunálneho odpadu, ako aj zvláštneho a nebezpečného odpadu, sušení dreva, výrobe perlitov, cementu, uhoľných briekiet atď.

Analýzátory testo vyhovujú požiadavkám na technické prostriedky monitorovania emisií pre prevádzkové merania. Pomocou týchto analyzátorov možno rýchlo a jednoducho merať a nastaviť požadovanú kvalitu spaľovacieho procesu a hospodárnosti prevádzky. S analyzátorami testo možno bez ďalších meracích prístrojov kontrolovať dodržiavania emisných limitov na zdrojoch znečisťovania.

Literatúra

- [1] Matematické fyzikálne a chemické tabuľky pre stredné školy, SPN 1996.
- [2] FERSTL, K.: Klimatizácia, STU Bratislava, 1993.

Ing. Dušan Kiseľ, CSc.
Ing. Juraj Kolesár, CSc.



Obr.5