

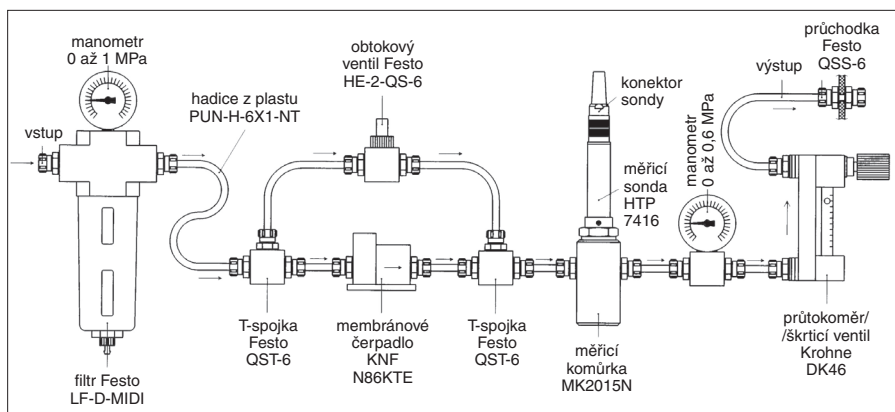
Měření vlhkosti bioplynu

Příklady měření vlhkosti plynů uvedené v [1], [2] a [3] jsou v článku doplněny stručnou exkurzí do oboru zjišťování vlhkostních veličin bioplynu a základním popisem inspekčního přístroje vyvinutého speciálně pro provozní měření vlhkosti tohoto druhu plynu a osvědčeného v praxi.

Charakteristika bioplynu

Bioplyn je vžitě označení pro směs plynů produkovanou při řízené anaerobní digestaci organických materiálů. Surový bioplyn obsahuje zejména metan (CH_4) a oxid uhličitý (CO_2) společně s dalšími složkami (tab. 1).

Bioplyn je ve výměníku tepla ochlazen chladicím agregátem a odloučená voda (kondenzát) je z plynu odstraněna. Poté je bioplyn v teplé (kompresní) části chladicího agregátu opět zahřát. Tato technika, popř. přecházející v techniku sušení plynu vymrazováním, umožňuje snížit teplotu rosného bodu bioply-



Obr. 1. Principiální schéma měřiče vlhkosti bioplynu v provedení MC 221-222001FP-Ex

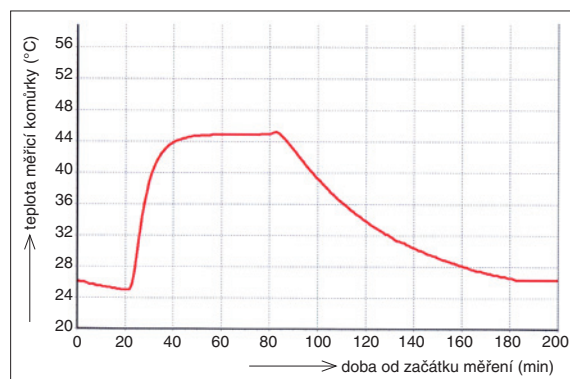
Jako pohonná látka motorových vozidel a stacionárních spalovacích motorů se používá bioplyn již vyčištěný, někdy zvaný *biometan*. Ten je zbaven nevhodných složek. Podíl metanu tím v celkovém objemu bioplynu naopak naroste na nejméně 95 %. Biometan je svým složením identický se zemním plynem, distribuovaným jako CNG, rozdíl je pouze ve způsobu vzniku. Vozidla vybavená k provozu na CNG díky tomu mohou bez omezení tankovat i biometan.

Aby bylo možné bioplyn používat jako palivo, je nutné zbavit jej do jisté míry také vodní páry, tj. sušit. Důvodem je prevence koroze zařízení, v nichž se bioplyn používá. K sušení bioplynu jsou v praxi využívány různé sorpční technologické postupy.

K základnímu, tj. nepřilíš hlubokému sušení bioplynu lze využít tepelné čerpadlo.

Tab. 1. Složení surového bioplynu

Složka	Objemový podíl (%)
metan	40 až 75
oxid uhličitý	25 až 55
vodní pára	0 až 10
dušík	0 až 5
kyslík	0 až 2
vodík	0 až 1
čpavek	0 až 1
sulfan	0 až 1



Obr. 2. Teplotní odezva průtočné komůrky na jednotkovou skokovou změnu žádané hodnoty její teploty po optimalizaci regulačního pochodu

nu na hodnotu, která je pro mnohé způsoby jeho využití přijatelná. Jde o metodu relativně jednoduchou, s malou spotřebou energie a ve většině případů dostačujícími výsledky.

Jako příklad z praxe lze uvést hodnoty dosahované v *Zařízení na čištění bioplynu v Ústřední čistírně odpadních vod (UČOV) Praha*, jak je uvádí [4]. Bude-li do čistícího zařízení vstupovat bioplyn o teplotě 55 °C a relativní vlhkosti blízké se 100 %, jeho teplota rosného bodu je také blízká hodnotě 55 °C. Reálná absolutní vlhkost plynu bude

104 g/m³. Půjde tedy o značné množství vodní páry v plynu. Při ochlazení výstupního bioplynu za prvním stupněm chlazení např. na teplotu rosného bodu 30 °C poklesne obsah vodní páry v tomto plynu na 30,3 g/m³. Rozdíl je odveden v podobě kondenzátu. Za druhým stupněm chlazení při teplotě rosného bodu 8 °C poklesne obsah vodní páry na hodnotu 8,3 g/m³. Rozdíl je opět odveden jako kondenzát svedený do kanalizace. Následně je plyn ohřát tak, aby na výstupu z čistícího zařízení neměl menší než tzv. minimální garantovanou teplotu, jejíž hodnota je 35 °C.

Dokonaleji než popsanou kondenzační metodou lze bioplyn vysušit v zařízení pro tzv. hluboké sušení bioplynu při použití tuhých sorbentů, jako je silikagel nebo zeolit (tzv. molekulové síto), a nebo prostřednictvím kapalných sorbentů, kterými jsou zejména glykoly. Těmito postupy lze dosáhnout obsahu vodní páry v bioplynu ještě mnohem menšího.

Z uvedeného je patrné, že během procesu sušení plynu kondenzační metodou se teplota plynu (zde bioplynu) velmi mění. Při sledování kvality procesu sušení proto není vhodné používat jako hygrometrickou veličinu relativní vlhkost, která, jak známo, je stavově závislá na teplotě. Je-li třeba znát exaktní množství vodní páry v plynu, je nutné měřit vlhkost plynu při použití absolutních veličin. Těmi jsou *absolutní vlhkost (g/m³)*, *směšovací poměr (g/kg)* nebo *teplota rosného bodu (°C)*. Tyto hygrometrické veličiny jsou na rozdíl od relativní vlhkosti závislé pouze na tlaku měřeného plynu.

Návrh přístroje pro měření vlhkosti bioplynu

Úloha měřit vlhkost bioplynu je jednoduchá jen zdánlivě. Jelikož v praxi jde většinou o surový bioplyn, který obsahuje je značné množství vodní páry

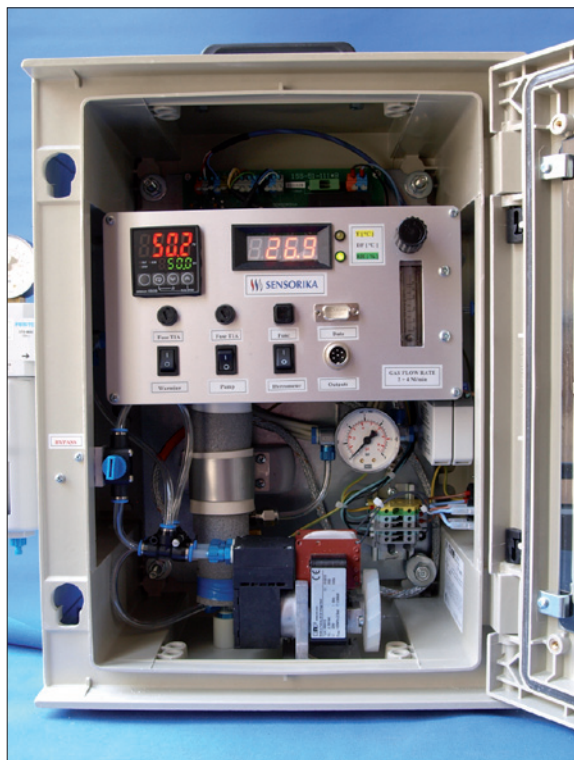
a sulfonů, nastávají při návrhu zařízení pro měření vlhkosti problémy zejména s:

- kondenzací vodní páry ve filtru nečistot a přivodním potrubí k měřicímu zařízení,
- kondenzací vodní páry uvnitř měřícího zařízení, zejména v průtočné komůrce s měřicí sondou vlhkosti,
- udržením teploty průtočné komůrky nad teplotou rosného bodu měřeného plynu,
- dostatečnou chemickou odolností měřicí sondy vlhkosti,
- garancí jiskrové bezpečnosti zařízení,

Tab. 2. Hodnoty rovnovážné relativní vlhkosti φ (v procentech) generované při teplotách t nad roztoky nasycených solí tvořících mezinárodně uznávané referenční body pro kalibraci měřidel relativní vlhkosti plynů (tzv. Humidity Fixed Point – HFP)

t (°C)	Referenční bod (označení/použitá sůl)						
	HFP4 fluorid cesný	HFP11 chlorid lithný	HFP33 chlorid hořečnatý	HFP59 bromid sodný	HFP75 chlorid sodný	HFP85 chlorid draselný	HFP98 síran draselný
10	–	13	33,5 ± 0,3	62,2 ± 0,6	75,7 ± 0,3	86,8 ± 0,4	98,2 ± 0,8
15	4,3 ± 1,4	13	33,3 ± 0,3	60,7 ± 0,6	74,6 ± 0,2	85,9 ± 0,4	97,9 ± 0,7
20	3,8 ± 1,1	12	33,1 ± 0,2	59,1 ± 0,5	75,5 ± 0,2	85,1 ± 0,3	97,6 ± 0,6
25	3,4 ± 1,0	11,3 ± 0,3	32,8 ± 0,2	57,6 ± 0,4	75,3 ± 0,2	84,2 ± 0,3	97,3 ± 0,5
30	3,0 ± 0,8	11,3 ± 0,3	32,4 ± 0,2	56,0 ± 0,4	75,1 ± 0,2	83,6 ± 0,3	97,0 ± 0,4
35	2,7 ± 0,7	11,3 ± 0,3	32,1 ± 0,2	54,6 ± 0,4	74,9 ± 0,2	83,0 ± 0,3	96,7 ± 0,4
40	2,4 ± 0,6	11,2 ± 0,3	31,6 ± 0,2	53,2 ± 0,5	74,7 ± 0,2	82,3 ± 0,3	96,4 ± 0,4
45	2,2 ± 0,5	11,2 ± 0,3	31,1 ± 0,2	52,0 ± 0,5	74,5 ± 0,2	81,7 ± 0,3	96,1 ± 0,4
50	2,1 ± 0,4	11,1 ± 0,3	30,5 ± 0,2	50,9 ± 0,6	74,5 ± 0,9	81,2 ± 0,4	95,8 ± 0,5

- f) kalibrací měřicího systému v oblasti 90% až 100% relativní vlhkosti plynu,
g) vyhověním dalším specifickým požadavkům kladeným na konstrukci měřiče vlhkosti bioplynu.



Obr. 3. Vnitřní uspořádání inspekčního měřiče vlhkosti bioplynu MC 221-222001FP-Ex

Jelikož v prvotním zadání vývoje a konstrukce přístroje byl položen důraz na jeho schopnost měřit vlhkost i v nízkotlaké části technologického zařízení bioplynové stanice, bylo nutné do přístroje zakomponovat chemicky odolné membránové čerpadlo (vakuovou pumpu). Z hlediska potřeby měřit i v tlakové části zařízení pak bylo nutné vytvořit v přístroji obtok čerpadla, umožňující v době, kdy čerpadlo nepracuje, „zkratovat“ jeho vstup a výstup (viz obr. 1).

Dalším „oříškem“ při vývoji přístroje je požadavek vyloučit možnost kondenzace vod-

ní páry v průtočné komůrce měřicí sondy. Za tím účelem bylo třeba zajistit ohřev této komůrky na teplotu vyšší, než je očekávaná nejvyšší teplota rosného bodu měřeného plynu v první části bioplynové jednotky. Tato úloha byla zdárně vyřešena použitím kruhového topného prvku se zabudovaným termočlánkem nasunutého na kruhové kovové těleso komůrky. Tato konstrukční sestava byla následně tepelně izolována.

Z regulačního hlediska tak vznikla regulovaná soustava s velkým dopravním zpožděním, jejíž řízení se podařilo zvládnout díky použití adaptivního regulátoru teploty. Teplotní odezva průtočné komůrky na jednotkovou skokovou změnu žádané hodnoty její teploty dosažená po optimalizaci regulačního pochodu je ukázána na obr. 2.

Vlastní měřicí sonda obsahující senzory vlhkosti a teploty musí být kalibrována i pro nejvyšší očekávanou vlhkost plynu, tj. teplotu jeho rosného bodu okolo 50 °C a relativní vlhkost 100 %. Kalibrovat měřicí sondu s použitím etalonu v podobě hygrometru se zrcátkovou sondou s čerpáním tepelné energie Peltierovým článkem není složité. Problém při kalibraci však nastává u hodnot

odpovídajících plynu nasycenému vodní párou, kdy může dojít ke kondenzaci vodní páry v plynovém traktu zrcátkového hygrometru. Proto je vhodné správnost kalibrace v tomto krajním (nejvyšším) bodu ověřit vsunutím kalibrované sondy do exikátoru nad hladinu nasyceného roztoku síranu draselného (K_2SO_4), reprezentujícího mezinárodně uznávaný pevný bod referenční stupnice rovnovážné relativní vlhkosti φ se jmenovitou hodnotou $\varphi = 98 \%$ (viz tab. 2, bod HFP98).

Zda budou skutečně získány tabelované hodnoty relativní vlhkosti φ podle tab. 2, zá-

- Řešíte problematiku měření a regulace vlhkosti v technologických procesech?
- Máte problémy s kalibrací svých měřicích přístrojů pro měření vlhkosti?

Odbornou pomoc Vám nabízí vývojově-výrobní společnost:



Dodáme vám následující prvky sensorového systému HUMISTAR se zajištěním jejich odborného servisu a kalibrace:

- Měřicí sondy rel. vlhkosti a teploty nebo rosného bodu a teploty s frekvenčním výstupem v provedení atmosférickém, tlakovém a pro HVAC.
- Inteligentní převodníky vlhkosti a teploty řady A, H a S v kabelovém, nástěnném a kanálovém provedení. Aktivní výstupy 0/4...20 mA a 0...5/10 V s galvanickým oddělením signálů od napájení 9 až 40 V DC. Alternativní napájení 230 V AC nebo 24 V AC.
- Laboratorní a provozní hygrometry s rozsahy -80 až +20 °C DP nebo -40 až +60 °C DP. Aktivní výstupy 0/4...20 mA nebo 0...10 V. Datová komunikace.
- Laboratorní a provozní analyzátoři vlhkosti s rozsahem -100 až +20 °C DP a 0 až 1 000 ppmV.
- Přístroje pro měření vlhkosti a teploty plynů pro Ex prostředí.
- Měřicí skříně vlhkosti suchých a ultrasuchých technických plynů.
- Měřicí skříně vlhkosti horkých a vlhkých plynů.
- Aplikační příslušenství.



SENSORIKA s. r. o.
měřicí a regulační systémy
V Zátíši 74/4
147 00 Praha 4 – Hodkovičky
tel./fax: 241 727 122
GSM brána: 605 239 594
e-mail: sensorika@volny.cz
http://www.sensorika.cz

leží, jak již bylo řečeno, nejvíce na teplotě [5]. Přestože hodnota teplotního koeficientu některých solí je malá, je třeba mít na zřeteli, že hodnoty φ jsou tabelovány pro případ, že roztok i okolní prostředí mají stejnou teplotu. Neméně důležitá je také doba ustálení generované relativní vlhkosti φ , která se u jednotlivých roztoků reálně pohybuje v rozmezí od 3 do 12 h.

Dosažené parametry

S respektováním uvedených skutečností byla vyvinuta měřicí skříň s typovým označením MC 221-222001FP-Ex, která v robustní kompozitní skříni sdružuje inteligentní hygrometr řady HG 220 s měřicí sondou HTP-7416 umístěnou ve vyhřívané průtočné komůrce s membránovým čerpadlem a plováčkovým průtokoměrem. Na vstupu skříně na jejím levém boku je filtr pevných částic s porozitou 5 μm . Použití šroubení umožňuje přivádět a odvádět měřený plyn plastovou hadicí o průměru 6/8 mm.

Hygrometr spolu s měřicí sondou tvoří měřicí zařízení pro měření zvolených hygrometrických veličin daného plynu.

Změny kapacity senzoru vlhkosti v závislosti na relativní vlhkosti a změny odporu senzoru teploty v závislosti na teplotě měřeného plynu jsou v měřicí sondě elektronicky převedeny na frekvenční signály, které jsou následně zpracovány v mikroprocesorovém převodníku hygrometru na údaje určené k zobrazení na displeji hygrometru a ke zpracování deskou analogových výstupů. Naměřené údaje jsou současně k dispozici pro přenos linkou RS-232C (komunikační protokol SENSORIKA) do nadřazeného monitorovacího nebo řídicího systému technologického zařízení. Linka RS-232C i analogové provozní signály jsou vyvedeny do konektorů umístěných na čelním panelu hygrometru (obr. 3).

Měřicí skříň MC 221-222001FP-Ex je dále vybavena Zenerovými bariérami, zajišťujícími jiskrově bezpečné oddělení elektroniky vlastního hygrometru od měřicí sondy vlhkosti a teploty umístěné v proudu výbušného plynu. Hlavní technické parametry charakterizující tento výrobek jsou souhrnně uvedeny v tab. 3.

Závěr

Úloha měřit vlhkostní veličiny bioplynu, zejména *surového*, představuje poměrně komplikované zadání pro vývoj a konstrukci přístroje, který musí splňovat dané speci-

Tab. 3. Základní technické parametry inspekčního měřiče vlhkosti bioplynu – měřicí skříň MC 221-222001FP-Ex

Měřené veličiny	relativní vlhkost (r. v.)	měřicí rozsah	0 až 100 %
		rozsah analogového výstupu	0 až 100 % měřicího rozsahu r. v.
		přesnost měření při 23 °C	< ± 1 % (10 až 90 % r. v.) < < $\pm 1,5$ % (0 až 10 a 90 až 100 % r. v.)
	teplota	měřicí rozsah	0 až 100 °C
		rozsah analogového výstupu	0 až 100 % měřicího rozsahu teploty
		přesnost měření při 0 °C	lepší než $\pm 0,15$ °C
Vypočítávané veličiny teplota rosného bodu	výpočtový rozsah celkový	-40 až +90 °C	
		rozsah analogového výstupu	0 až 50 °C
		výpočtový rozsah s chybou do ± 1 °C	0 až 50 °C při teplotě plynu 50 °C
	směšovací poměr	výpočtový rozsah	0 až 200 g/kg
		hodnota tlaku vzduchu použitá při výpočtu	1 013 hPa absolutního tlaku
	absolutní vlhkost	výpočtový rozsah	0 až 200 g/m ³
hodnota tlaku vzduchu použitá při výpočtu		1 013 hPa absolutního tlaku	
Analogové výstupy	relativní vlhkost plynu	4 až 20 mA	
	teplota plynu	4 až 20 mA	
	teplota rosného bodu plynu	4 až 20 mA	
Ostatní	napájecí napětí	230 V AC ± 10 %	
	příkon	max. 160 V·A	
	provozní teplota okolního prostředí	0 až 40 °C	
	provozní relativní vlhkost okolního prostředí	20 až 90 %	
	stupeň krytí měřicí skříně	IP44	
	tlak plynu na vstupu max. 1 MPa		
	maximální průtok plynu	10 NI/min	
	jmenovitý průtok plynu	2 až 4 NI/min	
	jmenovitá teplota průtočné komůrky	50 °C	
	ocejchování průtokoměru	bioplyn ¹⁾	
	rozměry měřicí skříně (bez šroubení, filtru a madla; v \times š \times h)	435 \times 330 \times 220 mm	
	hmotnost měřicí skříně	asi 12 kg	

¹⁾ Složení asi 63 % CH₄, 36 % CO₂ a 1 % O₂, průtok 0,41 až 4,1 NI/min, přetlak čerpadla 50 kPa

fické požadavky. K řádné obsluze takového přístroje je v každém případě nezbytná určitá úroveň znalostí techniky měření vlhkosti plynů. Přístroj k provoznímu měření vlhkostních veličin bioplynu popsany v článku byl konstruován se snahou o co nejkompaktnější pojetí úlohy tak, aby k její realizaci již nebyla třeba žádná další podpůrná technika. Zkušenosti z již poměrně dlouhodobého používání daného přístroje potvrzují, že vytyčeného cíle bylo dosaženo.

Literatura:

- [1] KLASNA, M. – LÁZNIČKA, P.: *Příklady úloh měření vlhkosti plynů (část 1)*. Automa, 2011, roč. 17, č. 10, s. 24–26, ISSN 1210-9592.

- [2] KLASNA, M. – LÁZNIČKA, P.: *Příklady úloh měření vlhkosti plynů (část 2)*. Automa, 2012, roč. 18, č. 1, s. 52–54, ISSN 1210-9592.
- [3] KLASNA, M. – LÁZNIČKA, P.: *Příklady úloh měření vlhkosti plynů (část 3)*. Automa, 2012, roč. 18, č. 12, s. 38–40, ISSN 1210-9592.
- [4] MIKULEC, J. – VANTUROVÁ, M. – HÁJEK, M.: *Zařízení na čištění bioplynu na ÚČOV Praha. Návrh a provozní zkušenosti*. In: Sborník Odpadové fórum 2010.
- [5] FEXA, J. – ŠIROKÝ, K.: *Měření vlhkosti*. SNTL, Praha, 1983.

Ing. Miloš Klasna, CSc.,
Ing. Pavel Lázníčka,
SENSORIKA, s. r. o.



Předplatné časopisu **AUTOMA**
lze pohodlně sjednat na stránkách www.automa.cz