

Ing. Ondřej HANUŠ¹⁾
 Ing. Vladimír HORYNA²⁾
 Ing. Daniel ADAMOVSÝ, Ph.D.²⁾
¹⁾ ČVUT v Praze, Fakulta
 elektrotechnická, Katedra měření
²⁾ ČVUT v Praze, Univerzitní
 centrum energeticky efektivních
 budov

Experimentální vzduchotechnická jednotka pro vývoj a testování virtuálních senzorů a diagnostických metod

Experimental Air-Conditioning Unit for the Development and Testing of Virtual Sensors and Diagnostic Methods

Recenzent
 Ing. Jan Široký, Ph.D.

Diagnostika vzduchotechnických jednotek je čím dál více se rozvíjející obor vývoje a výzkumu. Častým problémem je však absence senzorů potřebných k diagnostice zařízení. Tento článek si klade za cíl stručně seznámit čtenáře s virtuálními senzory, které v některých případech mohou efektivně nahradit chybějící reálné senzory. Jako příklad je zde prezentován virtuální senzor hmotnostního průtoku vzduchu.

Dále je v článku popsán experimentální systém vzduchotechnické jednotky, který vznikl pro účely testování a provádění simulací různých závad typických pro vzduchotechnické jednotky. Na základě dat získaných ze systému mohou být vyvíjeny a testovány diagnostické metody pro odhalování závad.

Klíčová slova: vzduchotechnická jednotka, virtuální senzor, modelování, diagnostika

Diagnosis of air-conditioning units is increasingly evolving field of research and development. However, a common problem is the absence of sensors needed to diagnose the device. This article aims to briefly familiarize the reader with virtual sensors, which can in some cases effectively replace the missing real sensors. The virtual mass air flow sensor is presented as an example.

This article also described an experimental system of an air handling unit, which was created for the purpose of testing and simulation of various failures typical for air handling units.

Diagnostic methods for detecting the failures can be developed and tested based on the data obtained from the system.

Keywords: air-conditioning unit, virtual sensor, modeling, diagnostics

ÚVOD

Problematika zvýšené spotřeby energie

Energetická spotřeba budov ve vyspělých zemích dosahuje až 40 % z celkové spotřeby energie. Ve výsledku to znamená, že spotřeba energie je v budovách větší než v průmyslu nebo v dopravě. Mezi hlavní spotřebiče v budovách bezpochyby patří vzduchotechnická zařízení. V kancelářských budovách je podíl celkové spotřeby energie ve vzduchotechnických jednotkách téměř 50 %, v hotelech a obchodních centrech se spotřeba pohybuje okolo 40 % a v nemocnicích okolo 30 %. Z toho vyplývá, že vzduchotechnické systémy dosahují až 20 % celkového množství spotřebované energie [1].

Neustálý růst cen energií a negativní dopady na životní prostředí, které výroba energie přináší, jsou silnou motivací ke snižování spotřeby spojené s provozem vzduchotechniky. Kromě zlepšování řízení jednotek a celkového zvyšování účinnosti, využitím nových materiálů a efektivnějších zařízení pro zpětné získávání tepla, je také nutné se zaměřit na závady spojené se vzduchotechnickými jednotkami. Jednotky, jakožto mechanická zařízení, jsou náchylné k různým druhům typických závad. Studie testující 123 střešních jednotek (rooftop unit) ukázala, že 64 % z nich mělo skrytou závadu v oblasti rekuperačního výměníku [2]. Závady, které nezpůsobují změny v kvalitě vnitřního prostředí budovy, zůstávají obsluze dlouhodobě skryty a projevují se často zvýšenou spotřebou energie. Pokud by jednotka nebyla častěji kontrolována anebo nějakým způsobem monitorována, mohla by s takovou závadou pracovat bez povšimnutí i několik let [2]. Pak je však provoz velice neefektivní a přispívá k poměrně vysokému podílu spotřebované energie vzduchotechnických zařízení na celkové spotřebě.

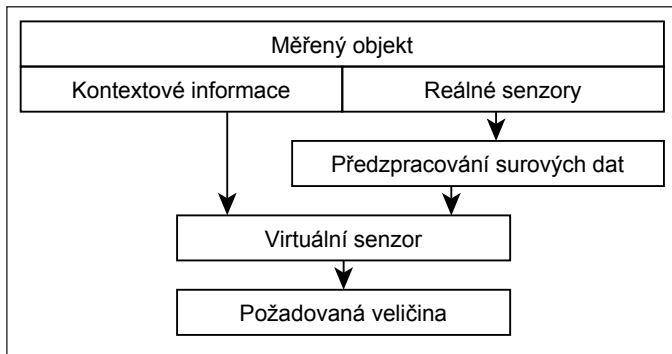
Jako ukázkou typické a často dlouhodobě skryté závady lze uvést zadřenou klapku umístěnou v cestě sání čerstvého vzduchu. Tato závada, v jejímž důsledku stoupá spotřeba energie, může být způsobena vlivem nečistot v potrubí nebo přerušením mechanické vazby přenášející pohyb z motoru na hřídel klapky. To se projeví například při provozu jednotky v cirkulačním režimu. Cirkulační režim umožňuje snížení spotřeby energie na úpravu vzduchu, protože v tomto režimu je zvenku nasáváno snížené množství čerstvého vzduchu. Pokud je však vstupní klapka zadřená, je čerstvý vzduch nadále nasáván typicky v jiném než požadovaném množství. Řídící elektronika tuto závadu zamaskuje navýšením výkonu chladicí, případně otopné soustavy. Nárůst výkonu sice nemusí být nijak markantní, ale z dlouhodobého hlediska se jedná o velice neefektivní provoz.

Poruchy spojené se vzduchotechnickými jednotkami je možné rozdělit do čtyř základních kategorií:

- mechanické závady,
- závady způsobené degradací výkonosti,
- závady způsobené nevhodným řízením,
- poruchy senzorů.

Mezi typické závady patří například nedoléhající, případně zaseknuté klapky, zanesený filtr, současný ohřev a chlazení vzduchu nebo „offsety“ a „drifty“ senzorů [2, 3, 4].

Vysoký výskyt skrytých závad vede k otázce, zda by nebylo možné podobným problémům předcházet. Častější důkladné kontroly jednotek by měly být prováděny při pravidelné údržbě, ovšem skutečnost může být v mnoha případech jiná. Důvodem mohou být značné finanční náklady s tím spojené. Jedním z významných řešení se jeví nasazení FDD (Fault Detection and Diagnostics) metod, které dokáží včas podobné problémy



Obr. 1 Obecný virtuální senzor
Fig. 1 General virtual sensor

odhalit. FDD je oblast zabývající se automatizací procesů pro odhalování nestandardního chování systémů a určování příčin takového chování. Nevýhodou těchto metod je potřeba velkého množství dat a tedy i velkého množství senzorů [5]. Vzhledem k tomu, že ani moderní jednotky nejsou dostatečně vybaveny senzory určenými pro diagnostiku (většinou obsahují minimální množinu senzorů potřebných k řízení systému), nabízí se zde řešení v podobě využití virtuálních senzorů.

Virtuální senzor

Virtuální senzor (dále jen VS) odhaduje danou veličinu na základě údajů, které jsou dostupné z jiných zdrojů informací. Jako zdroj informací může posloužit například fyzikální model zařízení, nebo je možné využít jiné dostupné senzory. VS často pracují s informacemi z řídicí elektroniky, s historií stavů jednotky a s měřenými veličinami. Pro nasazení VS je nutné znát co možná nejpřesnější popis technického vybavení a uspořádání vzduchotechnické jednotky.

Typické uspořádání VS je znázorněno na obr. 1. VS jsou uplatňovány zejména v případech, kdy [6]:

- vlastnost či stav nelze měřit fyzickým senzorem,
- fyzický senzor je příliš pomalý,
- fyzický senzor je umístěn příliš daleko, čímž je způsobena pomalá odezva,
- je nákladná implementace fyzického senzoru,
- je nedostatek místa pro umístění fyzického senzoru,
- fyzický senzor vyžaduje nákladnou údržbu.

VS mohou být děleny více způsoby, jak je znázorněno na obr. 2, a to na základě měřicí charakteristiky, způsobu modelování VS či na základě aplikace VS [7].

VS lze dle měřicí charakteristiky rozdělit do dvou skupin. První skupinou jsou VS využívané k odhadování výstupu systému ve fázích přechodových dějů. Takové VS jsou často schopné predikce a jsou využívány jako zpětná vazba v systému. Druhou skupinou jsou VS určené pro odhad výstupu systému po ustálení přechodových dějů.

Na základě modelování lze rozdělit VS do tří skupin. Za prvé může být VS modelován na základě fyzikálních zákonů, tzv. „first-principle“ či také „white-box“ přístup. Tento přístup však není vždy možný z důvodu složitosti fyzikálního popisu systému. Opakem je „black-box“ přístup. Modelování tímto způsobem je založeno na empirických vztazích bez znalosti fyzikálních procesů probíhajících v systému. Třetím způsobem je tzv. „gray-box“ přístup, který kombinuje „white-box“ a „black-box“.

Podle způsobu využití se VS rozlišují na senzory pro náhradu či zálohu fyzického senzoru a pro samostatné odhadování neznámé veličiny.

Tvorba VS vyžaduje velkou množinu testovacích dat dané veličiny, která má být pomocí VS odhadována. V případě „white-box“ VS jsou data nutná pro následné otestování VS a případné doladění. Při tvorbě VS na principu „black-boxu“ a „gray-boxu“ je nutná velká množina dat pro identifikování vhodné funkce, která co možná nejlépe odpovídá reálně naměřeným datům, nebo například pro naučení neuronové sítě. Plošnému nasazení VS brání právě nedostupnost potřebných dat. Z těchto důvodů vznikla experimentální vzduchotechnická jednotka, umožňující mimo jiné právě vývoj a testování VS.

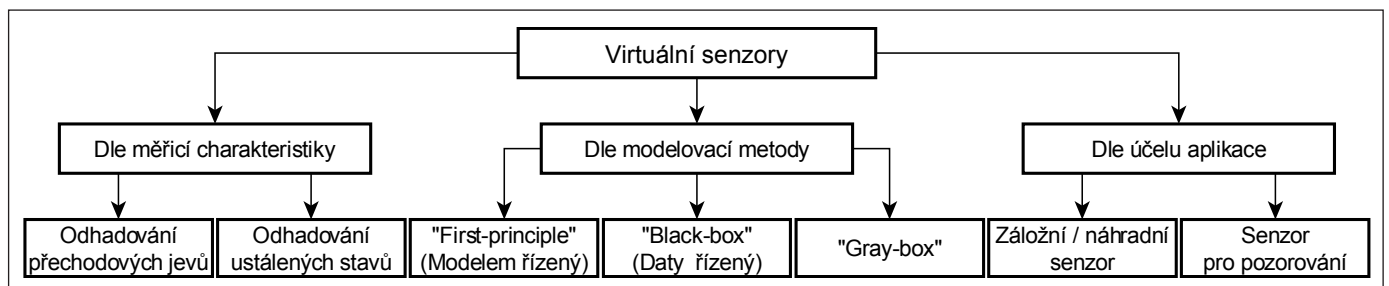
Význam experimentální jednotky

Na ČVUT v Praze vznikl projekt experimentální vzduchotechnické jednotky, ve spolupráci dvou fakult, stavební a elektrotechnické. Unikátnost jednotky spočívá v možnosti měření a ukládání velkého množství dat, která mohou být dále libovolně využívána. Experimentální vzduchotechnická jednotka není napojena na reálně využívané prostory, ale na speciální testovací komoru, umožňující téměř jakékoliv nezávislé nastavení teploty stěn, podlahy a stropu. Proto je možné na jednotce provádět celou řadu experimentů i s úmyslně způsobenými závadami bez ohledu na komfort v klimatizované zóně. Umožněna je i simulace různých klimatických podmínek v klimatizovaném prostoru. Jednotka je proto ideálním zdrojem dat například pro vývoj a testování diagnostických metod, virtuálních senzorů, nebo k vytváření matematických modelů jednotlivých částí vzduchotechnické jednotky.

POPIS SYSTÉMU

Základní popis jednotky

Experimentální zařízení tvoří jednotka Duplex od firmy Atrea. Jde o jednotku s částečně protiproudým rekuperačním výměníkem ZZT, navrženou na jmenovitý průtok vzduchu 900 m³/h. Jednotku tvoří tepelně izolovaná skříň, uvnitř které se nachází dva radiální ventilátory poháněné EC motory, filtry přiváděného i odváděného vzduchu, dva tepelné výměníky pro ohřev a chlazení vzduchu a rekuperační výměník ZZT. Jednotka je navíc vybavena interní cirkulační a bypassovou klapkou se servopohonem a je řízena přidaným regulačním systémem [3]. Zdrojem tepla pro celý systém je elektrokotel Protherm Rejnok s výkonem 16 kW napojený na vstup do hlavního rozdělovače tepla, ze kterého je teplá voda následně rozvedena do měřicí kabiny a do vzduchotechnické jednotky. Zdrojem chladu



Obr. 2 Rozdělení virtuálních senzorů [7]
Fig. 2 Categorization of virtual sensors [7]

Tab. 1 Seznam senzorů

Tab. 1 Sensor list

Senzor	Měřicí rozsah	Přesnost	Barevné označení v obr. 3
Teplota	0 °C až +40 °C -40 °C až 0 °C +40 °C až +80 °C	±0,2 °C ±0,4 °C ±0,4 °C	tmavě modrá
Relativní vlhkost	0 % až 90 % 90 % až 100 %	±1,7 % RH ±2,5 % RH	tmavě modrá
Rychlost proudění vzduchu	0 až 20 m/s	1,5 % z hodnoty +0,5 % z rozsahu	světle žlutá (V)
Diferenční tlak: ventilátory filtry výměník ZZT	0 až 1000 Pa 0 až 300 Pa 0 až 200 Pa	±3 % z rozsahu ±0,7 % z rozsahu ±3 % z rozsahu	zelená (dp)

je tepelné čerpadlo Viessmann Vitocal 300, které je zapojeno do vnitřního systému na straně výparníku tepelného čerpadla a umožňuje chlazení okruhů. Chladicí výkon se pohybuje kolem 11 kW. Odvod tepla vzniklého na kondenzátoru zajišťuje vnější suchý chladicí LU-VE SHLS 38 M od firmy Daikin.

Senzorová síť

Jako centrální prvek systému byla použita platforma Compact RIO-9081. Jedná se o průmyslový počítač, ke kterému jsou připojeny přídatné moduly zajišťující komunikaci se senzory. Tab. 1 obsahuje seznam základních fyzikálních veličin měřených uvnitř vzduchotechnické jednotky a obr. 3 zobrazuje jejich umístění.

Pro snímání stavu vzduchu je využito kombinovaného senzoru, který měří teplotu, relativní vlhkost vzduchu a dopočítává teplotu rosného bodu (označeno tmavě modře pouze číslem senzoru). Rychlost proudění vzduchu snímají anemometry, které jsou ve schématu označeny světle žlutě, se symbolem „V“. Senzory tlakové difference jsou označeny zelenou barvou, se symboly „dp“. Spotřebu vody pro parní zvlhčovač měří vodoměr s metrologickou přesností B, tedy spotřebu

od minimálního průtoku 30 l/h s přesností ±5 % bodu (označeno tmavě žlutě se symbolem „W“).

Dále je měřena spotřeba tepla a chladu kalorimetry s maximální chybou 2 % (označeno růžově se symbolem „K“) a spotřeba elektrické energie elektroměry (označeno tyrkysově se symbolem „E“). Kalorimetry poskytují i další naměřené a vypočítané hodnoty, jako jsou kumulovaný objem, aktuální průtok, aktuální tepelný výkon a teploty v přívodním a vratném potrubí. Pro měření rychlosti otáčení ventilátorů byly použity optické senzory s impulsním výstupem (označeno bíle se symbolem „M“). Při provozu na plný výkon dosahují ventilátory na jednotce rychlosti otáčení okolo 2000 ot/min. Při této rychlosti je chyba měření menší než 0,5 %. Úhel natočení u vstupní, cirkulační a bypassové klapky odhadují virtuální senzory na základě znalosti vnitřních stavů spínacích prvků.

Sběr a zpracování dat

Pro sběr a zpracování dat byl v grafickém prostředí LabVIEW vytvořen program, který má za úkol číst data ze všech senzorů připojených přes různé periferie. Program z naměřených dat dopočítává další užitečné údaje, všechna data vizualizuje do grafů a diagramů jednotky, zapisuje do tabulek a data průběžně ukládá na disk k následnému zpracování a vyhodnocení.

PŘÍKLAD VYVINUTÝCH VIRTUÁLNÍCH SENZORŮ

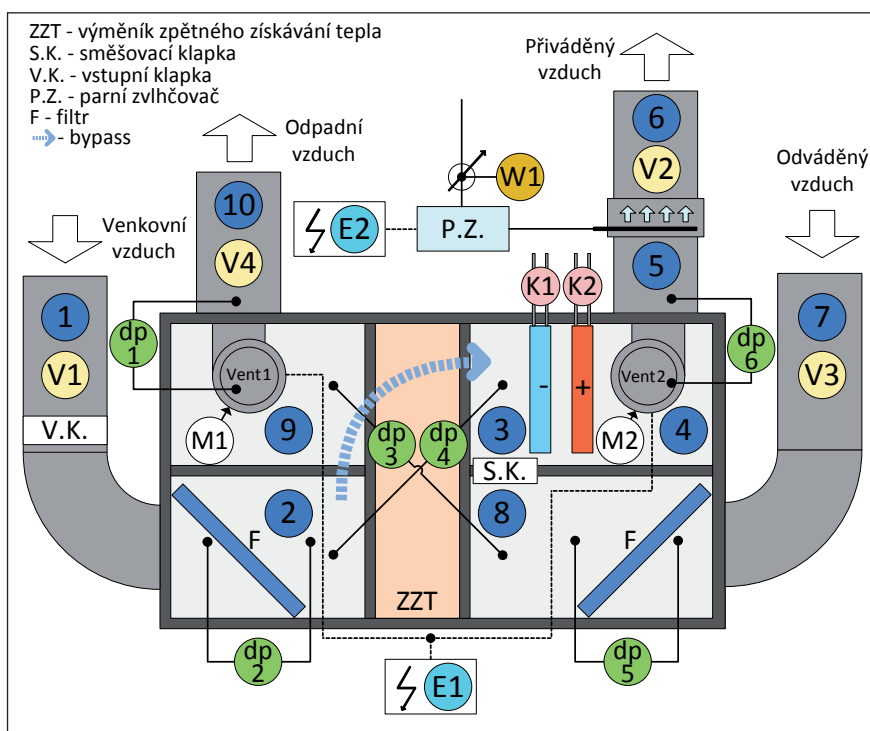
Klimatizační jednotky využívají v současnosti princip virtuálních senzorů například při řízení klapky uvnitř potrubí a uvnitř jednotek. Pohony používané pro pohyb klapky často neobsahují zpětnou vazbu informující řídicí elektroniku o jejich reálné poloze. Řídicí elektronika jednotky odhaduje polohu klapky na základě měření času, po který je klapka připojena k napájení. Klapku je tak možné natočit do libovolné polohy, pokud je předem známa doba pohybu klapky z jedné koncové pozice do druhé. Takto fungující virtuální senzor je velice levný a v případě bezporuchového chodu jednotky i dostačující. Problém nastává při výskytu závady, která kvůli neznalosti reálné polohy klapky zůstane skryta. Takový stav často vede k nárůstu nákladů na provoz vzduchotechniky, jak již bylo popsáno v úvodu tohoto článku.

Vzduchotechnické jednotky bývají často vybaveny výměníkem pro zpětné získávání tepla. Schéma rekuperačního výměníku a jeho umístění uvnitř vzduchotechnické jednotky je uvedeno na obr. 4. Přenos tepla ve výměníku je mimo jiné závislý na průtoku vzduchu (rychlosti proudění). Této závislosti využívají prezentované virtuální senzory hmotnostního průtoku. První VS, pracující na principu „gray-boxu“, využívá k odhadu hmotnostního průtoku vzduchu předem odměřenou křivku účinnosti přenosu tepla. Druhý VS, pracující na principu „white-boxu“, odhaduje hmotnostní průtok vzduchu skrze rekuperátor na základě fyzikálního popisu výměníku.

Virtuální senzor hmotnostního průtoku vzduchu na principu „gray-boxu“

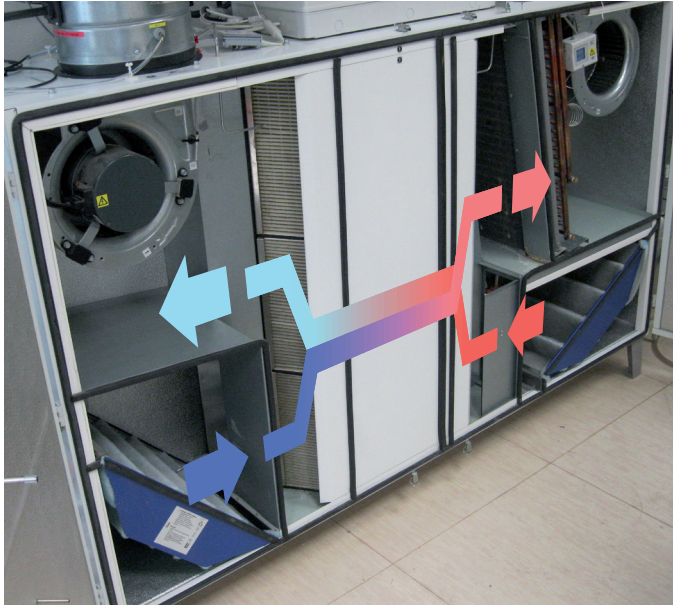
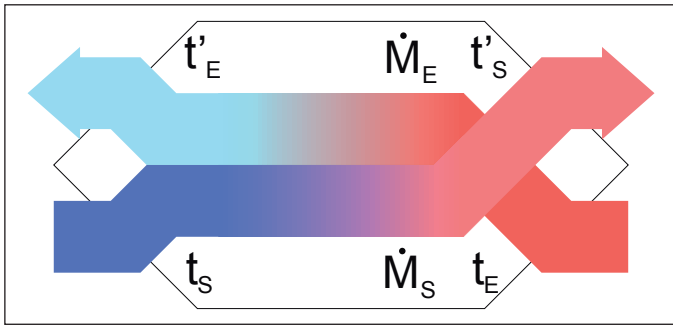
Účinnost přenosu tepla výměníku lze popsat následujícím vztahem [9, 10]:

$$\eta = \frac{Q}{Q_{\max}} = \frac{C_s}{C_{\min}} \vartheta_s = \frac{C_E}{C_{\min}} \vartheta_E \quad (1)$$



Obr. 3 Schéma experimentální vzduchotechnické jednotky včetně senzorů

Fig. 3 Schema of the experimental air handling unit including sensors



Obr. 4 Schéma rekuperačního výměníku ZTZ (nahore) a umístění výměníku ZTZ v jednotce (dole)

Fig. 4 Scheme of the recuperation heat exchanger HR (up) and the HR heat exchanger placement in the unit (bottom)

kde je:

- Q (Q_{\max}) tepelný tok (maximální) [W],
- C_S a C_E tepelné kapacity průtoků (index S označuje přiváděný vzduch a index E odváděný vzduch) [W/K],
- C_{\min} minimální hodnota z C_S a C_E [W/K],
- ϑ teplotní faktor určený pro obě strany výměníku podle následujících vztahů:

$$g_S = \frac{t'_S - t_S}{t_E - t_S} \quad (2)$$

$$g_E = \frac{t'_E - t_E}{t_E - t_S} \quad (3)$$

kde t jsou teploty vzduchu [°C]; apostrofum je označena teplota za výměníkem v daném směru proudění vzduchu. Pokud tepelné kapacity průtoků nahradíme podle vztahu:

$$C = m \cdot c = V \cdot \rho \cdot c \quad (4)$$

kde c je měrná tepelná kapacita při konstantním tlaku [J/(kg.K)], kterou lze považovat za konstantní, a m je hmotnostní

průtok [kg/s], obdržíme úpravou rovnice (1) vztah:

$$\eta = \frac{m_S \cdot g_S}{m_{\min}} = \frac{m_E \cdot g_E}{m_{\min}} \quad (5)$$

Podle odvozené rovnice (5) již lze určit vztahy pro odhad jednotlivých hmotnostních průtoků vzduchu uvnitř vzduchotechnické jednotky:

$$m_S = \frac{1}{f}(\eta) \Big|_{m_S \leq m_E} \quad m_S = m_E \frac{g_E}{g_S} \Big|_{m_S > m_E} \quad (6)$$

$$m_E = m_S \frac{g_S}{g_E} \Big|_{m_S \leq m_E} \quad m_S = \frac{1}{f}(\eta) \Big|_{m_S > m_E} \quad (7)$$

Naměřené hodnoty η a výsledný polynom aproximující rovnice (6) a (7) zobrazuje obr. 5. Hodnoty η nejsou experimentálně vzduchotechnickou jednotkou měřeny přímo, ale jsou vypočítány dle následujícího vztahu:

$$\eta = \frac{V_S \rho_S (t'_S - t_S)}{\min(V_E \rho_E, V_S \rho_S) \cdot (t_E - t_S)} \quad (8)$$

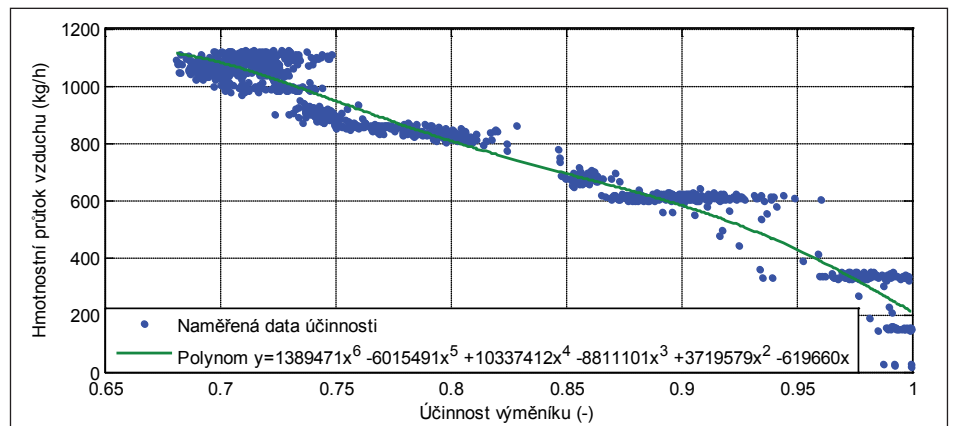
kde je:

- V objemový průtok vzduchu [m³/s],
- ρ hustota vzduchu [kg/m³].

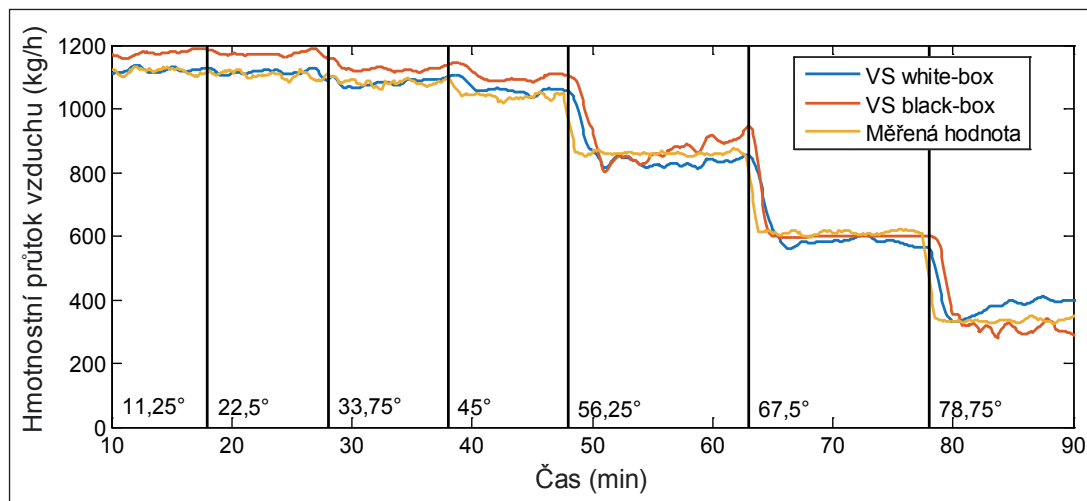
Pro získání dostatečného množství vzorků za účelem stanovení účinnosti křivky byla využita většina dat zaznamenaných na experimentální vzduchotechnické jednotce, a to včetně záznamů, které vznikly při umělém zavádění chyb. Z tohoto důvodu jsou některé vzorky na obr. 5 více vzdálené od očekávaných shluků vzorků. Za jednotlivé shluky vzorků je zodpovědný regulátor vzduchotechnické jednotky, který pracuje pouze v předem nastavených režimech, jejichž přechod je skokový.

Virtuální senzor hmotnostního průtoků vzduchu na principu „white-box“

Zcela odlišným způsobem, než je popsáno v předchozí kapitole, lze odhadovat hmotnostní průtok vzduchu na základě znalosti fyzikálního popisu výměníku. Tento postup využívá pouze aktuální teploty, které jsou měřené na vstupu a výstupu výměníku, a fyzikální popis výměníku [5]. VS tedy pro svoji funkci nepotřebuje žádná dříve naměřená data. Při odvozování modelu VS byla přijata celá řada zjednodušení, například tepelný výměník byl brán v úvahu jako jedna velká teplosměnná plocha o velikosti odpovídající součtu všech desek teplosměnné plochy reálné-



Obr. 5 Naměřené hodnoty η
Fig. 5 Measured values of η



Obr. 6 Porovnání výsledků virtuálních senzorů [10]

Fig. 6 Results comparison of the virtual sensors [10]

ho výměníku a dále bylo na uspořádání vzduchových proudů výměníkem nahlíženo jako na ideálně protiproudé.

K odvození matematického modelu virtuálního senzoru byla použita rovnice popisující celkovou tepelnou bilanci [8, 10]:

$$Q_s = Q_E = Q \quad (9)$$

Po dosažení vede tato rovnice na rovnici:

$$m_s c (t'_s - t_s) = m_E c (t_E - t'_E) = US \Delta T_m \quad (10)$$

kde

$$\Delta T_m = \frac{(t_E - t'_s) - (t'_E - t_s)}{\ln \left(\frac{t_E - t'_E}{t'_E - t_s} \right)} \quad (11)$$

kde je:

US součin průměrného součinitele prostupu tepla a celkové plochy výměníku [$W \cdot K^{-1}$],

ΔT_m střední logaritmičkový teplotní rozdíl pro protiproudý tepelný výměník [K].

Výsledkem je rovnice hmotnostního průtoku přiváděného vzduchu:

$$m_s = \frac{\Delta T_m US}{t'_s - t_s c} \quad (12)$$

a rovnice hmotnostního průtoku odváděného vzduchu:

$$m_E = \frac{\Delta T_m US}{t_E - t'_E c} \quad (13)$$

POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ VIRTUÁLNÍCH SENZORŮ HMOTNOSTNÍHO PRŮTOKU VZDUCHU

Ověření funkce VS probíhalo na simulaci závady zanášení sacího vzduchovodu pro přívod čerstvého vzduchu. Simulace se provádí postupným manuálním uzavíráním vstupní klapky vzduchotechnické jednotky. Řídicí jednotka po celou dobu pokusu považuje klapku za plně otevřenou. Na-

měřená data a odhadnuté hmotnostní průtoky vzduchu jsou vizualizovány na obr. 6. Svislé čáry v obr. 6 oddělují úseky s různým úhlem uzavření vstupní klapky.

Z vykreslených dat je patrné, že řídicí elektronika úspěšně maskuje simulovanou vadu až do více než 50 % uzavření klapky. Automaticky zvedá výkony ventilátorů, aby vyrovnala tlakovou ztrátu, a to bez informování nadřazeného systému o daném jevu. Takováto vada může být dlouhodobě skryta a způsobuje zvýšení nákladů na provoz jednotky.

Bohužel ani s použitím VS hmotnostního průtoku vzduchu nelze tuto vadu detekovat dříve, než průtok vzduchu v jednotce reálně poklesne. Lze ovšem detekovat tento pokles ihned, jak nastane, a ne až ve chvíli, kdy závadu pocítí samotný uživatel a změni se podmínky v klimatizované zóně. Z příkladu je ale dobře patrná funkce prezentovaných virtuálních senzorů.

ZÁVĚR

V článku byl představen systém experimentální vzduchotechnické jednotky a jeho využití při návrhu virtuálních senzorů. Systém se skládá ze vzduchotechnické jednotky a soustavy pro sběr dat. Jednotka je osazena velkým množstvím senzorů, které snímají teplotu vzduchu, relativní vlhkost vzduchu, rychlost proudění, tlakové rozdíly, spotřebu energií a vody, rychlost otáčení ventilátorů a natočení klapky. Další užitečné údaje systém dopočítává na základě již naměřených hodnot. Na systému je možné testovat různé poruchy a na základě naměřených dat vyvíjet metody pro detekce závad. Prezentovaná experimentální vzduchotechnická jednotka slouží nejen jako zdroj dat pro vývoj nových metod FDD a virtuálních senzorů, ale současně je i vhodným aparátem pro jejich testování.

V článku je dále nastíněna problematika virtuálních senzorů a jsou zde uvedeny dva praktické příklady virtuálního senzoru hmotnostního průtoku vzduchu. Jedná se o senzory, které využívají ke své funkci výměník zpětného získávání tepla.

Univerzitní centrum pro energeticky efektivní budovy a Katedra měřicí techniky Fakulty elektrotechnické ČVUT v Praze se zabývají vývojem virtuálních senzorů a diagnostických metod pro odhalování závad na vzduchotechnických jednotkách. Důraz je kladen především na maximální ulehčení konfigurace virtuálních senzorů, která často brání v jejich širokém praktickém nasazení.

Kontakt na autora: hanuson1@fel.cvut.cz; vladimir.horyna@uceeb.cz

Použité zdroje:

- [1] PÉREZ-LOMBARD, L., ORTIZ, J. a POUT, Ch. A review on buildings energy consumption information. *Energy and Buildings*. 2008, č. 40(3), s. 394-398. ISSN 03787788.
- [2] MOSER, D. Commissioning Existing Airside Economizer Systems. *ASHRAE Journal*. March 2013.

- [3] Katalog větracích jednotek. Atrea [online]. Březen 2007 [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: http://www.atrea.cz/img/jednotky/katalog_vetracich_jednotek/
- [4] CASTRO, N.S., SCHUIN, J., PARK, C., GALLE, A., BUSHBY, S.T., HOUSE, J.M. Results from simulation and laboratory testing of air handling unit and variable air volume box diagnostic tools, NISTIR 6964. National Institute of Standards and Technology, 2003.
- [5] TROJANOVA, J., VASS, J., MACEK, K., ROJICEK, J. and STLUKA, P. Fault Diagnosis of Air Handling Units, 7th IFAC International Symposium on Fault Detection, Supervision and Safety of Technical Processes. Barcelona, 2009.
- [6] IntelliDynamics. Virtual sensors. [online] 2003. Dostupné z: <http://www.intelldynamics.net/content/technologies/virtual-sensors.html>
- [7] LI, H., YU, D., BRAUN, J. E. A review of virtual sensing technology and application in building systems. *HVAC&R Research*. [online] 2011, s. 619-645.
- [8] HANUŠ, O., HORYNA, V. Virtual Sensor of Mass Flow for Diagnosis of HVAC Unit. *CM 2015 and MFPT 2015*. 2015, Oxford, UK. ISBN 978-0-903132-59-1.
- [9] HEMZAL, K. Přenosové jevy v technice prostředí. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004, s. 104. ISBN 80-010-2924-7.
- [10] MISHUKOV, A. *Mass Rate of Flow Virtual Sensor Inside the Air-Conditioning Unit*. Praha, 2015. Diplomová práce. ČVUT v Praze, Fakulta elektrotechnická.

Zkušebna klimatizací nákladních automobilů

Až 10 hodin denně prožije řidič nákladního automobilu za volantem. Proto je příjemné klima v kabině rozhodující pro jeho výkon a bezpečnost jízdy. Pro přesnější vyšetření všech faktorů a pro zlepšení účinnosti klimatizací se rozhodli výzkumníci ústavu pro systémovou techniku vozidel Institut für Fahrzeugsystemtechnik (FAST) při ústavu Karlsruher Institut für Technologie (KIT) pro zřízení zkušebny klimatizací.

Ve zkušebně stojí vozidlo na 4 individuálně poháněných válci řízených počítačem, které simulují nejrůznější jízdní situace. K tomu jsou připojena ovzdušňovací potrubí, která ofukují všechny relevantní díly upraveným proudem vzduchu jako za jízdy. Šest zářičů simuluje sluneční záření, které proniká prosklením kabiny. K ohřevu střechy kabiny se používá infračerveného zářiče.

Podle FAST je tak možno vyzkoušet kabinu vozidla, jinak než na silnici, na veškeré podmínky závislé na počasí a geografii.

Pramen: CCI 05/2015, s. 4

(AB)

Kompaktní ventilátory s více otáčkami

Starší produkce ventilátorů Elektror Airsystems GmbH pracuje s předávací frekvencí 135 Hz a dosahuje u řady HRD-Boosted téměř 8 000 otáček. Loni rozšířil Elektror řadu HRD o typ S-XP (Steel Extreme Pressure). Dosud jediný člen řady 240/40 pracuje s 12 000 otáček při frekvenci 200 Hz, tedy o 50 % otáček více při stejném objemovém proudu jako HRD. Tím má typ S-XP kompaktnější formu s oběžným kolem průměru 350 mm. Celkový tlakový rozdíl poklesl o 25 %, tedy z 20 000 na 15 000 Pa. Jako příslušenství je k dispozici stavebně optimalizovaný protihlukový kryt, protože ventilátor jinak dosahuje hladiny hluku 105 Hz (A), což odpovídá hluku motorové pily ze vzdálenosti 1 metr. V roce 2015 bude řada S-XP rozšířena o další typy.

Pro řadu S-XP byl ve spolupráci s ústavem Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design (IKTD) ve Stuttgartu vytvořen nový design řady. Předpokládá se také další spolupráce s Univerzitou Stuttgart na téma Sdružené zapojení ventilátorů (řadové a paralelní), prodloužení životnosti, nové materiály a simulace proudění.

Pramen: CCI 01/2015, s. 11

(AB)



BETA 9/7



- Obousměrná větrací jednotka s nastavitelným vzduchovým výkonem do 7500 m³h⁻¹
- Volná oběžná kola s EC motory s proměnlivými otáčkami
- Protiproudý deskový rekuperační výměník s účinností rekuperace až 75%
- Pro zvýšení komfortu možnost vybavení kondenzačním plynovým teplovodním kotlem
- Automatické řízení a regulace jednotek s možností připojení k síti Ethernet
- Distribuce vzduchu dálkově ovládanou tryskovou vyústkou