

Ing. Miroslav KUČERA, Ph.D.
Doc. Ing. Richard NOVÝ, CSc.
ČVUT v Praze, Fakulta strojní,
Ústav techniky prostředí

Regulační klapky s lineární charakteristikou (část 2)



Ústav techniky prostředí

Balancing Dampers with Linear Characteristics (Part 2)

Recenzent

Prof. Ing. Karel Hemzal, CSc.

Tento článek navazuje na předcházející publikaci ve VVI na téma hluk regulačních klapek. V tomto článku se řeší zlepšení regulační schopnosti dvojice klapek s různými listy klapek a s různým jejich natočením. Regulační schopnost dvojice klapek je v závěru článku vyjadřována závislostí tzv. k_k hodnoty na natočení jednotlivých listů klapek. Je experimentálně prokázáno, že lze vhodnou konstrukcí dvojice klapek dosáhnout lineární regulační charakteristiky. Článek ukazuje i na významné snížení hlučnosti takto řešeného regulačního orgánu, což bude podrobněji probráno v další navazující publikaci.

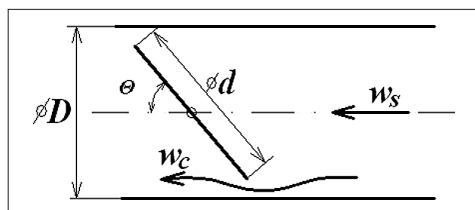
Klíčová slova: regulace, klapky, tlakové ztráty

Authors continue subsequently after the preceding publication in the VVI concerning the subject of noise in balancing dampers in their article. They solve the improvement of the balancing ability by installing a pair of dampers with different damper leaves (blades) and the different angle of their turning, in this article. The balancing ability of the pair of dampers has been specified as the dependence of so called k_k value to the angle of turning individual leaves of dampers, in the conclusion of the article. It has experimentally been evidenced that the linear balancing characteristic can be achieved with a proper design of the pair of dampers. There is shown a significant reduction of noise in the balancing unit designed in this way, in this article. This shall be specified in detail in the following subsequent publication.

Key words: balancing, dampers, pressure losses

1. ÚVOD

V ČR je většina nových staveb určených pro pobyt lidí vybavena vzducho-technickými zařízeními. Tato zařízení i když splňují tepelně technické požadavky na ně kladené, jsou často nevyhovující z hlediska hlukového. Koncové elementy v mnoha případech obsahují regulační klapky. Tyto klapky (viz obr. 1) jsou nastaveny buď na stabilní polohu, nebo jsou plynule regulovatelné podle požadovaného průtoku vzduchu. Jejich nežádoucí vlastností je značný aerodynamický hluk, který již není obvykle možno potlačit dodatečnými protihlukovými úpravami. Na obrázku 1 označuje d průměr regulačního listu, D průměr potrubí, w_s rychlost nabíhajícího proudu, w_c rychlost v zúženém průřezu a θ úhel natočení klapky.



Obr. 1
Schéma
regulační klapky

Nezanedbatelnou vlastností klapek je jejich regulační schopnost. Závislost tlakové ztráty na klapce lze vyjádřit funkční závislostí

$$\Delta p = \xi \frac{w_s^2}{2} \rho \quad (1)$$

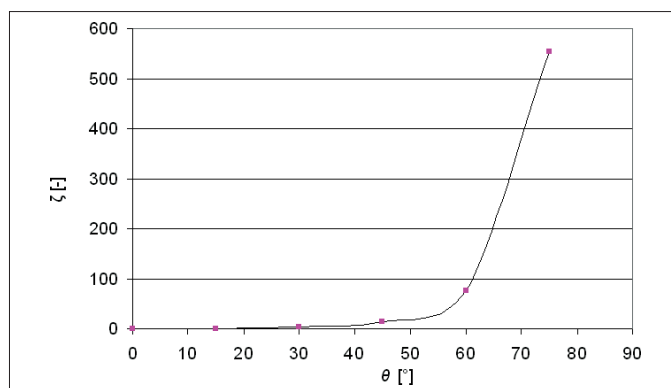
kde

ξ [-] je součinitel místní tlakové ztráty,

w_s [m/s] rychlost proudění,

ρ [kg/m³] hustota vzduchu.

U stávajících provedení regulačních klapek je známo, že natočením listu klapky od zcela otevřené polohy se zpočátku téměř nemění součinitel místní tlakové ztráty. Teprve od úhlů výrazně vyšších (cca 60°) začne odpor klapky prudce narůstat, viz diagram na obr. 2. Tato vlastnost výrazně omezuje regulační schopnost klapek, protože více než 50% rozsah nastavení není vhodný pro regulování průtoku vzduchu.



Obr. 2 Závislost součinitele místní tlakové ztráty kruhové klapky na úhlu natočení regulačního listu [1]

2. ŠKRCENÍ V KASKÁDĚ

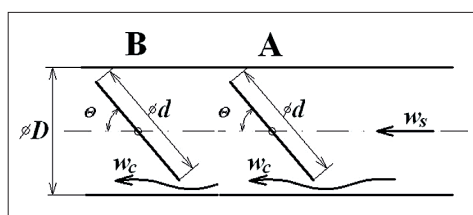
Pro místní odpory řazené v sérii za sebou platí obecně, že výsledná tlaková ztráta je dána součtem dílčích tlakových ztrát, což lze vyjádřit vztahem

$$\Delta p = \Delta p_1 + \Delta p_2 + \dots + \Delta p_n \quad (2)$$

V rámci řešení výzkumného záměru MSM 6840770011 byla experimentálně ověřena regulační schopnost dvojice klapek řazených za sebou.

Výše uvedené nedostatky jsou do značné míry odstraněny úpravou klapky, která je založena na kaskádové expanzi vzduchu. Podstatou konstrukční úpravy je zařazení dvou klapek za sebou (viz. obr. 3), které tvoří jeden konstrukční celek. Požadovaná tlaková ztráta se rozloží na dvě klapky, čímž se sníží potřebná rychlost proudění vzduchu v jejím zúženém průřezu w_c .

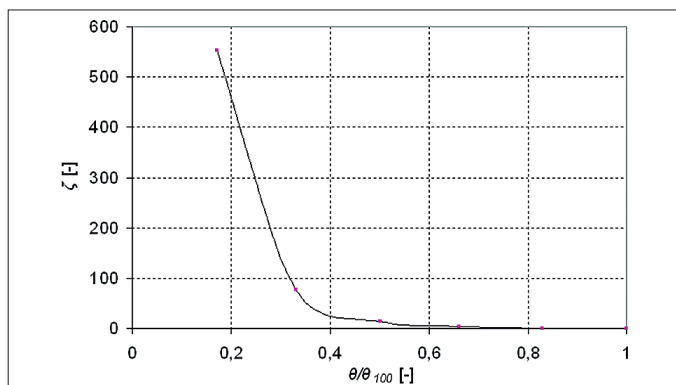
□ Za předpokladu, že obě klapky budou natočeny na stejný úhel a tudíž budou vykazovat stejný součinitel místní tlakové ztráty a tedy i stejnou tlakovou ztrátu (při sériově řazených odporech se tlakové ztráty sečítají) tak pro vytvoření požadované tlakové ztráty může poklesnout rychlost proudění na cca 70 % původní hodnoty u jednoduché



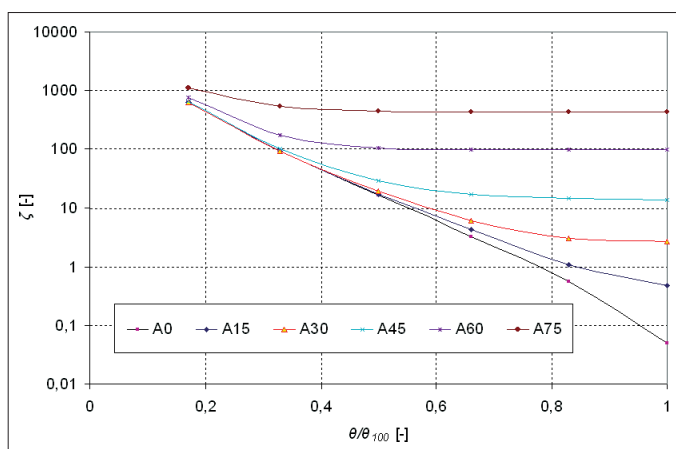
Obr. 3
Schéma
dvou sériově řazených
regulačních klapek
(rozteč klapky 240 mm,
D=175 mm)

klapky. V obr. 3 značí A klapku umístěnou v proudě vzduchu jako první. Druhá klapka instalovaná v proudě vzduchu je označena B.

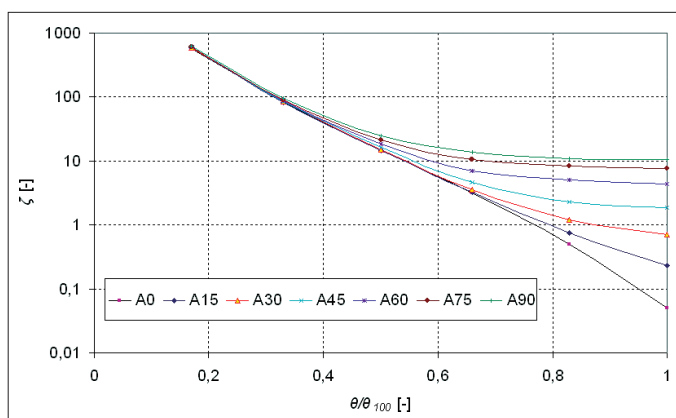
Nezanedbatelnou vlastností takové konstrukce klapky je skutečnost, že se výrazně zlepšil regulační schopnost tohoto řešení, což je dokumentováno



Obr. 4 Závislost součinitele místní tlakové ztráty ζ těsné klapky na poměru úhlu natočení regulačního listu θ vztahenému k úplnému otevření θ_{100}



Obr. 5 Závislost součinitele místní tlakové ztráty ζ soustavy dvou těsných klapek na poměrném úhlu natočení regulačního listu klapky B θ/θ_{100}



Obr. 6 Závislost součinitele místní tlakové ztráty ζ soustavy perforované klapky A s perforací 35 % a těsné klapky B na poměrném úhlu natočení regulačního listu klapky B θ/θ_{100}

průběhem součinitele místní tlakové ztráty pro dvojitou klapku (viz obr. 5 a 6).

Pro srovnání je na obr. 4 uvedena závislost součinitele místní tlakové ztráty ζ jednoduché těsné klapky na poměrném úhlu natočení regulačního listu θ/θ_{100} . Je zde patrná výrazná nelinearita, kterou je jak ukazují následující obrázky možné výrazně zlepšit sériovým řazením odporů. Úhel natočení regulačního listu θ_{100} označuje v následujících obrázcích plné otevření klapky tedy $\theta_{100} = 0^\circ$.

Při posouzení regulační schopnosti klapky je vhodnější pracovat se jmenovitým průtokem. Je tak možné získat názornější a přehlednější, ale zejména obecnější grafické zobrazení regulační odezvy soustavy.

3. VYJÁDRĚNÍ TLAKOVÉ ZTRÁTY k_k HODNOTOU

V praxi se běžně pracuje se jmenovitým průtokem, tzv. k_k hodnotou (v rámci dříve používané terminologie průtokový součinitel), vyjadřující objemový průtok klapkou $V[\text{m}^3/\text{h}]$ při definovaném rozdílu tlaků $\Delta p_k = 10 \text{ Pa}$ [4]. Tento jmenovitý průtok je možné stanovit podle [4] užitím vztahu

$$k_k = V \cdot \sqrt{\frac{\Delta p_k}{\Delta p}}, \quad (3)$$

kde

Δp [Pa] je skutečná tlaková ztráta klapky při daném úhlu natočení.

Je možné dokázat, že platí přepočtení poměrného součinitele místní tlakové ztráty ve tvaru

$$\frac{k_k}{k_{k100}} = \sqrt{\frac{\zeta_{100}}{\zeta}}, \quad (4)$$

kde

k_{k100} [m^3/h] je jmenovitý průtok klapkou při plném otevření θ_{100} klapky,
 ζ_{100} [-] součinitel místní tlakové ztráty při plném otevření klapky,
 ζ [-] součinitel místní tlakové ztráty při daném úhlu natočení klapky.

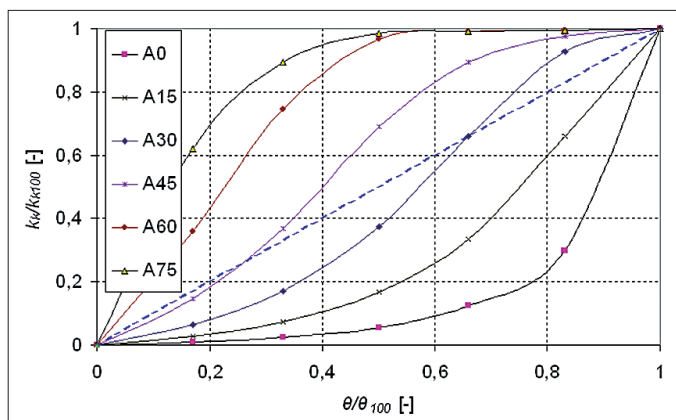
V grafech na následujících obrázcích 7 až 9 jsou zobrazeny průtočné charakteristiky pro měřené soustavy klapky. Klapka byla posuzována jako samostatný prvek včleněný do potrubní sítě bez vlivu úseků regulovaných klapkou. Na základě tohoto přístupu lze považovat získané měřené hodnoty za hodnoty příslušející autoritě klapky $P_k = 1$. Autorita klapky P_k vyjadřuje vliv odporu klapky na tlakové ztráty v regulovaném úseku. Je dána poměrem tlakové ztráty klapky a ztráty sítě včetně klapky při maximálním průtoku regulovaným úsekem [4].

Přepočteme-li součinitele ζ na poměr k_k/k_{k100} , je možno v grafech v bezrozměrných souřadnicích sledovat chování soustavy klapky.

Na obr. 7 je zobrazena soustava dvou těsných klapky (klapka kde $d = D$ viz obr. 3). Z grafu je patrné, že budeme-li pracovat pouze s prezentovanými křivkami, bude lineární průběh nejlépe popsán křivkami A 30° a A 45°, tedy konstantní úhel první klapky v proudě vzduchu nastaven na 30° či 45° za současné plynulé změny úhlu druhé klapky.

Budeme-li sledovat obr. 7, jsou v oblasti odpovídající 50% otevření křivky A 30° i A 45° výrazně vzdáleny od lineárního průběhu. V této oblasti by bylo výhodné přejít na jiné přednastavení klapky A. Tím je dán cíl dalšího výzkumu této soustavy těsných klapky. Bude třeba podrobněji proměřit oblast rozmezí křivek (hodnot) A 15° až A 45°.

Prezentované výsledky experimentů byly zjištěny při hodnotě Reynoldsova čísla $Re = 15\,000$ až $148\,000$.



Obr. 7 Závislost poměrného průtoku k_k/k_{k100} pro soustavu dvou těsných klapek na poměrném úhlu natočení regulačního listu klapky θ/θ_{100} pro nastavení konstantní úhel klapky A 0 až A 75°

Vhodně navržená soustava sestavená z klapky perforované s 35 % volné plochy perforace a těsné klapky je zobrazena na obr. 8 a 9.

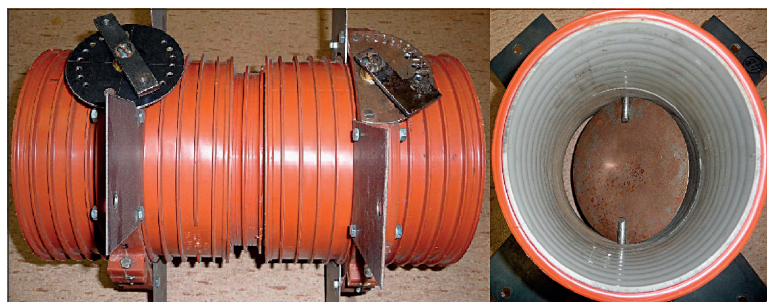
Provedeme-li analýzu této soustavy získáme na první pohled dva rozdílné výsledky. Na obr. 8 reprezentují jednotlivé křivky konstantní úhel nastavení perforované klapky (označené A). Obr. 9 pak opačný případ konstantní natočení těsné klapky. Křivky v grafech nejsou podobné, což je dáno výrazným rozdílem regulační schopnosti každé klapky. V případě obr. 8 je patrné, že lineární odezvu je nutné dosáhnout vzájemnou kombinací obou klapek v rozsahu přednastavení A 30 až A 90°, doprovázenou plynulou změnou nastavení klapky B.

Opačný případ zobrazuje obr. 9, zde dosáhneme lineární odezvy nastavením těsné klapky na úhel 15° za současné změny úhlu nastavení perforované klapky A od 0° do 60°. Od této polohy, je v případě požadavku další regulace průtoku, nutné jít cestou vzájemné kombinace úhlů natočení klapky B v rozsahu 0° až 15° za současného zavírání klapky A. Lineární regulační schopnost reprezentuje v obrázcích čárkovaná čára.

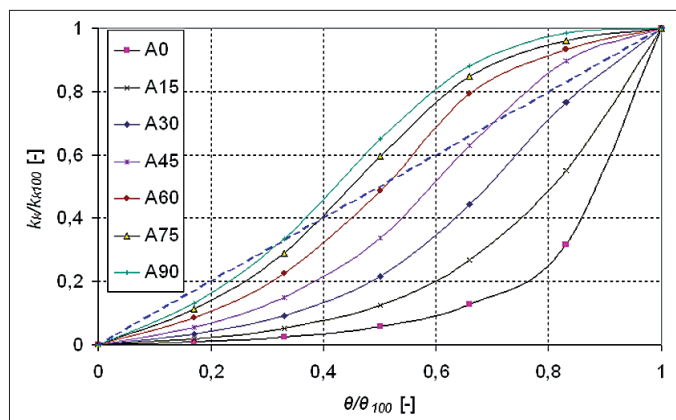
4. KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ SOUSTAVY

Zkoumaná soustava dvou klapek řazených za sebou je zobrazena na obr. 10. Zobrazená soustava je určena do potrubí o průměru 180 mm. Tento rozměr byl zvolen z důvodů, aby byl eliminován negativní vliv přechodu z experimentální trati na měřený element, současně byla kladena podmínka na tlakovou odolnost celého měřicího řetězce včetně měřené klapky a připojovacího potrubí. Vhodně se podařilo nalézt plastové potrubí o vnitřním průměru $D = 0,175$ m, s tlakovou odolností min. 0,1 MPa, což bylo dostačující pro plánované experimenty.

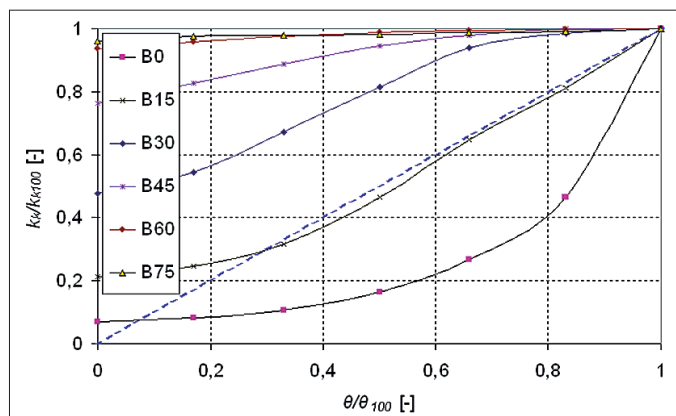
Prakticky je možné klapku konstruovat z jakéhokoliv běžně používaného materiálu, nejčastěji z pozinkovaného plechu, tak jak je zvykem v systémech



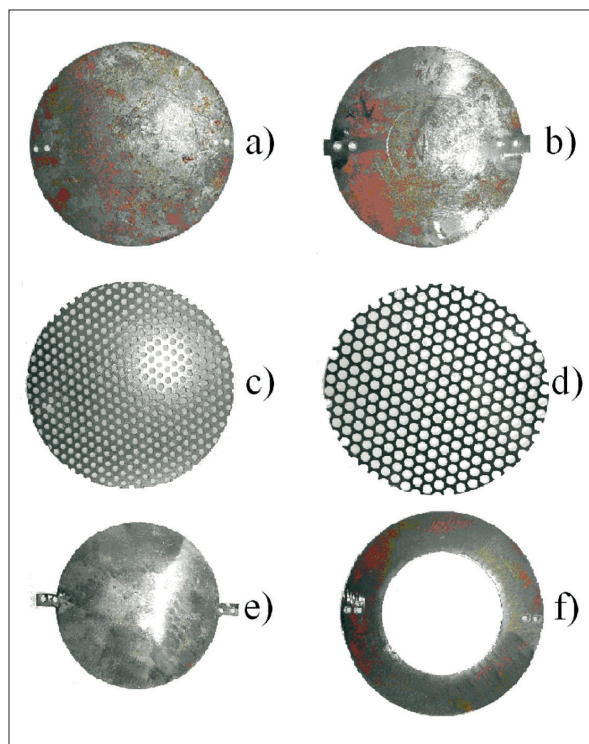
Obr. 10 Pohled na soustavu dvou klapek



Obr. 8 Závislost poměrného průtoku k_k/k_{k100} pro soustavu perforované klapky s perforací 35 % a těsné klapky na poměrném úhlu natočení regulačního listu klapky B θ/θ_{100} pro nastavení konstantní úhel klapky A



Obr. 9 Závislost poměrného průtoku k_k/k_{k100} pro soustavu perforované klapky s perforací 35 % a těsné klapky na poměrném úhlu natočení regulačního listu klapky A θ/θ_{100} pro nastavení konstantní úhel klapky B



Obr. 11 Typy regulačních listů klapek

a) Regulační list těsné klapky, b) List regulační klapky, c) List klapky s perforací 35 %, d) List klapky s perforací 58 %, e) Plný list klapky s volnou průtočnou plochou 35 %, f) List klapky s jedním otvorem o volné průtočné ploše 35 %

vzduchotechniky. Prstenec instalovaný po obvodu potrubí plní nosnou funkci pro hřídel klapky a současně je na obou stranách osazen aretací pro přesné nastavení požadovaného úhlu natočení klapky. Nastavení úhlu je rozděleno po 15° od plného otevření úhel 0° do plného uzavření 90°.

Pro konstrukci soustavy klapek účinně snižující akustický výkon generovaný při škrcení průtoku vzduchu se ukazují jako nejvhodnější řešení regulační listy zobrazené na obr. 11. Jejich vhodnou kombinací je možné, pro požadované parametry v potrubí dosáhnout snížení celkové hladiny akustického výkonu min. o 5 dB. Všechny regulační listy jednotlivých klapek mají vnější průměr 0,175 m a tloušťku 2 mm (perforované 1 mm). Perforace byla volena s ohledem na běžnou dostupnost a praktické využití v systémech vzduchotechniky 35 %.

Výsledky prezentované ve 3. kapitole náleží soustavám sestaveným z regulačních listů obr. 11 a), c).

5. ZÁVĚR

Z předložených informací vyplývá, že lze významným způsobem zlepšit regulační schopnost klapek a to úpravou dvou klapek řazených do série. Doporučené řešení bylo podáno jako užitečný vzor k Úřadu průmyslového vlastnictví České republiky. Nezanedbatelnou vlastností předložené soustavy je její aerodynamický hluk. Ten se podařilo prezentovanou soustavou úspěšně redukovat. Tímto tématem se bude zabývat článek v následujícím VVI.

Kontakt na autory: Richard.Novy@fs.cvut.cz; miroslav.kucera@fs.cvut.cz

Použité zdroje:

- [1] Kučera, M., Aerodynamické zdroje hluku při nízkých Machových číslech [Diplomová práce]. Praha, 2010. 167 s. ČVUT v Praze. Fakulta strojní.
- [2] Kučera, M., Nový R., Hluk regulačních klapek. In: VVI, 2011, ročník 20, číslo 1, s. 5–9., ISSN 1210–1389.
- [3] Nový, R., Hluk a chvění, Vydavatelství ČVUT Praha, 2005, ISBN 978–80–01–04347–9.
- [4] Hemzal, K., Laboutka, K., Regulace klimatizačních a vytápěcích zařízení. Praha: Ediční středisko ČVUT, 1989. 218 s.
- [5] Bašta, J., Hydraulika a řízení otopných soustav. Praha: Ediční středisko ČVUT, 2003. 252 s. ISBN 80–01–02808–9.

Prezentované práce byly vypracovány v rámci plnění výzkumného záměru VZ MSM 6840770011. ■

* Ex-spínače Steute s certifikací ATEX

Společnost Steute Schaltgeräte GmbH, Löhne, obdržela pro své energeticky autarkní radiové spínače certifikaci ATEX podle směrnice EU pro plynová výbušná prostředí 1 a 2, a pro prachová prostředí 21 a 22. Použitá technologie EnOcean umožňuje vyhodnocovat signál mimo spínač v nevybušné oblasti. To umožnilo upustit od drahých přídatných kabelových spojů a konektorů provedených jako nevybušné.

CCI 04/2010 a www.steute.com

(AB)