

MĚŘENÍ PROVOZNÍCH VELIČIN V CUKROVARNICTVÍ

Měření průtoku (část 6.)

MEASUREMENT OF PROCESS VARIABLES IN SUGAR INDUSTRY: FLOW MEASUREMENT (PART 6)

Karel Kadlec – Vysoká škola chemicko-technologická v Praze

Měření průtoku v otevřených kanálech

Pro měření průtoku kapalin volně proudících v otevřených kanálech se využívají měřicí přepady a žlaby. Otevřený kanál je jakýkoliv kanál (nekrytý žlab, stoka aj.), ve kterém kapalina (voda, odpadní vody apod.) odtéká s volnou hladinou. Jako otevřené kanály lze uvažovat i některá uzavřená potrubí, jako jsou kanalizace a tunely, které jsou při průtoku jen částečně zaplněné.

Měřicí přepady

V otevřeném kanálu tvoří **měřicí přepad** bariéru, přes níž přetéká kapalina. Tlak způsobující proudění se měří na základě výšky h volného povrchu kapaliny oproti přepadové hraně, tzv. koruně přepadu (obr. 1.). Mírou průtoku je tedy poloha hladiny v určité vzdálenosti před přepadem.

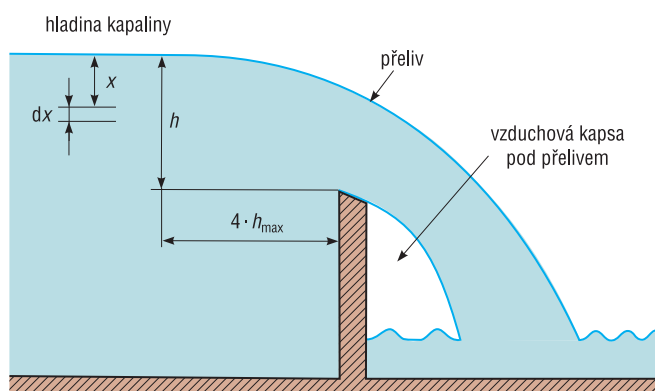
Pro teoretický popis uvažujeme vlákno proudu kapaliny s elementární tloušťkou dx . Tlak p , který působí na vlákno proudu kapaliny, je příčinou jejího pohybu.

$$p = x \cdot \rho \cdot g \quad (1),$$

kde p je působící tlak, x vzdálenost od hladiny, ρ hustota kapaliny, g gravitační zrychlení.

Tento vztah vyjadřuje provázanost mezi tlakem a výškou (spádem) hladiny a je příčinou proudění. Velikost tlaku se vyhodnocuje podle změřené výšky h volného povrchu proti proudu od přepadové hrany ve vzdálenosti minimálně čtyřnásobku očekávaného maximálního spádu kapaliny.

Obr. 1. Měřicí přepad



Vyjádříme-li rychlost v proudící kapaliny podle Bernoulliho rovnice (CHUDÝ ET AL. (2)):

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot p}{\rho}} \quad (2),$$

potom po dosazení za tlak z rovnice (1) dostaneme

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot x} \quad (3).$$

Elementární objemový průtok definovaný pomocí vlákna proudu kapaliny bude

$$dQ_V = L \cdot v \cdot dx \quad (4),$$

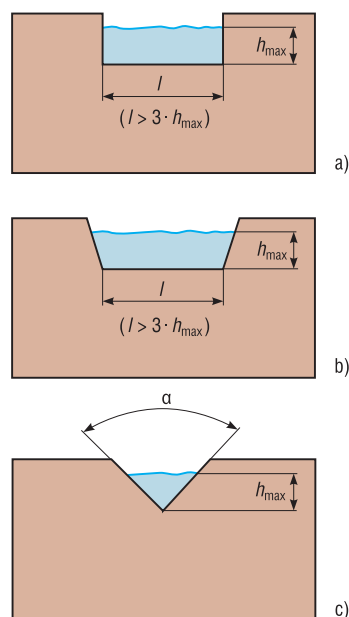
kde L je šířka přepadu. Po dosazení za rychlost ze vztahu (3) dostaneme

$$dQ_V = L \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot \int_0^h \sqrt{x} \cdot dx \quad (5)$$

a po integraci získáme vztah pro teoretický objemový průtok

$$dQ_{V(\text{teor.})} = \frac{2}{3} \cdot L \sqrt{2 \cdot g} \cdot h^{3/2} \quad (6).$$

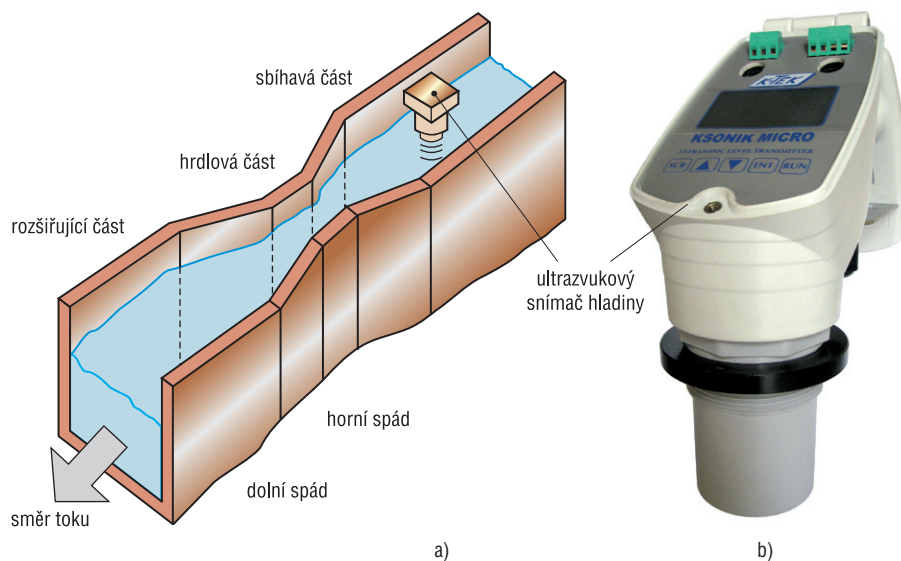
Obr. 2. Tvary měřicího přepadu: a) pravoúhlý, b) lichoběžníkový, c) zářez tvaru písmene V



Přesnost měření průtoku ovlivňuje ostrost přepadové hrany, rozměrová přesnost přepadu a přesnost měření výšky hladiny.

Přepad může mít různý tvar a geometrii od ostrého a rovného tvaru až k neostřím tvarům, které slouží obvykle i k regulaci toku a měření průtoku je spíše druhotnou funkcí takového zařízení. Obr. 2. znázorňuje nejčastěji používané tvary měřicích přepadů: a) pravoúhlý, b) lichoběžníkový zářez, c) zářez tvaru písmene V. Zářezy tvaru V mají úhel 30–90° dle požadované velikosti průtoku. Pro jednotlivé typy přepadů existují výpočtové vztahy mezi výškou hladiny a průtokem kapaliny. Kanál po proudě od přepadu musí být dostatečně široký a hluboký, aby i při max. průtoku byl dostatek prostoru pro vznik vzduchové kapsy pod přepadem (obr. 1.).

Obr. 3. Parshallův žlab: a) schéma, b) UZ snímač hladiny Ksonik Micro (www.abb.cz)



Měřicí žlaby

Z různých typů měřicích žlabů se nejčastěji používá **Parshallův žlab**, který je modifikací Venturiho koncepce pro měření průtoku v podobě otevřeného pravoúhlého kanálu (obr. 3.a). Žlab se skládá ze tří částí – sbíhavé, hrdlové a rozšiřující. Zatímco dno sbíhající se části je vodorovné, v hrdlové části klesá. U Parshallova žlabu je koruna definována jako linie spojující sbíhavou a hrdlovou část. Poloha hladiny se měří obvykle jen ve sbíhavé části ve stanovené vzdálenosti před korunou; poloha hladiny na konci hrdlové části se považuje za konstantní. K měření polohy hladiny se často používají ultrazvukové snímače (obr. 3.b). Parshallův žlab je vhodný pro měření průtoku až do $6 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$. Podle obecného pravidla by

měla být šířka hrdla 1/3 až 1/2 šířky koryta kanálu. Šířka hrdla se podle měřicího rozsahu pohybuje od 25 mm do 12 m.

Relativně vysoká rychlost proudění v systému zabraňuje tvorbě usazenin bahna a jiných pevných látek, které by mohly ovlivňovat výsledek měření. Zařízení pracuje spolehlivě, i při minimální údržbě. Výsledky měření vykazují dobrou opakovatelnost, při dostatečné přesnosti pro daný účel. Úroveň hladiny na výstupní straně má minimální vliv na výsledek měření, pokud úroveň hladiny v blízkosti dolního konce hrdla nepřesahuje 70 % úrovně měřené v blízkosti vstupní části sbíhavé sekce.

Přepady a žlaby se používají zejména pro měření průtoku komunálních a průmyslových odpadních vod. Na obr. 4. jsou ukázky trojúhelníkového přepadu a Parshallova žlabu při měření v čistírně odpadních vod (1).

Obr. 4. Měřicí zařízení na odtocích z čistírny odpadních vod: a) trojúhelníkový přepad, b) Parshallův žlab



Obr. 5. Měření průtoku indukčním snímačem MAG-Flow OG-P (www.goerlichgmbh.com): a) snímač MAG-Flow OG-P, b) měření v otevřeném kanálu, c) měření v odpadním potrubí, (foto poskytla firma POLZ Instruments s.r.o., www.polz.cz)



Alternativní snímače pro měření průtoku v otevřených kanálech

Vedle přepadů a žlabů lze průtok v otevřeném kanálu vyhodnotit také z rychlosti proudění kapaliny a plochy průtočného profilu. K tomuto účelu může sloužit např. **magneticko-indukční snímač rychlosti proudění** s integrovaným snímačem hydrostatického tlaku. Pro výpočet průtoku poskytuje indukční snímač informací o rychlosti proudění, výpočet průtočného průřezu vychází z tvaru kanálu a z výšky hladiny, která se stanoví z hodnoty hydrostatického tlaku.

Na obr. 5.a je magneticko-indukční snímač průtoku MAG-Flow OG-P (www.goerlichgmbh.com, v ČR dodává firma POLZ Instruments, s. r. o., www.polz.cz). Měřicí elektrody na povrchu snímače slouží ke snímání indukovaného napětí, senzor hydrostatického tlaku pro měření polohy hladiny je integrován uvnitř pouzdra. Při měření se snímač umísťuje na dno kanálu, viz obr. 5. (b+c).

Dalším typem snímače, který je určen pro měření průtoku v otevřených kanálech, je **laserový senzor rychlosti proudění** ve spojení s ultrazvukovým senzorem hladiny (obr. 6.a). Základem měřicího zařízení je bezkontaktní rychlostní senzor LaserFlow (výrobce Teledyne Isco, www.teledyneisco.com, v ČR dodává Technoaqua, s. r. o., www.technoaqua.cz). Senzor pracuje

na principu Dopplerova jevu a využívá pokročilý způsob měření rychlosti laserovým paprskem v jednom nebo více bodech pod hladinou (obr. 6.b). Pomocí sofistikovaného softwaru lze zohlednit i rozložení rychlostí v průtočném profilu.

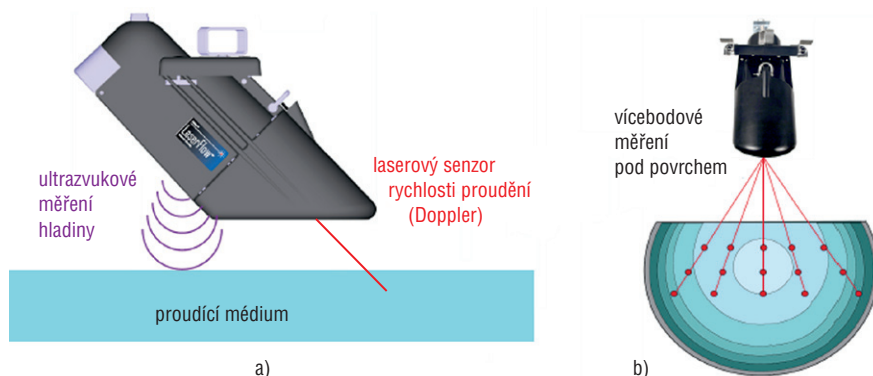
Senzor LaserFlow je vhodný pro měření průtoku mělkých vod ve velkých i malých potrubích, pro monitorování různých druhů odpadních vod v kanálech i potrubích, měření průtoku ve výrobním procesu, v zavlažovacích kanálech, pro měření průtoku dešťové vody apod.

Souhrn

V článku jsou popsány měřicí přepady a žlaby používané k měření průtoku v otevřených kanálech. Je uveden teoretický popis funkce měřicího přepadu a jsou popsány konstrukční prvky přepadu a Parshallova žlabu. Ukázány jsou možnosti jejich využití při měření průtoku odpadních vod. Popsány jsou i alternativní metody měření rychlosti proudění kapalin v otevřených kanálech; jedná se o magneticko-indukční snímač a bezdotykový laserový senzor na principu Dopplerova jevu.

Klíčová slova: měření průtoku v otevřených kanálech, přepady a žlaby, Parshallův žlab, měření rychlosti proudění v otevřených kanálech, laserový senzor rychlosti proudění.

Obr. 6. Laserový senzor rychlosti proudění využívající Dopplerův jev: a) měření rychlosti a hladiny, b) vícebodové měření rychlostního profilu laserem (upraveno podle Technoaqua, 2006)



Literatura

1. BARTÁČEK, J.; WANNER, J.: Řízení procesu biologického čištění městských odpadních vod v laboratorním a v provozním měřítku. In KADLEC, K.; KMÍNEK, M.; KADLEC, P. (EDIT.) ET AL.: *Měření a řízení chemických, potravinářských a biotechnologických procesů*. Ostrava: Key Publishing, 2017, (v tisku).
2. CHUDÝ, V. ET AL.: *Meranie technických veličín*. Bratislava: STU, 1999, s. 518–523.
3. KADLEC, K.: Měření průtoku a proteklého množství. In KADLEC, K.; KMÍNEK, M.; KADLEC, P. (EDIT.) ET AL.: *Měření a řízení v potravinářských a biotechnologických výrobcích*. Ostrava: Key Publishing, 2015, s. 230–290.

4. McMILLAN, G. K.; CONSIDINE, D. M.: *Process/Industrial Instruments and Controls Handbook*. New York: McGraw/Hill, 1999, s. 4.149–4.151.
5. *Katalogový list LaserFlow – bezkontaktní rychlostní senzor*. Technoaqua, [online] www.technoaqua.cz/produkty/prutokomery/laserflow (duben 2017).

Kadlec K.: Measurement of Process Variables in Sugar Industry: Flow Measurement (Part 6)

The article describes measuring weirs and flumes used for flow measurement in open channels. It presents a theoretical description of the function of the measuring weir and describes the components of measuring weirs and Parshall flumes. The article also shows their applicability for measuring the flow of wastewater. Alternative

methods of measuring the flow velocity of fluids in open channel are also presented here; these methods include a magnetic-inductive sensor and a contactless laser sensor based on the Doppler Effect.

Key words: flow measurement in open channels, weirs and flumes, Parshall flume, measuring flow velocity in open channels, laser velocity sensor.

Kontaktní adresa – Contact address:

doc. Ing. Karel Kadlec, CSc., Vysoká škola chemicko-technologická, Fakulta chemicko-inženýrská, Ústav fyziky a měřicí techniky, Technická 5, 166 28 Praha 6 – Dejvice, Česká republika, e-mail: karel.kadlec@vscht.cz