

MĚŘENÍ PROVOZNÍCH VELIČIN V CUKROVARNICTVÍ

Měření hladiny (část 1.)

MEASUREMENT OF PROCESS VARIABLES IN SUGAR INDUSTRY: LEVEL MEASUREMENT (PART 1)

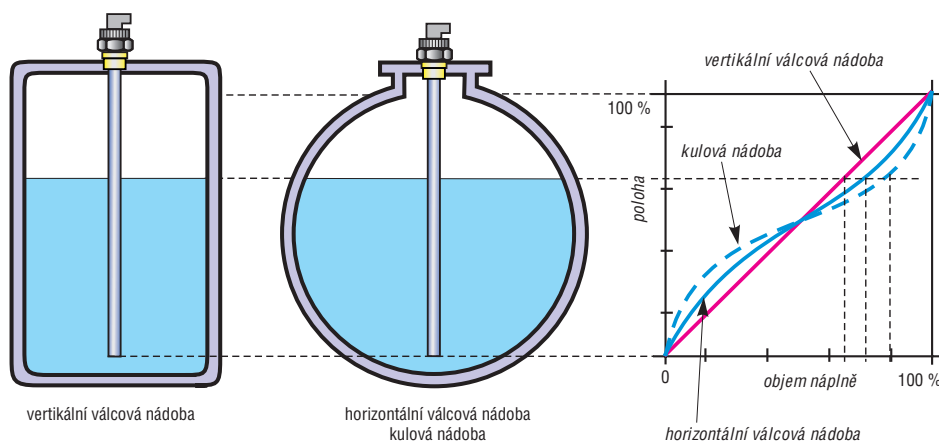
Karel Kadlec – Vysoká škola chemicko-technologická v Praze

Obecně o snímačích hladiny

Zjišťování polohy hladiny kapalin a sypkých hmot v zásobnících a provozních nádobách, jako jsou různé tanky, zásobní a provozní nádrže, odparky, krystalizátory, mísicí nádoby apod., je v provozní praxi jednou z velmi častých úloh. Ačkoliv se běžně hovoří o měření polohy (výšky) hladiny, jedná se velmi často o zjišťování množství látky v nádrži. Z údajů zjištěných měřením polohy hladiny je možné toto množství vypočítat, přičemž záleží na tvaru nádoby, ve které se kapalina nachází. Pokud se měří v nádobách, u kterých se průřez s výškou nemění, je vyčíslení poměrně snadné. Obtížnější z tohoto hlediska je měření např. v ležatých zásobnících, kde závislost objemu na poloze hladiny je dána nejen válcovým či jiným tvarem nádoby, ale i vyklenutím dna a popř. různými vestavbami uvnitř nádrže. Na obr. 1. je ukázána závislost mezi objemem kapaliny a polohou hladiny v nádržích, které mají tvar stojatého nebo ležatého válce, případně má nádrž tvar kulový. Zatímco pro vertikální válcovou nádobu má závislost mezi polohou hladiny a objemem náplně lineární průběh, pro horizontální válcovou nádobu a kulovou nádobu jsou tyto závislosti nelineární. Pro výpočet množství kapaliny z údaje o poloze hladiny v nádržích se využívají více či méně složité výpočetní postupy a odpovídající počítačové programy.

Kapaliny, suspenze a sypké materiály, jejichž poloha hladiny se v průmyslu měří, se mohou značně odlišovat: od čisté vody přes hořlavé, viskózní, lepkavé a korozivní kapaliny až po suspenze s abrazivními účinky; od jemných volně tekoucích prášků až po vlhké a spékající se hrudkovité sypké látky. Velmi různorodé může být i prostředí, ve kterém snímače hladiny

Obr. 1. Vztah mezi objemem kapaliny v nádrži a polohou hladiny



pracují – od vakua až po velké tlaky v širokém rozmezí teplot. Tato různorodost požadavků se odráží ve velkém počtu měřicích metod a přístrojů, které byly pro měření polohy hladiny vyvinuty. Volba vhodné metody je ovlivněna mnoha faktory. Jsou to zejména tlak (otevřené, uzavřené nádoby), teplota, korozivní účinky měřeného média, rozsah, citlivost a požadovaná přesnost.

Při měření polohy hladiny kapalných či sypkých látek ve skladovacích a provozních nádobách se setkáváme se dvěma skupinami snímačů. Jsou to jednak *snímače se spojitou funkcí*, které se používají ke spojitému měření hladiny v určitém rozmezí, jednak *snímače nespojitě (limitní, mezní, bodové)*, které se využívají k zjišťování mezní polohy hladiny a často se označují jako *hladinové spínače*. Snímače pro měření hladiny – *hladinoměry* (někdy označované jako *stavoznaky*) můžeme klasifikovat podle různých hledisek, ale nejčastěji se třídí podle použitého funkčního principu. Přehled snímačů hladiny je uveden v tab. I. spolu se stručnou charakteristikou a hlavními možnostmi použití příslušného měřicího principu (1).

Problematika měření hladiny je rozdělena do tří příspěvků; první část pojednává o hladinoměrech mechanických, druhá bude věnována hydrostatickým snímačům, a ve třetí části budou uvedeny moderní metody využívající různé fyzikální principy.

Mechanické hladinoměry

Historicky nejstarším měřidlem výšky hladiny je *tyčové měřidlo*, které se i dnes využívá k orientačnímu měření. Další skupinu tvoří *průhledové hladinoměry* (skleněné trubice nebo průzory), které se používají pro vizuální sledování polohy hladiny zejména v malých kotlích a nádržích. Průhledové hladinoměry se často zanášejí nečistotami, jako je rez a jiné úsady. Průzory lze použít i pro velké tlaky až do 10 MPa. Předností těchto měřidel je jednoduchost, nevýhodou je, že neposkytují vhodný signál pro přenos a další zpracování naměřených údajů.

Ke zjišťování polohy hladiny (množství materiálu v nádrži) lze využít i *měření hmotnosti nádrže s materiálem*. Hmotnost nádrže se zjišťuje vážením při použití např. vhodného siloměrného členu, jehož citlivým prvkem nejčastěji bývá tenzometrický senzor. Tento způsob měření se často používá při dávkování

Tab. 1. Přehled snímačů hladiny

Skupina	Typ snímačů	Charakteristika principu měření	Možnosti použití
Mechanické	tyčové	vizuální posouzení	orientační měření
	plovákové	snímání polohy plováku	zejména pro čisté a neviskózní kapaliny
	vztlakové	měření a kompenzace vztlakové síly ponorného tělesa	pro čisté a neviskózní kapaliny, včetně měření mezihladiny; údaj závisí na hustotě média
	elektromechanické	periodické spouštění závaží	spojité měření výšky násypu sypkých látek
	vibrační	vyhodnocení útlumu vibrací indikačního prvku	limitní měření hladiny kapalin i sypkých látek; nezávisí na elektrických vlastnostech média, na turbulenci hladiny; nevyžaduje kalibraci
	lopatkové	vyhodnocení útlumu otáčení indikačního prvku	limitní měření sypkých hmot (prachy, granuláty); nevádí prašné prostředí; nevyžaduje kalibraci
Hydrostatické	snímače hydrostatického tlaku	měření hydrostatického tlaku	vhodné zejména pro čisté kapaliny; údaj závisí na hustotě měřeného média
	pneumatické s probubláváním	měření hydrostatického tlaku při probublávání média vzduchem	nízká pořizovací cena; údaj závisí na hustotě média, vhodné i pro kalné kapaliny
Elektrické	vodivostní	vyhodnocení změny elektrické vodivosti mezi elektrodami	jednoduchý a levný snímač pro elektricky vodivé kapaliny; vhodný snímač pro odpadní vody
	kapacitní	vyhodnocení elektrické kapacity snímače	použitelné pro elektricky vodivé i nevodivé kapaliny a sypké hmoty; vhodné pro limitní i spojité měření, a to i při vysokých tlacích a teplotách; možnost snímání mezihladiny kapalin; nevhodné pro média ulpívající na sondě
	tepelné	změna odvodu tepla z vyhřívajícího rezistoru	pro limitní měření polohy hladiny kapalin
Optické	transmisní	vyhodnocení průchodu světla	vhodné pro limitní měření hladiny kapalin a kalů
	reflexní	vyhodnocení odrazu světla	bezdotykový snímač pro čistá prostředí
	refrakční	využití lomu světla	limitní měření polohy hladiny čistých kapalin
Ultrazvukové	spojité (time of flight)	měření doby šíření ultrazvukového signálu	bezdotykové, neinvazivní měření; vhodné pro kapaliny, pastovité i sypké hmoty a agresivní média s měnícími se vlastnostmi; nevhodné pro měření za nízkých a vysokých tlaků; vadí turbulence hladiny, prašné prostředí
	limitní	vyhodnocení útlumu ultrazvukového signálu	pro limitní měření polohy hladiny nebo rozhraní kapalin
Radarové	bezkontaktní (time of flight)	měření doby šíření mikrovlnného signálu	bezdotykové, neinvazivní měření; vhodné i za extrémních podmínek pro velmi agresivní a toxické materiály za vysokých teplot a tlaků, pro viskózní a lepkavá média, pasty a kaly, zkapalněné plyny, těžké a agresivní kapaliny; nevhodné pro kapaliny s malou permitivitou
	reflektometrické (TDR; radary s vedenou vlnou)	měření doby odrazu impulzu mikrovlnného signálu vedeného kovovým tělesem	vhodné pro kapaliny i sypké látky, včetně měření mezihladiny kapalin; není ovlivňováno teplotou a tlakem ani přítomností pěny nebo prachu; nevhodné pro kapaliny s nízkou permitivitou
Radioizotopové		vyhodnocení absorpce radioaktivního záření	bezdotykové, neinvazivní měření s gama-zářičem vhodné k použití za extrémních podmínek pro toxická, agresivní a abrazivní média při jakýchkoliv teplotách a tlacích; snímače se umísťují vně nádrží; nutná ochrana obsluhy; povinné pravidelné kontroly

a směšování různých kapalných i sypkých materiálů. Do skupiny mechanických hladinoměrů patří i další typy snímačů, které jsou dále popsány v samostatných oddílech.

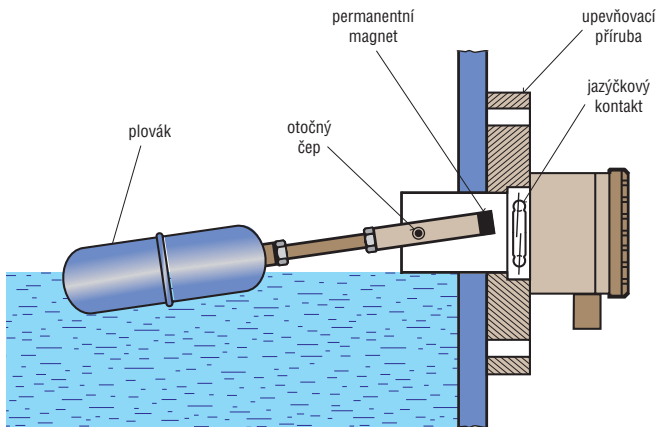
Plovákové hladinoměry

Základní součástí hladinoměru je plovák, obvykle v podobě lehkého dutého tělesa nebo tělesa vyrobeného z materiálu o velmi malé hustotě. Plovák je udržován na hladině vztlakovou silou a hustota plováku tedy musí být vždy výrazně menší než hustota

měřeného média. Při měření menších změn polohy hladiny (do 1 m) se používají plováky ve tvaru koule, pro měření velkých změn hladiny (až desítky metrů) se používají plováky válcového tvaru s vodící tyčí.

Plováky bývají k dispozici v různých tvarech i velikostech a jsou vyrobeny z různých materiálů (mosaz, korozivzdorná ocel, polyetylen, PVC, pěnový polystyren aj.). Tvar plováku by neměl mít žádné horizontální plochy, na kterých se mohou udržovat kapky kapaliny a usazovat případné nečistoty. Ty jsou příčinou změny hmotnosti plováku, a tím i změny jeho ponoření. Při měření silně znečištěných a viskózních kapalin se mohou vytvářet

Obr. 2. Plovákový spínač s magnetickou spojkou



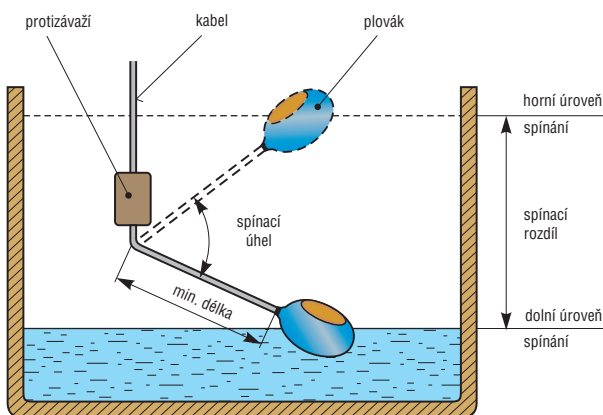
usazeniny a nánosy na celém povrchu plováku a omezovat jeho pohyblivost; ten dokonce může uvíznout v jedné poloze. Plováky proto mají ve většině případů tvar koule nebo válce. Plováky určené pro tlakové prostory bývají kulového tvaru a jsou naplněny inertním plynem o tlaku odpovídajícím maximálnímu tlaku v nádrži. Plováky mohou být umístěny přímo v provozních nádobách, zavěšeny na tyčích, lanech, řetězech nebo planžetách.

Při sledování malých změn hladiny bývá plovák uložen kyvně na rameni páky a jeho pohyb je vyveden magnetickou spojkou, torzní ucpávkou apod. U plovákových spínačů je pohyb plováku snímán obvykle vhodným dvouhodnotovým senzorem polohy. Nejčastěji se používají mikrospínače a magneticky ovládané jazýčkové spínače. Schéma plovákového spínače s magnetickou spojkou je na obr. 2. Plovák je zavěšen na rameni, na němž je upevněn magnet, který ovládá jazýčkový spínač umístěný uvnitř pouzdra připojovací krabice přimontované na vnější stěně nádrže. Takové uspořádání lze použít i pro měření hladiny v tlakových nádobách.

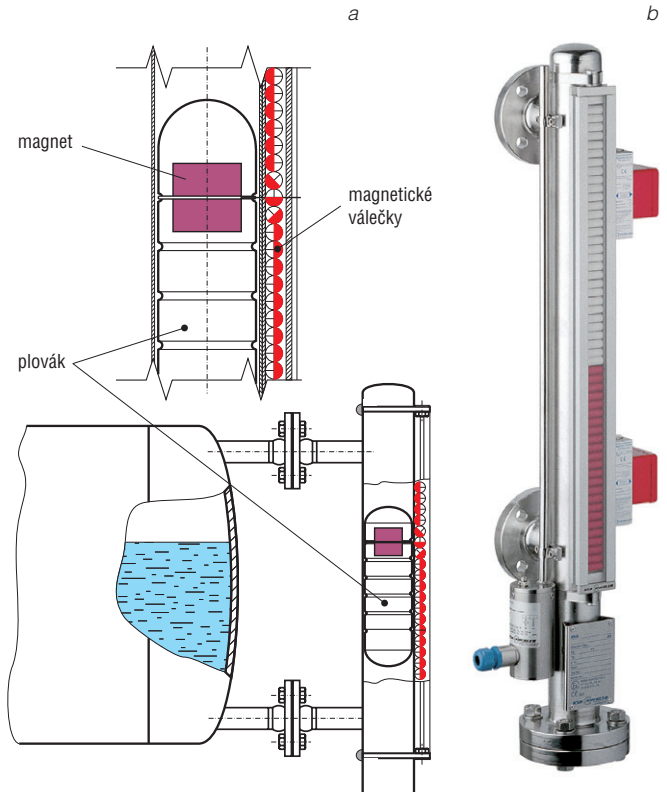
V uzavřených nádržích se většinou používá plovák obvykle ve tvaru prstence, jehož pohyb je usměrněn pomocí vodící tyče, ve které je zabudováno zařízení pro převod pohybu plováku na výstupní signál. Poloha plováku může být snímána např. jedním či několika magnetickými spínači.

Další variantu plovákových spínačů představují překlápěcí (překlopné) plováky s připojovacím kabelem, které jsou někdy

Obr. 3. Překlápěcí plovákový spínač



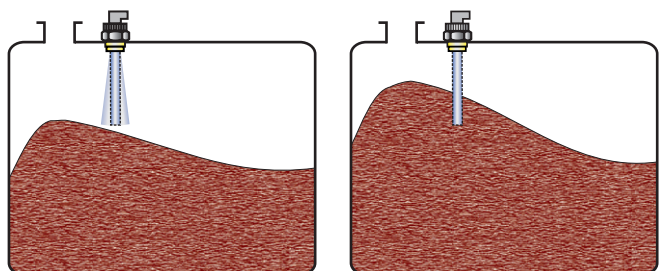
Obr. 4. Obtokový hladinoměr



označované jako kabelové plovákové spínače. Plovák bývá vyroben z plastu a uvnitř hermeticky uzavřené komory je zabudován mikrospínač ovládaný těžkou ocelovou kuličkou. Spínací rozdíl se nastavuje pomocí protizávaží, které je posouvateľné podél kabelu spínače (obr. 3.). Tento typ spínačů je často používán ke spínání úrovní kapalin v odpadních šachtách, nádržích, či cisternách. Existují i spínače se rtuťovým kontaktem, které však nejsou vhodné pro potravinářské aplikace.

Zvláštním typem plovákového hladinoměru je obtokový hladinoměr s magnetickými válečky (obr. 4). Plovák pohybující se v trubici hladinoměru je opatřen magnetem a poloha hladiny je zobrazena magnetickou zobrazovací lištou, jež je tvořena sloupcem magnetických dvoubarevných válečků (obr. 4.a). Magnet v plováku při svém pohybu válečky převrací a poloha hladiny je prezentována výraznou barvou (modrá, červená). Z pohledu uživatele jde o indikaci polohy hladiny podobné indikaci u průhledového hladinoměru. Magnet může také spínat jazýčkové kontakty potenciometrického vysílače s kvazi-kontinuálním signálem (analogový proudový výstup). Tento

Obr. 5. Princip vibračního spínače hladiny



snímač je vhodný pro snímání a indikaci výšky hladiny horkých, agresivních, hořlavých i toxických kapalin. Je použitelný při teplotách od -160 do $+470$ °C a od vakua až do tlaku 40 MPa. Na obr. 4.b je provedení snímače firmy KSR-Kuebler (2).

Plovákové hladinoměry jsou vhodné pro nelepivé a neviskózní kapaliny. Jejich předností je jednoduchost a spolehlivost. Přesnost měření plovákových hladinoměrů závisí především na tvaru a průřezu plováku, pasivních odporech v převodovém mechanismu a na změnách hustoty měřené kapaliny. Plovákové spínače patří k velmi často využívaným typům spínačů hladiny, které se uplatní převážně pro měření čistých a málo viskózních kapalin. Pro měření znečištěných kapalin jsou vhodné kabelové plovákové spínače. Výhodou relativně jednoduchých a levných plovákových spínačů je skutečnost, že pracující s dostatečnou přesností. Nevýhodou je, že se jedná o mechanické zařízení, které je často omezeno jen na čisté tekutiny.

Vibrační spínače hladiny

Vibrační spínače hladiny pracují na principu porovnání kmitání tělesa ve volném prostoru oproti kmitání v prostoru zaplněném kapalinou nebo sypkým materiálem (obr. 5.). Vibrujícím prvkem je nejčastěji tyč nebo vidlice, která je rozkmitávána na rezonanční frekvenci piezoelektrickým nebo elektromechanickým měničem. Ve volném prostoru kmitá vibrující prvek na rezonanční frekvenci, a jakmile přijde do styku s měřeným médiem, nastává útlum amplitudy kmitů a mění se frekvence kmitání.

Vibrační spínač hladiny je kompaktní zařízení, které zahrnuje vedle kmitajícího prvku potřebné elektronické obvody pro buzení i vyhodnocování kmitů. Vyhodnocovací část spínače může pracovat na principu buď *měření útlumu kmitů*, nebo vyhodnocení *změny rezonanční frekvence*. Pro různá měřená média se používají spínače s kmitajícími měřicími prvky různého tvaru a velikosti:

- spínače s tyčí pro sypké látky,
- spínače vybavené kmitajícími vidlicemi s dlouhými hroty pro sypká média a granuláty,
- spínače s krátkými vidličkami pro kapalná média.

Činnost vibračního spínače hladiny téměř nezávisí na fyzikálních vlastnostech měřené látky (hustota, elektrická vodivost, permitivita apod.). Na funkci spínačů s krátkou vidličkou nemají v podstatě žádný vliv vlastnosti kapaliny a změny produktu, velikost proudění a turbulence kapalného média, bubliny, pěna, vibrace technologického zařízení, obsah pevných částic v kapalině a vytváření povlaku na snímači. Mechanické vibrace indikačního prvku mají samočisticí funkci. Při uvádění do provozu není nutné provádět kalibraci.

Vibrační spínače hladiny lze využít k indikaci mezních úrovní u kapalin (čisté i znečištěné kapaliny, detekce úrovně kalu v odpadní vodě), sypkých hmot a prášků (cukr, sůl, mouka, sušené mléko, sušená káva, uhelný prach, cement, písek, aj.), granulátů a kusového materiálu (obiloviny, plastové pelety, kamenivo, kusové uhlí apod.). Vibrační spínače lze použít i při vysokých provozních teplotách (např. do 250 °C), a jsou vyráběny i pro použití v tlakových nádobách i v prostředí s nebezpečím

ROZHLEDY

Kocherin V., Kearney M., Schulze B. C., Tzschätzsch O.
Použití technologie fraktálního mělkého lože k odstranění barvy a popela z rafinérských sirobů (*The use of fractal shallow bed technology for color and ash removal from refinery syrups*)

Většina zařízení používaných k ionexovému odbarvování a demineralizaci rafinérských sirobů má velké rozměry hlavních i periferních zařízení, nízkou účinnost a relativně vysoké náklady. Proces odbarvování je řízen difuzí a z toho vyplývá, že k dosažení požadovaného stupně odbarvení je potřeba mít k dispozici určitou výšku lože ionexové vrstvy. Bylo zjištěno, že výška lože 0,7–1 m je obecně dostatečná, zatímco vyšší výšky lože vedou k nárůstu tlakové ztráty a většímu množství potřebného ionexu. Použití relativně mělkých (nízkých) vrstev lože ve spojení s účinným fraktálním rozdělením toku kapaliny vedlo k minimalizaci jak investičních, tak i provozních nákladů u ionexových nebo chromatografických systémů. Vysoká účinnost distribuce umožňuje minimalizovat množství regeneračních roztoků a výsladů, což je kritické pro úspěšné zavedení procesu. Aplikace průmyslové chromatografie zadinových rafinérských sirupů pak přináší významné ekonomické úspory společností, které mají problémy s likvidací výsladů po regeneraci. Výsledky provozních pokusů ukázaly, že jak při odbarvování, tak i při demineralizaci lze dosáhnout vysoké efektivity procesu. Následně odstranění necukrů při chromatografické separaci umožňuje rovněž dosáhnout vyšší výtěžnosti krystalů při svařování.

Int. Sugar J., 118, 2016, č. 1409, s. 336–340.

Kadlec

Singh K., Chandra B., Gupta S. P.
Snížení viskozity melasy a cukroviny pomocí pulzního magnetického pole (*Reducing viscosity of molasses and massecuite with pulsed magnetic field (PMF)*)

Účinkem pulzního magnetického pole byla snížena viskozita o 40–45 % ve srovnání s kontrolou. Tento účinek je vysvětlován tím, že vlivem magnetického pole se necukerné látky v melase a v cukrovině agregují, a to způsobuje změny reologického chování tekutin. Účinek magnetického pole o síle 0,15 Tesla po dobu 5 min snížil viskozitu o 45 %. Po 3 h začne viskozita stoupat a po 10–12 h po působení magnetického pole se viskozita vrátí na původní hodnotu.

Int. Sugar J., 118, 2016, č. 1408, s. 268–270.

Kadlec

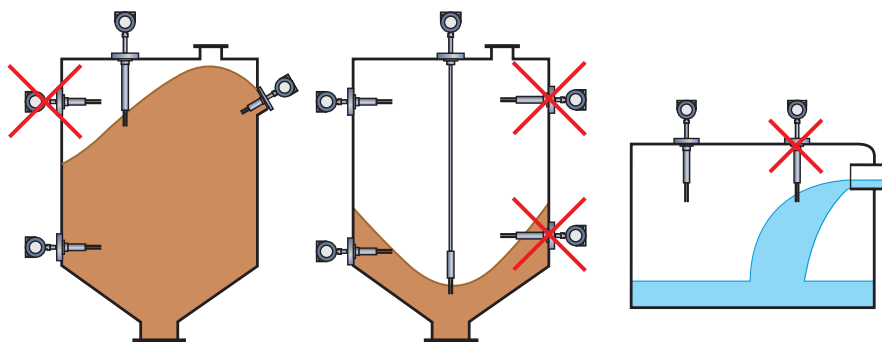
Mdakane A., Ndhkala T.
Multi-bag filtr jako zabezpečovací filtr v rafinerii Malelane (*Multi-bag filter used as sentry filter at the Malelane sugar refinery*)

Ve svaziské rafinerii Malelane (v jižní Africe) se odbarvují cukerné siroby karbonatačním postupem s následujícím sířením. Problémy se zákalem rafinérských sirobů se podařilo odstranit zařazením filtru multi-bag, což se ukázalo jako dostatečné pro zabezpečovací filtraci.

Int. Sugar J., 118, 2016, č. 1409, s. 364–370.

Kadlec

Obr. 6. Vhodné a nevhodné umístění vibračních spínačů v provozní nádrži



výbuchu. Pro spínače určené pro potravinářský a farmaceutický průmysl jsou voleny materiály a povrchové úpravy tak, aby splňovaly příslušná kritéria hygienických předpisů.

Na obr. 6. jsou znázorněna doporučení pro správnou montáž vibračních spínačů. Spínač by neměl být vystaven proudu přitékajícího materiálu do nádrže, v případě potřeby je vhodné jej shora chránit stříškou proti padajícímu materiálu. Při horizontální instalaci se snímač umísťuje tak, aby ramena vidlice kmitala horizontálně, aby materiál mohl volně propadat a neovlivňoval oscilace senzoru. Příslušnou pozornost je třeba věnovat správnému umístění spínače v horní i spodní části zásobní nádrže s ohledem na rozložení hladiny sypkých látek při plnění či vyprázdnování nádrže. Bude-li např. spínač namontován blízko dna nádrže, může docházet k tomu, že spínač bude zakryt zbytkem materiálu i po vyprázdnění nádrže.

Lopátkové spínače hladiny

Lopátkové nebo vrtulkové spínače hladiny, podobně jako vibrační, využívají útlum, popř. zastavení otáčení lopatky

Obr. 7. Lopátkové spínače hladiny (3)



nebo vrtulky zavěšené nad hladinou a poháněné elektromotorkem (obr. 7.). Při dotyku s hladinou měřené látky se vrtulka zpomalí či zastaví, a tím signalizuje dosažení určené polohy hladiny (indikace mezního stavu). Lopatky mohou mít různý tvar a velikost. Při měření látek s malou hustotou je třeba použít lopatky o velké ploše k vyvolání dostatečného brzdícího momentu. Výhodou je, že měření není ovlivněno změnami hustoty, vodivosti, relativní permitivity a viskozity média. Lopátkové spínače jsou používány zejména pro sypké materiály a často se používají jako pojistka proti přeplnění

nádrže. V potravinářství nacházejí uplatnění pro měření takových surovin jako je cukr, mouka, pšenice, kukuřice slunečnice, zrní, káva aj.

Souhrn

Článek uvádí přehled funkčních principů využívaných při měření hladiny v provozních nádržích. V první části jsou probrány mechanické hladinoměry – snímače plovákové, vibrační a lopátkové. Jsou popsány způsoby zabudování provozních snímačů hladiny do technologických aparatur; jsou diskutovány přednosti a nedostatky vybraných typů snímačů.

Klíčová slova: snímače hladiny, mechanické hladinoměry, plovákové snímače, vibrační spínače hladiny.

Literatura

1. KADLEC, K.: Měření hladiny. In KADLEC, K.; KMÍNEK, M.; KADLEC, P. (EDIT.) ET AL.: *Měření a řízení v potravinářských a biotechnologických výrobcích*. Ostrava: Key Publishing, 2015, s. 172–227.
2. *Obtokové stavoznaky s magnetickým přenosem KSR Kuebler*. [online] http://www.dex.cz/produkty/vyska_hladiny/stavoznaky.html, cit. 22. 2. 2016.
3. *Nivorota – rotační lopátkové spínače*. Nivelco, [online] http://www.nivelco.com/download/pdf/ekh7s11c0603b_CZ.pdf, cit. 22. 2. 2016.

Kadlec K.: Measurement of Process Variables in Sugar Industry: Level Measurement (Part 1)

The paper provides an overview of the functional principles used for level measurement in process vessels. The first part describes mechanical level gauges – float level sensors, vibration and rotary paddle level switches. It also specifies methods of installation of level sensors into the technological apparatus and discusses advantages and disadvantages of the sensors.

Key words: level sensors; mechanical level sensors; float level sensors, vibration level switches.

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