

## MĚŘENÍ PROVOZNÍCH VELIČIN V CUKROVARNICTVÍ

## Měření hmotnosti – průmyslové vážení (část 2.)

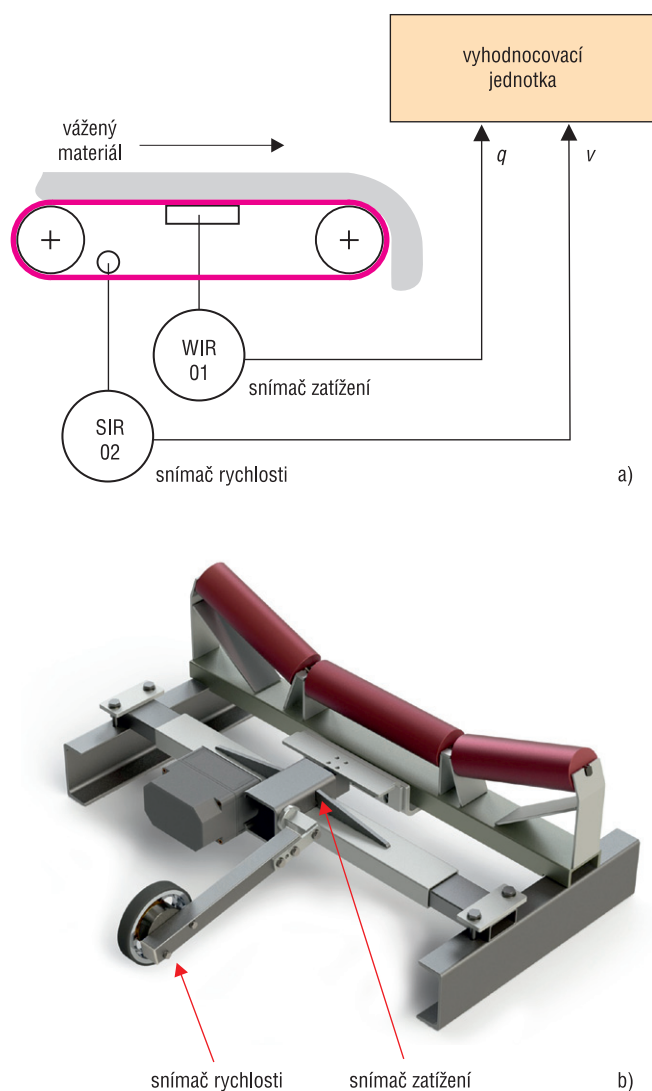
MEASUREMENT OF PROCESS VARIABLES IN SUGAR INDUSTRY: WEIGHT MEASUREMENT – INDUSTRIAL WEIGHING (PART 2)

Karel Kadlec – Vysoká škola chemicko-technologická v Praze

## Kontinuální váhy

Těžiště kontinuální vážicí techniky spočívá zejména v měření okamžité hodnoty přepravovaného množství materiálu udávané obvykle v  $t \cdot h^{-1}$  či  $kg \cdot h^{-1}$ , případně jeho objemu v  $m^3 \cdot h^{-1}$ . Informaci o celkovém přepraveném množství získáme pak integrací okamžité hodnoty přepravovaného množství podle času. Chyby vážení, které kontinuální váhy vykazují, jsou zpravidla udávány

Obr. 1. Pásová váha: a) schéma, b) pásová váha WÖHWA SFB 22 (upraveno podle www.woehwa.com)



ve vztahu k okamžité hodnotě přepravovaného množství a bývají řádově vyšší než u vah diskontinuálních. Ve většině aplikací z této oblasti je funkce kontinuálního vážení doplněna o regulaci na předem zvolenou hodnotu (1).

## Pásové váhy

Typickým transportním prostředkem sypkých hmot je pásový válečkový dopravník. Jestliže oddělíme jednu, dvě či více válečkových stolic od základního rámu dopravníku a podložíme je snímači zatížení, můžeme snímat vertikální síly vyvozané dopravníkovým pásem a úměrně jeho zatížení. Vážicí zařízení konstruovaná na tomto principu jsou nazývána **pásovými vahami**. Na schématu podle obr. 1.a je znázorněno uspořádání pásové váhy vybavené navíc snímačem rychlosti pásu (tachogenerátorem). Označíme-li zatížení pásu  $q$  na určité části dopravníku o délce  $l$ , pohybujícího se rychlostí  $v$ , bude okamžitě přepravované množství  $P$  ( $kg \cdot s^{-1}$ ) dáno vztahem:

$$P = \frac{q \cdot v}{l} = \frac{q \cdot l}{l \cdot \tau} = \frac{q}{\tau} \quad (1)$$

Celkové přepravované množství  $M$  (kg) za čas  $\tau$  získáme integrací:

$$M = \int_0^{\tau} P \cdot d\tau \quad (2)$$

Běžné pásové váhy jsou konstruovány pro pásy o šířkách od 400 do 2 000 mm a pro přepravní výkon, jak bývá přepravované množství často nazýváno, od  $100 kg \cdot h^{-1}$  až do  $20\,000 t \cdot h^{-1}$ . Na obr. 1.b je integrační pásová váha pro kontinuální vážení a dávkování sypkého materiálu na transportních pásech. Podstatnou součástí je vážicí stolice osazená tenzometrickým snímačem zatížení a doplněná snímačem rychlosti.

Zaručované maximální chyby jednotlivých typů vah jsou závislé na řadě souvisejících faktorů. Statická chyba váhy vztažená ke skutečné hodnotě zatížení se bez dynamických vlivů pásu pohybuje kolem 0,1 %. Typické provozní hodnoty chyb se pohybují od 0,25 % do 2 % v závislosti na typu váhy, přepravovaném materiálu a dalších okolnostech.

Dopravník s materiálem pohybující se ve vážicí části musí být uklidněn a stabilizován. Proto je třeba mechaniku váhy umístit do dostatečné vzdálenosti (2 až 5 m) od přesypů, začátku nebo konce pásu a všech míst, kde se mění jeho profil.

Při velkém sklonu pásu dochází k tzv. virtuálnímu pohybu sypkého materiálu přes váhu provázenému jeho vícenásobným vážením, které je zdrojem chyb. Maximální sklon se podle sypkosti materiálu pohybuje v rozmezí 15–20°.

K minimalizaci vlivů pásu na vázící stolice je třeba zajistit jeho konstantní napínání. Pro tyto účely je mnohem výhodnější napínání gravitační (závažím přes kladku) než např. napínání pružinami, šroubem apod., které je nestabilní.

Optimální příčný profil dopravníku podle obr. 2.a je ve tvaru rozevřeného písmene „U“. Naprosto nevhodný je tvar podle obr. 2.b, který je příčinou vzniku nedefinovatelné vertikální rušivé síly vlivem přetváření profilu pohybujícího se pásu.

Na obr. 3. je pásová váha na dopravníkovém pásu pro řízky v cukrovaru Dobrovice, Tereos TTD, a. s.

Rychlost pohybu pásu, která je určujícím faktorem pro výpočet přepravního výkonu, může být zadána jako konstanta nebo snímána tachogenerátorem. Zadáme-li rychlost pásu jako konstantu, musíme počítat s tím, že vlivem jejího kolísání, způsobeného např. proměnným zatížením pásu nebo odchylkami frekvence elektrické napájecí sítě, zavádíme do vyhodnocovací jednotky systematickou chybu. Na obr. 4. je snímač rychlosti *Milltronics TASS* (2), jehož vlečné rameno umožňuje přímé snímání rychlosti dopravníkového pásu.

### Průtokoměry sypkých hmot se skluzovou nebo odraznou deskou

Průtok sypkých hmot, které nejsou dopravovány pásovým dopravníkem, lze měřit zařízeními se šikmou skluzovou nebo odraznou plochou schematicky znázorněnou na obr. 5. Síla, kterou působí protékající materiál na šikmou plochu, je úměrná okamžité hodnotě průtoku materiálu ( $\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$ ) a je snímána obvyklým snímačem zatížení. Celkové proteklé množství je pak rovno integrálu okamžité hodnoty průtoku za stanovený čas. Obvykle dosahovaná provozní chyba se pohybuje v rozsahu 2 % až 5 %.

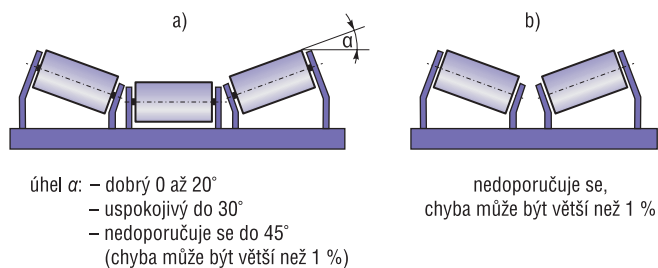
Hlavním problémem u těchto typů průtokoměrů je jejich kalibrace, kterou lze provést pouze zkusmo materiálovou zkouškou. Dosahovaná přesnost měření je velmi závislá na vlastnostech transportovaných materiálů, zejména na jejich změnách. Odrazná i skluzová deska měří při pohybu materiálu jeho kinetickou energii, která se na měřicí desce přeměňuje na tlakovou sílu (odrazná deska) nebo moment síly (skluzová deska) (3). Tyto účinky však závisí nejen na protékajícím množství, ale do značné míry i na zrnitosti a sypné hmotnosti materiálu.

Na obr. 6. je příklad průtokoměru sypkých hmot *Sitrans WF* (2), který vyhodnocuje horizontální složku síly působící na měřicí desku. Horizontální složka síly je úměrná hmotnostnímu toku materiálu a není ovlivněna hmotností materiálu ulpívajícího na desce. Průtokoměry *Sitrans WF* lze měřit jakýkoliv suchý sypký materiál např. popílek, cement, šterk, koks, uhlí, dřevní štěpku, semena, obilí, vyluštěné arašidy, škrob, cukr, plastové pelety aj.

### Průtokoměry sypkých hmot na Coriolisově principu

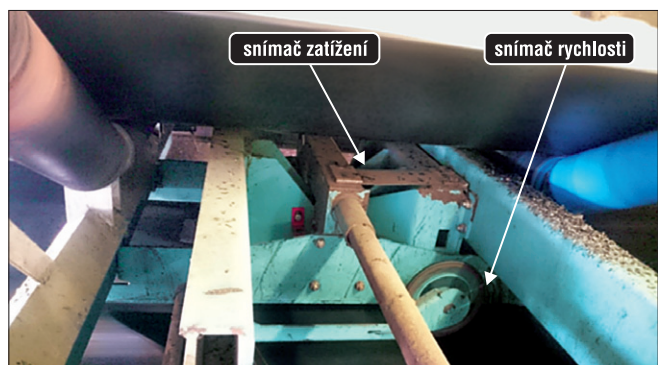
Pro granuláty a jemné homogenní materiály (prach, mouka) lze použít průtokoměry založené na využití Coriolisova principu, dosahující mnohem vyšších přesností než dříve popsané průtokoměry se šikmými skluzy. Schematicky je tento princip znázorněn na obr. 7.

Obr. 2. Vhodný a nevhodný tvar válečkové stolice



Měřicí kolo s pohonným střídavým motorem a převodovkou je volně uloženo ve skříní přístroje a v pevné poloze je fixováno snímačem síly. Frekvence otáčení je kontrolována digitálním snímačem. Materiál vstupující do průtokoměru dopadá do středu

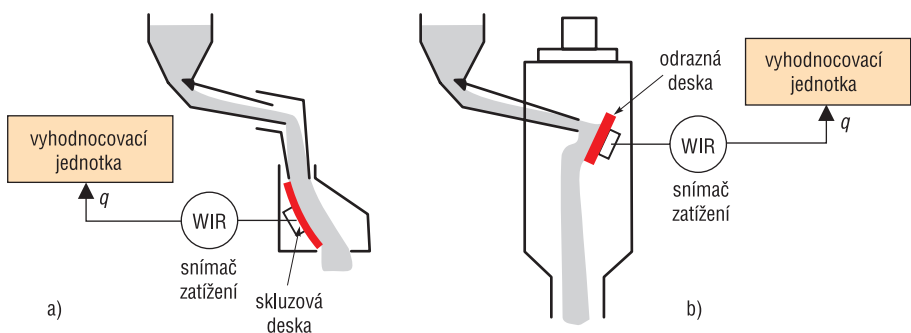
Obr. 3. Pásová váha na dopravníkovém pásu pro řízky v cukrovaru Dobrovice, Tereos TTD, a. s. (foto V. Pour)



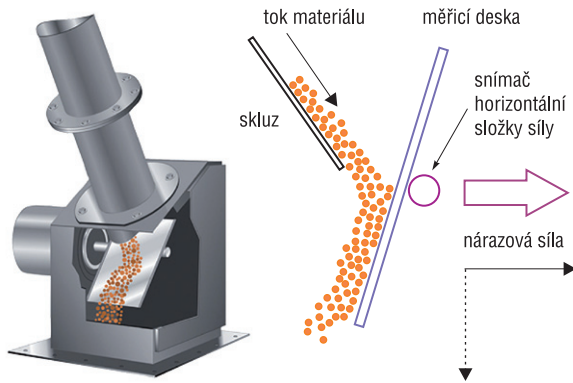
Obr. 4. Snímač rychlosti dopravníkového pásu *Milltronics TASS*



Obr. 5. Princip a) skluzové a b) odrazné desky



Obr. 6. Průtokoměr sypkých hmot Sitrans WF, upraveno podle (2)



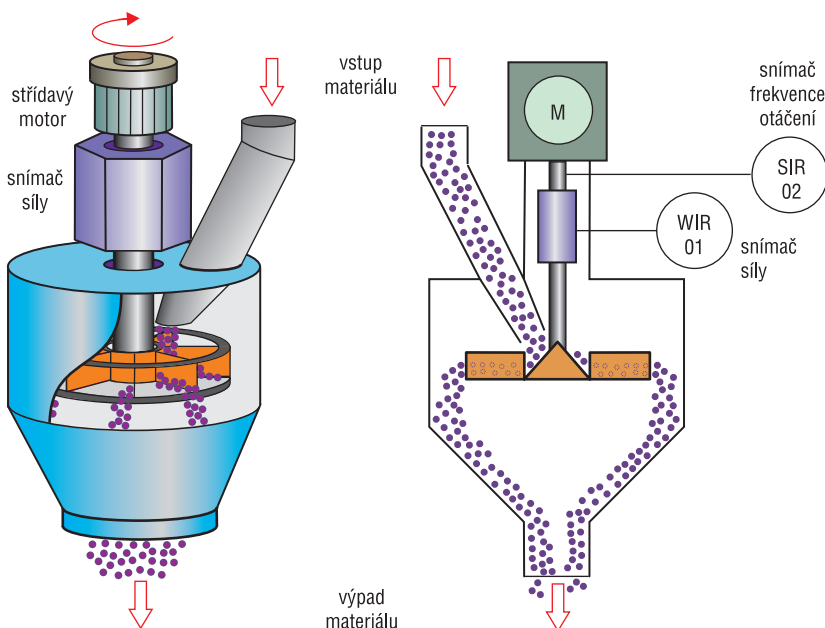
měřicího kola, ze kterého je vodičnými lopatkami směřován k okrajům a tam opouští celou centrální část. Na sypký materiál, který se pohybuje na rotujícím kole, působí Coriolisova síla vyvolávající reakční moment, který je vyhodnocován snímačem síly. Velikost tohoto momentu je pak úměrná protékajícímu množství. Podrobně byl princip Coriolisova hmotnostního průtokoměru popsán dříve (4).

Průtokoměry založené na tomto principu umožňují měřit průtoky v rozsahu 0,5–200 t·h<sup>-1</sup> (300 m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup>). Teoretickým nastavením lze obvykle dosáhnout maximální chyby do 2 % z okamžité hodnoty výkonu, kterou lze kalibrací s materiálovou zkouškou dále snížit na 0,5 %.

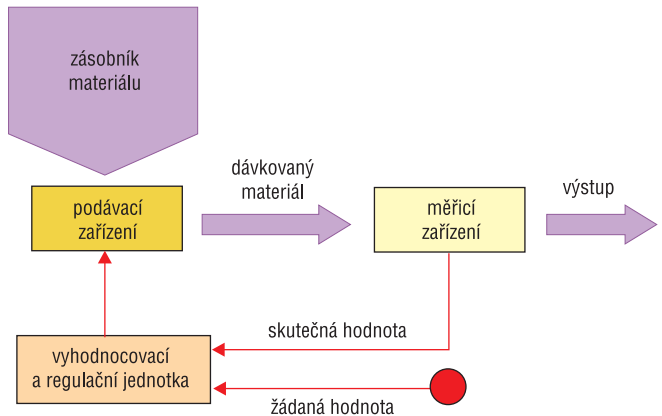
**Vyhodnocovací jednotky pro kontinuální váhy**

V porovnání s vyhodnocovacími jednotkami diskontinuálních vah, které udávají pouze statickou hmotnost váženého předmětu, musí jednotky u kontinuálních vah vyhodnotit nejen signály ze snímače zatížení, ale i součin okamžité hodnoty zatížení a rychlosti pásu včetně výpočtu integrálu tohoto součinu. U moderních vyhodnocovacích jednotek je součin signálu úměrného okamžité

Obr. 7. Průtokoměr sypkých hmot na Coriolisově principu



Obr. 8. Schéma kontinuálního dávkovacího systému



hodnotě přepravovaného nebo protékajícího množství a rychlosti materiálu a stejně tak integrál uvedeného součinu prováděn výhradně v digitální formě.

Jedním z nejdůležitějších faktorů, které příznivě ovlivňují chybu vážení, vyhodnocení a dlouhodobou stabilitu pásových a dávkovacích pásových vah, je eliminace dynamických vlivů pásu, a to zejména při běhu naprázdno (zatížení pásu se blíží nule) nebo s minimálním zatížením. Moderní jednotky mohou zaznamenat chování samotného pásu po dobu jedné periody oběhu a vytvořit model jeho působení (označováno BIC – *Belt influence compensation*). Jednoduché způsoby kompenzace přičítají konstantní signál vhodné velikosti a polaritě tak, aby integrál okamžité hodnoty výkonu za dobu jednoho oběhu pásu byl nula.

Při vyhodnocování celkového přepraveného množství je třeba mít na paměti, že jde o měření integrační zatížené především chybou driftu nuly. Kalibrační, případně ověřovací parametry u vyhodnocovacích jednotek pro pásové váhy schopné ověření, byly dříve uloženy v paměťových modulech zálohovacích baterií, nyní v pamětech typu E-EPROM bez zálohovacích baterií.

Okamžitý výkon pásu je tradičně převáděn na impulzy konstantní délky s frekvencí úměrnou tomuto výkonu.

**Kontinuální dávkování**

Systémy pro kontinuální dávkování sypkých hmot lze obecně charakterizovat blokovým schématem na obr. 8. Ze schématu je zřejmé, že se jedná o klasický regulační obvod. Protékající množství materiálu vynášené podávacím zařízením ze zásobníku je měřeno a hodnota okamžitého dopravovaného množství (t·h<sup>-1</sup>) je porovnávána s hodnotou žádanou. Podle rozdílu těchto dvou hodnot je regulován výkon objemového podávacího zařízení.

Zásobníky dávkovaného materiálu mohou být realizovány různým způsobem. Jedná se většinou o kontejnery, zásobníky, síla a skládky rozmanitých forem, jejichž objem musí být v relaci s typem a výkonem dávkovacího zařízení a možnostmi periodického doplňování. Tvar zásobníku, zejména jeho spodní část, vychází z vlastností dávkovaného materiálu. Pro

Tab. I. Výběr měřicího zařízení podle typu materiálu

| Typ materiálu                     | Zrnitost                           | Měřicí zařízení  |
|-----------------------------------|------------------------------------|--|
| Prach bez provzdušnění            | hlavní podíl < 0,1 mm, max. 0,5 mm | průtokoměry se skluzovou nebo odraznou deskou, pásové váhy, diferenční váhy, průtokoměr Coriolisův     |
| Prach s provzdušněním             | hlavní podíl < 0,1 mm, max. 0,5 mm | průtokoměry se skluzovou nebo odraznou deskou, pásové váhy s uklidňovací dráhou, průtokoměr Coriolisův |
| Krupice                           | hlavní podíl > 0,1 mm, max. 0,5 mm | průtokoměry se skluzovou nebo odraznou deskou, pásové váhy, diferenční váhy, průtokoměr Coriolisův     |
| Vláknina, vločky, třísky          | hlavní podíl 0,5 až 7 mm           | pásové váhy, diferenční váhy   |
| Granulát, pelety                  | hlavní podíl 0,5 až 5 mm           | průtokoměry se skluzovou nebo odraznou deskou, pásové váhy, diferenční váhy, průtokoměr Coriolisův     |
| Hrubý materiál – střední zrnitost | hlavní podíl 5 mm až 50 mm         | pásové váhy  |
| Hrubý materiál – velká zrnitost   | hlavní podíl 5 mm až 150 mm        | pásové váhy  |

optimální objemové nebo hmotnostní dávkování je nutný plynulý přísun materiálu do oblasti jeho vynášení. Největší problém je vynášení lepivých a klenbujících materiálů malými otvory.

Pro vynášení materiálů ze zásobníků existuje celá řada vhodných zařízení. Jsou to především šnekové a spirálové podavače, turnikety, pneumatické válce, pásové podavače, článkové pásové podavače, řetězové dopravníky, vibrační žlaby a nejrůznější vynášecí pásy a rošty. Jejich výběr vychází z požadovaného výkonu a z vlastností použitého materiálu.

V tab. I. je orientační přehled vhodných měřicích zařízení pro různé typy materiálů.

#### Dávkovací pásové váhy

Zařazením vhodného regulátoru, který zajistí, aby i úbytek byl v čase konstantní a roven žádané hodnotě, vytvoříme dávkovací zařízení nazývané diferenční dávkovací váha (*Loss in Weight Feeder*), jejíž principiální schéma je na obr. 9. Dávkovací zařízení a zásobník se zásobou dávkovaného materiálu jsou vázány s využitím vhodného snímače zatížení. Úbytek hmotnosti v čase ( $-dM/dt$ ) odpovídá skutečnému odebranému množství. Výkon vynášecího zařízení váhy je regulován tak, aby změna hmotnosti byla konstantní.

Po určité době je třeba zásobník doplnit dalším materiálem. Je zřejmé, že při doplňování materiálu do váženého zásobníku nelze regulovat výstupní výkon obvyklým způsobem a regulátor je přepnut do režimu, ve kterém zachovává poslední hodnotu výkonu vynášecího mechanismu před přepnutím. Po doplnění obsahu je opět přepnut do základního režimu s regulací podle úbytku. U diferenční dávkovací váhy rozeznáváme vždy dva režimy regulace hmotnostní (gravimetrický) s regulací na konstantní úbytek a objemový (volumetrický) se zachováním konstantního objemu vynášeného materiálu, jak vyplývá z grafu na obr. 9.

Diferenční dávkovací váhy nacházejí časté uplatnění v potravinářském průmyslu. Např. při výrobě těstovin, kdy je zpracována mouka s vodou nebo vejci na těsto, lze využít diferenční dávkovací váhu *MechaTron*<sup>®</sup> ([www.schenckprocess.cz](http://www.schenckprocess.cz)). Díky přimíchávání různých přísad, jako například špenátový prášek nebo sušený rajský protlak, je těsto při hnětení případně vytlačováno obarveno a obohaceno různými chuťovými přísadami. Dávkovačem mouky a diferenční dávkovací váhou pro přísady

jsou všechny produkty kontinuálně dávkovány do hnětače. Na obr. 10. je diferenční dávkovací váha *Bübler MSDA/MWBO* vhodná pro dávkování sypkých látek, např. mouky, nebo může být použita jako regulátor hmotnostního průtoku sypké látky.

#### Vyhodnocovací a řídicí systémy pro dávkovací váhy

Elektronické vyhodnocovací jednotky pro dávkovací váhy v sobě sdružují dvě základní funkce – kontinuální vážení a regulaci. Moderní jednotky jsou řízeny výhradně mikroprocesory a poskytují v procesech snímání a regulace, ale i při komunikaci s uživatelem nebo nadřazeným systémem, značný komfort.

Ve vázící části je vyhodnocován signál z klasických snímačů zatížení a snímačů rychlosti a vypočítávána skutečná hodnota dávkovaného množství. Tato hodnota je porovnávána s uživatelem nebo nadřazeným systémem přednastavenou požadovanou hodnotou. Rozdílový signál je dále vyhodnocován v regulátoru, který přes silovou část napájí pohon vynášecího zařízení (pás, šnek). Do složitějších systémů jsou začleněny další měřicí vstupy a regulátory. Důležitou součástí řídicí části jsou i systémy pro eliminaci nejrůznějších rušivých vlivů.

Řídicí systém, popř. přímo vážný procesor, obvykle postupně vykonává tyto kroky:

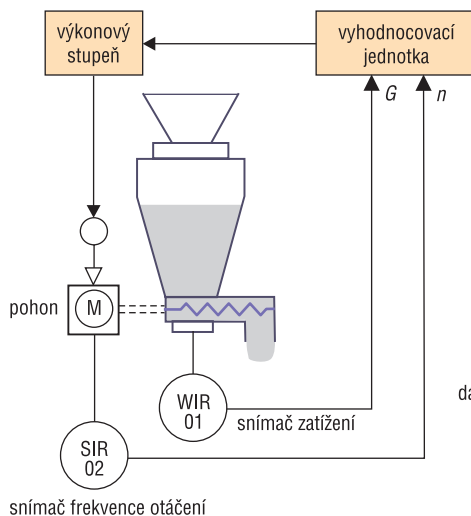
- na začátku navažování indikuje uklidnění váhy a váhu vytáruje,
- u dvoustupňového navažování zahájí hrubé plnění váhy,
- čeká na limit hrubého plnění a po jeho dosažení přepne na jemné plnění váhy,
- čeká na dosažení limitu jemného plnění, po jeho dosažení vypíná plnění váhy,
- je-li navážená hmotnost mimo dané limity, zahájí dovážení,
- čeká na uklidnění váhy, potom z váhy přečte skutečně navážené množství.

Sekvence kroků obsahuje důležité parametry, které značně ovlivňují rychlost a kvalitu navážení.

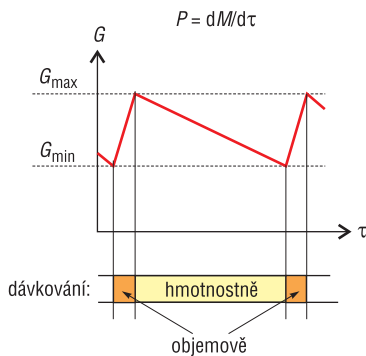
S mohutným rozvojem systémů pro procesní automatizaci, do kterých jsou ve většině aplikací kontinuální váhy integrovány, dochází i k rozvoji inteligentních sběrnic k jednotnému připojení všech prvků automatizačního systému. V souvislosti s tím dochází k integraci elektronických vyhodnocovacích, řídicích a komunikačních systémů přímo do mechanické části konstrukce.



Obr. 9. Schéma diferenční dávkovací váhy



$G$  – tíha zásobníku s materiálem o celkové hmotnosti  $M$  (kg),  
 $P$  – přepravované množství (kg·s<sup>-1</sup>)



Jednotlivé kontinuální dávkovací váhy bývají často sdružovány do komplexních systémů, které tvoří celé navažovací linky pro přípravu směsí, dávkování do mlýnů, drtičů, pecí, výtlačných lisů apod. Většina takových úloh je v současné době již realizována nadřazenými systémy pro řízení technologických procesů.

### Souhrn

Ve skupině kontinuálních vah jsou popsány pásové váhy, průtokoměry sypkých hmot se skluzovou nebo odraznou deskou a hmotnostní průtokoměry sypkých hmot na Coriolisově principu. Závěrečná část je věnována problematice kontinuálního dávkování.

**Klíčová slova:** kontinuální váhy, pásové váhy, dávkovací váhy, hmotnostní průtokoměry sypkých hmot, kontinuální dávkování.

Obr. 10. Diferenční dávkovací váha Bühler MSDA/MWBO ([www.buhlergroup.com](http://www.buhlergroup.com))



### Literatura

1. MIKULEC, M.: *Průmyslová vážicí technika*. Praha: Schenck s.r.o., 2000.
2. *Products for Weighing Technology*. Siemens, [online] [w3app.siemens.com/mcms/infocenter/dokumentencenter/sc/wt/InfocenterLanguagePacks/Catalog%20WT%2010%20-%202016,%20Products%20for%20Weighing%20Technology/wt10\\_en.pdf](http://w3app.siemens.com/mcms/infocenter/dokumentencenter/sc/wt/InfocenterLanguagePacks/Catalog%20WT%2010%20-%202016,%20Products%20for%20Weighing%20Technology/wt10_en.pdf) (cit. srpen 2017).
3. NORDEN, E. K.: *Handbook of Electronic weighing*. New York: John Wiley & Sons, 2008.
4. KADLEC, K.: Měření průtoku (část 6.) *Listy cukrov. řepář.*, 133, 2017, (9–10), s. 317–321.

### Kadlec K.: Measurement of Process Variables in Sugar Industry: Weight Measurement – Industrial Weighing (Part 2)

In the continuous weighing scales category, belt scales and Coriolis mass flow meters for bulk materials are described. The final part is devoted to a device for continuous dosing.

**Key words:** continuous weighing scales, belt scales, weigh feeders, mass flow meters for bulk material, continuous dosing.

### 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](mailto:karel.kadlec@vscht.cz)