

MĚŘENÍ PROVOZNÍCH VELIČIN V CUKROVARNICTVÍ

Měření hmotnosti – průmyslové vážení (část 1.)

MEASUREMENT OF PROCESS VARIABLES IN SUGAR INDUSTRY: WEIGHT MEASUREMENT – INDUSTRIAL WEIGHING (PART 1)

Karel Kadlec – Vysoká škola chemicko-technologická v Praze

Vážení ve výrobních procesech

Jedním z nejpresnějších způsobů měření hmotnosti je vážení. Je možné ho využít k měření hmotnosti kusového zboží, tekutých i sypkých materiálů, pro statické (diskontinuální) i průběžné (kontinuální) měření. Použití vah ve výrobních procesech je velmi široké, od surovinového hospodářství ve všech odvětvích, přes výrobní procesy v hutnictví, průmyslu stavebních hmot, chemickém, farmaceutickém a potravinářském průmyslu aj., až po plnění i balení produktů a jejich expediční kontrolu v mnoha odvětvích. Způsoby využití vážení v průmyslové praxi ukazuje schéma na obr. 1.

Podle účelu vážení lze až na drobné výjimky rozdělit váhy do dvou skupin – na **váhy technologické** a **váhy pro obchodní styk**. Váhy technologické bývají součástí technologických procesů při mísení a míchání směsí, navažování přísad atd. Použití vah pro obchodní účely je ze zákona vyžadováno pro:

- stanovení sankcí, poplatků, tarifů a daní,
- pro ochranu zdraví,
- pro ochranu životního prostředí,
- při ochraně jiných veřejných zájmů chráněných zvláštními právními předpisy.

Rozdíl mezi technologickými a obchodními váhami není v žádném případě v přesnosti vážení, ale v možnosti ověření a po určitou dobu i garantování správného údaje o hmotnosti (2). Podle způsobu realizace procesu vážení rozeznáváme:

- vážení diskontinuální**, při němž vážený, přesně definovaný a ohraničený objekt se nachází po určitou dobu na pevné podložce, tzv. nosiči břemene. Po dosažení klidového stavu, který je charakterizován ustálením údaje o hmotnosti v definovaném časovém intervalu, lze provést odečet hmotnosti v g, kg či t,
- vážení kontinuální**, při němž je tok hmotnosti měřen průběžně a udáván ve vztahu k časovému intervalu (např. v $\text{g}\cdot\text{h}^{-1}$, $\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$, $\text{t}\cdot\text{h}^{-1}$ apod.). Tento způsob vážení je nejčastěji používán ke zjišťování velikosti průtoku sypkých hmot.

Přesnost vážení

U technologických vah bývá maximální povolená chyba vážení definována relativní chybou vztaženou nejčastěji k vážicímu rozsahu a pohybuje se v rozmezí 0,1–5,0 %. Kalibrace technologických vah a kontrola stálosti jejich parametrů jsou výhradně věcí jejich

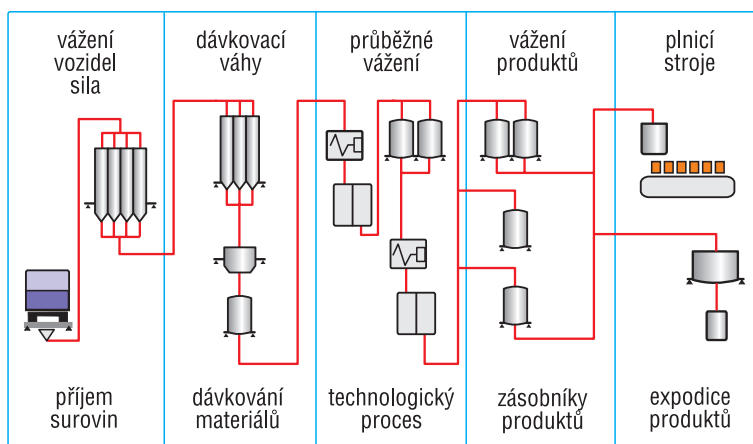
uživatelů a provozovatelů. U vah používaných v obchodním styku, v ekologii, zdravotnictví a v některých dalších odvětvích je požadovaná přesnost vážení obvykle definována zákonem a ve většině vyspělých zemí si stát vyhrazuje právo dohledu nad jejich metrologickými parametry a používáním. Veškeré právní aspekty výroby a používání těchto měřidel jsou v České republice definovány Zákonem o metrologii a příslušnými vyhláškami. Tyto váhy patří do skupiny měřidel označené jako **stanovená měřidla**, která podléhají legálnímu metrologickému dozoru.

Snímače zatížení

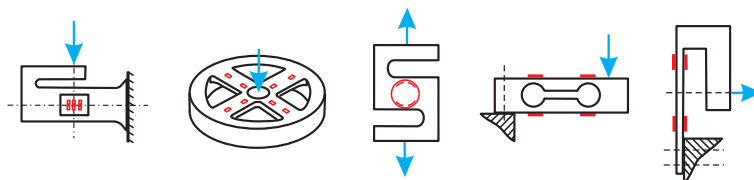
Ve snímačích zatížení je transformována měřená hmotnost na elektrický signál. Jejich metrologické charakteristiky významně ovlivňují přesnost všech druhů elektromechanických vah. Měřicí princip snímačů zatížení u průmyslových vah je téměř výhradně založen na aplikaci **kovových tenzometrů**. Princip tenzometru byl vysvětlen v předchozí části tohoto seriálu (3).

U elektromechanických vah jsou používány různé typy snímačů, jejichž metrologické charakteristiky významně ovlivňují

Obr. 1. Příklady využití vážení ve výrobním procesu (upraveno podle (1))



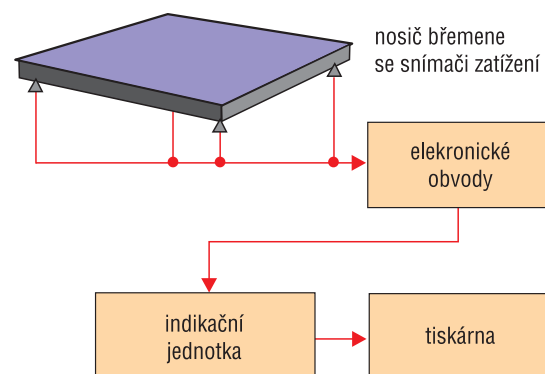
Obr. 2. Ukázky deformačních členů



Obr. 3. Snímače zatížení typové řady Siwarex (4): a) kompresní snímač zvláště vhodný pro zásobníkové a vozidlové váhy, b) snímač vhodný pro vážení nádrží a zásobníků, c) snímač vhodný pro malé a střední plošinové váhy, d) snímač s ohýbaným nosníkem vhodný pro menší zásobníky a plošinové váhy



Obr. 4. Příklad uspořádání diskontinuální váhy



přesnost vah. Na obr. 2. jsou schematicky nakreslené některé deformační členy snímačů zatížení s lepenými kovovými tenzometry (tenzometry jsou vyznačeny červeně, modré šipky označují směr zatížení deformačního členu). Na obr. 3. jsou fotografie snímačů typové řady *Siwarex* firmy Siemens (4).

Při mechanickém namáhání se mění elektrický odpor jednotlivých tenzometrů, které jsou zapojeny do Wheatstoneova můstku. Výstupní signál z diagonály můstku je zpracováván ve vyhodnocovacích elektronických obvodech. Signál z tenzometrického můstku je v úrovni řádově mikrovoltů, takže případné rušení může mít zásadní vliv na přesnost vážení. Proto je třeba použít pro přívody od tenzometrů k elektronické vyhodnocovací jednotce odpovídající kabelové propojení včetně správného stínění a uzemnění.

V současné době se rozvíjí v průmyslové vážicí technice nový obor – mechatronika. Snímače zatížení jsou integrovány do konstrukčních řešení průmyslových výrobků. Tvary jejich deformačních členů jsou zpravidla nekonvenční. Slouží jako optimální součást konstrukčního řešení i jako snímač zatížení.

Diskontinuální váhy

Příklad typického uspořádání diskontinuální váhy je znázorněn na obr. 4. Podle typu aplikace nabývají jednotlivé prvky váhy různých forem a funkcí, ale principiálně lze definovat charakteristické uspořádání následovně:

– vážený předmět je umístěn na **nosiči břemene**, jehož rozměry a tvar jsou tomuto předmětu přizpůsobeny; pro vážení

kusového zboží slouží obvykle různé plošiny, vážení celých silničních nebo kolejových vozidel se provádí na jednom nebo několika mohutných vážných mostech a pro kapaliny a sypké materiály jsou určeny vážicí zásobníky,

- centrované, axiální a bezmomentové zavedení zatěžovací síly z nosiče nebo nosičů břemene do snímačů zatížení umožňují různé prvky označované obvykle jako **uložení** (obr. 5.); neméně důležité jsou i prvky omezující horizontální pohyby nosičů břemene a jejich případné klopení,
- pro převod mechanického zatížení na elektrický signál slouží nejčastěji **snímače zatížení** s kovovými tenzometry,
- vyhodnocení a zobrazení údajů o hmotnosti včetně dalších doplňkových informací umožňují vážicí a automatizační elektronické jednotky nazývané obvykle jako **jednotky indikační** či **vyhodnocovací**. Tyto jednotky obsahují analogové a číslicové obvody pro vyhodnocování měřicího signálu ze snímačů zatížení a realizaci základní vážicí a řídicí inteligence váhy.

Plošinové váhy

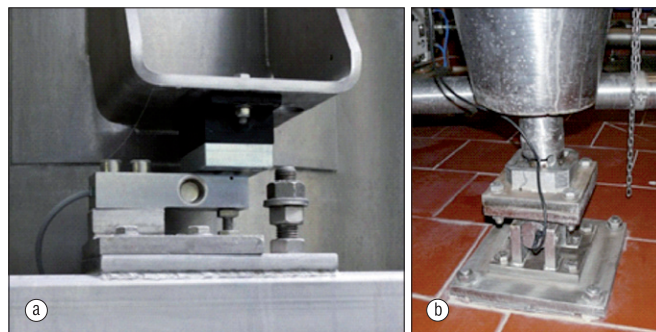
V mnoha průmyslových odvětvích je nutné denně vážit množství různých surovin, polotovarů a hotových výrobků při vstupu do podniku, v provozu a v expedici. K tomu se velmi často používají plošinové (podlahové) váhy různých rozměrů a tvarů, u kterých je požadována vysoká přesnost, robustnost, odolnost proti přetížení, vlhkosti, prachu, proti různým chemikáliím a nezávislost výsledků na změnách teploty. Jsou určeny jak pro technologické, tak i pro obchodní vážení, a to v automatickém nebo ručním provozu.

Plošinové váhy jsou dodávány ve dvou základních variantách – nadúrovňové a zapuštěné v úrovni podlahy. Tvar některých nosičů břemene bývá uzpůsoben tvaru váženého předmětu. Na obr. 6. je podlahová váha od společnosti NETTO Electronics, s. r. o., www.vahynetto.cz.

Vyhodnocovací a řídicí elektronické systémy umožňují zpravidla vážení, tisk vážních dokladů, nálepek (často s čárovým kódem) či potisk obalů. V řadě případů bývají obaly přímo na plošinových vahách plněny na předem stanovenou hmotnost, která je zadávána ručně nebo z nadřazeného řídicího systému. Samozřejmě se stává i bilancování výroby či spotřeby jednotlivých substrátů a kontrola výrobního procesu.

V chemických a potravinářských provozech se obvykle používají mechanické díly plošinových vah v antikoročním provedení. Pro provozy s nebezpečím výbuchu (*ATEX-direktiva*

Obr. 5. Příklad uspořádání uspořádání diskontinuální váhy (foto M. Kmínek): a) vážení zásobníku při přípravě těsta v pekárně, b) vážení zásobníku s mlékem



Obr. 6. Podlahová váha se sníženým nájezdem (www.vahynetto.cz)Obr. 7. Automatická zásobníková váha MSDL Bühler (www.buhlergroup.com)

EU 94/9/ES – sjednocení značení a předpisy pro elektrické zařízení určené do prostředí s nebezpečím výbuchu), z nichž nelze vážení přesunout do nevybušného prostředí, jsou dodávány speciální vyhodnocovací systémy vybavené nejrůznějšími prostředky pro zamezení vzniku exploze, či lépe řečeno jejího zážehu, jako například systémů se sníženým napájením či ochrannými bariérami.

Zásobníkové váhy

Většina kapalných a sypkých materiálů je odvažována přímo v zásobnících nejrůznějších tvarů a konstrukcí s vestavěnými snímači zatížení napojenými na vyhodnocovací jednotky různých typů. Zásobníkové váhy se uplatňují ve více odvětvích, nejvíce však v chemickém a potravinářském průmyslu, hutnictví a stavebnictví.

Základními stavebními prvky mechaniky zásobníkových vah jsou **nosiče břemene** pro ukládání váženého materiálu a tedy příjem zatížení, prvky pro optimální přenos a zavedení zatížení do měřicích os snímačů zatížení a soustava omezovačů horizontálních sil a ochran proti nežádoucímu klopení. Příklad automatické zásobníkové váhy MSDL Bühler je na obr. 7. Váha je vybavena kvalitními snímači zatížení, které zaručují vysokou přesnost vážení.

Zásobníky bývají nejčastěji opatřeny třemi nebo čtyřmi snímači zatížení. Pro vytvoření staticky určité soustavy (což ostatně platí u většiny typů elektromechanických vah) je optimální použití tří snímačů zatížení. Praxe však ukazuje, že i u staticky neurčitých soustav s více snímači zatížení lze dosáhnout uspokojivých výsledků. Většina existujících zásobníků, do nichž byly snímače zatížení dodatečně vestavěny, je zpravidla uložena na čtyřech nebo i více opěrách.

Volba jmenovitého zatížení navrhovaných snímačů musí zohledňovat tzv. mrtvou hmotnost prázdného zásobníku a maximální hmotnost jeho obsahu.

Správná funkce zásobníkové váhy je podmíněna vyloučením všech přidavných rušivých sil vznikajících dalším mechanickým propojením vážené části s okolím. Všechna přívodní a odvodní potrubí musí být opatřena pružnými prvky, tzv. kompenzátory.

Záludné chyby mohou vzniknout změnami podtlaku nebo přetlaku v přívodních a odvodních potrubích ve vertikálních směrech. Zásobníky určené pro lepkavé materiály, vyznačující se **klenbováním**, tj. vytvářením zhutněné části materiálu ve tvaru klenby bránící rovnoměrnému průtoku materiálu, bývají vybaveny v kónických částech nejrůznějšími aktivátory jako například pružnými límcí s vibračními zařízeními. Elektronické systémy určené pro tyto typy vah musí být opatřeny účinnými vstupními filtry pro zajištění správné funkce váhy při jejím vynuceném vibrování, které zamezuje zmiňované klenbování.

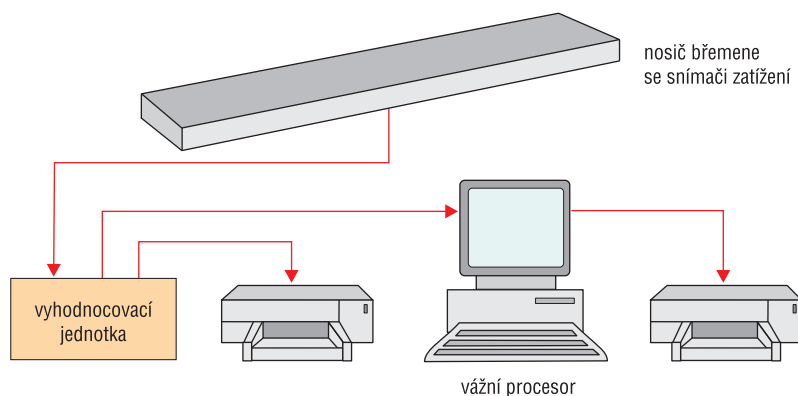
Elektronické vyhodnocovací jednotky pro zásobníkové váhy sdružují téměř vždy funkce vážení a řízení vážicího procesu. Základní funkcí těchto jednotek je automatické plnění nebo vyprazdňování na předem zvolenou hodnotu, často i kombinace obou postupů. Proces řízeného plnění nebo vyprazdňování na předem zvolenou hodnotu probíhá obvykle ve dvou krocích, při kterých je nejprve plněno nebo vyprazdňováno ventilem s velkým průtokem (tzv. hrubým proudem), při dosažení určité

Obr. 8. Příklad automatizovaného vážního systému ve válečkové trati (www.vahynetto.cz)

Obr. 9. Váhy pro silniční vozidla: a) nájezdová mostní váha Profi Universal, b) zapuštěná mostní váha Profi B (www.vahyjas.cz), c, d) silniční váhy v cukrovaru Dobrovice, Tereos TTD, a. s. (foto V. Pour)



Obr. 10. Schéma systému silniční váhy



Obr. 11. Váha pro kolejová vozidla v lihovaru Dobrovice (foto V. Pour)



meze je přepnuto na ventil s malým průtokem (tzv. jemný proud) a přesně doplněno či vyprázdněno na nastavenou mez. Inteligentní řídicí systémy také následně kontrolují hmotnost po uklidnění váhy (včetně případné další opravy) a automaticky nastavují prahové hodnoty a jejich korekce po vyhodnocení skutečného stavu naplnění nebo vyprázdnění zásobníku.

Váhy mohou řídit celý technologický proces, jako např. naplnění, ohřev s mísením, prodlevu a vyprázdnění bez zásahu obsluhy. Podle počtu mísených komponent lze systémy rozdělit na systémy pro jednokomponentní a vícekomponentní navažování. U vícekomponentního navažování bývají jednotlivé vážicí jednotky doplněny nadřazeným systémem umožňujícím správu receptur, vizualizaci technologického procesu, protokolování a bilancování výroby a spotřeby navažovaných komponent.

Vyhodnocovací a řídicí jednotky bývají umístěny buď v blízkosti vah, nebo ve velínu. Váhy umístěné přímo v provozech musí být chráněny proti všem vlivům prostředí (krytí IP 65 a vyšší).

Váhy ve válečkových tratích

Pro vážení kusového zboží a polotovarů transportovaných po válečkových tratích jsou používány speciální váhy vestavěné přímo do úseku trati. Část válečkového dopravníku bývá

mechanicky oddělena a opatřena opěrnou rámovou konstrukcí spočívající obvykle na čtyřech nebo více snímačích zatížení.

Při rozjezdu, dalším pohybu a brzdění dopravovaných předmětů je celá konstrukce včetně snímačů zatížení vystavena značnému horizontálnímu rázovému namáhání. Protože tyto rázy mohou vést k poškození snímačů nebo výraznému snížení jejich životnosti, musí být pohyb nosiče břemene v horizontálním směru omezen v definovaném rozmezí.

Proces vážení na vahách ve válečkových tratích může probíhat s ručním ovládáním nebo s automatickým řízením inteligentní vážicí jednotkou. Při plně automatickém provozu je pohyb váženého břemene po trati kontrolován optickými nebo mechanickými čidly. Při dosažení jeho optimální polohy vůči vážicímu úseku trati je pohyb břemene zastaven a po jeho uklidnění provedeno vážení. Po jeho úspěšném provedení je břemeno znovu uvedeno do pohybu. Údaje o jeho hmotnosti lze zobrazovat a tisknout na samolepící etikety, razit na kovové štítky, předávat do nadřazeného systému apod. Na obr. 8. je příklad automatizované linky s váhami v poháněné válečkové trati od společnosti NETTO Electronics s.r.o. (www.vahynetto.cz). Kontrolní vážení naplněných přepravek, jejich pohyb po trati včetně vyřazování kusů mimo toleranci probíhá plně automaticky a výsledky vážení jsou předávány do nadřazeného systému.

Váhy pro silniční a kolejová vozidla

Různé druhy zboží jsou často váženy již při vstupu či výstupu z podniku přímo na ložných plochách silničních vozidel. Váhy vyráběné pro tyto účely, nazývané též váhami mostovými, jsou velmi rozšířeny a jejich používání tvoří nedílnou součást různých obchodních transakcí. Jedná se téměř vždy o váhy obchodní. Podobně jako u ostatních typů vah bývá i u moderních silničních vah proces vážení doplněn o sběr a zpracování dat, případně řízené plnění vozidel a často jsou tyto váhy začleňovány do rozsáhlejších vážných systémů.

Silniční váhy mohou být koncipovány jako nájezdové nebo úrovně. Na obr. 9. a, b jsou příklady vah pro silniční vozidla, které dodává firma VÁHY – JAS, s. r. o.; na obr. 9. c, d jsou silniční váhy v cukrovaru Dobrovice, Tereos TTD, a. s.

Rozměry vážných mostů u běžných vah se pohybují v rozmezí 8 × 3 m až 22 × 3 m. Za evropský standard lze považovat rozměr 18 × 3 m. Váživost vah lze volit v rozmezí 30 až 60 t. Snímače zatížení, jejichž počet se většinou pohybuje od čtyř do deseti kusů a se jmenovitým zatížením v rozsahu od 22 t do 47 t, jsou uloženy ve speciálních ložiskách, která ve spojení s prvky vymezujícími horizontální pohyb eliminují rušivé síly a rázy. Všechny snímače jsou zpravidla paralelně propojeny a tvoří jedno vážné pole. Zvláštní pozornost při konstrukci silniční váhy musí být věnována omezení a tlumení horizontálních sil, vznikajících při rozjezdu a brzdění vozidel.

Při častých přejezdech váhy znečištěnými vozidly dochází k zanášení vážného mostu a spáry mezi mostem a betonovou vanou. Nalepováním nečistot dochází ke značnému zvyšování tzv. mrtvé hmotnosti vážného mostu a může dojít k překročení povoleného rozsahu nulování váhy (u vah s neautomatickou činností je stanoven na 4 % vážicího rozsahu), takže váhu nezátíženou břemenem už nelze vynulovat. Ještě nebezpečnější je zanášení obvodové spáry, při kterém může dojít ke snížení nezbytné vůle nosiče břemene nebo dokonce k jeho zablokování. Váha pak obvykle vykazuje značnou chybu linearitu a hystereze. Proto je čištění vážného mostu a obvodové spáry základním

prvkem údržby silniční váhy. Typické uspořádání silniční váhy je patrné z obr. 10. Vyhodnocovací jednotka, tiskárny a vážný procesor bývají často doplněny světelnými semaforem pro řízení provozu na váze a přilehlé komunikaci, snímači magnetických karet pro identifikaci vozidel a video-okruhy pro jejich sledování.

Platná legislativa umožňuje vážit na železnici buď staticky, kdy se vagon nachází na váze v klidu, nebo za pohybu vážené soupravy vagonů přejíždějící přes váhu. Obdobně jako u silničních vah je i u konvenčních typů vah pro kolejová vozidla základem jeden nebo několik vážných mostů uložených v základové vaně prostřednictvím snímačů zatížení včetně prvků pro optimální zavedení zatěžovacích sil a tlumení příčných sil a rázů. V průběhu mnohaletého kontinuálního vývoje vznikla řada různých variant vážných mostů a základových van. Na obr. 11. je váha pro kolejová vozidla v lihovaru Dobrovice, Tereos TTD, a. s.

Nutnou podmínkou statického vážení, a to nejen na železnici, je dosažení tzv. **klidového stavu váhy**, při kterém změna hmotnosti indikovaná vyhodnocovací jednotkou nepřekročí v určitém časovém intervalu zvolenou mez. Při statickém vážení je třeba vždy vyčkat na stav uklidnění váženého předmětu, neboť jedině tak je zaručen odečet správné hmotnosti s nejvyšší přípustnou chybou odpovídající normě pro statické vážení. Celý cyklus vážení, který sestává z polohování vagonu na váze, rozvěšení, uklidnění, odečtu hmotnosti a opětovného svěšení, je samozřejmě časově mnohem náročnější, než vážení za pohybu. Zejména u cisteren naplněných kapalinami bývá proces uklidňování někdy až dramaticky dlouhý, a to zejména v případech, kdy vagon není zcela naplněn (pozn.: pojmem „rozvěšení a svěšení vagonů“ se rozumí „rozpojení a spojení“ dvou sousedních vagonů).

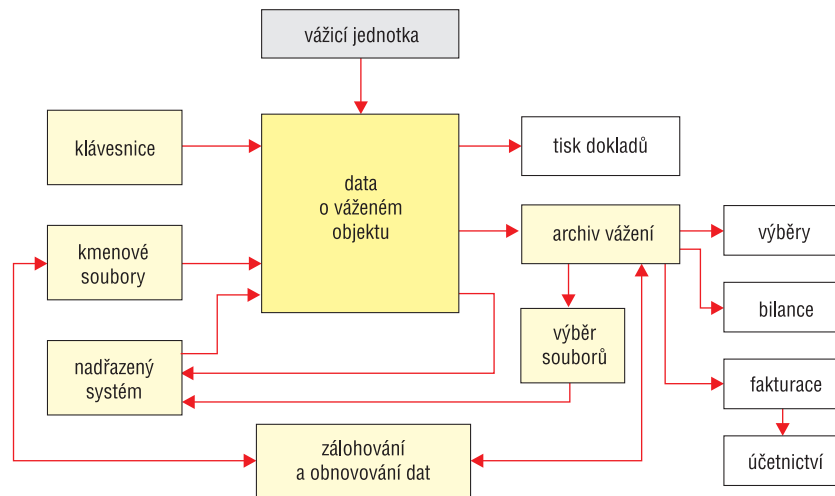
Elektronické vyhodnocovací jednotky vah

Plošinové, silniční a kolejové váhy pro obchodní účely jsou často vybaveny osobním počítačem, který přebírá většinu funkcí vyhodnocovací jednotky, kromě těch, které podléhají legálnímu metrologickému doзору.

Osobní počítač s programovým vybavením, který bývá obvykle nazýván „procesorem vážných dat“, je k vyhodnocovací a řídicí jednotce nejčastěji připojen přes některou standardní sběrnici. U vah s komfortním vážným procesorem probíhá veškerá komunikace s obsluhou váhy pouze prostřednictvím klávesnice a monitoru procesoru. Na monitoru je trvale zobrazován údaj o hmotnosti, poruchová hlášení váhy a další údaje.

Klávesnicí procesoru jsou vkládána doprovodná data k váženým objektům, prováděno vážení a archivace dat a celá řada dalších činností spojených se zpracováním dat. Na obr. 12. je blokově znázorněn základní mechanismus toku dat ve vážném procesoru. Veškerá dostupná data jsou směrována do bloku dat o váženém objektu. Jsou to zejména data jednorázově vkládaná z klávesnice, dále pak opakující se údaje připravené v kmenových souborech. Tyto soubory obsahují například data o známých substrátech, dodavatelích, odběratelích, přepravicích, ale i o opakujících se vozidlech nebo vagoněch. Data z těchto souborů jsou uživatelem pouze vybírána a přiřazována více či méně důmyslnými vyhledávacími mechanismy. Dalším zdrojem informací o váženém objektu může být i nadřazený systém. Z vážicí jednotky je doplněn údaj o datu, čase a hmotnosti a celá takto vytvořená věta o váženém objektu je přenesena do archivu, proveden tisk požadovaných dokladů, případně i přenos do nadřazeného systému.

Obr. 12. Blokové schéma toku dat ve vážním procesoru



Souhrn

Článek popisuje principy využívané při průmyslovém vážení a dávkování sypkých materiálů. Přesnost vážení a hlavní principy snímačů zatížení jsou uvedeny v úvodu první části, a dále jsou popsány diskontinuální váhy – plošinové a zásobníkové váhy, váhy ve válečkových tratích, váhy pro silniční a kolejová vozidla.

Klíčová slova: průmyslové váhy, diskontinuální váhy, plošinové váhy, zásobníkové váhy, váhy pro silniční a kolejová vozidla.

Literatura

1. NESRSTA, A.; NOVÁČEK, J.: Vážení v průmyslu. *Automa*, 20, 2014 (4), s. 14–16.

2. MIKULEC, M.: *Průmyslová vážicí technika*. Vydal Schenck, spol. s r. o., Praha, 2000.
3. KADLEC, K.: Měření provozních veličin v cukrovarnictví: Měření tlaku. *Listy cukrov. řepář.*, 132, 2016 (11), s. 360–365.
4. *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 (srpen 2017).

Kadlec K.: Measurement of Process Variables in Sugar Industry: Weight Measurement – Industrial Weighing (Part 1)

The paper describes the principles used in industrial weighing and dosing of bulk materials. Accuracy of weighing and main principles of load cells are mentioned in the introductory section of this first part. Discontinuous scales – platform and hopper scales, scales for roller tracks, and scales for road and rail vehicles – are described in detail.

Key words: industrial scales, discontinuous scales, platform scales, hopper scales, scales for road and rail vehicles.

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