



VYUŽITIE VÁH A VÁŽIACICH SYSTÉMOV V PRIEMYSELNEJ PRAXI (4)

V minulej časti seriálu sme sa zamerali na chyby váh s neautomatickou činnosťou (NAWI) zaradených ako určené meradlá. O zaradení váhy medzi určené alebo pracovné meradlá rozhoduje účel, na aký váhu používate. Spôsoby použitia, ktoré sú kontrolované štátom, uvádza príslušná legislatíva. Zmyslom tejto kontroly je ochrana spotrebiteľa a osôb dotknutých vážením.

Hovorí o nej zákon 142/2000 Z. z. o metrológii a o zmene a doplnení niektorých zákonov v platnom znení a nariadenie vlády Slovenskej republiky č. 126/2016 Z. z. o sprístupňovaní váh s neautomatickou činnosťou na trhu (Problematika váh s neautomatickou činnosťou NAWI). K tomuto nariadeniu je ešte pripojená harmonizovaná norma STN EN 45501: 2015, ktorá upresňuje ďalšie požiadavky. Nariadenie vlády Slovenskej republiky č. 145/2016 Z. z. o sprístupňovaní meradiel na trhu je zamerané na problematiku váh s automatickou činnosťou – AWI. Táto legislatíva stanovuje požiadavky na váhy aj na tolerancie meraní, ktoré musia byť splnené. Pre meradlá NAWI sú uvedené v harmonizovanej norme STN EN 45501: 2015.

V ostatných sférach použitia váh žiadne legislatívne požiadavky neplatia. Ide predovšetkým o oblasť vývoja, výskumu, výrobných procesov a laboratórií. Tu vo všeobecnosti platí, že každý subjekt je zodpovedný za svoj výrobok alebo službu (analýzu, rozbor) a legislatíva nerieši, akým technickým spôsobom k výsledku dospeje. Automaticky sa predpokladá, že v týchto prípadoch váhy používajú odborníci na daný proces, ktorí dobre vedú, aké požiadavky na váhy musia klásť, aby dosiahli požadovaný výsledok. Typickým príkladom môže byť miešanie farieb. Výrobca obvykle postupuje tak, že základnú surovinu farbí pomocou pigmentov na požadovaný odtieň. Len on sám vie podľa použitých surovín, aké množstvo pigmentov musí do základu primiešať, aby vznikla požadovaná farba. Musí tiež zabezpečiť, aby každá výrobná dávka mala rovnaký odtieň. Ak by každá plechovka „rovnej farby“ mala iný odtieň, zákazník by ju nechcel a výrobca by na trhu neuspel. Ďalším príkladom môže byť výrobca potravín, ktorý na obale garantuje spotrebiteľovi určité zloženie a obsah jednotlivých zložiek, ako sú cukor, tuk a pod. Pri výrobnom procese potom bude záležať na surovinách, ktoré použije, na technologickom procese spracovania a množstve vyrábaných dávok. Pre jednotlivé fázy výroby budú potrebné rôzne váhy. Podobný prístup je aj v zdanlivo veľmi kontrolovanej oblasti, akou je výroba liečiv. Aj tu len výrobca vie, ako treba liek vyrábať, aby mal požadované zloženie a účinnosť.

Samozrejme existuje legislatíva pre výrobu potravín, liekov a ďalších produktov, ktoré majú vo všeobecnosti dosah na zdravie a životné prostredie. Táto legislatíva sa však sústreďuje až na výsledný produkt pred jeho uvedením na trh. Výrobný proces táto legislatíva nerieši, lebo by to bolo veľmi zložité. Takáto regulácia by tiež bránila technickému rozvoju a hľadaniu nových prístupov.

Dnešná doba však nedovolí používateľom váh pracovať bez akýchkoľvek pravidiel. Hlavným regulátorom je predovšetkým trh a spotrebiteľ. Usmernenia a nároky kladené na výrobný proces prichádzajú z oblasti systémov riadenia kvality, systémov riadenia rizík, hygienických požiadaviek a potrieb niektorých špecifických trhov a významných odberateľov. Tieto nároky sa môžu tváriť ako celkom dobrovoľné. No pokiaľ ich výrobca nespĺňa, má obvykle malú

šancu predať alebo exportovať svoj výrobok. Môžeme uviesť niekoľko príkladov.

Systém riadenia kvality podľa ISO 9001: 2000 je azda najrozšírenejším a predstavuje štandard v priemyselnej výrobe. Mnohí odberatelia vyžadujú, aby ich dodávatelia boli certifikovaní podľa tejto normy. V oblasti potravín sa viac využíva norma ISO 22000 a systém kontroly kritických bodov HACCP, ktoré riešia hygienu a bezpečnosť potravín. Pokiaľ výrobca tieto systémy neaplikuje, má obvykle ťažkosti svoje výrobky na trhu presadiť. Európsky automobilový priemysel zase vyžaduje, aby dodávatelia a druhovýrobcovia spĺňali normy VDO, ktoré tiež určujú požiadavky na meradlá a meranie. Vo farmaceutickom priemysle sa v Európe používa Európska farmakopea, v Spojených štátoch Americká farmakopea (USP). Oba tieto systémy vyžadujú, aby mal výrobca liekov, okrem iného, zavedený systém správnej výrobných praxe (GMP) a systém správnej laboratórnej praxe (GLP). Posledný systém riadenia kvality, ktorý v oblasti váženia stojí za zmienku, je systém Akreditácie podľa noriem ISO 17025 a ISO 17020. Oba vyžadujú, aby dodávatelia akreditovaných firiem boli tiež akreditovaní alebo mali zavedené systémy kvality, ktoré musí odberateľ takejto služby pravidelne auditovať.

Tento zoznam, samozrejme, nie je kompletný a podrobná analýza by vydala na samostatnú publikáciu. Každý podnikateľ sa musí oboznámiť s požiadavkami na jeho oblasť podnikania a tie rešpektovať podľa svojho uváženia a miery rizika, ktorú je ochotný podstúpiť. My sa tu pokúsime z pohľadu váženia rozumné zhrnúť tieto „dobrovoľné“ požiadavky, ktoré vyplývajú z uvedených systémov, a budeme ich aplikovať na váhy ako pracovné meradlá. Ako sme už spomenuli, veľa informácií platí pre meradlá všeobecne. My sa sústreďujeme na váhy s neautomatickou činnosťou (NAWI). Ak nevyužívate žiaden z uvedených systémov, môžete ďalšie informácie použiť v prospech zlepšenia organizácie merania hmotnosti vo vašich procesoch.

Vo všeobecnosti môžeme požiadavky spomenutých systémov zhrnúť do niekoľkých princípov:

1. Procesy, ktoré vo svojej praxi používate, by mali byť rozdelené podľa závažnosti dosahu na bezpečnosť a výslednú kvalitu výrobku na kritické a nekritické. Napríklad navažovanie pigmentov pri miešaní farby je proces kritický, pretože ak zlyhá, vyrobíme chybný výrobok. Ak si budeme orientačne vážiť, koľko materiálu vstupuje do výroby, pravdepodobne to nebude závažné pre výsledný výrobok. Každý podnikateľský subjekt môže k určovaniu závažnosti procesu a miery rizika pristupovať inak. To, čo je pre jedného nepodstatné, môže byť pre iného kritické. Napríklad váženie odpadu u zlatníka pri výrobe šperkov môže byť pre neho veľmi kritický proces. Ako pomôcka nám môžu slúžiť tieto základné pravidlá:

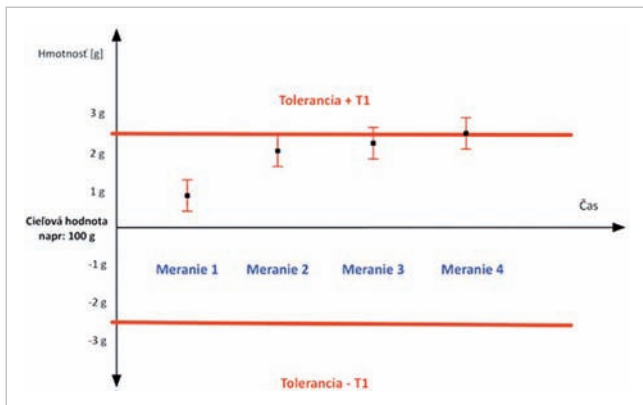
- a) Ovplyvňuje posudzovaný proces merania bezpečnosť a zdravie ľudí či zvierat a má zásadný vplyv na životné prostredie? Pokiaľ áno, reguluje ho nejaká legislatíva? Ako ju spĺňame? Čo by znamenalo zlyhanie tohto procesu? Tu môžeme naraziť

aj na určené meradlá. Požiadavky vyplývajúce z legislatívy berieme vždy ako nutné minimum. Niektorí podnikatelia si z etických dôvodov určujú ešte prísnejšie požiadavky, ako sú tie zákonom stanovené.

- b) Aký je ekonomický dosah zlyhania daného procesu na moju firmu? Bude napríklad veľká tolerancia predstavovať plytvanie drahou surovinou a moje náklady budú neúmerné príjmu? Budú zbytočne prísna tolerancia a postup zaťažovať pracovníkov tak, že budú zvoleným procesom váženia tráviť neúmerne veľa času?
- c) Ako ľahko sa dá odhaliť chyba v jednotlivých procesoch váženia? Ide o jediné meranie, ktoré rozhodne o výslednej kvalite výrobku? Alebo je jednoduché a lacné napraviť prípadnú chybu v ďalšom kroku? Aký dosah bude mať na moje podnikanie to, že po skončení výrobné dávky odhalím, že výrobok má nesprávne zloženie alebo hmotnosť? Musím výrobok prerobiť, vyhodiť a koľko ma to bude stáť práce a peňazí?

Toto sú základné kritériá, ktoré by sme mali vyhodnotiť predtým, než stanovíme tzv. kritickosť procesu merania. Ak vyhodnotíme všetky kritériá ako závažné, bude meranie podliehať prísny toleranciam a bude vyžadovať náročné sledovanie a údržbu meradla. Tak sa vám podarí dosiahnuť veľkú bezpečnosť a kvalitu. Zároveň to však bude náročné a nákladnejšie.

Bezpečnosť si môžeme v praxi predstaviť ako pomer medzi nami stanovenou toleranciou v bode merania a neistotou výsledku merania pri používaní (obr. 14).



Obr. 14

Pre dobré pochopenie si zavedieme niektoré pojmy:

Indikácia (I): hodnota, ktorú odčítame z displeja váhy.

Chyba indikácie (E): indikácia váhy (I) (údaj na displeji) mínus (konvenčne) správna hodnota hmotnosti (m). Je to hodnota hmotnosti uvedená pri kontrolnom závaží:

$$E = I - m \text{ [kg; g; mg]}$$

Takže jednoducho povedané, ak položíme na váhu kontrolné závažie, chyba váhy je určená rozdielom indikácie (čo vidíme na displeji) a hodnoty uvedenej na kontrolnom závaží. To všetko za predpokladu, že váha indikuje stabilnú polohu a že v nezaťaženom stave ukazovala nulu (0).

Relatívna chyba (Erel): chyba váženia vyjadrená v % vzhľadom na veľkosť navážky:

$$E_{rel} = \frac{E}{m} \cdot 100 \text{ [%]}$$

n počet meraní	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
m hmotnosť kontrolného závažia	0,001 kg	0,005 kg	0,010 kg	0,040 kg	1,000 kg	2,000 kg	3,000 kg	4,000 kg	5,000 kg	6,000 kg
I údaj na displeji	0,000 kg	0,006 kg	0,008 kg	0,042 kg	1,002 kg	1,998 kg	3,004 kg	3,998 kg	5,004 kg	6,004 kg
E chyba indikácie	-0,001 kg	0,001 kg	-0,002 kg	0,002 kg	0,002 kg	-0,002 kg	0,004 kg	-0,002 kg	0,004 kg	0,004 kg
E _{rel} relatívna chyba	100 %	20 %	20 %	5 %	0,2 %	0,1 %	0,13 %	0,05 %	0,08 %	0,067 %

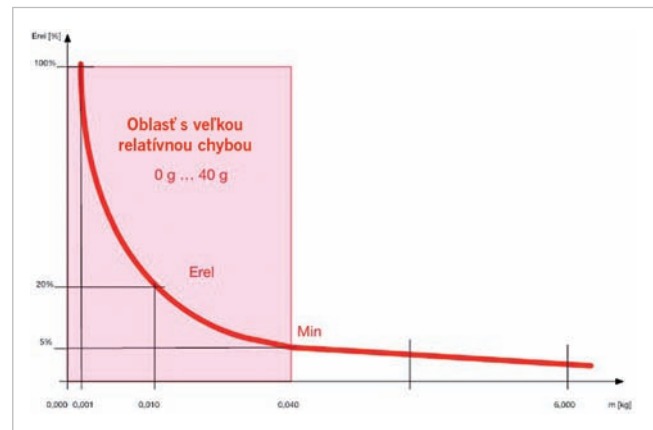
Tab. 8

Najlepšie môžeme demonštrovať relatívnu chybu na príklade:

Váha s Max = 6 kg, e = d = 2 g, Min = 20 x 2 g = 40 g. Vykonaíme n (n = 1...i) vážení a hodnoty vypočítame

$$E_{rel} = \frac{E_i}{m_i} \cdot 100 \text{ [%]}$$

a zapíšeme do tab. 8. Ako vidíme z uvedenej tabuľky, najväčšia relatívna chyba je na začiatku rozsahu pri malých navážkach. Dôvodom je, že hodnotu chyby indikácie delíme malou hodnotou hmotnosti. Červeným rámkom sme označili bunky, ktoré sa vzťahujú na Min váhy. V tomto bode dochádza k veľkému poklesu relatívnej chyby na jednotky percent. Nad túto hodnotu je relatívna chyba čoraz menšia. Hodnotu relatívnej chyby môžeme vyjadriť graficky. Výsledkom je hyperbola (obr. 15).



Obr. 15

Z obr. 15 vidíme, že meradlo je najpresnejšie na konci rozsahu, preto treba venovať veľkú pozornosť malým navážkam na váhach s väčším rozsahom. V praxi ide o navážky do cca 5 % váživosti váhy.

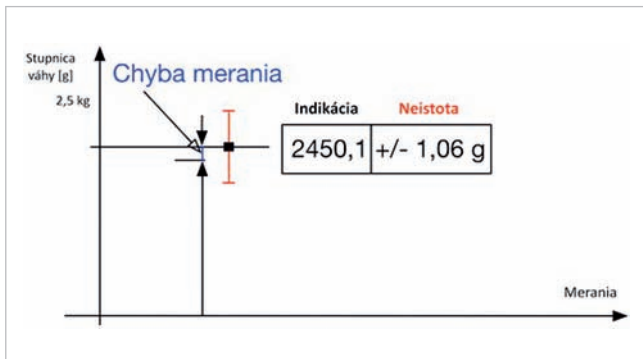
Neistota merania: nezáporný parameter charakterizujúci rozptýlenie hodnôt veličiny priradených k meranej veličine na základe použitej informácie (VIM, 3. vydanie, verzia 2008, © JCGM 2012).

Za referenčnú hodnotu sa považuje hodnota závažia, ktoré bolo použité pri skúške váhy. Pokiaľ zvolíme závažie vhodnej presnosti, je odchýlka závažia a neistota zanedbateľná a môžeme pracovať s nominálnou hodnotou závažia.

V praxi vytvára neistota merania interval hodnôt meranej veličiny, v ktorej nevieme presne určiť, kde výsledná hodnota leží. V našom príklade pracovník, ktorý vyhodnocuje meranie, musí vziať do úvahy, že ak na displeji váhy odčíta hodnotu 2 450,1 g, v skutočnosti môže mať navážka aj 2 449,04g alebo tiež 2 451,16 g. Výsledok váženia teda leží v uzatvorenom intervale hodnôt <2 449,04g; 2451,16 g>. Na obr. 15 je graficky znázornený červenými hranicami okolo meraného bodu.

Pod pojmom neistota máme na mysli tzv. štandardnú rozšírenú neistotu (Euramet Calibration guide No. 18). Tento pojem je v oblasti kalibrácie dôležitý. Pri používaní váhy je obvykle neistota merania vyššia a je vhodné konzultovať to s kalibračným laboratóriom. Na vyhodnotenie merania v praxi by sme mali používať štandardnú rozšírenú neistotu výsledku merania (pozri Euramet Calibration guide No. 18, kap. 7.4 a 7.5). Kalibráciám a neistotám sa budeme venovať podrobnejšie v ďalšom článku. Na podrobnejšie štúdium problematiky neistoty váhy s neautomatickou činnosťou

odporúčame dokument Postupy kalibrácie váh s neautomatickou činnosťou“ EURAMET Calibration guide No. 18, ktorý je voľne dostupný na stránkach organizácie EURAMET (www.euramet.org). Pri výbere kalibračného laboratória na stanovenie neistoty merania pre používané váhy je správne zvoliť laboratórium, ktoré vychádza z tohto medzinárodne uznávaného postupu. Na trhu kalibrácie, bohužiaľ, pôsobí mnoho organizácií, ktoré ponúkajú služby kalibrácie v rôznej kvalite. Ako však ukazuje tento článok, určenie neistoty merania je kľúčovým parametrom na vyhodnotenie správnosti procesu váženia a má priamy vplyv na konečnú kvalitu produktu či procesu.



Obr. 16

Na obr. 16 je znázornená aj chyba merania. Táto chyba je v praxi odchýlkou medzi údajom na displeji a nominálnou hodnotou položeného závažia. Vo väčšine prípadov sa však takto s chybou nepracuje. Ak vezmeme do úvahy neistotu merania, interval hodnôt už v sebe možnú chybu merania zahŕňa. Preto je dôležité, aby bola neistota merania stanovená správnym spôsobom, ktorý je medzinárodne porovnateľný a uznávaný.

Neistotu merania určíme pomocou kalibrácie váhy. Zameriame sa na tie body, ktoré sú pre náš proces významné. To znamená, že ak najčastejšie robíme navážky okolo 5 kg, mali by sme poznať neistotu merania práve pre túto hodnotu navážky. Neistota merania nie je lineárna funkcia, ale kvalitné kalibračné laboratórium uvádza na kalibračnom liste linearizovanú rovnicu, podľa ktorej sa dá vypočítať neistota v bodoch váženia, ktoré sú pre vás potrebné. Kalibráciám sa budeme venovať podrobnejšie v ďalšom texte.

Vráťme sa ešte k obr. 14. Sú na ňom štyri merania s vyjadrenou neistotou a toleranciou. Metrológ nastavil toleranciu pre navážku 100 g na $T = \pm 2,5$ g. Neistota merania naznačená na obrázku je $u = \pm 0,5$ g. Pri prvom meraní pracovník navážil 100,9 g. Vidíme, že navážka leží v tolerancii. Aj keď pridáme priradenú neistotu výsledku merania, dostaneme interval $<100,4 \text{ g}; 101,4 \text{ g}>$. Z toho vyplýva, že naše výsledky ležia bezpečne v stanovenej tolerancii.

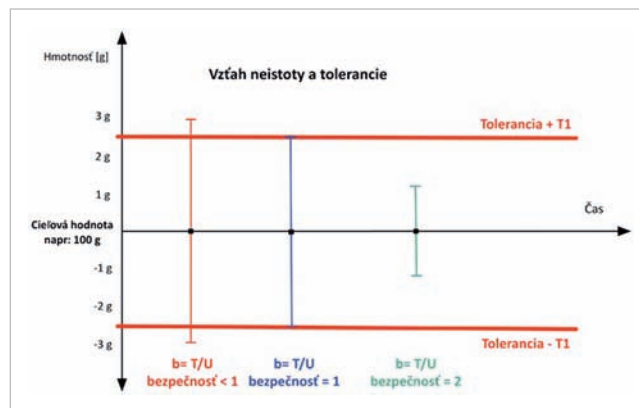
Teraz venujme pozornosť meraniu č. 3; pracovník navážil 102,3 g. Vidíme, že navážka leží zdaniivo v tolerancii $T = \pm 2,5$ g. Keď však správne pridáme k výsledku priradenú neistotu merania, dostaneme nasledujúci interval hodnôt $<101,8 \text{ g}; 102,8 \text{ g}>$. Z výsledku aj jeho grafického znázornenia vyplýva, že horná medza intervalu leží mimo stanovenej tolerancie, a teda meranie nemožno považovať za vyhovujúce pre daný proces. Tento príklad ukazuje, že pokiaľ chceme mať svoj proces váženia a merania pod kontrolou, musíme vedieť pracovať s neistotami a toleranciami, pretože inak sa môžeme dopúšťať výrazných chýb.

2. Určenie tolerancie by sa malo robiť na základe reálnych požiadaviek a malo by zohľadňovať neistotu merania. Ako správne stanoviť toleranciu? Mali by sme spolupracovať s tým, kto určuje veľkosť navážky. Vhodnou pomôckou je pýtať sa na to, o koľko môže byť navážka prekročená alebo nedovážená, pričom to nebude mať vplyv na kvalitu výrobku alebo dodávky. Tam potom leží daná tolerancia. Tiež je dobré pýtať sa, o koľko sa môže líšiť navážka od cieľovej hodnoty bez toho, aby to ovplyvnilo finálny produkt. Toleranciu môžeme vyjadriť v absolútnej hodnote alebo relatívne vo forme percent z požadovanej navážky. Napríklad 5,5 kg s $T = \pm 100$ g alebo $T = \pm 1,8$ %. Relatívna forma má tú výhodu, že ju môžeme ľahko preniesť na inú veľkosť navážky.

3. Na základe určenej tolerancie by sa mala stanoviť cieľová neistota merania. Determinujeme ju tak, že si definujeme koeficient bezpečnosti. Ten vyjadruje pomer medzi určenou toleranciou a rozšírenou neistotou merania. Ako vidno z obr. 17, ak si zvolíme koeficient bezpečnosti $b = 1$, cieľová neistota zodpovedá veľkosti tolerancie T . V takomto prípade existuje reálne a relatívne veľké riziko, že i pri menšom zhoršení funkcie meradla opotrebením, vplyvom podmienok okolia, drobnou chybou obsluhy a pod., dôjde k prekročeniu požadovanej tolerancie. Význam faktora bezpečnosti môžeme vidieť na obr. 17.

$$b = \frac{T}{U} [1] > 1$$

kde b je faktor bezpečnosti procesu merania,
 T – požadovaná tolerancia,
 U_c – cieľová štandardná rozšírená neistota merania (pozri EURAMET Calibration Guide No. 18).



Obr. 17

Zhrnutie

Pri použití pracovných meradiel by sa pri určovaní chyby malo vždy uvažovať s neistotou merania. Údaj o nej získame z kalibračného listu, kde kalibráciu vykonalo kalibračné laboratórium, ktoré postupuje podľa zavedených, medzinárodne uznávaných postupov. S ohľadom na vek a opotrebenie meradla by sa mala kalibrácia vykonávať pravidelne. (Ako určiť interval kalibrácie meradiel, uvedieme v ďalšom článku.)

Toleranciu pre pracovné meradlá si vždy určuje „vlastník procesu“, používateľ meradla podľa toho, aké má požiadavky na proces alebo výrobok. Tieto nároky zvyčajne pozná technolog výroby, ľudia, ktorí tvoria laboratórne metódy, resp. iní odborníci na požadovaný výsledok merania. Tolerancia sa dá stanoviť absolútne v jednotkách hmotnosti alebo relatívne v percentách navážky.

Pri meraní je dôležité posúdiť význam daného procesu a riziko vyplývajúce z chybného merania. Na základe analýzy rizika sa určí faktor bezpečnosti, najlepšie väčší ako 1. Ten sa aplikuje na stanovené tolerancie, aby mohla byť určená cieľová neistota merania. Podľa nej môžeme zodpovedne vybrať vhodnú váhu pre našu navážku.

Každý kalibračný list váhy by sa mal vyhodnotiť s ohľadom na to, či je štandardná rozšírená neistota výsledku merania U menšia ako cieľová neistota merania. Vtedy je váha vhodná na použitie na danú navážku.

V ďalšom článku podrobnejšie preberieme problematiku kalibrácie a neistoty váh s automatickou činnosťou a navrhujeme postupy, ako váhy kalibrovat' a ako ich kalibráciu plánovať.

Pokračovanie v ďalšom čísle.

Ing. Daniel Šťastný
Daniel.Stastny@mt.com

Katarína Surmíková Tatranská, MBA
ktatranska@libra-vahy.sk

Únia váharov SR
www.uniavaharov.sk