

Nejistoty měření při kontrole hmotnosti silničních vozidel pomocí přenosných vah

J. Vysloužil, Tenzováhy, s.r.o.

Počínaje 1.1.2005 je výnosem ČMI umožněno kontrolovat všechny hmotnostní parametry silničních vozidel i pomocí přenosných kolových vah – vážicích plošinek. Dnes jsou tedy pro zjištění celkové hmotnosti silničních vozidel použitelné tři druhy stanovených měřidel, avšak řádově odlišné přesnosti:

Stanovená měřidla pro vážení silničních vozidel



Mostové váhy NAWI – statické vážení vozidel

- váhy určené k měření celkové hmotnosti vozidla a zboží v obch. styku
- dílek do váživosti 30t **10 kg**
- dílek do váživosti 60t **20 kg**
- třída přesnosti dle ČSN EN 45501 **III**
- relativní přesnost za provozu..... **0,01 – 0,1%** z celk. hmotnosti



Přejezdové váhy AWI pro vážení za jízdy - WIM

- nápravové váhy určené pro rozборы zatížení vozidel dle vyhlášky MD
- vážení probíhá při rychlosti až 50 km/h, **typově ověřeno do 16 km/h**
- dílek **20 kg,**
- třída přesnosti při static. kalibraci dle ČSN EN 45 501..... **III**
- tř. přesnosti při WIM dle OIML R134:..... **1**, dle ASTM E1318:..... **IV**
- relativní přesnost za provozu..... **0,02 – 1%** z celk. hmotnosti



Přenosné kolové váhy NAWI nebo AWI (3 způsoby vážení)

- přenosné vážicí plošinky v ČR schváleny pro zjišťování zatížení vozidel při namátkových kontrolách SOD na silniční síti
- vážit lze: naráz na sadě plošinek; postupně po částech; najednou za jízdy
- dílek **20 (10, 50) kg**
- třída přesnosti při static. kalibraci dle ČSN EN 45 501..... **III, III**
- relativní přesnost za provozu..... **0,02 – 10%** z celk. hmotnosti, **přesnost závisí především na konkrétním místě položení na vozovce**

Způsoby kalibrace, ověřování a použití těchto vah jsou velmi rozdílné. Zatímco první dva typy vah, pevně zabudované na místě použití, se také na místě kalibrují a ověřují, přenosné váhy se kalibrují jen v laboratořích na etalonovém zatěžovacím zařízení (EZZ) a používají se pak kdekoli na „rovné“ silnici po celém území ČR. Kalibrace přenosných vah přímo na silnici je prakticky nemožná.

Kalibrace vah pro vážení vozidel



Mostové váhy NAWI – statické vážení vozidel

- jsou kalibrovány a úředně ověřovány závažím **na místě** instalace



Přejezdové váhy AWI pro vážení za jízdy - WIM

jsou kalibrovány **na místě** instalace závažím nebo EZZ a ověřovány v režimu za jízdy **třemi typy vozidel**:



Rozšířené nejistoty ($U=2u_c$) při kalibraci vozidly:

± 85 kg (0,47%) ± 124 kg (0,50%) ± 207 kg (0,49%)

Průměrný koef. vnějších vlivů ze 3 vozidel: **$K_e = 0,0013$**



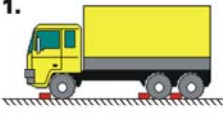
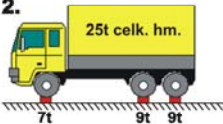
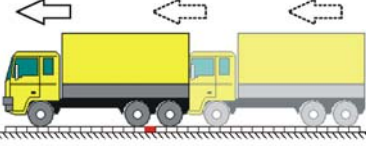

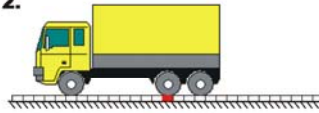
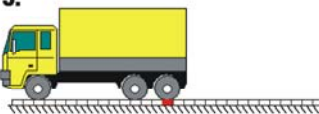
Přenosné kolové váhy NAWI nebo AWI

- váhy jsou kalibrovány a úředně ověřovány **pouze v laboratoři** pomocí etalonového zkušebního zařízení (EZZ)
- rozšířená nejistota EZZ (primární laboratoř ČMI Praha) ...**0,05 - 0,04%**
- rozšířená nejistota při kalibraci plošinek (lab. Tenzováhy).**0,2 - 0,04%**

Během mnohaleté praxe s přenosnými vahami se ukázalo, že odchylky zjištěné při kalibraci na EZZ v jednotkách kg nijak nesouvisí s velkými chybami až v tisících kg zjišťovaných při použití přenosných vah v provozu na silnicích.

V prosinci 2004, po ukončení úkolu ÚNMZ č. 6/03 – „Experimentální ověření možnosti vážení celkové hmotnosti silničních vozidel na přenosných statických vahách pro účely vymáhání poplatků na pozemních komunikacích“ došlo k vydání nového metrologického předpisu ČMI č. MP-009-04. Společnost Tenzováhy, s.r.o. se jako jeden z dlouhodobých dodavatelů a výrobců těchto měřidel v ČR zavázala účastnit se zkoušek a to za podmínky, že se odzkouší všechny možné způsoby vážení, zvláště také možnost vážení vozidel za pomalého přejezdu jedné dvojice těchto vah, neboť od prvního takového pokusu za účasti ČMI již uplynulo 12 let. Dnes schválené typy přenosných vah obvykle umožňují vážit vozidla až třemi možnými způsoby, ovšem jen dva z nich byly zahrnuty do uvedeného metrologického předpisu.

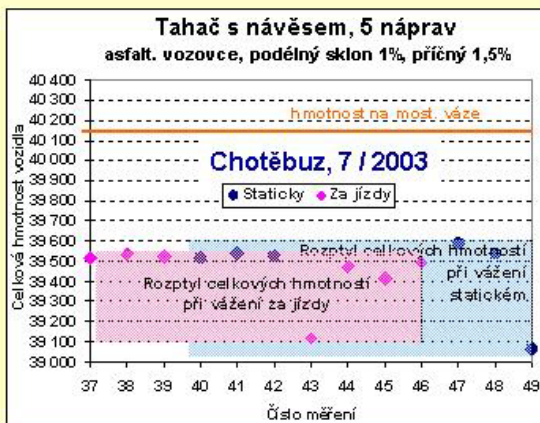
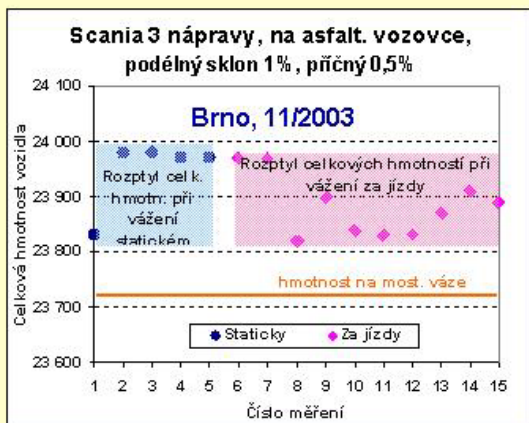
Vliv způsobu vážení na jeho přesnost - výsledky testů ČMI (na vybrané rovné vozovce)

Vážení vozidla naráz	Vážení vozidla najednou za jízdy	Vážení vozidla po částech
 <p>1.</p>  <p>2.</p> <p style="text-align: center;">25t celk. hm.</p> <p style="text-align: center;">7t 9t 9t</p>		 <p>1.</p>  <p>2.</p>  <p>3.</p>
<p>Vozidlo je váženo: - v jednom vážním cyklu</p> <p>Způsob vážení je: - velmi pomalý a pracný - nejdražší (potřeba více plošinek) - nejpřesnější</p>	<p>Vozidlo je váženo: - v jednom vážním cyklu</p> <p>Způsob vážení je: - nejrychlejší - cenově dostupný - relativně přesný</p>	<p>Vozidlo je váženo: - v několika vážních cyklech</p> <p>Způsob vážení je: - nejpomalejší a pracný - cenově dostupný - nejméně přesný - je zatížen velkým počtem osobních chyb obsluhy a řidiče vozidla</p>
<p>Matematické hodnocení způsobu vážení: Koeff. nejistoty vnějších vlivů: $K_p = 0,011$ Nejistota měření: $u_c = \pm 176$ kg Rozšířená nejistota: $U = 2u_c = \pm 352$ kg</p>	<p>Matematické hodnocení způsobu vážení: Koeff. nejistoty vnějších vlivů: $K_p = 0,017$ Nejistota měření: $u_c = \pm 445$ kg Rozšířená nejistota: $U = 2u_c = \pm 890$ kg</p>	<p>Matematické hodnocení způsobu vážení: Koeff. nejistoty vnějších vlivů: $K_p = 0,021$ Nejistota měření: $u_c = \pm 541$ kg Rozšířená nejistota: $U = 2u_c = \pm 1082$ kg</p>

Provozní zkoušky v režii ČMI byly provedeny na čtyřech různých typech vozovek, s příčnými a podélnými sklony v rozmezí 0 až 1,5 %, v letních a zimních měsících při teplotách -5 až $+28^\circ\text{C}$. Při zkouškách bylo zjištěno, že při vážení vozidla na jedné dvojici vážících plošinek „postupně po jednotlivých nápravách“ a vážením vozidla „najednou za pomalé jízdy“ není fakticky rozdíl. Avšak odchylky od nominální hodnoty, tzn. hodnoty zjištěné na mostové váze, byly poměrně značné, někdy posunuty k plusovým, jindy k minusovým hodnotám. Dále bylo experimentálně ověřeno, že vážením vozidel na velké sadě vážících plošinek „Vážení vozidla naráz“ se dosáhne nejreprodukovatelnějších výsledků.

Základní poznatek z celého souboru provedených zkoušek potvrdil dřívější domněnku, že největší vliv na výsledky měření nemají chyby měřidla zjištěné při kalibraci vah na EZZ, nýbrž bezprostřední umístění přenosných vah na pozemní komunikaci, kvalita – rovinnost a vodorovnost vozovky.

Porovnání přesnosti vážení vozidla postupně po nápravách s vážením za jízdy na jedné dvojici vážících plošek



Způsob vážení vozidla najednou na velké sadě přenosných vah



Za základě těchto experimentálních výsledků zpracoval ČMI výše uvedený metrologický předpis, na němž se také naše společnost aktivně podílela. Bohužel ČMI do předpisu nezahrnul způsob vážení vozidla za pomalé jízdy, neboť vedení ČMI zastává názor, že jestliže se tyto váhy kalibrují na lisech (EZZ) staticky, lze umožnit jejich použití také jen ve statickém režimu - jako NAWI. To se však ukázalo již v dřívější praxi jako naprosto pochybné – bez náznaku významnější korelace. Námí vydaný provozní předpis je v mnoha odstavcích identický s předpisem metrologickým, avšak je rozšířený o možnost vážení vozidel najednou – za pomalého plynulého přejezdu přes dvojici těchto kolových vah. Ospravedlnění tohoto kroku nacházíme v tom, že z hlediska upotřebení těchto měřidel není důležité, do jaké kategorie budou měřidla zařazena, ale jak za pomoci daného měřidla lze získat nejvěrohodnější výsledky. Následující výpočty nám dřívější domněnku potvrdily.

Oba předpisy byly doplněny o nejistoty měření, se kterými nás před rokem v Poděbradech seznámil Ing. Kříž ve své přednášce. Náš provozní předpis se od metrologického liší také v tom, že na jedné straně zpřísňuje podmínky pro vážicí zónu – zmenšuje povolené sklony vozovky, na druhé straně upřesňuje výpočty nejistot z hlediska koeficientů vnějších vlivů. V poslední době jsme nabyli přesvědčení, že rozšíření výsledků měření o výpočty nejistot, které doporučuje metrologický předpis počítat jen při zkouškách, bude žádoucí doplnit ke všem provozním vážením, což je třeba vyžadovat na provozovatelích přenosných vah.

Již výpočet nejistot měření dle vzorců uvedených v předpisu ČMI pro běžné silniční vozidlo, zatížené jen na povolené limity dle vyhlášky MD, ukazuje na to, že nejistoty při použití jedné dvojice přenosných vah se budou pohybovat v řádu ± 1000 kg. My jsme však hodnoty velkého souboru hmotností jednotlivých náprav vozidel, ze zkoušek v přítomnosti metrologa, znovu podrobili výpočtům s cílem získání reálných hodnot koeficientů vnějších vlivů z reálných dat namísto jedné zřejmě zprůměrované hodnoty koeficientu $K = 0,015$ uvedené v metrologickém předpisu. Byly vypočteny směrodatné odchylky od výběrového průměru nominálních hodnot, v případě menšího počtu měření byly odchylky navýšeny příslušnou tabulkovou konstantou, dále byly pro jednotlivé nápravy vypočteny poměrné koeficienty vnějších vlivů a nakonec pomocí lineární regrese průměrný koeficient K_e pro zvolený způsob vážení.

Pro jednotlivé způsoby vážení pak vyšly následující koeficienty vnějších vlivů K_e :

- $K_e = 0,011$ pro vážení vozidla naráz na velké sadě vážicích plošinek - staticky, tzn. že počet plošinek je roven počtu kol vozidla
- $K_e = 0,017$pro vážení vozidla najednou za pomalé jízdy na dvojici plošin (nesprávně říkáme dynamicky)
- $K_e = 0,021$pro vážení vozidla postupně po jednotlivých nápravách na dvojici plošin (nesprávně říkáme staticky)

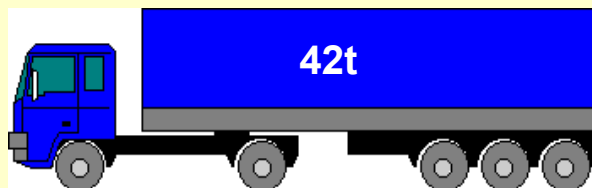
Aplikujeme-li tyto koeficienty například na klasické těžké nákladní pětínápravové vozidlo, tj. dvounápravový tahač a třínápravový návěs, kdy jsou hmotnosti jeho náprav pod nebo na limitech povolených hmotností vyhláškou MD č. 341/2002 Sb., tedy:

1. náprava: 6,5t, 2. náprava: 11,5t, 3. náprava: 8t, 4. náprava: 8t, 5. náprava: 8t,

pak získáme rozšířené nejistoty měření pro jednotlivé nápravy a celkovou hmotnost vozidla - viz následující obr.:

Výpočet rozšířené nejistoty měření za provozu u nejběžnějšího vozidla při různých způsobech vážení

Výpočet nejistot měření jednotlivých náprav dle vzorce $u_n^2 = \left(\frac{mpe}{\sqrt{3}}\right)^2 + (Ke.I)^2$, při kterém jsou použity reálné koeficienty vnějších vlivů $K_e = 0,011 / 0,017 / 0,021$ zjištěné při zkouškách s ČMI



$$\begin{array}{ccccccc} \downarrow & & \downarrow & & \downarrow & \downarrow & \downarrow \\ 6,5 \text{ t} & + & 11,5 \text{ t} & + & 8 \text{ t} & + 8 \text{ t} & + 8 \text{ t} = 42 \text{ t} \end{array}$$

Způsob vážení vozidla:

- naráz na velké sadě vážících plošinek	± 146	± 257	± 178 ± 178 ± 178	± 427 kg ± 1,02 %
- najednou za jízdy na dvojici plošinek	± 223	± 393	± 273 ± 273 ± 273	± 1435 kg ± 3,42 %
- postupně po nápravách na dvojici plošinek	± 274	± 485	± 337 ± 337 ± 337	± 1770 kg ± 4,21 %

...přičemž rozšířená nejistota při kalibraci jedné plošinky v laboratoři pro nejtěžší kolo činí jen.....± 0,05 %

Pokud tedy souhlasíme s metodou výpočtu rozšířené nejistoty měření uvedené v MP 009-04 a zpřesněné o experimentálně zjištěné koeficienty vnějších vlivů, pak s 95% pravděpodobností zvážíme zadané pětínápravové vozidlo v intervalu:

42 000 ± 427 kg při vážení vozidla naráz na velké sadě vážících plošinek,

42 000 ± 1435 kg při vážení vozidla najednou za jízdy na dvojici plošin,

42 000 ± 1770 kg při vážení vozidla postupně po nápravách na dvojici plošin.

Vzorec pro výpočet nejistoty měření nápravy vozidla u_n má dvě podstatné části A a B.

$$u_n^2 = \underbrace{\left(\frac{mpe}{\sqrt{3}}\right)^2}_A + \underbrace{(Ke.I)^2}_B$$

Část A je vázána na mpe , což je největší dovolená chyba vážícího zařízení pro dané zatížení v provozu, tedy dvojnásobek dovolené chyby při kalibraci. V podstatě se zde tedy jedná o změnu nejvýše dílku váhy, v případě kolových vah jde o 40, resp. 60 kg, a tak tedy změna mpe v uvedeném rozmezí výslednou nejistotu měření příliš neovlivňuje.

Část B je vázána na reálně zjištěné koeficienty vnějších vlivů při různých způsobech použití vážících plošinek a samozřejmě na výši okamžitého zatížení nápravy. Koeficienty vnějších

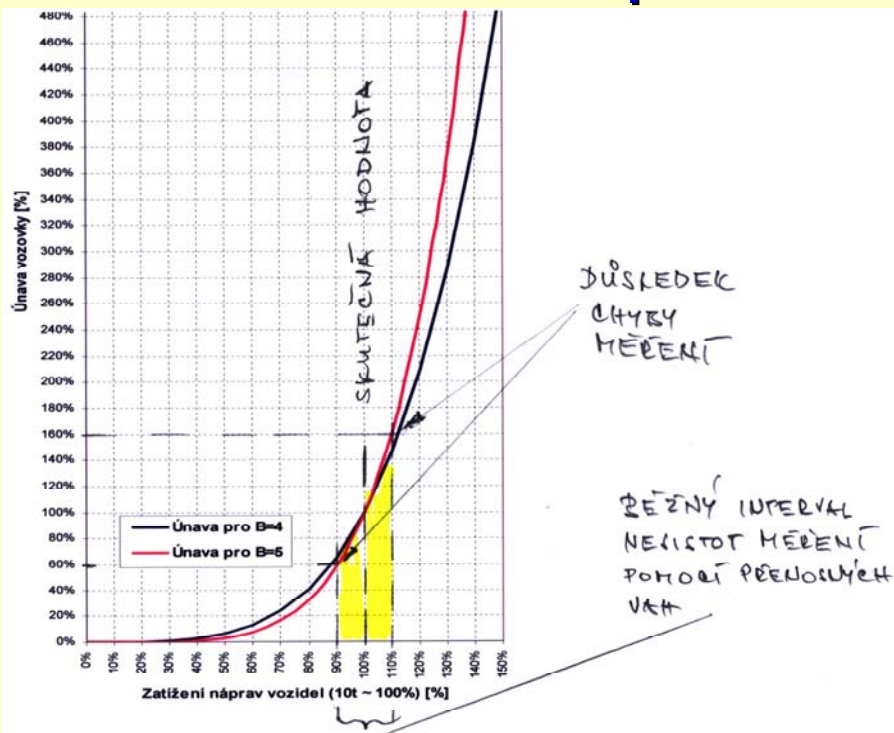
vlivů Ke jsou u přenosných vah o řád, někdy až o dva řády vyšší než tytéž koeficienty u pevně zabudovaných vah! A dále oba tyto součinitele se mohou měnit až ve svých násobcích a tak výslednou *nejistotu měření zatížení nápravy ovlivňují zcela zásadně*.

V našem provozním předpisu pro přenosné váhy neskrýváme, že nejistoty měření při jejich použití v silničním provozu jsou značné. Tím jsme ovšem také uvedli do pohybu pochybnosti, zda vůbec má takové měření na našich silnicích smysl. A když už se takové měřidlo používá, pak proč raději nevyužívat metodu měření takovou, která přináší menší nejistotu měření než metoda jiná. S tímto názorem jsme na nadřazených místech dosud neuspěli a tak se není co divit, že se množí stížnosti na výsledky měření od postižených řidičů. Na druhé straně pokud je postižen stát, tak ten si nestěžuje, neboť přestupky několika dopravců v podobě zničených silnic zaplatíme my všichni.



Jaký dopad má přehlížení nejistot měření na životnost silnice chceme připomenout následujícím grafem, na kterém je v % vyjádřeno únavové opotřebení vozovky v závislosti na zatížení náprav vozidla v % návrhové nápravy. Jestliže např. jednu z těžkých náprav vozidla zjistíme s chybou $\pm 10\%$, pak únava vozovky se může lišit o $\pm 50\%$, jak je uvedeno na následujícím obrázku:

Únavové opotřebení vozovky v závislosti na zatížení náprav vozidel



Stížnosti řidičů u správních úřadů na výsledky vážení vozidel (zvláště na hodnotu celkové hmotnosti) pomocí přenosných vah již nabraly na intenzitě a je jen otázkou krátké doby, kdy budou podány soudní žaloby. Bohužel, ačkoliv jsme výrobci těchto vah, nesouhlasíme s použitím jen jedné dvojice vah, která je položena na běžnou tj. křivou a spádovanou vozovku, a nesouhlasíme ani s dnes prakticky jediným používaným způsobem vážení vozidla postupně po jednotlivých nápravách, kdy vozidlo doslova po vahách poskakuje. Naopak požadujeme, aby ÚNMZ, zastřešující i ČMI, ve svých vyhláškách stanovilo povinnost uživatelům těchto vah výpočty nejistot měření uvádět v protokolech o vážení vozidla, což považujeme za velmi užitečné pro narovnání pohledu státní správy na celou problematiku. Navrhujeme, aby byl v naší vahařské unii přijat obecný závěr, že přesnost kontrol zatížení vozidel při provozu na pozemních komunikacích ČR, využívajících k tomu jedné dvojice přenosných kolových vah položených na běžnou komunikaci, není pro postih řidičů dostačující.