

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta



Statické a dynamické vážení motorových vozidel

bakalářská práce

Vedoucí práce: Ing. Viktor Novák

Autor práce: Filip Draganović

PRAHA 2021

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Filip Draganović

Zemědělské inženýrství
Zemědělská technika

Název práce

Statické a dynamické vážení motorových vozidel

Název anglicky

Stationary and dynamical weighing of road vehicles

Cíle práce

Cílem bakalářské práce je nejprve seznámit s užívanými technologiemi pro statické a dynamické vážení motorových vozidel. Dále bude předložen přehled technických prostředků a postupů při vážení motorových vozidel. Rovněž bude vysvětlen princip a funkce používaných senzorů. Bude provedeno zkušební vážení silničního vozidla vybranou metodou, jeho průběh a výsledky budou krátce diskutovány. Závěrem bude provedeno porovnání jednotlivých metod vážení z hlediska přesnosti a efektivnosti.

Metodika

Popis technologií pro statické a dynamické vážení motorových vozidel.

Přehled technických prostředků a postupů při vážení motorových vozidel.

Popis principu a funkce používaných senzorů.

Provedení zkušební vážení vybranou metodou, rozbor a zhodnocení tohoto vážení.

Porovnání jednotlivých metod vážení z hlediska přesnosti a efektivnosti.

Doporučený rozsah práce

30 – 40

Klíčová slova

automobil, senzor, statické vážení, dynamické vážení, WIM

Doporučené zdroje informací

A Guide to Dynamic Weighing for Industry [online]. 2010. Dostupné z:

http://www.npl.co.uk/upload/pdf/wfmp1010_1.pdf

Bejček, L.; Vaculík, J. Snímače tlaku. AUTOMA. 2011, roč. 17, č. 1. ISSN 1210-9592.

Černohorský, J. Současná průmyslová vážicí technika. MM Průmyslové spektrum. 2008, roč. 12, č. 6, s. 18-19. ISSN 1212-2572.

Gajda, J. at al. Accuracy Analysis of WIM Systems Calibrated Using Pre-Weighed Trucks Method. Metrology and Measurement Systems. 2007, roč. 14, č. 4.

Cheng, L.; Zhang, H.; LI, Q. Design of a Capacitive Flexible Weighing Sensor for Vehicle WIM System. Sensors. 2007, č. 7, s. 1530-1544. ISSN 1424-8220.

Kreidl, M.; Šmíd, R. Technická diagnostika: senzory, metody, analýza signálu. BEN, 2006.

TENZOVÁHY, s.r.o. [online]. 2019. Dostupné z: <https://www.tenzovahy.cz/>

Předběžný termín obhajoby

2019/2020 LS – TF

Vedoucí práce

Ing. Viktor Novák

Garantující pracoviště

Katedra elektrotechniky a automatizace

Elektronicky schváleno dne 30. 1. 2019

Ing. Miloslav Linda, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 15. 2. 2019

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 09. 12. 2020

Prohlášení

„Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: **Statické a dynamické vážení motorových vozidel** vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů. Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby. Jsem si vědom, že moje bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí. Jsem si vědom, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.“

V Praze dne 14. 4. 2021

.....

Filip Draganović

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat panu Ing. Viktoru Novákovi za odborné vedení, rady a cenné připomínky.

Statické a dynamické vážení motorových vozidel

Abstrakt: Tato bakalářská práce se zabývá statickým a dynamickým vážením motorových vozidel od popisu technologií, jednotlivých typů vah a postupů používaných při vážení, přes principy a funkce používaných senzorů až po kalibraci a úřední ověření vah. Dále je zde zmíněna legislativa a postupy provádění kontrolního vážení. Následně je provedeno zkušební vážení pomocí statické kolové váhy. Nakonec jsou jednotlivé metody vážení porovnány z hlediska přesnosti a efektivnosti.

Klíčová slova: automobil, senzor, statické vážení, dynamické vážení, WIM

Stationary and dynamical weighing of road vehicles

Abstract: This bachelor thesis deals with static and dynamic weighing of motor vehicles from the description of technologies, individual types of scales and procedures used in weighing, through the principles and functions of used sensors, to calibration and official verification of scales. Furthermore, the legislation and procedures for performing control weighing are mentioned here. Subsequently, a test weighing is performed using a static wheel scale. Finally, the individual weighing methods are compared in terms of accuracy and efficiency.

Key words: car, sensor, static weighing, dynamic weighing, WIM

Obsah

Seznam zkratk	1
1 Úvod	2
2 Cíl a metodika práce	3
3 Statické a dynamické vážicí systémy	4
3.1 Rozdělení vážicích systémů	4
3.2 Statické vážení	4
3.2.1 Typy snímačů pro statické vážení	5
3.2.2 Mostové váhy	7
3.2.3 Nápravové a kolové váhy	8
3.3 Dynamické vážení (WIM)	9
3.3.1 Typy snímačů pro dynamické vážení	11
3.3.2 Nízkorychlostní dynamické vážení (LS-WIM)	18
3.3.3 Vysokorychlostní dynamické vážení (HS-WIM)	19
3.3.4 Mostní dynamické vážení (B-WIM)	21
3.3.5 Více-senzorové dynamické vážení (MS-WIM)	23
3.4 Úřední ověřování a kalibrace	24
3.5 Kontrolní vážení	26
3.5.1 Nízkorychlostní kontrolní vážení	27
3.5.2 Vysokorychlostní kontrolní vážení	29
4 Zkušební vážení	31
5 Porovnání jednotlivých metod vážení z hlediska přesnosti a efektivnosti	33
6 Závěr	35
7 Seznam použitých zdrojů	37
8 Seznam obrázků	40
9 Seznam tabulek	41
10 Seznam příloh	41

11	Příloha 1.....	I
12	Příloha 2.....	I
13	Příloha 3.....	II
14	Příloha 4.....	III
15	Příloha 5.....	IV
16	Příloha 6.....	VI

Seznam zkratek

A/D	Převodník analogového signálu na digitální
SPZ	Státní poznávací značka
WIM	Weigh-in-Motion – dynamické vážení; proces určování zatížení jednotlivých náprav a celkové hmotnosti projíždějícího vozidla na základě dynamických měření
LS-WIM	Low Speed Weigh-in-Motion – nízkorychlostní dynamické vážení
HS-WIM	High Speed Weigh-in-Motion – vysokorychlostní dynamické vážení
B-WIM	Bridge Weigh-in-Motion – systém vysokorychlostního dynamického vážení umístěný v mostních konstrukcích
MS-WIM	Multiple-Sensor Weigh-in-Motion – systém vysokorychlostního dynamického vážení s použitím více senzorů

1 Úvod

Statické vážení motorových vozidel je používáno už od nepaměti v mnoha odvětvích jako např. zemědělství, potravinářství, zpracovatelské provozy apod. Avšak s narůstajícím objemem dopravy a častým přetěžováním nákladních automobilů (například i díky stále probíhající kůrovcové kalamitě se setkáváme s přetíženými nákladními automobily převážející dřevo) se začínají více uplatňovat dynamické vážicí systémy.

Dle vyhlášky č. 209/2018 Sb., o hmotnostech, rozměrech a spojitelnosti vozidel, je na českých silnicích největší povolená hmotnost jízdní soupravy 48 tun, ale kontroly odhalují i nákladní automobily přetížené o 8 či 15 tun [10].

Přetěžování se projevuje negativně na živostnosti dopravní infrastruktury (poškození vozovky roste se čtvrtou mocninou zatížení náprav vozidel [1, 30]), ale také na jízdních vlastnostech vozidla a bezpečnosti provozu. Přetížené vozidlo je hůře ovladatelné, má zhoršenou stabilitu a také delší brzdovou dráhu. Čím je vozidlo těžší, tím vyšší je jeho kinetická energie, což má v případě nehody za následek větší nárazové síly a poškození jiných vozidel nebo dopravní infrastruktury. Snížením počtu přetížených vozidel se může snížit počet dopravních nehod [2].

Aby se předcházelo situacím popsaným v předchozích odstavcích, je nutné tato vozidla co nejdříve odhalit, a to statickými nebo dynamickými vážicími systémy.

2 Cíl a metodika práce

Cílem bakalářské práce je nejprve seznámit s užívanými technologiemi pro statické a dynamické vážení motorových vozidel. Dále bude předložen přehled technických prostředků a postupů při vážení motorových vozidel. Rovněž bude vysvětlen princip a funkce používaných senzorů. Bude provedeno zkušební vážení silničního vozidla vybranou metodou, jeho průběh a výsledky budou krátce diskutovány. Závěrem bude provedeno porovnání jednotlivých metod vážení z hlediska přesnosti a efektivity.

Bakalářská práce bude řešena převážně formou literární rešerše z tuzemské i zahraniční odborné literatury a materiálů jednotlivých společností, které se zabývají statickým a dynamickým vážením. Také bude provedeno zkušební vážení vybranou metodou a porovnání jednotlivých metod vážení z hlediska přesnosti a efektivity.

3 Statické a dynamické vážicí systémy

V dnešní době je většina nákladní dopravy v mnoha zemích prováděna po silnicích a objem pozemní dopravy se v důsledku rychle rostoucího průmyslu a obchodu neustále zvyšuje. Kromě toho se díky silné konkurenci mezi dopravními společnostmi zlepšilo řízení dopravy, což vedlo ke zvýšení počtu plně naložených nákladních automobilů a jejich celkové hmotnosti. Přetížené nákladní automobily značně zvyšují náklady na údržbu a opravy vozovky, zkracují životnost vozovky a ovlivňují bezpečnost provozu. Častým problémem jsou únavové problémy mostních součástí, které mohou výrazně zkrátit životnost mostů. K vyřešení těchto problémů mohou přispět statické a dynamické vážicí systémy [1–3].

3.1 Rozdělení vážicích systémů

Podle účelu vážení:

- kontrolní vážení – využíváno pro kontrolu předepsaných váhových limitů,
- obchodní vážení – využíváno v obchodním styku pro vážení nákladů zejména na skládkách odpadů, v pískovnách, lomech a ve stavebních provozech [4,5].

Podle stavu vozidla:

- statické vážení – vozidlo je váženo za klidu,
 - mostové váhy – váží celkovou hmotnost vozidla,
 - nápravové váhy – váží hmotnost jednotlivých náprav,
 - kolové váhy – váží hmotnost jednotlivých kol,
- dynamické vážení – vozidlo je váženo za pohybu,
 - nízkorychlostní – typická rychlost přejezdu vozidla 5–15 km/h,
 - vysokorychlostní – typická rychlost přejezdu vozidla 30–130 km/h [2].

3.2 Statické vážení

Při statickém vážení vozidlo najede na váhu a je váženo za klidu. Existují tři typy statických vah:

- pevně zabudované – trvale zabudované ve vozovce; všechny mostové váhy a některé nápravové a kolové váhy,

- dočasné – uložení váhy je trvalé, ale váhy se instalují pouze během vážení,
- přenosné – kolové nebo nápravové váhy, které se pokládají na vozovku a jsou doplněny vyrovnávacími deskami, aby byla všechna vážená kola ve stejné výšce [2].

Statické vážení je velmi přesné (přesnost mostových vah je typicky menší než ± 1 %, přesnost nápravových a kolových vah je typicky menší než ± 2 %), ale časově a personálně náročné. Vozidlo je také nutno odklonit z provozu na vážicí stanoviště. Z těchto důvodů je považováno jako málo efektivní ochrana proti přetíženým nákladním vozidlům. Dle současné legislativy je zařazeno do nízkorychlostního kontrolního vážení (viz kapitola 3.5) [6, 9].

3.2.1 Typy snímačů pro statické vážení

Při statickém vážení se používají výhradně tenzometrické snímače zatížení (load cells). Tyto snímače se skládají z masivního kovového těla, na kterém jsou upevněny fóliové tenzometry speciálním lepidlem, které nezvětšuje chybu měření svou teplotní roztažností. Tělo je obvykle vyrobeno z hliníkové slitiny, niklované oceli nebo nerezové oceli, kvůli robustnosti a malé elasticitě. Tenzometrický snímač zatížení funguje na principu změny elektrického odporu mechanicky namáhaného vodiče, který objevil v roce 1843 pan Wheatstone. Při vyjádření měřené deformace pomocí poměrného prodloužení můžeme vypočítat relativní změnu odporu tenzometru podle vztahu (1) [11–13].

$$\frac{\Delta R}{R} = K * \varepsilon \quad (1)$$

Kde: ΔR je změna odporu tenzometru vyvolaná deformací [Ω]

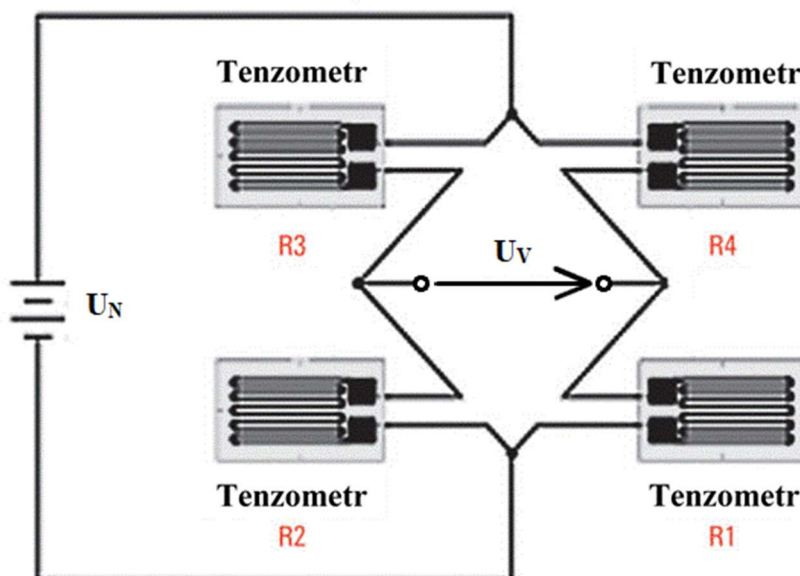
R je odpor tenzometru ve výchozím stavu [Ω]

K je součinitel deformační citlivosti (pro kovové tenzometry typicky $K=2$) [-]

ε je poměrné prodloužení [-]

Při zatížení je tělo snímače mírně deformované, ale pokud není přetíženo, vždy se vrátí do původního tvaru. V reakci na změny tvaru těla mění tenzometry také tvar, a to způsobí změnu elektrického odporu tenzometru, která je přímo úměrná zatížení. Pro dosažení maximální citlivosti a teplotní kompenzace se tenzometry zapojují do plného Wheatstoneova můstku (obr. 1) [11–13].

Obr. 1 Plný Wheatstoneův můstek



Zdroj: [14], upraveno a přeloženo

Plný Wheatstoneův můstek se skládá ze čtyř tenzometrů zapojených tak, že při zatížení jsou dva tenzometry namáhány tahem a zbylé dva tenzometry tlakem. Při namáhání tahem se zvětšuje délka a zmenšuje průřez tenzometru, čímž se zvýší elektrický odpor a při namáhání tlakem se zmenšuje délka a zvětšuje průřez tenzometru, čímž se sníží elektrický odpor. V nezatíženém stavu je můstek vyvážen a napětí na výstupu U_V je nulové. Při zatížení snímače je můstek nevyvážený a na výstupu se objeví napětí U_V . Velikost tohoto napětí závisí na konstrukci snímače zatížení a je udávána v mV/V (milivoly výstupního napětí U_V na jeden volt napájecího napětí U_N) při plném zatížení. Výstupní napětí U_V je poté převedeno na číselnou hodnotu v A/D převodníku (vyhodnocovací jednotce). Číselná hodnota je poté zpracována a zobrazena na displeji vážicího systému. Vyhodnocovací jednotka je ve většině aplikací samostatný měřicí přístroj, ke kterému je přiveden signál z analogových tenzometrických snímačů zatížení k dalšímu zpracování. Existují však i tenzometrické snímače zatížení se zabudovaným A/D převodníkem v těle snímače. Na výstupu snímače je poté místo analogového signálu číselný (digitální) údaj [12, 14].

Mezi nejčastěji používané typy tenzometrických snímačů zatížení pro statické vážení patří:

- tlakové snímače zatížení (obr. 2) – používají se pro hmotnost od 250 kg do 500 tun a jsou hermeticky uzavřené; síla je zaváděna pomocí kulových ploch do středu snímače,

- smykové snímače zatížení (obr. 3) – používají se pro hmotnost od 250 kg do 10 tun, jsou hermeticky uzavřené a jsou nižší než tlakové snímače zatížení [12, 15].

Obr. 2 Tlakový snímač zatížení



Obr. 3 Smykový snímač zatížení



Zdroj: <https://www.zemiceurope.com/en/bm14a.html> Zdroj: <https://www.zemiceurope.com/en/h9c.html>

3.2.2 Mostové váhy

Mostové váhy slouží ke zjišťování celkové hmotnosti silničních vozidel za klidu. Jsou používány převážně pro obchodní vážení (lomy, pískovny, sběrné dvory ...), ale mohou být používány i pro kontrolní vážení. Základem mostové váhy je ocelový nebo železobetonový vážní most o šířce 3 m a délce od 6 do 24 m. Váživost se pohybuje v rozmezí 30 až 60 t. Mostové váhy mohou být koncipované jako úrovnňové/zapuštěné (obr. 4) nebo nadúrovnňové/nájezdové (obr. 5). Ke snímání zatížení mostu se používají tenzometrické snímače zatížení, jejichž konstrukce a uložení zajišťuje eliminaci podélných a příčných sil, které vznikají při nájezdu vozidla na vážní most [5, 7].

Obr. 4 Úrovnňová mostová váha



Zdroj: [5]

Obr. 5 Nadúrovnňová mostová váha



Zdroj: [5]

Úrovňová váha se skládá z jednoho nebo více vážních mostů, které jsou v rovině s okolní vozovkou. Konstrukce váhy je kompletně uložena pod úrovní vozovky, a proto je před montáží potřeba vyhloubit na stanoveném místě jímku hlubokou přibližně jeden metr (závisí dle výrobce váhy). Dno jímky je poté zpevněno zhutněným šterkovým zásypem, na který se položí vana z prefabrikovaného betonu. Na prahy vany se dále položí snímače zatížení, na které se následně položí vážní most. Úrovňová váha je kvůli vyšším nákladům za stavební práce finančně náročnější, ale velkou výhodou je lepší manipulace s vozidly v prostoru váhy [7, 8].

Nadúrovňová váha se skládá z jednoho nebo více vážních mostů, které jsou přibližně 50 cm nad úrovní okolní vozovky. Nejprve se na stávající vozovce vybetonují nosné patky, aby vlivem klimatických změn nedocházelo k nadzvedávání vážních prahů. Poté se na patky usadí vážní prahy, na kterých jsou uloženy snímače zatížení a na snímače se nakonec položí vážní most. Nadúrovňová váha je výhodná především kvůli nižším nákladům za stavební práce a lepšímu přístupu ke snímačům zatížení, ale velkou nevýhodou je potřeba několikametrových nájezdových klínů z obou stran váhy, což značně prodlužuje celkovou délku váhy [7, 8].

Důležitá součást mostové váhy je vyhodnocovací jednotka. Nejlevnější jednotky pouze zobrazují měřenou hmotnost a umožňují nulovat váhu. Vyspělejší jednotky dokážou vést evidenci vozidel, dodavatelů, odběratelů, surovin atd. Mostové váhy mohou být doplněny řadou volitelných zařízení, která usnadňují proces vážení. Mezi základní příslušenství patří signalizační zařízení, závory, systém automatického rozpoznávání SPZ, tiskárna vážních lístků nebo kamerový systém [5, 7].

3.2.3 Nápravové a kolové váhy

Pro vážení hmotnosti jednotlivých náprav za klidu se používají nápravové váhy (obr. 6), které mohou být pevně zabudované nebo přenosné. Pokud sečteme hmotnosti jednotlivých náprav získáme celkovou hmotnost vozidla. Právě kvůli vážení hmotnosti jednotlivých náprav můžeme odhalit vozidla, která nepřekračují povolenou hmotnost vozidla, ale mají přetíženou například jednu nápravu, což mostové váhy neodhalí, protože váží pouze celkovou hmotnost vozidla [9].

Pro vážení hmotnosti jednotlivých kol za klidu se používají kolové váhy (obr. 7), které bývají spíše přenosné. Pomocí kolových vah můžeme zjistit nejen přetížení jednotlivých náprav, ale také nevyváženost vozidla. Nejčastěji probíhá vážení pomocí

dvou kolových vah, takže vozidlo musí postupně najet každou nápravou na kolové váhy a zastavit, což je časově náročné. Rychlejší, ale finančně náročnější je použití více kolových vah tak, aby vozidlo najelo každým kolem na jednu váhu a tím pádem dojde ke zvážení celého vozidla najednou [9].

Obr. 6 Nápravová váha



Zdroj: [5]

Obr. 7 Přenosné kolové váhy



Zdroj: [5]

3.3 Dynamické vážení (WIM)

Dynamické vážení, též označováno zkratkou WIM (Weigh-in-Motion – vážení za pohybu), je proces měření dynamických sil od pneumatik jedoucího vozidla, které se následně spolu s dalšími měřeními nebo vypočítanými parametry, jako je rychlost a podélná poloha vozidla v jízdním pruhu, použijí k odhadu celkové hmotnosti vozidla a zatížení jednotlivých kol a náprav odpovídajícího statického vozidla. Kromě měření celkové hmotnosti, zatížení jednotlivých náprav a zatížení jednotlivých kol projíždějícího vozidla dynamické vážicí systémy zaznamenávají následující informace:

- datum a čas průjezdu vozidla,
- rychlost vozidla,
- vzdálenost náprav,
- délka vozidla,
- kategorie vozidla [9].

Dynamické vážení bylo poprvé použito v 50. letech 20. století ve Spojených státech amerických profesorem Clydem Leem ke sběru velkého vzorku dynamického zatížení náprav a vozidel pro účely návrhu vozovky. Ohybové desky byly první typ používaných snímačů. V 70. a 80. letech se data z dynamického vážení používala především pro návrh a údržbu vozovky, posouzení životnosti mostů, monitorování provozu a sběr

statistik o silniční nákladní dopravě. V současné době jsou systémy dynamického vážení přesnější a spolehlivější a mají následující uplatnění:

- Výzkumné a statistické účely: informace o zatížení dopravní infrastruktury jsou důležitým vstupem pro dopravní studie, které pomáhají optimalizovat plánování a návrh budoucí silniční sítě, ale také pro plánování údržby stávající infrastruktury.
- Penalizační účely: cílem je dodržování povolených hmotnostních limitů a snížení negativních účinků přetěžování.
- Mýtné podle hmotnosti: účastníci silničního provozu platí mýtný poplatek na základě skutečné hmotnosti a zatížení náprav svých vozidel. Dynamické vážicí systémy zajišťují spravedlivé ceny mýtného (poplatek za používání zpoplatněné silnice je úměrný opotřebení způsobené vozidlem), ale můžou také generovat další příjmy na financování údržby infrastruktury.
- Průmyslové aplikace: používají se v průmyslových a logistických centrech pro kontrolu hmotnosti a zatížení náprav a také v přístavech pro optimalizaci nakládky těžkých vozidel na lodě [9].

Kompletní systém dynamického vážení obecně zahrnuje sadu snímačů, které jsou namontovány ve vozovce nebo připevněné k mostu (B-WIM) anebo jsou součástí přenosné dynamické váhy a slouží pro detekci, vážení a klasifikaci vozidel, dále obsahuje software a elektroniku pro ovládání snímačů a shromažďování, analýzu a ukládání naměřených dat a také obsahuje komunikační zařízení pro přenos shromážděných dat na vzdálený server. V závislosti na aplikaci mohou být k systému přidány teplotní snímače nebo kamery pro přehledné fotografie a rozpoznávání SPZ vážených vozidel [9, 17, 18].

Snímač hmotnosti

Snímače hmotnosti jsou nejdůležitější součástí dynamických vah, protože přímo měří sílu aplikovanou vozidly procházejícími přes snímač. Senzory se liší v ceně, principu činnosti a přesnosti a také mají výhody a nevýhody vzhledem k určitému použití. Podrobněji jsou popsány v následující podkapitole [17, 18].

Indukční smyčky

Indukční smyčky jsou instalovány do vozovky a obvykle se používají pro spuštění a zastavení měření hmotnosti a pro klasifikaci každého projíždějícího vozidla. Při přejezdu vozidla přes indukční smyčku se mění indukčnost smyčky a systém detekuje vozidlo. Jedna indukční smyčka může zaznamenat přítomnost vozidla, počet projíždějících vozidel a obsazenost jízdního pruhu. K určení rychlosti vozidla a rozestupu náprav lze použít dvě indukční smyčky ve stejném jízdním pruhu s určitým odstupem [17, 18].

Přesnost dynamického vážení může ovlivnit celá řada faktorů, například stav vozovky, podmínky prostředí a vlastnosti vozidla [17].

Teplota

Teplota a vlhkost mohou změnit výkon mnoha senzorů a vlastnosti materiálu vozovky a tím pádem ovlivní přesnost celého systému. Sensory zabudované do asfaltové vozovky mají větší teplotní citlivost než senzory zabudované do betonové vozovky, protože asfaltová vozovka v horkém počasí měkne. Protože nelze zcela eliminovat teplotní vlivy na přesnost systému, je nutné provádět teplotní korekce [16, 17].

Vlastnosti vozovky

Geometrie vozovky, příčný sklon, podélný sklon a stav povrchu mohou ovlivnit dynamické síly působící na senzor. Z těchto faktorů má největší vliv na přesnost systému drsnost vozovky [17].

Vozidlo

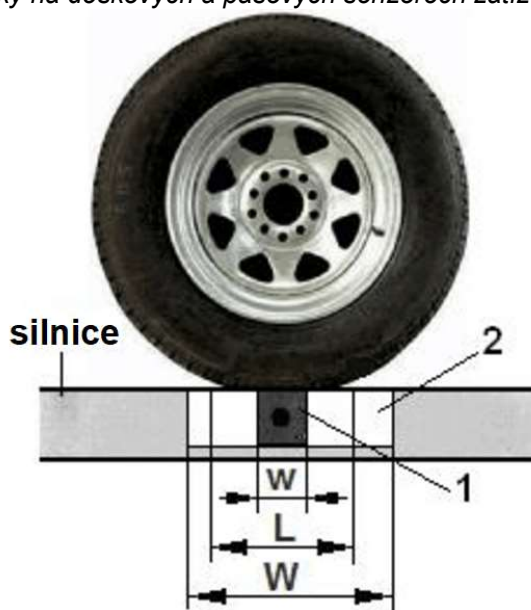
Mnoho charakteristik vozidla, včetně rychlosti, typu pneumatik, tlaku v pneumatikách, systému odpružení a konfiguraci náprav, ovlivňuje dynamickou sílu pneumatiky, a tím ovlivňuje přesnost senzoru [17].

3.3.1 Typy snímačů pro dynamické vážení

Senzory pro dynamické vážení můžeme rozdělit podle šířky na deskové a pásové. Deskové senzory se skládají z tenzometrů upevněných mezi kovovou deskou a tuhým rámem ve vozovce. Výhodou těchto senzorů je, že získají v jeden okamžik celý otisk pneumatiky (viz obr. 8), protože šířka desky je větší, než délka otisku pneumatiky (přibližně 30 cm). Nevýhodou představují rozsáhlé stavební práce nutné pro instalaci

senzorů do vozovky. Mezi deskové snímače řadíme ohybové desky a tenzometrické snímače zatížení. Pásové senzory byly vyvinuty v Evropě v 70. letech 20. století jako alternativa k deskovým sensorům a skládají se z úzké tyče, pásu nebo drátu o průřezu několika mm² nebo cm² a délce rovnající se šířce jízdního pruhu. Tyto senzory jsou instalovány do drážky vyřezané ve vozovce příčně k jízdnímu pruhu. Narozdíl od deskových sensorů jsou pásové senzory velmi úzké a neměří přímo zatížení kola nebo nápravy, ale měří tlak, deformaci nebo sílu a pomocí algoritmu vypočítávají zatížení s ohledem na rychlost vozidla a odhadované charakteristiky pneumatiky. Pásové snímače jsou levnější než deskové – zejména při zohlednění instalačních nákladů – a vyžadují pro instalaci méně stavebních prací, ale jejich přesnost velmi závisí na vlastnostech vozovky. Mezi pásové snímače řadíme piezoelektrické, optické a kapacitní snímače [2, 6, 16].

Obr. 8 Otisk pneumatiky na deskových a pásových senzorech zatížení



Zdroj: [19], 1 – Pásový senzor – šířka w ; 2 – Deskový senzor – šířka W ; L – délka otisku pneumatiky

3.3.1.1 Ohybové desky

Ohybové desky využívají drátkové tenzometry zapojené do plného Wheatstoneova můstku (viz kap. 3.2.1), které jsou upevněny na spodní straně obdélníkových ocelových desek. Při průjezdu vozidla přes ohybovou desku systém zaznamená deformaci naměřenou tenzometrem a vypočítá dynamické zatížení. Statické zatížení je poté odhadnuto pomocí naměřeného dynamického zatížení a kalibračních parametrů. Ohybové desky mají vysokou přesnost, vykazují velmi malou závislost na rychlosti a téměř žádnou teplotní závislost, ale pro instalaci vyžadují rozsáhlé stavební práce [17, 18].

Typické uspořádání obsahuje dvě ohybové desky a dvě indukční smyčky pro každý jízdní pruh. Desky mohou být instalovány střídavě (obr. 9) nebo vedle sebe (obr. 10). Při střídavém uspořádání desek detekuje první indukční smyčka přítomnost vozidla (při průjezdu vozidla se mění indukčnost smyčky). Ohybové desky poskytují informace o hmotnosti a časování pro určení hmotnosti a rozteče náprav. Druhá indukční smyčka se používá pro časování, pokud nedojde k úplnému kontaktu s žádnou z ohybových desek. Při uspořádání vedle sebe (inline) poskytují ohybové desky informace o hmotnosti a indukční smyčky detekují vozidlo a poskytují informace o časování pro určení rychlosti a rozestupu náprav [17, 18].

Obr. 9 Ohybové desky uspořádané střídavě



Zdroj: [17]

Obr. 10 Ohybové desky uspořádané vedle sebe



Zdroj: [2]

3.3.1.2 Deskové tenzometrické snímače zatížení

Deskové tenzometrické snímače zatížení (obr. 11) jsou ve skutečnosti tenzometrické snímače zatížení popsané v kapitole 3.2.1, které jsou doplněny o snímače pro detekci vozidla a určení rychlosti vozidla a rozestupu náprav. Snímač se skládá z plošiny s tuhou ocelovou deskou a tenzometrického snímače zatížení namontovaného ve středu desky. Deskové tenzometrické snímače zatížení jsou nejpřesnější senzory používané pro dynamické vážení, ale jsou nejdražší a jejich instalace je časově nejnáročnější [18, 19].

Obr. 11 Deskový tenzometrický snímač zatížení



Zdroj: [18]

Typické uspořádání obsahuje dva deskové tenzometrické snímače zatížení, jednu indukční smyčku a snímač nápravy (například piezoelektrický kabel nebo optické vlákno) pro každý jízdní pruh. Indukční smyčka je umístěna před snímačem zatížení a detekuje přítomnost vozidla. Snímač nápravy je umístěn za snímačem zatížení a měří rychlost vozidla a rozestup náprav. Stejně jako u ohybových desek mohou být deskové tenzometrické snímače instalovány vedle sebe (inline) nebo střídavě [19, 20].

3.3.1.3 Piezoelektrické snímače

Piezoelektrické snímače jsou k dispozici v různých formách, ale všechny fungují na principu přímého piezoelektrického jevu, který byl objeven bratry Curieovými v roce 1880. Přímý piezoelektrický jev vzniká při působení síly na piezoelektrický materiál, který generuje elektrické napětí úměrné zatěžující síle. Při průjezdu vozidla přes piezoelektrický snímač je generovaný elektrický náboj zaznamenán a poté je vypočítáno dynamické zatížení. Statické zatížení je odhadnuto z naměřeného dynamického zatížení a kalibračních parametrů, jako například rychlost vozidla a stav vozovky. Pro dynamické vážení se používají tři základní typy piezoelektrických senzorů: piezokeramické, piezopolymerové a piezokřemíkové (piezoquartz) [1, 17, 20].

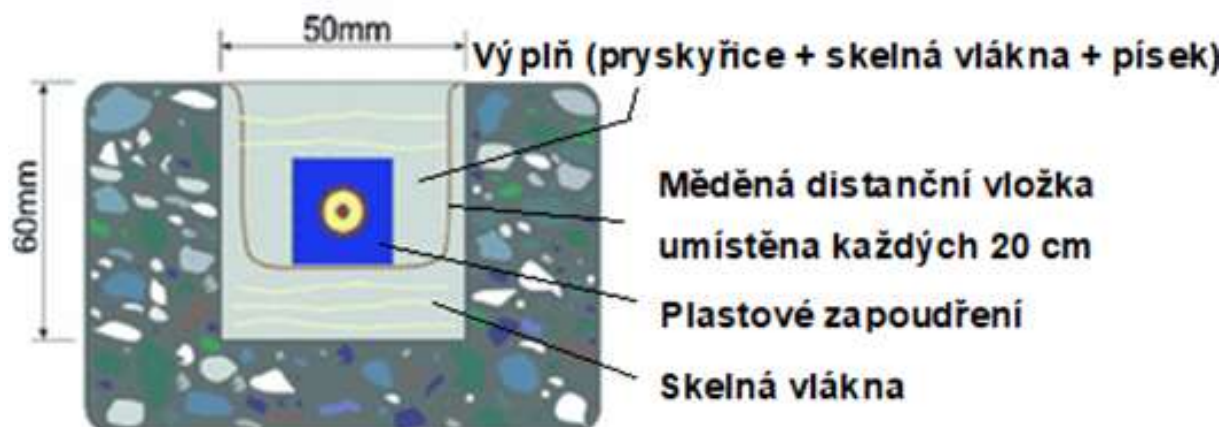
Typické uspořádání obsahuje jeden piezoelektrický snímač a dvě indukční smyčky. První indukční smyčka umístěná před snímačem detekuje přítomnost vozidla. Druhá indukční smyčka umístěná za snímačem měří rychlost vozidla a rozestup náprav na základě času, který vozidlo potřebuje k projetí vzdálenosti mezi smyčkami. Pro zvýšení

přesnosti měření se používají dva piezoelektrické snímače zatížení a jedna nebo dvě indukční smyčky [17, 20].

Piezokeramické snímače

Piezokeramické snímače (obr. 12) se skládají z polarizovaného piezoelektrického keramického prášku stlačeného mezi pevným měděným jádrem a vnějším měděným pláštěm. Snímače jsou velikostí podobné jako běžné koaxiální kabely a obvykle jsou umístěny do pevného kovového kanálu naplněného epoxidovou pryskyřicí vyztuženou skelnými vlákny. Horní část snímače musí být instalována na úrovni vozovky, a proto je nutné snímač uložit do štěrbině široké 50 mm a hluboké 60 mm. Snímače vyžadují teplotní korekci a častou kalibraci. Piezokeramické snímače poskytují měření hmotnosti průměrné kvality a jsou nejvhodnější pro účely klasifikace vozidla (například měření rozestupu náprav nebo počtu náprav) [9, 16, 17].

Obr. 12 Piezokeramický snímač uložený ve vozovce

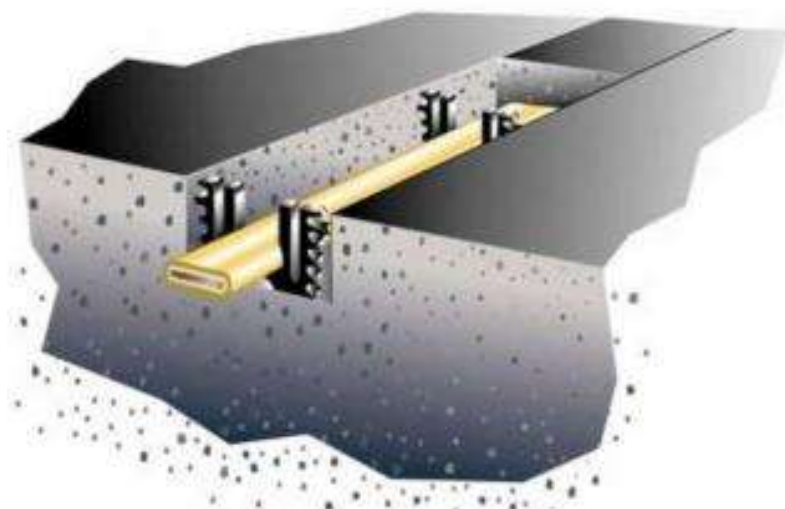


Zdroj: https://www.researchgate.net/publication/308188415_Evaluation_of_Weight_in_Motion_Sensors_on_the_IFSTTAR_Accelerated_Testing_Facility, přeloženo

Piezopolymerové snímače

Piezopolymerové snímače (obr. 13) se skládají z plochého koaxiálního kabelu se silným mosazným vnějším pláštěm, ve kterém je jádro tvořené postříbřeným měděným drátem a piezoelektrickým polymerním materiálem. Senzor lze instalovat do drážky hluboké 25 mm a široké 20 mm. Piezopolymerové snímače jsou relativně tenké, snadno se instalují a vyměňují a jsou nejlevnější ze senzorů používaných pro dynamické vážení, ale jsou méně přesné, citlivější na změny teploty a potřebují častou kalibraci, a proto se používají spíše pro detekci náprav, pro sběr dat o provozu a pro méně přesná měření zatížení [9, 17, 18].

Obr. 13 Piezopolymerový snímač uložený ve vozovce

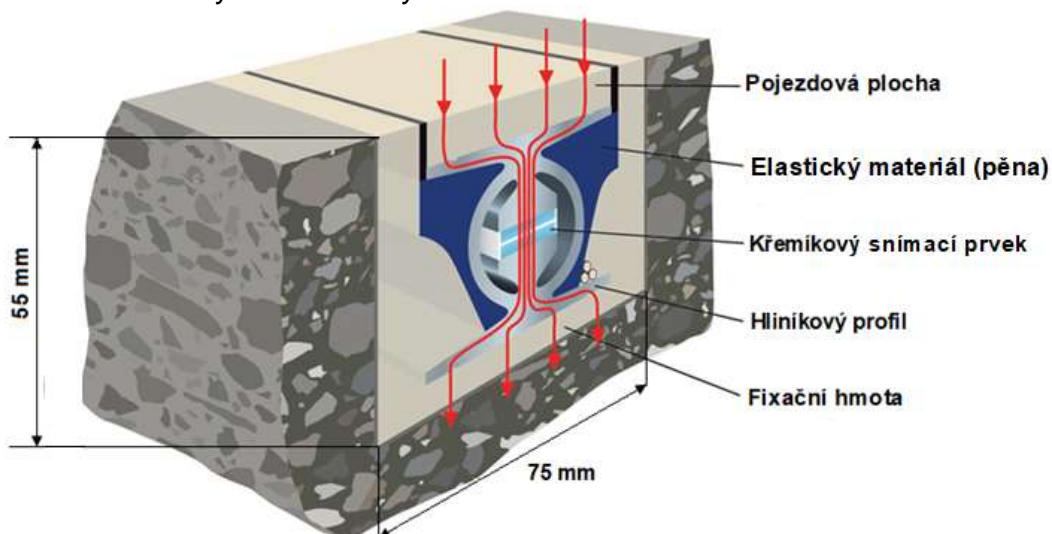


Zdroj: <https://diamondtraffic.com/product/Roadtrax-BL>

Piezokřemíkové snímače

Piezokřemíkové snímače (obr. 14) se skládají z řady křemenných disků namontovaných v hliníkovém profilu a instalují se do drážky hluboké 55 mm a široké 75 mm. Piezokřemíkové senzory jsou mnohem méně citlivé na změnu teploty v porovnání s ostatními piezoelektrickými senzory a poskytují kvalitní měření hmotnosti, ale jsou dražší. Senzory nevyžadují téměř žádnou údržbu, ale je nutné je kalibrovat každých 12 až 18 měsíců, aby splňovali požadavky na přesnost. Piezokřemíkové senzory se používají například pro měření hmotnosti, pro výzkumné účely vyžadující přesná data nebo pro sběr dat o zatížení náprav vozidel pro návrh vozovky [9, 17, 18].

Obr. 14 Piezokřemíkový senzor uložený ve vozovce

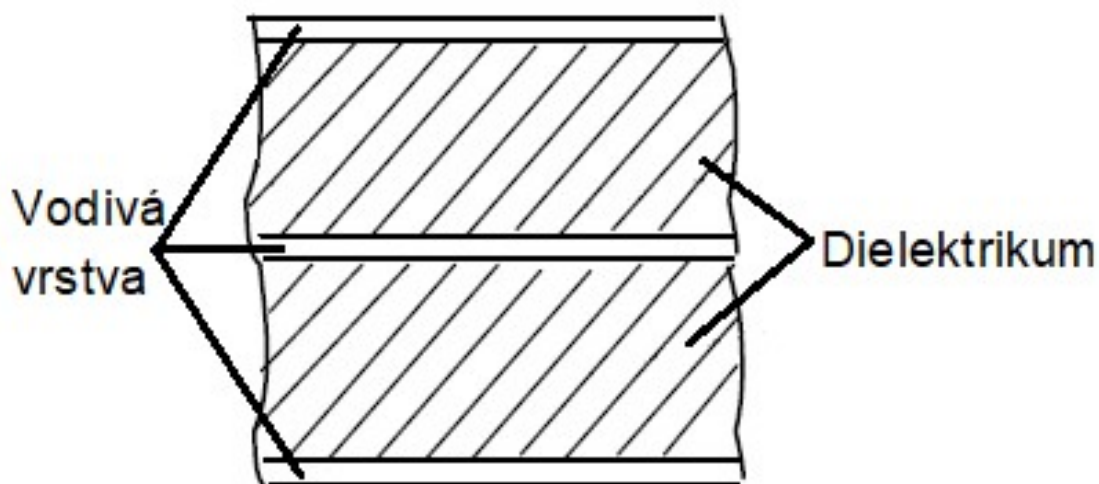


Zdroj: <https://www.worldhighways.com/wh12/feature/weigh-motion-technology-reduces-road-damage>, přeloženo

3.3.1.4 Kapacitní snímače

Kapacitní snímače (obr. 15) se skládají ze dvou nebo více vodivých pásů, které jsou odděleny dielektrickým materiálem a vytváří elektrický kondenzátor. Síla působící na senzor zmenšuje vzdálenost mezi pásy a zvyšuje kapacitu snímače. Kapacitní snímače jsou levné, ale také nejméně přesné, a proto se používají spíše pro statistické účely [1, 9, 16].

Obr. 15 Princip kapacitního snímače



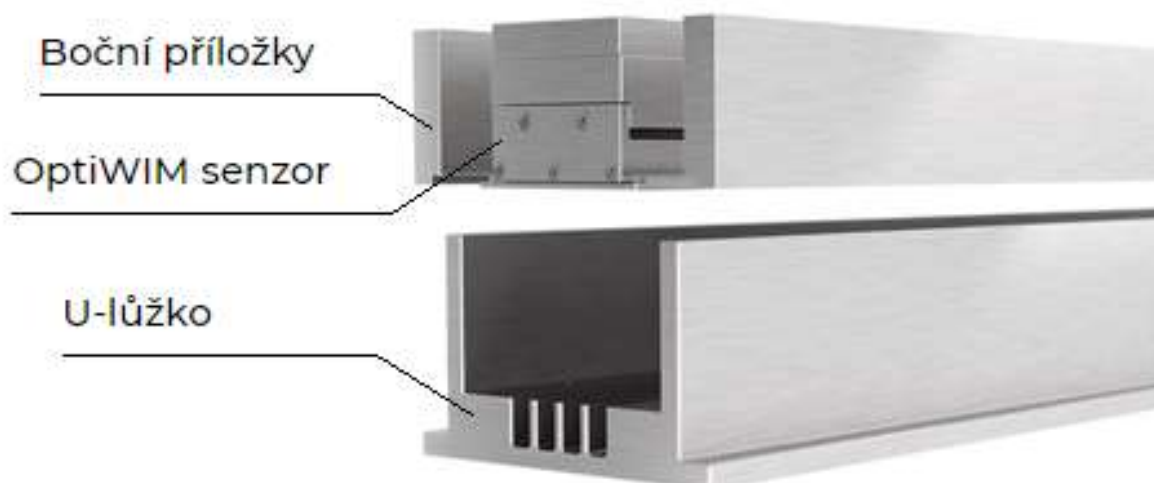
Zdroj: [1]

3.3.1.5 Optické snímače

Optické snímače se skládají z ocelových desek přivařených kolem optického vlákna a jsou založeny na změně optických vlastností vlákna při deformaci. Zatížení působící na ocelový plášť mění vlastnosti optického vlákna, které lze detekovat pomocí světla procházejícího vláknem. Senzory se instalují do úzké drážky ve vozovce, která je vyplněna pružnou gumou. Optické snímače jsou odolné vůči elektromagnetickému rušení a mají malé rozměry, ale jsou citlivé na změnu teplot [16, 19].

Optické snímače jsou nejnovější technologií snímačů pro dynamické vážení, ale ještě nejsou moc rozšířené kvůli problémům s životností a teplotní kompenzací. Mezi jedny z prvních komerčně nabízených optických snímačů můžeme zařadit snímač OptiWIM (obr. 16) od české firmy CROSS Zlín, u kterého je udávána přesnost měření $\pm 3\%$ a životnost 10 let. [16, 21]

Obr. 16 Optický senzor OptiWIM



Zdroj: [21]

3.3.1.6 Porovnání snímačů pro dynamické vážení

Různé technologie snímačů hmotnosti používané pro dynamické vážení mají různé výhody a nevýhody s ohledem na jejich počáteční náklady, požadavky na instalaci a potřebu údržby. Tabulka 1 poskytuje srovnání nejpoužívanějších senzorů podle následujících parametrů:

- přesnost – přesnost změřené celkové hmotnosti vozidla při vysoké rychlosti s 95% spolehlivostí,
- životnost – očekávaná životnost senzorů,
- citlivost – reakce senzorů na různé faktory, včetně nerovnosti vozovky, teploty a rychlosti vozidla [16, 17, 20].

Tab. 1 Srovnání nejpoužívanějších senzorů pro dynamické vážení

	Ohybové desky	Deskové tenzometrické snímače zatížení	Piezopolymerové snímače	Piezokřemíkové snímače
Přesnost	±10 %	±6 %	±15 %	± 10 %
Životnost	6 let	12 let	4 roky	3–5 let
Citlivost	Střední	Střední	Vysoká	Vysoká na nerovnost vozovky

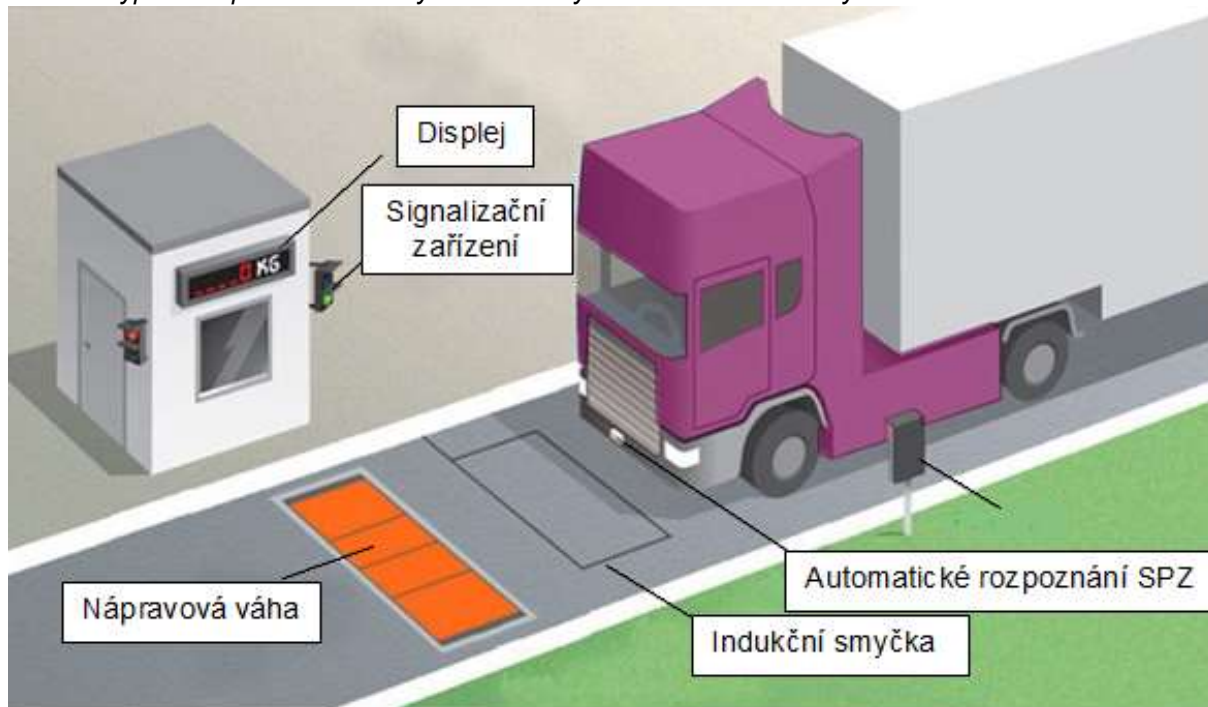
Zdroj: [16], upraveno a přeloženo

3.3.2 Nízkorychlostní dynamické vážení (LS-WIM)

Nízkorychlostní dynamické vážení (obr. 17), též označované LS-WIM (Low Speed Weigh-in-Motion), je dle současné legislativy zařazeno do nízkorychlostního kontrolního vážení (viz kapitola 3.5) a využívá kolové nebo nápravové váhy osazené

převážně deskovými senzory (deskové tenzometrické snímače zatížení nebo ohybové desky), protože jsou přesnější než pásové senzory a v jeden okamžik získají celý otisk pneumatiky (šířka desky je větší, než délka otisku pneumatiky). Nízkorychlostní váhy mohou být přenosné nebo mohou být instalovány v betonových plošinách o délce alespoň 30 m. Software systému pro sběr a zpracování dat analyzuje signál ze snímačů zatížení a s ohledem na přejezdovou rychlost vypočítá zatížení kol nebo náprav. Přejezdová rychlost se obvykle pohybuje v rozmezí 5–15 km/h [2, 19].

Obr. 17 Typické uspořádání nízkorychlostního dynamického vážicího systému



Zdroj: [9], přeloženo

Přesnost nízkorychlostního dynamického vážení se pohybuje v rozmezí ± 3 až ± 5 % a záleží na rychlosti vozidla a kvalitě instalace vážní plošiny. Nízkorychlostní dynamické vážení je časově méně náročnější než statické vážení a používá se pro kontrolní vážení nebo při přepravě zboží a materiálu (překladiště, spediční centra, průmyslové areály ...) [2, 9].

3.3.3 Vysokorychlostní dynamické vážení (HS-WIM)

Vysokorychlostní dynamické vážení, též označované HS-WIM (High Speed Weigh-in-Motion), využívá senzory instalované v jednom nebo více dopravních pružích, které měří zatížení náprav a celkovou hmotnost vozidla při normální průjezdové rychlosti a bez jakéhokoliv ovlivnění jedoucího vozidla. Dle současné legislativy je zařazeno do vysokorychlostního kontrolního vážení (viz kapitola 3.5).

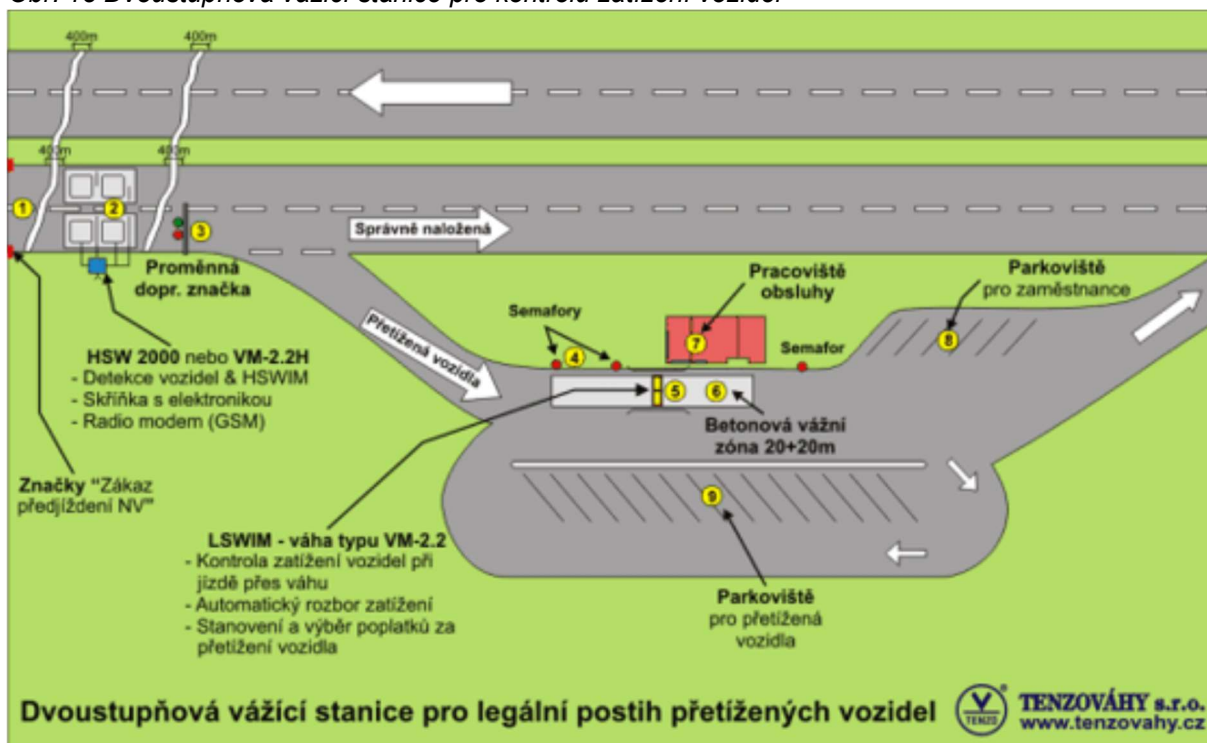
Vysokorychlostní dynamické vážení může využívat každý senzor popsany v kapitole 3.3.1, výběr určitého senzoru závisí na požadované přesnosti, počátečních nákladech, požadavcích na instalaci, údržbu a kalibraci a také na účelu použití daného systému. Typický systém obsahuje dva snímače zatížení a je bezobslužný, a proto může shromažďovat data 24 hodin denně [2, 17, 22].

Přesnost vysokorychlostního dynamického vážení se pohybuje mezi ± 5 až ± 20 % a je ovlivněna dynamikou vozidla, která závisí na geometrii vozovky (hrboly, vyjeté koleje, sklon silnice ...) a na jízdním chování řidiče (zrychlování, zpomalování, změna jízdního pruhu ...). Běžné požadavky na přesnost vzhledem k požadovanému použití jsou:

- pro statistické účely: celková hmotnost vozidla ± 15 % a zatížení nápravy ± 20 % (pro 95 % všech měření),
- pro předvýběr: celková hmotnost vozidla ± 10 % a zatížení nápravy ± 15 % (pro 95 % všech měření),
- pro přímé pokutování a výběr mýtného podle hmotnosti: celková hmotnost vozidla ± 5 % a zatížení nápravy ± 10 % (pro 100 % všech měření) [2, 9].

Při použití vysokorychlostního dynamického vážení pro předvýběr je poté pravděpodobně přetížené vozidlo nutné odklonit na přesnější váhy (statické nebo nízkorychlostní dynamické) a na základě těchto vážení je vozidlo buď zastaveno k projednání přestupku nebo (pokud se nepotvrdí překročení hmotnostních limitů) je vráceno zpět do běžného provozu. Pro tyto účely se mohou používat dvoustupňové vážicí stanice (obr. 18). V České republice byla provozována dvoustupňová vážicí stanice v Praze na Klíčově, ale kvůli ukončení nájmu pozemku musela být uzavřena. Dalším pokusem o výstavbu dvoustupňové vážicí stanice byl prostor hraničního přechodu v Břeclavi, kde byly nejprve uvedeny do provozu nízkorychlostní dynamické váhy, ale z důvodu neshod správce komunikace a společnosti Tenzováhy nebyla tato stanice dokončena [23, 33].

Obr. 18 Dvoustupňová vážicí stanice pro kontrolu zatížení vozidel

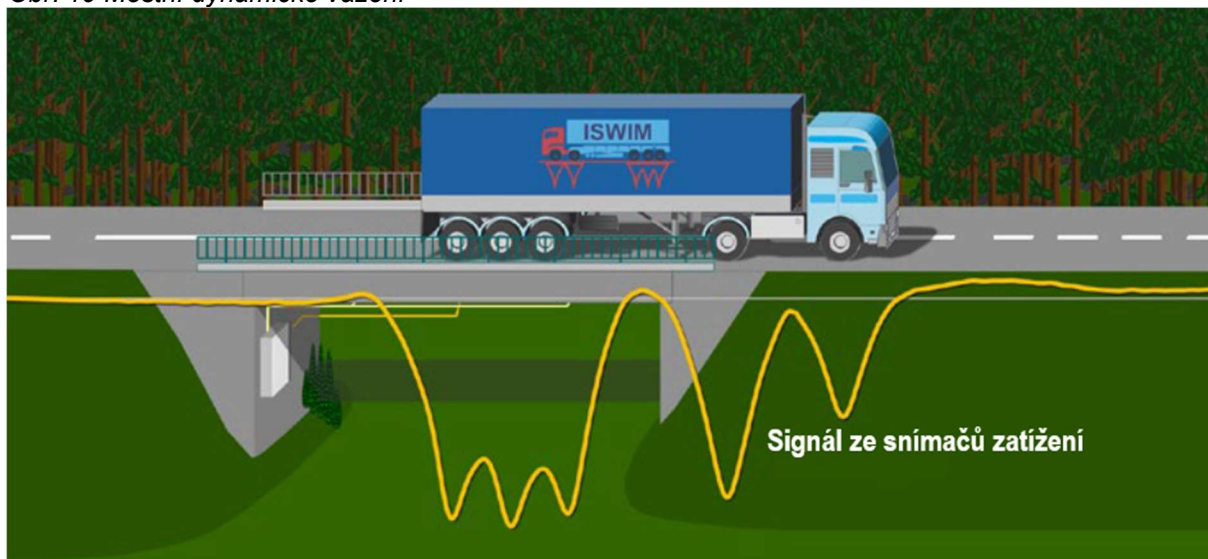


Zdroj: [5]

3.3.4 Mostní dynamické vážení (B-WIM)

Mostní dynamické vážení (obr. 19), též označované B-WIM (Bridge Weigh-in-Motion), je speciální typ vysokorychlostního dynamického vážicího systému, u kterého jsou senzory namontovány na spodní části mostní konstrukce a bylo představeno v roce 1979 ve Spojených státech amerických Fredem Mosesem a Georgem Gobleem. Systém využívá stávající most, který se chová jako velká dynamická váha a pomocí snímačů měří deformaci v důsledku ohybu mostu způsobeného projíždějícími vozidly. Z naměřených deformací je následně vypočítána celková hmotnost vozidla a zatížení náprav. Mezi nejběžněji používané snímače patří tenzometrické a optické senzory, protože jsou spolehlivé a dokážou dobře detekovat jednotlivé nápravy projíždějících vozidel [3, 6, 9].

Obr. 19 Mostní dynamické vážení



Zdroj: [9]

První mostní vážicí dynamické systémy vyžadovaly detektory náprav namontované na vozovce mostu, aby počítaly počet náprav a měřily rozestup náprav a rychlost vozidla. Avšak při instalaci a údržbě těchto detektorů je nutné uzavřít jízdní pruh a detektory mají také krátkou životnost. Postupným vývojem a výzkumem byla navržena koncepce, která dokáže využít signál ze snímačů deformace namontovaných na spodní části mostní konstrukce pro výpočet rychlosti vozidla a rozestupu náprav, a tedy nepotřebuje detektory náprav na vozovce mostu. Tato koncepce zjednodušuje celkový design, instalaci, provoz a údržbu systému [2, 3, 17].

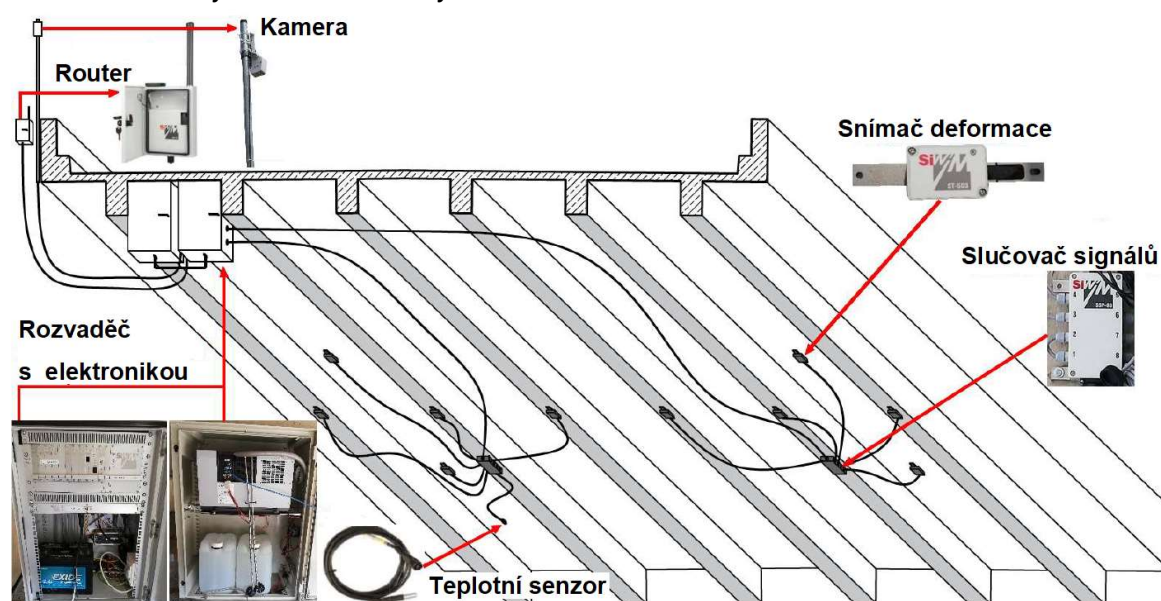
Přesnost mostního dynamického vážení závisí na typu a stavu mostu, zejména na jeho délce a kvalitě povrchu, ale také může být ovlivněna přítomností více nákladních vozidel a dalším provozem na mostě. Systém na mostě s hladkým a rovným povrchem může dosahovat přesnosti celkové hmotnosti vozidla ± 5 až ± 10 % a poskytuje kromě stejných informací o vozidle jako vysokorychlostní dynamické vážení také další informace o chování a stavu mostu: měření deformace, chování mostu při zatížení, způsob přenosu zatížení v celé konstrukci a dynamické zesílení zatížení [9, 18].

Mostní dynamické vážení je odolnější než vysokorychlostní dynamické vážení, protože senzory jsou namontovány pod mostem a nejsou přímo vystaveny provozu. Systém je také přenosný, senzory lze jednoduše vyjmout a znovu nainstalovat na jinou konstrukci. Nevýhodou těchto systémů je potřeba vhodného mostu a vysoké úrovně odborných znalostí pro instalaci a provoz [2, 3, 18].

Mostní dynamické vážení ještě nedosáhlo přesnosti dostačující pro přímé pokutování přetížených vozidel, ale je vhodné pro předvýběr potenciálně přetížených vozidel. A protože senzory jsou namontovány na spodní straně mostu, řidiči přetížených vozidel často ani neví, že zde nějaký vážicí systém je a nebudou se mu úmyslně vyhýbat, jako to dělají například u vysokorychlostního dynamického vážení [2, 6].

Nejpoužívanější komerčně dostupný systém mostního dynamického vážení je SiWIM (obr. 20), který vyrábí a vyvíjí ve Slovinsku společnost CESTEL. Tento systém obsahuje snímače deformace, rozvaděč s veškerou elektronikou, teplotní senzor a volitelné doplňky jako je kamera a router. Instalace systému je snadná, pokud je zajištěn přístup na spodní stranu mostu a instalaci a kalibraci systému lze dokončit za jeden den [6].

Obr. 20 Schéma systému mostního dynamického vážení SiWIM



Zdroj: [35], přeloženo

3.3.5 Více-senzorové dynamické vážení (MS-WIM)

Více-senzorové dynamické vážení (obr. 21), též označované MS-WIM (Multiple-Sensor Weigh-in-Motion), bylo představeno ve Velké Británii a Francii na počátku 90. let 20. století pro zlepšení přesnosti a spolehlivosti vysokorychlostního dynamického vážení. Od vysokorychlostního dynamického vážení se liší pouze použitím více senzorů, které jsou nainstalovány na úseku silnice o délce přibližně 10 až 50 m v rovnoměrných nebo nerovnoměrných rozestupech. Při průjezdu více-senzorovým systémem je každá náprava vozidla změřena několikrát (podle počtu

senzorů) a výsledné zatížení je vypočítáno jednoduchým průměrem z naměřených hodnot zatížení nebo pomocí pokročilejších algoritmů, aby se minimalizoval účinek dynamických sil kol a dosáhlo se přesnějšího odhadu statických sil na nápravu [2, 6, 16].

Obr. 21 Více-senzorové dynamické vážení



Zdroj: [2]

Z technických a ekonomických důvodů obsahují více-senzorové systémy od 8 do 20 pásových senzorů. Z důvodu nižší ceny je možné použít levnější a méně přesná čidla (piezopolymerová a piezokeramická), avšak s nižší přesností než při použití dražších piezokřemíkových senzorů. Přesnost více-senzorového dynamického vážení závisí na kvalitě a počtu senzorů, stavu vozovky a algoritmu zpracování dat a pohybuje se od ± 7 do ± 10 % z celkové hmotnosti. Více-senzorové systémy se používají pro výzkum, statistiku a předvýběr potenciálně přetížených vozidel, ale cílem je dosáhnout přesnosti ± 5 % a používat je pro přímé pokutování [2, 16, 27].

3.4 Úřední ověřování a kalibrace

Úřední ověřování

Váhy používané v obchodním styku nebo pro stanovení sankcí, poplatků, tarifů a daní jsou dle zákona č. 505/1990 Sb., o metrologii, stanovená měřidla a podléhají povinnému úřednímu ověřování. Ověřením se posuzuje, zda má váha požadované metrologické vlastnosti. Doba platnosti úředního ověření je dána vyhláškou

Ministerstva průmyslu a obchodu č. 345/2002 Sb., kterou se stanoví měřidla k povinnému ověřování a měřidla podléhající schválení typu, a pro jednotlivé typy vah je zobrazena v tabulce 2 [12, 24].

Tab. 2 Doba platnosti úředního ověření pro jednotlivé typy vah

Typ váhy	Doba platnosti ověření
Statické mostové váhy	2 roky
Váhy pro nízkorychlostní kontrolní vážení	1 rok
Váhy pro vysokorychlostní kontrolní vážení	1 rok
Kolové nebo nápravové váhy	1 rok

Zdroj: [24], upraveno

Kalibrace

Cílem kalibrace je stanovit průměrnou chybu měření systému, která je rozdíl mezi naměřenou hodnotou a závažím (u statických vah) nebo rozdíl mezi naměřenou hodnotou a hodnotou naměřenou na statické váze (u dynamických vah), a následně úprava vážicího systému tak, aby vážil co nejpřesněji. Kalibrace se provádí po instalaci senzorů před uvedením vážicího systému do provozu. Následující kalibrace se provádějí v závislosti na aplikaci a provozních podmínkách tak, aby se zajistila stálá přesnost systému [9, 25].

Volba metody kalibrace závisí na účelu měření, typu senzorů, aplikace a technických podmínkách. V současnosti je k dispozici několik metod kalibrace vážicích systémů:

- Statická kalibrace (obr. 22) – použitelná pouze pro dynamické váhy s deskovými senzory a pevně zabudované statické váhy. Kalibrace probíhá pomocí závaží a nezohledňuje stav vozovky ani interakce vozidla s vozovkou.
- Kalibrace pomocí etalonového zkušebního zařízení (obr. 23) – používá se pro přenosné kolové a nápravové váhy. Kalibrace probíhá pouze na zařízení v laboratoři.
- Kalibrace použitím síly nebo rázu (simulace zatížení náprav vozidla) – používá se pro vážicí systémy s pásovými senzory.
- Kalibrace pomocí vozidla vybaveného snímači zatížení – vhodná pro více-senzorové dynamické váhy.

- Automatická kalibrace – využívá znalosti, že některé typy vozidel mají téměř shodná zatížení na některé nápravy (přední nápravy nákladních vozidel, osobní automobily) a při dostatečném množství těchto vozidel v dopravním proudu je možné pomocí softwaru provést automatickou kalibraci, která dokáže korigovat odchylky senzorů v důsledku teploty nebo jiných účinků.
- Kalibrace pomocí předem zvážených vozidel – používá se pro všechny typy dynamických vah. Kalibrace probíhá opakovaným přejezdem předem zvážených vozidel na statické váze přes dynamické váhy.
- Kalibrace pomocí vozidel v provozu – zatížení náprav vybraných vozidel z dopravního proudu je zváženo na statické váze a každé vozidlo přejede jednou přes dynamickou váhu a získané hodnoty se použijí pro kalibraci [25–27].

Obr. 22 Statická kalibrace váhy pomocí závaží



Zdroj: <https://www.tenzona.cz/realizace-a-servis/>

Obr. 23 Etalonové zkušební zařízení



Zdroj: [26]

3.5 Kontrolní vážení

Kontrolní vážení probíhá v České republice dle § 38a-d zákona č. 13/1997 Sb., o pozemních komunikacích, a provádí se na dálnicích, silnicích a místních komunikacích u vozidel spadajících do kategorie M2, M3, N1, N2, N3, T, C, O, R, S a jízdních souprav tvořených těmito vozidly. Popis nejvíce hlídaných kategorií vozidel z hlediska dodržování hmotnostních limitů je v tabulce 3 a popis všech kategorií vozidel je v příloze 1 [28–30].

Tab. 3 Popis kategorií vozidel N a O

Kategorie	Popis a maximální povolené hmotnosti jednotlivých kategorií
N	motorová vozidla konstruovaná a vyrobená především pro dopravu nákladů
N1	s maximální hmotností nepřevyšující 3,5 tuny
N2	s maximální hmotností převyšující 3,5 tuny, ale nepřevyšující 12 tun
N3	s maximální hmotností převyšující 12 tun
O	přípojná vozidla konstruovaná a vyrobená pro dopravu nákladů nebo osob i pro ubytování osob
O1	s maximální hmotností nepřevyšující 0,75 tuny
O2	s maximální hmotností převyšující 0,75 tuny, ale nepřevyšující 3,5 tun
O3	s maximální hmotností převyšující 3,5 tuny, ale nepřevyšující 10 tun
O4	s maximální hmotností převyšující 10 tun

Zdroj: [29]

Kontrolní vážení může zahrnovat kontrolu:

- hmotnosti vozidla nebo jízdní soupravy (viz příloha 2),
- poměru hmotností vozidel v jízdní soupravě,
- rozložení hmotnosti na nápravy, skupiny náprav, kola nebo skupiny kol (viz příloha 3),
- rozměrů vozidla nebo jízdní soupravy včetně nákladu – pouze u nízkorychlostního kontrolního vážení,
- dodržení podmínek spojitelnosti vozidel v jízdní soupravu [28].

V případě znečištění vozidla například blátem nebo sněhem se připouští překročení největší povolené hmotnosti vozidla nebo jízdní soupravy maximálně o 3 % [31].

Kontrolní vážení se dělí na dvě kategorie:

- nízkorychlostní kontrolní vážení,
- vysokorychlostní kontrolní vážení [28].

3.5.1 Nízkorychlostní kontrolní vážení

Nízkorychlostní kontrolní vážení vozidla nebo jízdní soupravy (obr. 24) probíhá pomocí vah s relativní chybou měření menší nebo rovnou ± 2 % pro celkovou hmotnost vozidla a ± 4 % pro zatížení na nápravu a dochází při něm k odklonění vozidla z provozu. Nízkorychlostní kontrolní vážení zajišťuje v součinnosti s Policií České republiky nebo s celními úřady na silnicích I. třídy kraj ve svém územním obvodu se

souhlasem vlastníka pozemní komunikace nebo jím pověřená osoba a na ostatních pozemních komunikacích vlastník pozemní komunikace nebo jím pověřená osoba. Policie České republiky nebo celní úřady mohou provádět nízkorychlostní kontrolní vážení také samostatně. [24, 28].

Obr. 24 Nízkorychlostní kontrolní vážení



Zdroj: [5]

Řidič vozidla je povinen na výzvu policisty nebo celníka podrobit vozidlo nebo jízdní soupravu nízkorychlostnímu kontrolnímu vážení, přičemž zajíždka k technickému zařízení na nízkorychlostní kontrolní vážení, včetně cesty zpět, nesmí být delší než 16 kilometrů. Vážení je provedeno vždy za přítomnosti řidiče a dalších členů osádky v kabině vozidla. O výsledku vážení vydá osoba obsluhující zařízení na nízkorychlostní kontrolní vážení vozidel řidiči doklad (viz příloha 4), který zašle též provozovateli vozidla. Náležitosti dokladu o výsledku nízkorychlostního vážení udává vyhláška Ministerstva dopravy a spojů č. 104/1997, kterou se provádí zákon o pozemních komunikacích. V případě nedodržení hodnot nebo podmínek stanovených zákonem č. 361/2000 Sb., o silničním provozu, policista nebo celník zakáže vozidlu pokračovat v jízdě do doby, než bude nedodržení hodnot nebo podmínek stanovených zákonem o silničním provozu odstraněno. Zakázat pokračování v jízdě lze i při odmítnutí řidiče podrobit vozidlo nebo jízdní soupravu nízkorychlostnímu kontrolnímu vážení do doby

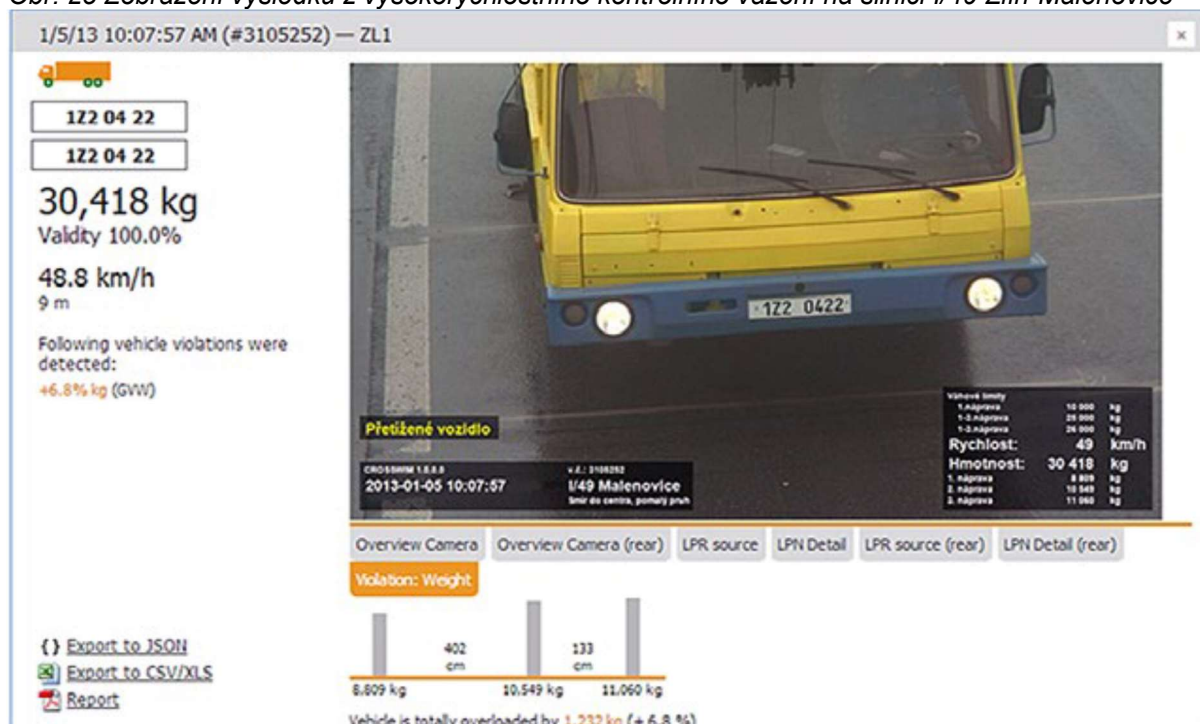
provedení nízkorychlostního kontrolního vážení, nejdéle však 48 hodin. Zakázat pokračování v jízdě nelze, jde-li o přepravu zvířat [28, 32].

V případě překročení hodnot nebo podmínek stanovených zákonem č. 361/2000 Sb., o silničním provozu, se řidič vozidla dopouští přestupku, za který je možné uložit pokutu příkazem na místě do 15 000 Kč nebo v příkazním řízení do 30 000 Kč a provozovatel vozidla se dopouští přestupku, za který je uložena pokuta 5 000 Kč pokud není překročena nejvyšší povolená hmotnost vozidla nebo jízdní soupravy o více než 500 kg nebo 9 000 Kč za každou započatou tunu při překročení největší povolené hmotnosti o více než 500 kg [28].

3.5.2 Vysokorychlostní kontrolní vážení

Vysokorychlostní kontrolní vážení vozidla nebo jízdní soupravy (obr. 25) probíhá pomocí nepřenosných vysokorychlostních vah s relativní chybou měření menší nebo rovnou $\pm 5\%$ pro celkovou hmotnost vozidla a $\pm 11\%$ pro zatížení na nápravu a nedochází při něm k odklonění vozidla z provozu. Vysokorychlostní kontrolní vážení zajišťuje na silnicích I. třídy kraj ve svém územním obvodu se souhlasem vlastníka pozemní komunikace nebo jím pověřená osoba a na ostatních pozemních komunikacích vlastník komunikace nebo jím pověřená osoba. Vysokorychlostní kontrolní vážení probíhá v současnosti například na silnici II/25 v Kolíně-Sendražicích, na silnici I/49 ve Zlíně-Malenovicích, na silnici II/602 ve Velkém Meziříčí a na silnici II/101 v Říčanech u Prahy [24, 28, 34].

Obr. 25 Zobrazení výsledků z vysokorychlostního kontrolního vážení na silnici I/49 Zlín-Malenovice



Zdroj: [9]

Řidič vozidla je povinen podrobit vozidlo nebo jízdní soupravu vysokorychlostnímu kontrolnímu vážení, které je prováděno na trase vozidla nebo jízdní soupravy, bez ohledu na to, zda je řidič obeznámen s místem, kde se vysokorychlostní kontrolní vážení provádí. Zjistí-li se při vysokorychlostním kontrolním vážení nedodržení hodnot nebo podmínek stanovených zákonem č. 361/2000 Sb., o silničním provozu, vystaví vlastník pozemní komunikace, kraj nebo pověřená osoba vážný lístek (viz příloha 5), který doručí obecnímu úřadu obce s rozšířenou působností, v jehož správním obvodu bylo vysokorychlostní kontrolní vážení provedeno. Obecní úřad poté vystaví na základě vážného lístku doklad, který doručí provozovateli vozidla a jeho řidiči spolu s oznámením o zahájení řízení o přestupku. Náležitosti dokladu o výsledku vysokorychlostního vážení udává vyhláška Ministerstva dopravy a spojů č. 104/1997, kterou se provádí zákon o pozemních komunikacích, a v příloze 6 je uveden vzor dokladu o výsledku vysokorychlostního kontrolního vážení. Výše pokut za nedodržení hodnot nebo podmínek stanovených zákonem č. 361/2000 Sb., o silničním provozu, je stejná jako v případě nízkorychlostního kontrolního vážení [28, 32].

4 Zkušební vážení

Zkušební vážení bylo provedeno pomocí statické kolové váhy od firmy Reich (obr. 26) a pro vážení bylo vybráno vozidlo Ford Focus (obr. 27), které má dle technického průkazu celkovou hmotnost 1408 kg (včetně 75 kg řidič). Vážení probíhalo na rovné silnici (podélný i příčný sklon byl menší než 2 %), přičemž bylo vždy váženo jedno kolo a ostatní tři kola byla vypodložena, aby byla ve stejné výšce jako vážené kolo, čímž bylo dosaženo největší přesnosti. Měření bylo provedeno celkem desetkrát pro každé kolo a celková hmotnost vozidla byla získána sečtením jednotlivých hmotností všech čtyř kol. Výsledky měření jsou zobrazeny v tabulce 4.

Obr. 26 Statická kolová váha od firmy Reich



Zdroj: [Vlastní]

Obr. 27 Zkušební vážení vozidla Ford Focus



Zdroj: [Vlastní]

Tab. 4 Výsledky měření hmotnosti vozidla Ford Focus

Číslo měření	Hmotnosti jednotlivých kol				Celková hmotnost	Hmotnost v technickém průkazu	Relativní Chyba	Směrodatná odchylka
	Levé přední	Pravé přední	Levé zadní	Pravé přední				
-	kg	kg	kg	kg	kg	kg	%	kg
1	422	383	323	309	1437	1408	2,06	12,6
2	422	376	329	301	1428		1,42	
3	431	359	316	304	1410		0,14	
4	432	368	325	303	1428		1,42	
5	425	365	324	297	1411		0,21	
6	419	364	325	293	1401		-0,50	
7	413	360	332	303	1408		0	
8	442	370	327	300	1439		2,20	
9	417	357	329	306	1409		0,07	
10	439	375	318	290	1422		0,99	
Průměr	426	368	325	301	1419		0,78	

Poznámka: Relativní chyba = $\left(\frac{\text{Celková hmotnost} - \text{Hmotnost v technickém průkazu}}{\text{Hmotnost v technickém průkazu}} \right) * 100$

$$\text{Směrodatná odchylka} = \sqrt{\frac{1}{\text{Počet měření}} \sum_{i=1}^{\text{Počet měření}} (\text{Celková hmotnost}_i - \text{Průměr})^2}$$

Výsledky zkušebního vážení jsou v porovnání s hmotností v technickém průkazu velmi dobré, maximální chyba vážení je $\pm 2,20\%$ a průměrná chyba vážení je $\pm 0,78\%$.

5 Porovnání jednotlivých metod vážení z hlediska přesnosti a efektivnosti

Existuje několik metod vážení a každá metoda má své výhody a nevýhody z hlediska přesnosti a efektivnosti. Zvolením vhodné metody pro danou aplikaci můžeme zvýšit přesnost a efektivnost vážení.

Statické vážení

Statické vážení je nejpřesnější typ vážení (přesnost mostových vah je typicky menší než $\pm 1\%$, přesnost nápravových a kolových vah je typicky menší než $\pm 2\%$) a naměřené hodnoty jsou používány i jako reference při testování a kalibraci dynamických vážicích systémů, ale je časově nejnáročnější a vyžaduje personál, který odkloní vozidlo z provozu a provede vážení. Vzhledem k dlouhé době potřebné pro statické vážení se v oblasti tvoří fronty, které dočasně uzavírají přístup k vážicím stanicím, a tak se mohou ostatní přetížená vozidla vyhnout vážení. Navíc statické vážení trvá 10 až 30 minut (někdy i více), což postihuje i provozovatele nákladních vozidel, kteří dodržují předpisy. Z těchto důvodů je statické vážení považováno jako málo efektivní ochrana proti přetíženým nákladním vozidlům [2, 6, 35].

Zvýšit efektivnost statického vážení je možné použitím méně přesného vysokorychlostního vážicího systému pro předvýběr vozidel a odklonit pouze potencionálně přetížené vozidlo, které je potom zváženo na přesnějších statických váhách [6].

Nízkorychlostní dynamické vážení (LS-WIM)

Nízkorychlostní dynamické vážení je náročné na personál a přesnost vážení se pohybuje v rozmezí $\pm 3\%$ až $\pm 5\%$. Nízkorychlostní dynamické vážení je efektivnější než statické vážení, protože výrazně zkracuje dobu měření a poskytuje vyšší počet měřených vozidel za hodinu, ale vyžaduje odklonění vozidla z provozu, jelikož maximální rychlost měření je 15 km/h, což není možné splnit v běžném provozu [2, 9, 35].

Zvýšit efektivnost nízkorychlostního dynamického vážení je možné použitím méně přesného vysokorychlostního vážicího systému pro předvýběr vozidel a odklonit pouze potencionálně přetížené vozidlo, které je potom zváženo na přesnějších nízkorychlostních dynamických váhách [6].

**Vysokorychlostní dynamické vážení (HS-WIM), mostní dynamické vážení (B-WIM),
více-senzorové dynamické vážení (MS-WIM)**

Vysokorychlostní, mostní a více-senzorové dynamické vážení měří při normální průjezdové rychlosti bez jakéhokoliv ovlivnění jedoucího vozidla, je bezobslužné a může shromažďovat data 24 hodin denně. Z výše popsaných důvodů jsou tyto systémy nejefektivnější, ale přesnost těchto systémů je horší než u statického i nízkorychlostního dynamického vážení a pohybuje se mezi ± 5 až ± 20 % pro vysokorychlostní dynamické vážení, ± 5 až ± 10 % pro mostní dynamické vážení a ± 7 až ± 10 % pro více-senzorové dynamické vážení [2, 9].

6 Závěr

Hlavním cílem této bakalářské práce bylo vypracovat rešerši týkající se statického a dynamického vážení motorových vozidel. V úvodní kapitole byly popsány především negativní účinky přetížených vozidel jako například zhoršené jízdní vlastnosti vozidla nebo poškození dopravní infrastruktury. Další část práce nejprve seznamuje s pojmy statické vážení, dynamické vážení, obchodní vážení a kontrolní vážení, poté popisuje princip a funkci tenzometrických snímačů zatížení (jediné používané snímače pro statické vážení motorových vozidel) a následně charakterizuje jednotlivé technologie statických vah. Mostové váhy jsou vhodné ke zjišťování celkové hmotnosti vozidel především při obchodních účelech (lomy, pískovny, sběrné dvory ...), zatímco kolové a nápravové váhy jsou vhodné ke zjišťování hmotnosti jednotlivých kol či náprav a používá je i Policie České republiky k nízkorychlostnímu kontrolnímu vážení.

Větší část práce je věnována dynamickému vážení. Nejdříve je popsán princip a funkce senzorů používaných při dynamickém vážení, od nejdéle používaných ohybových desek, přes piezoelektrické snímače, až po nejnovější optické snímače, a následně jsou charakterizovány jednotlivé technologie dynamického vážení. Nízkorychlostní dynamické vážení s přejezdovou rychlostí od 5 do 15 km/h se používá při kontrolním vážení nebo při přepravě zboží a materiálu (překladiště, spediční centra, průmyslové areály ...), vysokorychlostní dynamické vážení probíhá při běžné rychlosti v provozu a používá se pro statistické účely, předvýběr a přímé pokutování. Speciální typy vysokorychlostního dynamického vážení jsou mostní dynamické vážení a více-senzorové dynamické vážení a používají se převážně pro statistické účely.

Dále jsou v práci popsány postupy a metody úředního ověřování a kalibrace vážicích systémů. Následně jsou uvedeny postupy při nízkorychlostním a vysokorychlostním kontrolním vážení, včetně výše pokut a náležitostí vážního lístku.

V další části práce bylo provedeno zkušební vážení vozidla Ford Focus, které má dle technického průkazu celkovou hmotnost 1408 kg (včetně 75 kg řidič), pomocí statické kolové váhy od firmy Reich. Vozidlo najelo a zastavilo jedním kolem na váze, přičemž ostatní tři kola byla vypodložena, aby byla ve stejné výšce jako vážené kolo. Měření bylo provedeno desetkrát pro každé kolo a výsledky vážení jsou v porovnání s hmotností v technickém průkazu velmi dobré, maximální chyba vážení je $\pm 2,20$ % a průměrná chyba vážení je $\pm 0,78$ %.

Na konci práce byly porovnány jednotlivé metody vážení z hlediska přesnosti a efektivnosti. Statické vážení je nejpřesnější typ vážení (přesnost typicky menší než $\pm 2\%$), ale je časově nejnáročnější a vyžaduje personál, který odkloní vozidlo z provozu a provede vážení. Z těchto důvodů je považováno jako málo efektivní ochrana proti přetíženým vozidlům. Nízkorychlostní dynamické vážení je méně přesné než statické (přesnost se pohybuje v rozmezí ± 3 až $\pm 5\%$), ale výrazně zkracuje dobu měření, a proto je efektivnější. Vysokorychlostní dynamické vážení je nejefektivnější, jelikož je bezobslužné a může shromažďovat data 24 hodin denně, ale je nejméně přesné (přesnost se pohybuje mezi ± 5 až $\pm 20\%$).

V budoucnosti se budou objevovat nové typy senzorů pro dynamické vážení (například mikrovlnný senzor, který prochází laboratorními testy [16]) a také se bude zlepšovat přesnost výpočtu zatížení u dynamických vážicích systémů. Dále se bude více prosazovat dynamické vážení pro předvýběr a přímé pokutování. V současné době je v České republice provozováno pouze malé množství vysokorychlostních dynamických vážicích systémů, které jsou stanovená měřidla a mohou se tedy používat pro vysokorychlostní kontrolní vážení, ale v budoucnu se bude jejich počet zvyšovat.

7 Seznam použitých zdrojů

- [1] CHENG, L.; ZHANG, H.; LI, Q. Design of a Capacitive Flexible Weighing Sensor for Vehicle WIM System. *Sensors*. 2007, roč. 7, č. 7, s. 1530-1544. ISSN 1424-8220
- [2] JACOB, B.; LA BEAUMELLE, V.F. Improving truck safety: Potential of weight-in-motion technology. *IATSS Research*. 2010, roč. 34, č. 1, s. 9-15. ISSN 0386-1112
- [3] YU, Y.; CAI, C.; DENG, L. State-of-the-art-review on bridge weigh-in-motion technology. *Advances in Astructural Engineering*. 2016, roč. 19, č. 9, s. 1514-1530. ISSN 1369-4332
- [4] ČERNOHORSKÝ, J. Současná průmyslová vážicí technika. *MM Průmyslové spektrum*. 2008, roč. 12, č. 6, s. 18-19. ISSN 1212-2572
- [5] TENZOVÁHY, s.r.o. [online]. © 2021 [cit. 2021-01-10]. Dostupné z: <https://www.tenzovahy.cz/>
- [6] RICHARDSON, J.; JONES, S.; BROWN, A.; O'BRIEN, E.J.; HAJIALIZADEH, D. On the use of bridge weigh-in-motion for overweight truck enforcement. *International Journal of Heavy Vehicle Systems*. 2014, roč. 21, č. 2, s. 83-104. ISSN 1744-232X
- [7] Silniční váhy: Pod zemí i nad ní. *SYSTÉMY LOGISTIKY* [online]. Praha: ATOZ Logistics, 2011 [cit. 2021-01-30]. Dostupné z: <https://www.systemylogistiky.cz/2011/01/13/silnicni-vahy-pod-zemi-i-nad-ni/>
- [8] Silniční váhy. *Calibra CZ* [online]. Praha: Calibra CZ [cit. 2021-02-02]. Dostupné z: <https://www.calibracz.cz/155-silnicni-vahy.html>
- [9] VAN LOO, H.; ŽNIDARIČ, A. *Guide for Users of Weight-In-Motion: An Introduction to Weigh-in-Motion* [online]. ISWIM, 2019 [cit. 2021-02-03]. Dostupné z: http://corner-stone-int.com/wp-content/uploads/2016/04/ISWIM_Guide-for-users_web_pages_96-dpi.pdf
- [10] Centrum služeb pro silniční dopravu. *Kontrolní vážení* [online]. 2019 [cit. 2021-02-03]. Dostupné z: https://www.cspds.cz/storage/files/Kontrolni_vazeni.pdf
- [11] VOJÁČEK, A. *Odporové tenzometry - princip, provedení, použití, historie* [online]. 2017 [cit. 2021-02-21]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/foliove-odporove-tenzometry-princip-provedeni-pouziti-historie.html>
- [12] HRONEK, J.; ŠTASTNÝ, D. *Praktická příručka pro použití elektronických vah v průmyslových aplikacích* [online]. Praha: Unie výrobců vah České republiky, 2018 [cit. 2021-02-21]. Dostupné z: <https://www.unmz.cz/files/metrologie/v%C3%BDstupy%20z%20PRM/uvv-vii-20-18-ind-web.pdf>
- [13] TRENT, D. *Strain gauge load cell basics* [online]. ©2021 [cit. 2021-02-21]. Dostupné z: <https://www.800loadcel.com/load-cell-and-strain-gauge-basics.html>

- [14] EE Publishers. *Troubleshooting load cell applications* [online]. 2016 [cit. 2021-02-21]. Dostupné z: <https://www.ee.co.za/article/troubleshooting-load-cell-applications.html>
- [15] Mettler-Toledo AG. *Truck scale buying guide* [online]. Switzerland: Mettler-Toledo AG, © 2013 [cit. 2021-02-21]. Dostupné z: https://www.lacrossescale.com/wp-content/uploads/Buying_Guide_Truck_Scales_EN_v10_low.pdf
- [16] DONTU, A.I.; BARSANESCU, P.D.; ANDRUSCA, L.; DANILA, N.A. Weigh-in-motion sensors and traffic monitoring systems - State of the art and development trends. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* [online]. 2020, roč. 997 [cit. 2021-02-25]. ISSN 1757-899X. Dostupné z: doi: 10.1088/1757-899X/997/1/012113
- [17] AL-QADI, I.; WANG, H.; OUYANG, Y.; GRIMMELSMAN, K.; PURDY, J. *LTBP Program's Literature Review on Weigh-in-Motion Systems* [online]. 2016 [cit. 2021-03-02]. Dostupné z: <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/structures/ltpb/16024/16024.pdf>
- [18] U.S. Department of Transportation. *Weigh-in-Motion Pocket Guide* [online]. 2018 [cit. 2021-03-02]. Dostupné z: [https://www.fhwa.dot.gov/policyinformation/knowledgecenter/wim_guide/wim_guidebook_part1_070918_\(508_compliant\).pdf](https://www.fhwa.dot.gov/policyinformation/knowledgecenter/wim_guide/wim_guidebook_part1_070918_(508_compliant).pdf)
- [19] AGAPE, I.; DONTU, A.I.; MAFTEI, A.; GAIGINSCHI, L.; BARSANESCU, P.D. Actual types of sensors used for weighing in motion. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* [online]. 2019, roč. 572 [cit. 2021-03-04]. ISSN 1757-899X. Dostupné z: doi:10.1088/1757-899X/572/1/012102
- [20] ZHANG, L.; HAAS, C.; TIGHE, S.L. *Evaluating Weigh-In-Motion Sensing Technology for Traffic Data Collection* [online]. 2007 [cit. 2021-03-04]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/228452225_Evaluating_Weigh-In-Motion_Sensing_Technology_for_Traffic_Data_Collection
- [21] Nejpresnější vážení vozidel za jízdy #Optiwim. *CROSS Zlín* [online]. Zlín, © 2021 [cit. 2021-03-09]. Dostupné z: <https://www.cross-traffic.com/cz/optiwim/>
- [22] BURNOS, P.; GAJDA, J. Thermal Property Analysis of Axle Load Sensors for Weighing Vehicles in Weigh-in-Motion System. *Sensors*. 2016, roč. 16, č. 12, s. 2143. ISSN 1424-8220
- [23] VYSLOUŽIL, J. *Vážení nákladních vozidel na krajské úrovni po novele zákona o pozemních komunikacích platné od 1.1.2010* [online]. [cit. 2021-03-18]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/8043697-Vazeni-nakladnich-vozidel-na-krajske-urovni-po-novele-zakona-o-pozemnich-komunikacich-platne-od-1-1-2010.html>
- [24] Vyhláška č. 345 ze dne 11. července 2002, kterou se stanoví měřidla k povinnému ověřování a měřidla podléhající schválení typu. In: *Sbírka zákonů České republiky*. 2002. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2002-345>
- [25] GAJDA, J.; SROKA, R.; ZEGLEN, T. ACCURACY ANALYSIS OF WIM SYSTEMS CALIBRATED USING PRE-WEIGHED VEHICLES METHOD.

Metrology and Measurement Systems. 2007, roč. 14, č. 4, s. 517-527. ISSN 0860-8229

- [26] VYSLOUŽIL, J. *Nejistoty měření při kontrole hmotnosti silničních vozidel pomocí přenosných vah* [online]. Martinice, 2005 [cit. 2021-03-30]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/9825928-Stanovena-meridla-pro-vazeni-silnicnich-vozidel.html>
- [27] HUHTALA, M.; HALONEN, P.; DOLCEMASCOLO, V.; O'BRIEN, E.; STANCZYK, D. *Weigh-in-Motion of Road Vehicles for Europe (WAVE): Calibration of WIM systems* [online]. Technical Research Centre of Finland, 2000 [cit. 2021-03-30]. Dostupné z: http://wim.zag.si/wave/download/wp32_final.pdf
- [28] Zákon č. 13 ze dne 23. ledna 1997 o pozemních komunikacích. In: *Sbírka zákonů České republiky*. 1997. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1997-13>
- [29] Vyhláška č. 341 ze dne 19. prosince 2014 o schvalování technické způsobilosti a o technických podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích. In: *Sbírka zákonů České republiky*. 2014. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2014-341>
- [30] VYSLOUŽIL, J. *Praktické zkušenosti s kontrolním vážením vozidel po novele zákona 19/1977 Sb. a prováděcí vyhlášce 288/2012 Sb.* [online]. [cit. 2021-03-31]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/6164409-Prakticke-zkusenosti-s-kontrolnim-vazenim-vozidel-po-novele-zakona-13-1997-sb-a-provadedci-vyhlasce-288-2012-sb.html>
- [31] Vyhláška č. 209 ze dne 20. září 2018 o hmotnostech, rozměrech a spojitelnosti vozidel. In: *Sbírka zákonů České republiky*. 2018. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2018-209>
- [32] Vyhláška č. 104 ze dne 23. dubna 1997, kterou se provádí zákon o pozemních komunikacích. In: *Sbírka zákonů České republiky*. 1997. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1997-104>
- [33] Kontrola přetěžování nákladních vozidel v praxi. *Hlásí se policie*. 2009. č. 3, s. 16. ISSN 1211-8826. Dostupné z: https://www.tenzovahy.cz/media/cache/file/aa/2009-07_kontrola_pretezovani_nv_v_praxi.pdf
- [34] Vysokorychlostní vážení. *Transit.tir.cz – Safe transit through the Czech Republic for foreign drivers* [online]. 2020 [cit. 2021-04-09]. Dostupné z: <https://transit.tir.cz/2020/04/17/vysokorychlostni-vazeni/>
- [35] STAWSKA, S.; CHMIELEWSKI, J.; BACHARZ, M.; BACHARZ, K.; NOWAK, A. Comparative Accuracy Analysis of Truck Weight Measurement Techniques. *Applied Sciences*. 2021, roč. 11, č. 2, s. 745. ISSN 2076-3417

8 Seznam obrázků

Obr. 1 Plný Wheatstoneův můstek.....	6
Obr. 2 Tlakový snímač zatížení.....	7
Obr. 3 Smykový snímač zatížení	7
Obr. 4 Úrovňová mostová váha	7
Obr. 5 Nadúrovňová mostová váha	7
Obr. 6 Nápravová váha	9
Obr. 7 Přenosné kolové váhy.....	9
Obr. 8 Otisk pneumatiky na deskových a pásových senzorech zatížení.....	12
Obr. 9 Ohybové desky uspořádané střídavě.....	13
Obr. 10 Ohybové desky uspořádané vedle sebe	13
Obr. 11 Deskový tenzometrický snímač zatížení	14
Obr. 12 Piezokeramický snímač uložený ve vozovce	15
Obr. 13 Piezopolymerový snímač uložený ve vozovce	16
Obr. 14 Piezokřemíkový senzor uložený ve vozovce.....	16
Obr. 15 Princip kapacitního snímače	17
Obr. 16 Optický senzor OptiWIM	18
Obr. 17 Typické uspořádání nízkorychlostního dynamického vážicího systému..	19
Obr. 18 Dvoustupňová vážicí stanice pro kontrolu zatížení vozidel	21
Obr. 19 Mostní dynamické vážení.....	22
Obr. 20 Schéma systému mostního dynamického vážení SiWIM.....	23
Obr. 21 Více-senzorové dynamické vážení.....	24
Obr. 22 Statická kalibrace váhy pomocí závaží	26
Obr. 23 Etalonové zkušební zařízení	26
Obr. 24 Nízkorychlostní kontrolní vážení	28
Obr. 25 Zobrazení výsledků z vysokorychlostního kontrolního vážení na silnici I/49 Zlín-Malenovice.....	30
Obr. 26 Statická kolová váha od firmy Reich	31
Obr. 27 Zkušební vážení vozidla Ford Focus.....	32

9 Seznam tabulek

Tab. 1 Srovnání nejpoužívanějších senzorů pro dynamické vážení	18
Tab. 2 Doba platnosti úředního ověření pro jednotlivé typy vah	25
Tab. 3 Popis kategorií vozidel N a O.....	27
Tab. 4 Výsledky měření hmotnosti vozidla Ford Focus.....	32
Tab. 5 Kategorie silničních a zvláštních vozidel	I
Tab. 6 Největší povolené hmotnosti silničních vozidel	I
Tab. 7 Největší povolené hmotnosti na nápravu silničních vozidel	II

10 Seznam příloh

11 Příloha 1	I
12 Příloha 2.....	I
13 Příloha 3.....	II
14 Příloha 4.....	III
15 Příloha 5.....	IV
16 Příloha 6.....	VI

11 Příloha 1

Tab. 5 Kategorie silničních a zvláštních vozidel

Kategorie	Popis a maximální povolené hmotnosti jednotlivých kategorií
L	motorová vozidla zpravidla s méně než čtyřmi koly
M	motorová vozidla konstruovaná a vyrobená především pro dopravu osob a jejich zavazadel
M1	s nejvýše osmi místy k sezení kromě místa k sezení řidiče; bez prostoru pro stojící cestující
M2	s více než osmi místy k sezení kromě místa k sezení řidiče a s maximální hmotností nepřevyšující 5 tun; mohou mít i prostor pro stojící cestující
M3	s více než osmi místy k sezení kromě místa k sezení řidiče a s maximální hmotností převyšující 5 tun; mohou mít prostor pro stojící cestující
N	motorová vozidla konstruovaná a vyrobená především pro dopravu nákladů
N1	s maximální hmotností nepřevyšující 3,5 tuny
N2	s maximální hmotností převyšující 3,5 tuny, ale nepřevyšující 12 tun
N3	s maximální hmotností převyšující 12 tun
O	přípojná vozidla konstruovaná a vyrobená pro dopravu nákladů nebo osob i pro ubytování osob
O1	s maximální hmotností nepřevyšující 0,75 tuny
O2	s maximální hmotností převyšující 0,75 tuny, ale nepřevyšující 3,5 tun
O3	s maximální hmotností převyšující 3,5 tuny, ale nepřevyšující 10 tun
O4	s maximální hmotností převyšující 10 tun
T	kolové traktory
C	pásové traktory
R	zemědělská nebo lesnická přípojná vozidla určená hlavně k nesení nákladu a konstruovaná k tažení traktorem pro zemědělské nebo lesnické účely
S	výměnný tažený stroj určený pro práci v zemědělství nebo lesnictví konstruovaný k tažení traktorem
Z	ostatní vozidla, která nelze zařadit do žádné z výše uvedených kategorií

Zdroj: [29]

12 Příloha 2

Tab. 6 Největší povolené hmotnosti silničních vozidel

Hodnoty hmotností vozidel a jízdních souprav včetně nákladu, jejichž překročení ohrožuje bezpečnost provozu na pozemních komunikacích nebo stav pozemní komunikace, činí		
a)	u motorových vozidel se dvěma nápravami	18,00 t
b)	u motorových vozidel se dvěma nápravami, jedná-li se o vozidlo kategorie M3	19,50 t
c)	u motorových vozidel se třemi nápravami	25,00 t
d)	u motorových vozidel se třemi nápravami, je-li hnací náprava vybavena dvojitou montáží pneumatik a vzduchovým pérováním nebo pérováním uznaným za rovnocenné nebo pokud je každá hnací náprava opatřena dvojitou montáží pneumatik a maximální zatížení na nápravu nepřekročí 9,50 t	26,00 t
e)	u motorových vozidel se čtyřmi a více nápravami	32,00 t

f)	u přívěsů se dvěma nápravami	18,00 t
g)	u přívěsů se třemi nápravami	24,00 t
h)	u přívěsů se čtyřmi a více nápravami	32,00 t
i)	u dvoučlankových kloubových autobusů	28,00 t
j)	u tří a vícečlankových kloubových autobusů	32,00 t
k)	u jízdních souprav	48,00 t
l)	u pásových vozidel	18,00 t

Zdroj: [31]

13 Příloha 3

Tab. 7 Největší povolené hmotnosti na nápravu silničních vozidel

Hodnoty hmotností na nápravu, skupinu náprav vozidla a jízdních souprav včetně nákladu, jejichž překročení ohrožuje bezpečnost provozu na pozemních komunikacích nebo stav pozemní komunikace, činí		
a)	u jednotlivé nápravy	10,00 t
b)	u jednotlivé hnací nápravy	11,50 t
c)	u dvojnápravy motorových vozidel součet zatížení obou náprav dvojnápravy při jejím dílčím rozvoru	
	1. méně než 1,0 m	11,50 t
	2. od 1,0 m a méně než 1,3 m	16,00 t
	3. od 1,3 m a méně než 1,8 m	18,00 t
	4. od 1,3 m a méně než 1,8 m, je-li hnací náprava vybavena dvojitou montáží pneumatik a vzduchovým pérováním nebo pérováním uznaným za rovnocenné nebo pokud je každá hnací náprava opatřena dvojitou montáží pneumatik a maximální zatížení na nápravu nepřekročí 9,50 t	19,00 t
d)	u dvojnápravy přípojných vozidel součet zatížení obou náprav dvojnápravy při jejím dílčím rozvoru	
	1. méně než 1,0 m	11,00 t
	2. od 1,0 m a méně než 1,3 m	16,00 t
	3. od 1,3 m a méně než 1,8 m	18,00 t
e)	u trojnápravy motorových vozidel součet zatížení všech náprav trojnápravy	27,00 t
f)	u jednotlivé nepoháněné nápravy v trojnápravě motorových vozidel	9,00 t
g)	u trojnápravy přípojných vozidel součet zatížení všech náprav trojnápravy při jejím dílčím rozvoru	
	1. do 1,3 m včetně	21,00 t
	2. nad 1,3 m do 1,4 m včetně	24,00 t
	3. nad 1,4 m do 1,8 m včetně	27,00 t

Zdroj: [31]

15 Příloha 5

Vzor vážního lístku vysokorychlostního kontrolního vážení

Vážní lístek z vysokorychlostního kontrolního vážení

Dne v hod. bylo provedeno na (kategorie a číslo pozemní komunikace) v km vysokorychlostní kontrolní vážení na váze pro vysokorychlostní kontrolní vážení výrobce/typové označení výrobního čísla ověření tohoto stanoveného měřidla je platné do.....

Byly zjištěny tyto údaje:

Státní poznávací značka vozidla nebo tažného vozidla soupravy:

Tovární značka a typ vozidla Rozlišovací značka státu:

Státní poznávací značka přípojného vozidla:

Tovární značka a typ vozidla Rozlišovací značka státu:

Okamžitá hmotnost připadající na nápravu	Největší povolená hmotnost na nápravu	Překročeno o tj. ... %
---------------------------------------------	---------------------------------------	------------------------------

Č. 1 kg	..... kg	..... kg
Č. 2 kg	..... kg	..... kg.....
Č. 3 kg	..... kg	..... kg
Č. 4 kg	..... kg	..... kg
Č. 5 kg	..... kg	..... kg
Č. 6 kg	..... kg	..... kg

Okamžitá hmotnost připadající na sk. náprav	Největší povolená hmotnost na sk.náprav	Překročeno o tj. ... %
------------------------------------------------	-----------------------------------------	------------------------------

Č. 1 kg	..... kg	..... kg
Č. 2 kg	..... kg	..... kg
Č. 3 kg	..... kg	..... kg
Č. 4 kg	..... kg	..... kg
Č. 5 kg	..... kg	..... kg
Č. 6 kg	..... kg	..... kg

Okamžitá hmotnost vozidla	Největší povolená hmotnost vozidla	Překročeno o tj. ...%
------------------------------	------------------------------------	-----------------------------

..... kg kg kg
----------	----------	----------------

Fotodokumentace z místa provedení vysokorychlostního kontrolního vážení:

Fotografie vozidla nebo tažného vozidla soupravy a jeho státní poznávací značky:

Fotografie přípojného vozidla a jeho státní poznávací značky:

Vysokorychlostní kontrolní vážení provedl (označení vlastníka pozemní komunikace nebo jím pověřené osoby nebo kraje, zajišťuje-li vážení, nebo jím pověřené osoby):

Osoba vydávající tento vážní lístek (jméno popřípadě jména, příjmení, a podpis oprávněné osoby vlastníka pozemní komunikace nebo jím pověřené osoby nebo kraje, zajišťuje-li vážení, nebo jím pověřené osoby):

..... Podpis:

Vážní lístek o výsledku vysokorychlostního kontrolního vážení vyhotoven dne v hod.

Zdroj: [32]

16 Příloha 6

Vzor dokladu vysokorychlostního kontrolního vážení

Doklad o výsledku vysokorychlostního kontrolního vážení

Dne v hod. bylo provedeno na (kategorie pozemní komunikace) v km
..... vysokorychlostní kontrolní vážení na váze pro vysokorychlostní kontrolní vážení výrobce/typové označení
..... výrobního čísla ověření tohoto stanoveného měřidla je platné do.....

Byly zjištěny tyto údaje:

Státní poznávací značka vozidla nebo tažného vozidla soupravy:

Tovární značka a typ vozidla.....Rozlišovací značka státu:

Státní poznávací značka přípojného vozidla:

Tovární značka a typ vozidla.....Rozlišovací značka státu:

Provozovatel vozidla:

Název/jméno, popřípadě jména a příjmení²:.....

Sídlo/místo pobytu^{1,2}:

IČO/rodné číslo nebo datum narození²:.....

Okamžitá hmotnost	Největší povolená hmotnost na nápravu	Překročeno o	tj....% připadající na nápravu
Č. 1 kg	..... kg	..... kg	.....
Č. 2 kg	..... kg	..... kg	.....
Č. 3 kg	..... kg	..... kg	.....
Č. 4 kg	..... kg	..... kg	.....
Č. 5 kg	..... kg	..... kg	.....
Č. 6 kg	..... kg	..... kg	.....

Okamžitá hmotnost	Největší povolená hmotnost na sk.náprav	Překročeno o	tj....% připadající na sk. náprav
Č. 1 kg	..... kg	..... kg	.....
Č. 2 kg	..... kg	..... kg	.....
Č. 3 kg	..... kg	..... kg	.....
Č. 4 kg	..... kg	..... kg	.....
Č. 5 kg	..... kg	..... kg	.....
Č. 6 kg	..... kg	..... kg	.....

Okamžitá hmotnost	Největší povolená hmotnost vozidla	Překročeno o	tj.....% vozidla
..... kg	..... kg	..... kg	.....

Fotodokumentace z místa provedení vysokorychlostního kontrolního vážení:

Fotografie vozidla nebo tažného vozidla soupravy a jeho státní poznávací značky:.....

Fotografie přípojného vozidla a jeho státní poznávací značky:.....

Vysokorychlostní kontrolní vážení provedl (označení vlastníka pozemní komunikace nebo jím pověřené osoby nebo kraje, zajišťuje-li vážení, nebo jím pověřené osoby) :

Osoba vydávající tento doklad (jméno, popřípadě jména, příjmení a podpis oprávněné osoby vlastníka pozemní komunikace nebo jím pověřené osoby nebo kraje, zajišťuje-li vážení, nebo jím pověřené osoby):
..... Podpis:.....

Doklad o výsledku vysokorychlostního kontrolního vážení vyhotoven dne v hod.

Poznámky:

1) místem pobytu se rozumí adresa místa trvalého nebo jiného pobytu anebo bydliště v cizině

2) vyplní se odpovídající údaje s ohledem na to, zda jde o právnickou osobu nebo fyzickou osobu podnikatele nebo jde-li o fyzickou osobu“.

Zdroj: [32]