

VYUŽITÍ VIDEOZÁZNAMU PRO MĚŘENÍ RYCHLOSTI

1. ÚVOD

Ve znalecké praxi se občas vyskytuje potřeba měřit rychlost vozidel bez možnosti instalovat na vozidla měřící zařízení. Nabízí se možnost měřit rychlost pomocí radarového nebo laserového zařízení, například zařízením RAMER 7M nebo Traffi Patrol, které používá policie při silničních kontrolách.

Tato zařízení jsou však poměrně nákladná a je téměř vyloučeno, aby si je znalec pro ojedinělý případ použití kupoval. Cena těchto zařízení se pohybuje řádově kolem 500 000 až 800 000 Kč. Zapůjčení od policie je sice možné, avšak značně komplikované, mimo jiné proto, že je obtížné hledat termíny pro zapůjčení, které nekolidují s termíny, kdy je využívá policie.

Radarové zařízení nemá v základní výbavě grafický záznam naměřených hodnot, ale pouze hlasový výstup informuje o naměřené rychlosti. Nedostatkem je, že může dojít k chybě při pořizování písemného záznamu. Naměřené rychlosti také nejsou zpětně ověřitelné. Rovněž laserové zařízení se prodává bez záznamového zařízení a je nutno řešit stejný problém se záznamem a zpětnou kontrolou. K laserovému přístroji lze jako doplněk pořídit zařízení, které zaznamenává na médium nejen naměřenou rychlost, ale také fotografickou dokumentaci, ze které lze odečíst čas pořízení záznamu a údaje o vozidle. Pořizovací cena laserového přístroje se záznamovým zařízením je však značně vysoká a jeho použití ve znalecké praxi je tím nedostupné. Cena zařízení TraffiPatrol V je cca 800 000 Kč, cena ručního zařízení TraffiPatrol asi 150 000 Kč.

Přesnost radarového a laserového zařízení je poměrně vysoká, výrobci udávají maximální chybu ± 3 km/h při rychlosti do 100 km/h a ± 3 % při vyšší rychlosti měřených vozidel [7], [1].

I když v současné době se na trhu objevuje radarové zařízení s hlasovým nebo optickým výstupem a jeho cena stále prudce klesá, nelze v nejbližších letech očekávat, že poklesne natolik, aby toto zařízení bylo znalcům dostupné pro příležitostné použití.

Snahou proto bylo vytvořit postupy měření, pro které nebude potřebné žádné speciální nákladné zařízení a přesnost měření bude srovnatelná s přesností radarového zařízení. Dalším požadavkem bylo, aby byla zajištěna přezkoumatelnost výsledků.

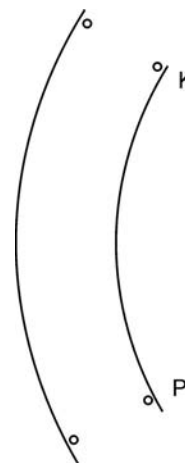
1.1 Měření rychlosti

Jedním z možných způsobů měření rychlosti se jeví metrická analýza videozáznamu. Pro měření je dostačující běžná videokamera se stativem, pro zaměření místa pásmo nebo měřičské kolečko, značky pro označení orientačních bodů na vozovce, počítač s videostřížnou a programem pro analýzu videozáznamu.

Byly rozpracovány dvě metody měření rychlosti. První metoda je založena na měření doby pohybu vozidla po známé dráze, druhá metoda je založena na měření dráhy, kterou vozidlo ujede za známou dobu. Ze změřené dráhy, resp. ze změřeného času lze vypočítat rychlost při znalosti času resp. při znalosti dráhy.

1.1.1 Metoda měření doby pohybu vozidla po známé dráze

Metoda měření doby pohybu vozidla po předem určené dráze je založena na odpočítávání počtu snímků, o které se videozáznam posune při pohybu vozidla mezi dvěma známými polohami. Protože je známá frekvence snímání kamery, je možno spočítat čas pohybu vynásobením počtu snímků dobou připadající na jeden snímek a z toho vypočítat průměrnou rychlost.



Obr. 1 Příklad umístění značek na vozovce

Před měřením se na vozovce umístí značky, jejichž poloha je známá (viz obr. 1 a 2). Tyto značky vymezují délku trajektorie L_{ab} , kterou vozidlo mezi těmito značkami ujede. Kamera je umístěna mimo vozovku tak, aby splývala co nejvíce s pozadím okolí vozovky a aby tak svou přítomností nenarušila počinání řidičů. Značky, které jsou umístěny na vozovce se po prořazení krátkého záznamu z vozovky odstraní, aby nenarušovaly průběh měření. Umístění videokamery musí být dostatečně pevné, aby po celou dobu snímání nedošlo k jejímu pohybu.

Pořízený videozáznam je konvertován do digitálního souboru AVI, který je možno dále zpracovávat ve videostřížně. Rozlišení souboru AVI by mělo být co největší; minimální rozlišení je nutno nastavit na 720×576 (PAL – v tomto rozlišení je obvykle kamerou záznam pořízen). Zpravidla se vypustí úsek záznamu, na kterém se



Obr. 2 Značky na vozovce a vozidlo v počáteční poloze

nevyskytují žádná vozidla a doplní se identifikační údaje o místu a době měření. Vhodné je uvést na počátku videozáznamu i údaj o předpokládané délce trajektorie pohybu vozidla. Pokud se nebude jednat o přímý úsek vozovky, bude délka rozdílná pro směr v levém a v pravém jízdním pruhu.

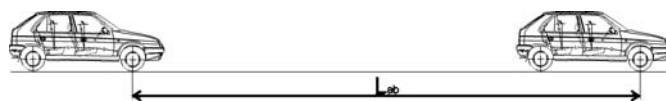
K vyhodnocení videozáznamu byl vytvořen speciální počítačový program, který softwarově vykreslí spojnice značek, takže je umožněno poměrně přesné odečtení polohy vozidla na počátku a na konci dráhy L_{ab} i po odstranění značek z vozovky. Záznam se posune tak, aby se kola vozidla dotýkala spojnice počátečních bodů, resp. aby byla co nejbližší tomuto počátku (obr. 2).

Video se programově posouvá vpřed po jednom snímku až se vozidlo posune z počáteční do konečné polohy a současně se sleduje počet snímků.

V okamžiku, kdy se kola vozidla přiblíží co nejvíce značce konce dráhy, je odečten počet snímků a programem vypočtena doba pohybu a průměrná rychlost.



Obr. 3 Vozidlo v konečné poloze



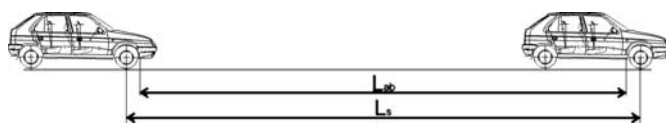
Obr. 4 Délka dráhy mezi počáteční a konečnou polohou

Při použití monitoru s malým rozlišením, nebo při nevhodném ustanovení videokamery, může docházet k nesprávnému odečtu polohy vozidla, nejčastěji na vzdálenější straně.

Výsledkem měření je počet snímků n videozáznamu, o které se záznam posunul při pohybu vozidla z počáteční do konečné polohy na dráze L_{ab} . Protože je známa frekvence snímání kamery f , lze vypočítat rychlost ze vztahu

$$v = \frac{L_{ab} \cdot f}{n} \quad (1)$$

Výsledek měření je zatížen chybou, která plyne z nepřesného určení počáteční a konečné polohy, jak je znázorněno na obr. 5. Příčinou chyby je nízká frekvence snímání videokamery, takže vozidlo se téměř nikdy nenachází v okamžiku odečtu polohy přesně na značce počátku nebo konce polohy. Při frekvenci 25 snímků za sekundu je doba snímání mezi dvěma snímky 0,04 s. Za tuto dobu ujede vozidlo jedoucí rychlostí například 90 km/h dráhu 1 m. V nejnepríznivějším případě bude vozidlo na počátku měření 0,5 m před počáteční polohou a na konci měření 0,5 m za konečnou polohou.



Obr. 5 Skutečná L_s a předpokládaná L_{ab} délka pohybu

Skutečná rychlost odpovídá dráze L_s a skutečný počet snímků může být $(n \pm 1)$. Při nevhodných podmínkách měření může být chyba i větší.

Střední chyba se vypočítá ze vztahu (1) podle [9]:

$$m_y = \sqrt{\sum \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 \cdot m_i^2} \quad (2)$$

kde derivace funkce pro výpočet rychlosti jsou

$$\frac{\partial v}{\partial L_{ab}} = \frac{f}{n} \quad (3)$$

$$\frac{\partial v}{\partial n} = -L_{ab} \cdot \frac{f}{n^2} \quad (4)$$

Střední chyba je vyjádřena vztahem

$$\Delta v = \sqrt{\left(\frac{f}{n} \right)^2 \Delta L^2 + \left(\frac{L_{ab} f}{n^2} \right)^2 \Delta n^2} \quad (5)$$

Velikost střední chyby při konkrétním měření je možno demonstrovat v následujícím příkladu:

Frekvence snímání standardní videokamery Sony je $t = 25 \text{ s}^{-1}$. Délka trajektorie podle zaměření měřičským kolečkem je $L_{ab} = 39 \text{ m}$.

Chyba dráhy kterou se vozidlo skutečně pohybuje je

$$\Delta L = 0,8 \text{ m.}$$

Počet snímků odpočítaných při měření $n = 49$.

Chyba v odpočtu počtu snímků je $\Delta n = 1$.

Rychlost vypočtená z teoretické dráhy je daná vztahem

$$v = \frac{L_{ab} \cdot f}{n}$$

a po dosazení je $v = 71,6 \text{ km.h}^{-1}$.

Střední chyba měření se vypočte ze vztahu (5)

$$\Delta v = \sqrt{\frac{f}{n} \cdot \Delta L^2 + L_{ab} \cdot \frac{f}{n^2} \cdot \Delta n^2}$$

a po dosazení je $\Delta v = 0,576 \text{ m.s}^{-1}$.

Relativní chyba

$$\frac{\Delta v}{v} = 2,9\%$$

Vypočtená střední chyba je asi 2,9 %. Chyba je srovnatelná s chybou radarového zařízení, která může být až $\pm 3 \text{ km/h}$ [8], [2].

Při nevhodném umístění videokamery může docházet k chybě při určování polohy na vzdálenější straně dráhy (viz obr. 2). Chyba se zvyšuje nízkou polohou videokamery nad rovinou vozovky. Nízké umístění videokamery nad vozovkou lze částečně eliminovat vysokým rozlišením monitoru, na kterém se provádí vyhodnocení.

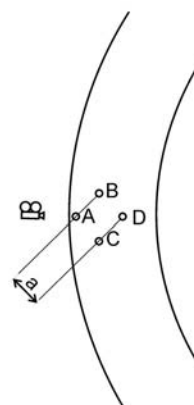
Chyba měření vzniká také z hrubě nesprávného odhadu trajektorie pohybu vozidel v době přípravy měření. Zpravidla se odměří jen vzdálenost mezi hranicí vymežující počátek dráhy a hranicí vymežující konec dráhy L_{ab} . Z praktických důvodů není možno odměřit délku trajektorie každého jednotlivého vozidla, protože každé vozidlo se pohybuje po jiné trajektorii a proto má smysl odměřit jen délku nejpravděpodobnější trajektorie pohybu.

Při měření se kupříkladu předpokládá, že vozidla se budou pohybovat v souladu s pravidly silničního provozu vpravo, při pravém okraji vozovky. Tento předpoklad však je splněn jen zřídka a vozidla se od této trajektorie odchylují. Při praktickém měření rychlosti v oblouku vozidla často přejížděla ke středu vozovky a často až do protisměru. Skutečná dráha bude kratší, než dráha, která sloužila pro výpočet a v důsledku toho bude vypočtená rychlost vyšší, než je rychlost skutečná.

Další nepřesnost měření může být důsledkem změny rychlosti vozidla při pohybu po dráze měření. Vypočtená rychlost tedy není okamžitá rychlost v některém bodu dráhy, ale průměrná rychlost na celkové dráze. Nepřesnost může být za určitých okolností značná a je vždy nutno zvážit, zda metoda je pro dané potřeby použitelná.

1.1.2 Metoda měření délky pohybu vozidla za známou dobu pohybu

Metoda je založena na měření délky dráhy bodu dotyku pneumatiky s vozovkou, kterou urazí za známou dobu. Metoda se opírá o fotogrammetrické metody [5]. Někde na vozovce se vyznačí čtyři záměrné body se známou polohou (viz obr. 6). Umístění záměrných bodů je závislé na geometrickém tvaru vozovky, protože vozidla se musí pohybovat v rovině, ve které leží i záměrné body. Metodu lze



Obr. 6 Záměrné body na vozovce a umístění videokamery

použít jen za předpokladu, že povrch vozovky je alespoň v okolí záměrných bodů rovina.

Pokud je vozovka rovná v celé šířce, lze body umístit na okraji vozovky a tím se vyhnout nutnosti pohybovat se v provozu. Někdy je možno využít jako záměrné body vodorovné značení ve vozovce, například přerušované podélné čáry.

Rovina vozovky při použití této metody je zvláště významná, protože i malá nerovnost významně ovlivňuje přesnost měření. Podle [9] je vliv nerovnosti vozovky na přesnost měření vyjádřen vztahem

$$dy = dz \cdot \frac{Y}{h + dz}, \quad (6)$$

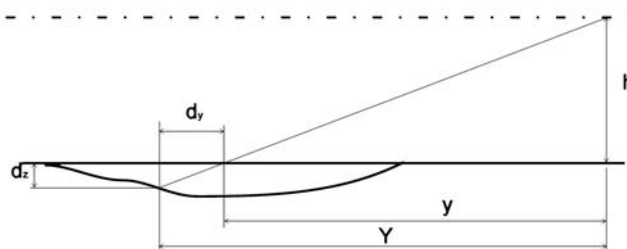
resp.

$$dy = \frac{Y}{h} dz.$$

Význam označení použitého ve vzorci je zřejmý z obr. 7.

Vyznačení bodů na vozovce při praktickém měření je vidět na obr. 8. Body jsou vyznačeny tak, aby videokamera mohla být umístěna na stráni za levým příkopem, ve výšce asi 3 m nad rovinou vozovky. Protože vozovka je značně nerovná, je rozteč záměrných bodů jen $a = 2 \text{ m}$.

Pohyb vozidel je snímán videokamerou umístěnou na stativu. Videozáznam je převeden do digitálního souboru a počítačovým programem je s použitím metrické analýzy obrazu [6] odměřována délka dráhy stykového bodu s_{ab} , kterou urazí za určitý počet snímků videokamery.



Obr. 7 Vliv výškové nerovnosti vozovky na chybu měření



Obr. 8 Vyznačení bodů na vozovce

Rychlost se vypočítá ze vztahu

$$v = \frac{s_{ab} \cdot f}{n}, \quad (7)$$

kde f je frekvence snímání videokamery a n je počet snímků.

Protože vliv roviny na přesnost měření je značný, je v programu umožněno odměřovat vzdálenost libovolných bodů na vozovce a tím ověřovat přesnost měření.

I když v praxi není potřebné provádět výpočet podle vztahu (6), je potřebné před umístěním kamery dobře zvážit vliv jednotlivých činitelů. Chyba δy bude tím větší, čím větší bude vzdálenost y místa měření od kamery a čím menší bude výška kamery h nad rovinou vozovku.

Při vyhodnocování videozáznamu se většinou volí pohyb vozidla, který vzniká při posuvu jednoho nebo dvou snímků. Protože při známé frekvenci snímání videokamery je známá doba snímání jednoho snímku, lze dělením odměřené délky počtem snímků zjistit rychlost pohybu bodu styku kola s vozovkou. Pokud se těžiště vozidla pohybuje jen s malým poloměrem, lze rychlost tohoto bodu považovat i za rychlost vozidla.

Velikost chyby je možno demonstrovat na konkrétním měření, při kterém byl počet snímků $n = 1$, frekvence kamery $f = 25$ a odměřena délka s_{ab} při deseti opakováních byly naměřeny (a programem vypočteny) hodnoty 55,800; 57,600; 56,700; 56,700; 60,300; 56,700; 54,900; 55,800; 58,500; 56,700 km/h.

Vzdálenost kamery od středu měření byla $y = 12$ m, výška kamery nad rovinou vozovky $h = 3$ m, velikost odchylky roviny od roviny vymezené záměrnými body 1 cm.

Chyba v měření délky, která vzniká nerovností vozovky se vypočte podle vztahu (6) a je

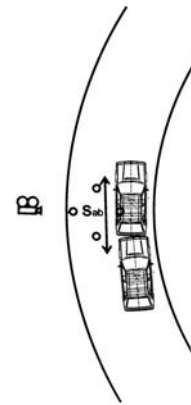
$$dz = \frac{12}{3} \cdot 0,01 = 0,04 \text{ m}.$$

Protože kamera byla výjimečně dobře ustavena a vozovka je v měřeném místě rovná, lze chybu 0,3 % zanedbat.

Chybu měření na obrazovce lze vypočítat s použitím vztahů uvedených v literatuře [4].

Průměrná hodnota rychlosti se vypočte ze vztahu

$$\bar{v} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i \quad (8)$$



Obr. 9 Délka dráhy za n snímků

a po dosazení je $v = 56,97$ km/h.

Rozptyl se vypočte ze vztahu

$$\sigma^2 = \sum_{i=1}^n (v_i - \bar{v})^2$$

a po dosazení je $\sigma^2 = 1,631 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$.

Chyba měření je vyjádřena vztahem

$$\delta v = \sqrt{\frac{\sigma^2}{n(n-1)}}$$

a po dosazení je $\delta v = 0,48$ km/h.

Z provedeného výpočtu lze vyslovit závěr, že skutečná rychlost vozidla byla $56,97 \pm 0,48$ km/h; vozidlo jelo rychlostí 56,49 až 57,45 km/h.

Chyba při různé trajektorii pohybu vozidla po vozovce je zanedbatelná, protože metrickou analýzou je vždy vypočtená skutečná dráha pohybu vozidla, bez ohledu na místo, kterým se vozidlo pohybuje.



Obr. 10 Odměření délky pohybu bodu dotyku předního kola s vozovkou

2. ZÁVĚR

Obě metody dovolují měřit rychlost s přesností srovnatelnou s radarovým zařízením. Předpokladem přesnosti je správná příprava k měření. Provedený záznam lze opakovaně vyhodnotit a přesnost měření tak ověřit.

Pomocí programového vybavení se vypočtené rychlosti včetně základních údajů zaznamenávají do textového souboru, který je následně možno zpracovat v tabulkovém procesoru. Lze tak vypočítat například dobu rozjezdu vozidla nebo jeho zpomalení či zrychlení.

Nevýhodou obou metod měření rychlosti je nutnost dobrého osvětlení, aby byla expoziční doba co nejkratší a obraz dostatečně ostrý. Dalším nedostatkem je potřeba vhodného umístění videokamery. Videokamera musí být umístěna co nejvýše nad rovinou vozovky a současně musí být umístěna tak, aby ji sledované osoby neviděly. Nevýhodou je rovněž nemožnost vyhodnocení záznamu, pokud se před kamerou pohybuje objekt, který zakrývá výhled na měřené vozidlo.

Nepřesnost může být také ovlivněna pohybem vozidel při vyznačování záměrných bodů ve vozovce.

Další nevýhodou je, že počítačový program, kterým se provádí vyhodnocení měření vyžaduje umístit záměrné body do čtverce a videokameru na úhlopříčku záměrného čtverce.

Použitelnost metod se zvýší použitím moderní videokamery s vyšším rozlišením a vyšší frekvencí snímání. V současné době je možno se s takovými videokamerami na trhu setkat.

V současné době je na trhu několik videokamer s přidavným infračerveným osvětlením, které jsou schopny snímat i za naprosté tmy. Jejich použití rozšíří možnost snímání i za snížené viditelnosti.

Použití obecných vztahů pro metrickou analýzu fotografie ve vyhodnocovacím programu může umožnit vyznačit záměrné body na libovolném místě roviny vozovky a tak odstranit potíže plynoucí ze zaměřování bodů v běžném provozu.

3. LITERATURA

- [1] CZECH RADAR a.s. Katalog produktů. www.robott.cz
- [2] FÜRBEETH V., GROSSER W., LÖHLE U., LEHMAN R.: Qualität der Meßwertanzeige bei Laser-Handmessgeräten. *Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik* 5/96.
- [3] JANÍČEK P., ONDRÁČEK E.: Řešení problémů modelováním. *PC-DIR Real, s.r.o., Brno, 1998.*
- [4] KARPÍŠEK Z.: Matematika IV. Statistika a pravděpodobnost. *CERM, Brno, 2003.*
- [5] MENŠÍK M.: Geometrické základy fotogrammetrie. *SPN, Praha, 1966.*
- [6] PROCHÁZKA E.: Metrická analýza videozáznamu. *Soudní inženýrství* 4/2001.
- [7] RAMET C.H.M a.s Kunovice. Příručka k Ramer 7M. www.rametchm.cz
- [8] SOLLER M., STROBL H.: Laser-Geschwindigkeitsmessung. Untersuchungen zu Laserpistole Riegl LR 90. *Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik* 10/97.
- [9] BRADÁČ A. a kol.: Soudní inženýrství. *CERM, Brno, 1999.*

Recenzoval:
Ing. Albert Bradáč, Ph.D.