VUT v BRNĚ FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ - ÚSTAV SOUDNÍHO INŽENÝRSTVÍ

Ing. Vlastimil Rábek

OPTICKÉ METODY DETEKCE NEZŘETELNÝCH STOP NA VOZOVCE PŘI ZNALECKÉ ANALÝZE SILNIČNÍCH NEHOD

OPTICAL METHODS OF DETECTION OF INDISTINCT TRACES ON THE ROAD UPON EXPERT ANALYSIS OF ROAD ACCIDENTS

Teze disertační práce v doktorském studijním programu 39 - 47 - 9
SOUDNÍ INŽENÝRSTVÍ, ZKRÁCENÁ VERZE PHD THESIS

Školitel : Doc. Ing. Albert Bradáč, DrSc.
VUT v Brně – Ústav soudního inženýrství

Oponenti : Prof. JUDr. Ing. Viktor Porada, DrSc.
Doc. Ing. Jiří Plch, Csc.

BRNO 25. 3. 2003

KLÍČOVÁ SLOVA

Dopravní nehoda, optická metoda, kriminalistika, brzdná stopa, detekce, zisk informace, teplotní pole, termografie.

KEY WORDS

Traffic accident, optical method, criminological practice, braking trace, detection, obtaining of information, temperature field, thermographic.

MÍSTO ULOŽENÍ PRÁCE

Knihovna FSI VUT v Brně (Fakulta strojního inženýrství)

ÚDAJE O COPYRIGHTU

ISBN 80 - 214 -
ISSN 1213 - 4198

OBSAH

1 ÚVOD ……..…….....…...……. 5
2 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY .....……..…..... 6
3 CÍLE A METODICKÝ PŘÍSTUP K VÝZKUMU …….…….…..… 9
3.1 Cíle práce .....….....…….... 9
3.2 Vymezení problému - rozsah zkoumání .....….....…. 10
4 ZVOLENÉ METODY ZPRACOVÁNÍ .....….....…..…. 10
4.1 Co je běžnou brzdnou stopou a proč je viditelná ? ...……..……..... 10
4.2 Laboratorní zjištění reflexních vlastností vzorků .....…….....…. 11
4.2.1 Motivace .....… 11
4.2.2 Cíle měření a metodika vyhodnocení laboratorních měření .....……. 11
4.2.3 Vlastní postup laboratorních měření - výsledky měření .....……..... 12
4.3 Experimentální zkoumání rozlišitelnosti stop - termografie ....……..…
14
4.3.1 Stručně k výběru použité techniky .....…....…..... 14
4.3.2 Rozlišitelnost nezřetelných brzdných stop - statická měření .....…….. 15
4.3.3 Rozlišitelnost pozměněných konečných poloh - dynamická měření …. 17
5 HLAVNÍ VÝSLEDKY PRÁCE …… 20
5.1 Detekce nezřetelných brzdných stop …….…….. 20
5.2 Detekce konečné polohy vozidla po dopravní nehodě ……..…..…… 22
5.3 Detekce konečné polohy chodce po dopravní nehodě ……... 23
6 ZÁVĚR ……..… 23
7 PŘEHLED POUŽITÉ LITERATURY .....…….....…..... 24
8 ŽIVOTOPIS …….……... 28
9 ABSTRACT …..... 30

1 ÚVOD

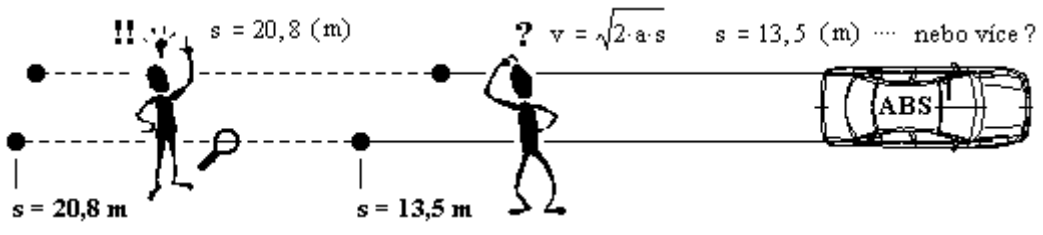
Zanechané brzdné či smykové stopy vozidel na vozovce patří k těm nejdůležitějším stopám, pomocí kterých znalec primárně sestavuje celkový obraz reálného nehodového děje a sekundárně varianty odvrácení střetu.

Podklad k analytickému dovození : ***výchozí rychlost vozidla, průběh rotace vozidla, místo reakce řidiče, místo střetu.***

Význam má také znalost konečných poloh předmětů a objektů na místě dopravní nehody, které byly před příjezdem Policie pozměněny - přemístěny. Především se jedná o určení skutečných konečných poloh ležícího chodce a vozidla.

Podklad k analytickému dovození poznatků : ***nárazová rychlost vozidla, celkové příčné vyhnutí vozidla, intenzita brzdění vozidla po střetu s chodcem*** *(podélné odhození chodce),* ***odhad rychlosti chodce těsně před střetem.***

Rozšíření a zpřesnění uvedených vstupních podkladů umožňuje těsněji se analyticky přiblížit reálnému průběhu nehodového děje. Proto je tedy snaha o detekci lidským okem nerozlišitelných stop velmi důležitá.



Obr. 1 Význam skutečné délky brzdné stopy - výchozí rychlost vozidla

2 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

Pokud je vozidlo vybaveno systémem ABS, potom ve srovnání s vozidlem vybaveným konvenčním brzdným systémem :

- dochází k výraznému zkrácení brzdné dráhy na mokré vozovce *(zejména pro hladký povrch krytu vozovky)*
- nedochází před předními brzděnými koly na mokré vozovce k vytvoření masivního vodního klínu
- vozidlo je při brzdění na mokré vozovce směrově stabilní - nenatáčí se kolem svislé osy
- charakteristika zpomalení během brzdění na mokré vozovce není funkcí proměnné okamžité rychlostí vozidla *(u vozidla bez ABS dochází k vzestupu brzdného zpomalení se snižující se okamžitou rychlostí vozidla)*
- dochází principiálně k zamezení vzniku blokovacích brzdných stop i když lze viditelné brzdné stopy většinou na vozovce nalézt, spíše ovšem jako přerušované.

K mechanismu vzniku viditelných brzdných stop :

- v roce 1983 nebylo možné vyvodit nějaké zákonitosti o výskytu popřípadě nevýskytu *(normálních)* viditelných brzdných stop *(to zřejmě platí stále)* - důvodem je obrovské množství ovlivňujících faktorů.
- k ovlivňujícím faktorům, které ze strany vozidla napomáhají popřípadě omezují výskyt viditelných brzdných stop pravděpodobně patří skluz - prokluz pneumatiky, vlastnosti této pneumatiky *(druh konstrukce, profilové uspořádání, hloubka desénu, materiálové vlastnosti směsi)* a vlastnosti vozovky *(ostrost zlomů struktury, drsnost, výška nerovností, zrnitost ....)*

- k omezení výskytu normálních brzdných stop ze strany vozovky dochází s přibývajícím stářím krytu vozovky s jejím přibývajícím dopravním zatížením a ubývajícím stupněm znečištění
- obrusná vrstva vozovky obrušuje při vyšších skluzech z pneumatiky „gumový prach“ - ten činí brzdnou stopu viditelnou.

Nelze předvídat, zda při intenzivním brzdění vozidla vybaveného ABS systémem viditelné brzdné stopy obecně vzniknou či nevzniknou, pouze lze konstatovat výrazně sníženou možnost viditelnou stopu v nominální délce na vozovce nalézt.

K nezanechávání viditelných - lidským okem rozpoznatelných brzdných stop zpravidla dochází :

- při nižší užité intenzitě brzdění řidičem, které odpovídá „podkritický skluz“ kol z pohledu vzniku viditelné brzdné stopy na vozovce
- při vyvinutí nedostatečného brzdného účinku na určité kolo vozidla
- při brzdění vozidla na mokré vozovce *(většina případů)*, při intenzivním brzdění na mokrých površích vozovek je méně případů se vznikem stop, než případů, kdy viditelné stopy nevznikly
- pokud je vozidlo vybaveno tzv. ABS systémem *(zpravidla však lze na vozovce nalézt stopy přerušované a kratší, než odpovídá dráze nominálního brzdění).*

Poznatky o optimalizaci optického pozorování nezřetelných brzdných stop :

- rozpoznatelnost brzdných stop se podstatně zlepší, pokud je pozorování vedeno pokud možno pod ostrým úhlem vůči povrchu jízdní dráhy ze směru jízdy vozidla *(zpovzdálí)*
- osvědčuje se zkoumat fotografie stop pod lupou

- použití tzv. barevných filtrů při běžném fotografování na černobílý fotografický materiál neumožňuje zviditelnit na vozovce informaci, která je při reálném pozorování na místě lidskému pozorovateli skryta
- nelze pomocí těchto barevných filtrů zviditelnit na fotografii to, co není patrno na snímku, který byl pořízen bez použití barevného filtru
- používáním tzv. „barevných“ filtrů při pořizování fotodokumentace nezřetelných stop na vozovce lze pouze ovlivnit míru zvýraznění těchto stop na fotografiích pro lidského pozorovatele *(zejména kontrast a jas objektů na snímku)*
- rozpoznatelnost stop lze sice zlepšit použitím polarizačního filtru, ale není možné zviditelnit touto metodou ty stopy resp. jejich části, které jsou pro oči pozorovatele neviditelné
- problém optické detekce brzdných stop **spočívá v primárním zachycení optické informace již na záznamový materiál** *(například jiná spektrální oblast snímání),* obrazová analýza běžného snímku je tedy pouze nástrojem pro optimalizaci zobrazení stávající zachycené informace
- pro rozpoznání brzdné stopy na fotografii je velmi důležité relativně homogenní optické pozadí brzdné stopy *(absorbční vlastnosti vozovky),* kdy anomálie typu vyjetých kolejí od předchozího provozu vozidel, opravy asfaltového krytu vozovky apod. zapříčiňují ztrátu informace o brzdné stopě
- při brzdění osobního vozidla z rychlosti **50 - 80 (km/h)** jen **cca 5 - 10 (sec)** zůstaly stopy termograficky viditelné *(Kolín nad Rýnem 9.4. 1986)* - proto termografie není praktickou možností ke zviditelnění nezřetelných brzdných stop při reálných dopravních nehodách.

Použití barevných a polarizačních filtrů při zhotovení fotografií na běžný černobílý film tedy není pro rozlišitelnost vzniklých nezřetelných stop

hledaným fyzikálním „průlomem“. Jedná se stále jen o optimalizaci zobrazení stávající viditelné informace pro rozpoznání nezřetelné stopy lidským okem - nelze tedy touto metodou *„zviditelnit neviditelné“*.

Důležité metodické poznatky využitelné při analýze dopravních nehod

- pokud jsou brzdné stopy různě dlouhé - je třeba použít k výpočtu tu stopu, která je delší
- při nouzovém brzdění s konvenčním brzdným systémem *(bez ABS)* vzrůstá na suché vozovce plné brzdné zpomalení s klesající rychlostí *(narozdíl od vozidel se systémem ABS, kde je zpomalení v průběhu brzdění přibližně konstantní)*
- klasickému propočtu brzdění ze známé délky viditelné brzdné stopy odpovídá nižší výchozí rychlost, než činila skutečná výchozí rychlost vozidla
- řidič prožívající bezprostřední nebezpečí vzniku dopravní nehody působí na brzdný pedál veškerou silou, kterou má *(fyziologicky)* k dispozici
- při příčném pohybu automobilu ve smyku zanechávají smykové stopy vždy spíše kola na straně přitížené.

3 CÍLE A METODICKÝ PŘÍSTUP K VÝZKUMU

3.1 Cíle práce

- Prvním cílem práce je především nalézt a prozkoumat optické metody, jejichž uplatnění by mohlo přinést takové reálně využitelné informace o nezřetelné brzdné stopě, které jsou pro lidské oko skryty.

- Druhým cílem práce je nalézt a prozkoumat optické metody detekce stop, které by mohly přinést zviditelnění zcela jiného typu latentních stop - zejména se jedná o nalezení reálných konečných poloh objektů v místě dopravní nehody po předchozí manipulaci.

3.2 Vymezení problému - rozsah zkoumání

- Předmětem zkoumání je jen běžný omezený soubor ne příliš precizně definovaných podmínek pro detekci nezřetelných brzdných stop osobních vozidel vybavených systémem ABS *(základní definice typu : asfalt - beton, den - noc, teplo - chladno, mokro - sucho).*
- Důraz byl kladen na použitelnost navržených optických metod detekce v závislosti na různých adhézních a povětrnostních podmínkách. Variace typů vozidel, pneumatik a zkušebních úseků byla minimální.
- Podstatou výzkumu detekce nezřetelných brzdných stop je pouze zisk optické informace vůči prahové informaci dané lidským pozorováním. Proto se práce nezabývá tím, zda zisk optické informace odpovídá náběhu brzdného účinku vozidla či plnému brzdění.

4 ZVOLENÉ METODY ZPRACOVÁNÍ

4.1 Co je běžnou brzdnou stopou a proč je viditelná ?

Pro laboratorní měření vzorků krytu vozovky a pneumatiky je nejprve nutno zodpovědět výše položenou otázku. Teprve potom bude možno definitivně přijmout vzorky *(pneu + kryt vozovek)* jako relevantní materie pro laboratorní

zkoumání. Primárně byla zkoumána brzdná stopa mikroskopicky přímo na vozovce. V případech, které jsou pro detekci nezřetelné stopy důležité je tedy třeba detekovat zejména drobné *„nepravidelné kulové či podlouhlé částice“* z elementů pneumatiky na povrchu vozovky.

4.2 Laboratorní zjištění reflexních vlastností vzorků

4.2.1 Motivace

Lidský pozorovatel pozoruje nezřetelnou brzdnou stopu v optickém spektru od cca ***400 do 760 nm.*** Smyslem předmětných laboratorních měření bylo zjistit, zda mimo spektrální rozsah vnímaný lidským okem neexistuje spektrální oblast ve které by pozorování nezřetelné brzdné stopy bylo pro rozlišení výhodnější. Optické vlastnosti krytů vozovek a pneumatik jsou objektivně dány a maximální optická rozlišitelnost těchto dvou materiálů obecně přirozeně není dána možnostmi lidského oka.

4.2.2 Cíle měření a metodika vyhodnocení laboratorních měření

Lidský pozorovatel je ve viditelné spektrální oblasti *(dále jen VIS)* schopen rozpoznat dva různé objekty v jedné rovině, pokud tyto objekty různě odrážejí *(reflektují)* dopadající světlo. Právě z tohoto důvodu byla zkoumána reflexe vzorků v rozsahu vlnových délek ***250 - 950 nm***.

Nalevo od oblasti VIS se nachází ultrafialová oblast *(dále jen UV - vzorky zkoumány od **250 nm do 400 nm**)* a napravo se nachází *(blízká)* infračervená oblast *(dále jen NIR - vzorky zkoumány od **760 do 950 nm**).*

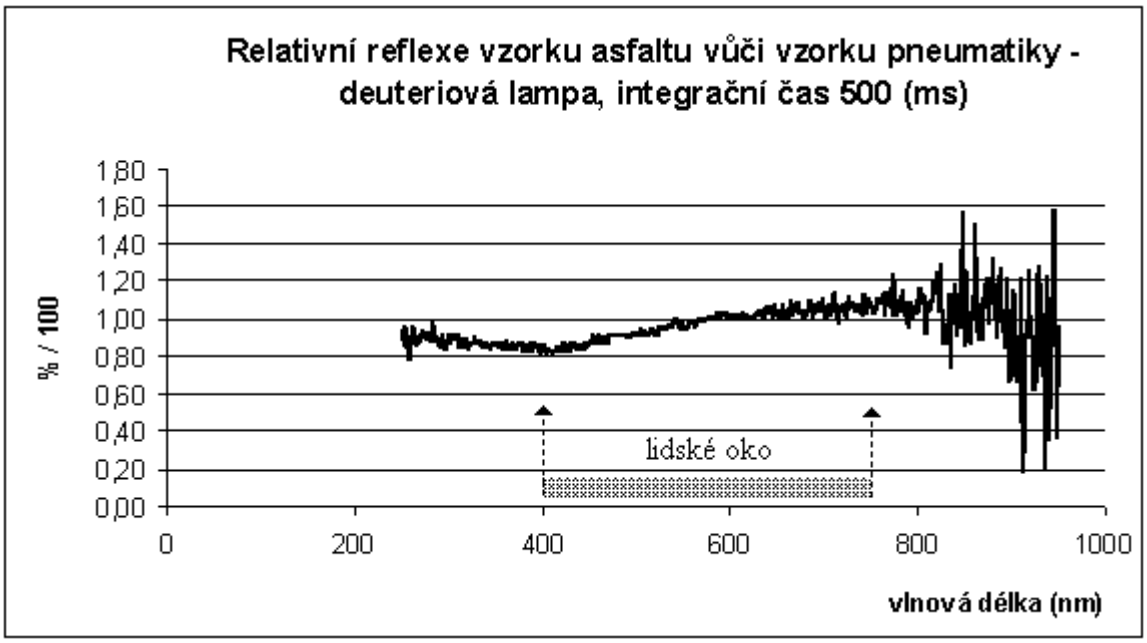
Naměřené odražené intenzity vzorků byly graficky zobrazeny v závislosti na vlnové délce. Poté byly numericky vypočítány relativní reflexe asfaltového vzorku a vzorku pneumatiky vůči hliníkovému etalonu *(tzv. AL etalon).* Cílem tohoto konkrétního měření bylo laboratorně zjistit relativní reflexi vzorků pneumatiky a asfaltového krytu vozovky. Relativní reflexe asfalt - pneumatika byla vypočítána a graficky vyjádřena v rozsahu vlnových délek ***od 250 do 950 nm***. Charakteristika relativní reflexe obou vzorků slouží k diskusi nad tím, která spektrální oblast je pro pozorování nezřetelných brzdných stop nejvýhodnější.

Jako etalon pro komparaci kvality rozlišení volíme viditelnou oblast - VIS, ve které máme zkušenost s pozorovatelností či nepozorovatelností určitého konkrétního objektu, tedy i nezřetelné brzdné stopy. Důležitý pro diskusi nad výsledky měření je pouze tvar charakteristiky relativní reflexe.

4.2.3 Vlastní postup laboratorních měření - výsledky měření

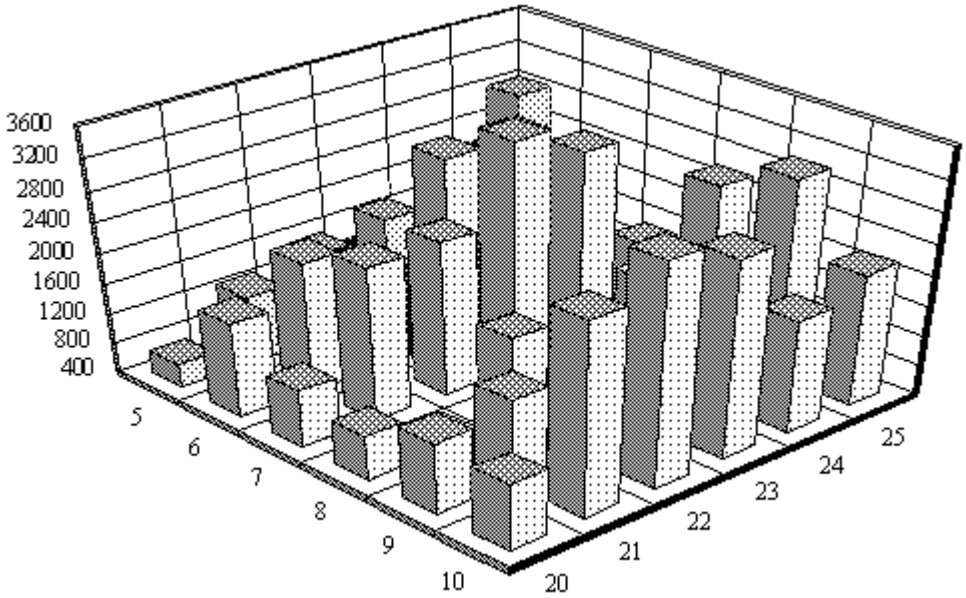
Pro měření jsme použili reflexní sondy umístěné na stolku s mikrometrickými posuvy v osách x, y, z. Použili jsme zdroj vybavený deuteriovou a halogenovou lampou - pro rozsah měření ***250 - 950 nm.***

V první variantě jsme měřili relativní reflexi zkoumaných vzorků vůči hliníkovému standardu. Protože takto získaná odrazivost je velmi nízká, zkoumali jsme relativní reflexi, kde jako normál jsme použili vzorek z pneumatiky. Zde je vidět asi ***20 %*** změna v odrazivosti (viz Obr. 2).



Obr. 2 Relativní reflexe vzorku pneumatiky vůči asfaltu

Abychom zjistili homogenitu v reflexi vzorku asfaltu měřili jsme reflexi na výbrusu asfaltu v rastru ***5 * 5 mm*** s krokem ***1 mm*** v ose x a y. Z těchto hodnot je patrné, že rozptyl odražené intenzity dosahuje cca ***70 %*** (viz Obr. 3). Asfalt je tedy opticky velmi nehomogenní látkou.



*Obr. 3 Rozložení odchylek reflexe v průřezu vybroušeného vzorku asfaltu 6*6 mm pro budící vlnovou délku 637 nm*

Získaná hodnota rozptylu reflexe na vzorku asfaltu je mnohem vyšší, než získaná hodnota relativní reflexe (viz Obr. 2, 3). Z toho plyne, že díky nehomogenitě optických vlastností asfaltu je chyba měření několikanásobně vyšší, než měřený efekt a nelze tedy objektivně rozhodnout zda změna v relativní reflexi je způsobena nanesením otěrové vrstvy z pneumatiky nebo vlastnostmi asfaltového krytu vozovky. Charakteristika relativní reflexe je téměř plochá - opticky nepříliš zajímavá a zatížená velkou chybou (viz Obr. 2).

Vysoký šum viditelný na okrajích reflexních spekter není způsoben fyzikálním jevem, ale je způsoben nízkou reálnou hodnotou intenzity *(dělení malými čísly).* Na vzorcích nebyly zjištěny luminiscenční efekty.

Prakticky to znamená, že vzorky zřejmě nemají výrazné optické vlastnosti. Zkoumané vzorky pneumatiky i asfaltu výrazně dopadající světlo absorbují a odrážejí proporcionálně přibližně tolik světla, kolik na tyto vzorky světla dopadá a to prakticky v celém rozsahu zkoumaných vlnových délek. Asfalt i pneumatika velmi silně absorbují dopadající světlo.

4.3 Experimentální zkoumání rozlišitelnosti stop – termografie

4.3.1 Stručně k výběru použité techniky

I přes značnou optickou nehomogenitu vzorků asfaltu lze pozitivní výsledky v otázce rozlišitelnosti nezřetelných stop na vozovce očekávat spíše v infračervené spektrální oblasti *(dále jen IR),* než oblasti UV.

Pro pozorování nezřetelných brzdných stop v IR oblasti jsou pro daný účel nejvhodnější kamery typu LWIR (8 - 12 μm - **l**ong **w**ave **i**nfra **r**ed). Ty

poskytují nejvíce informací z hlediska tepelného, pro lidský zrak neviditelného záření. Nejnovější nechlazené infračervené / termovizní kamery pro LWIR mají velikost klasických videokamer a cenově se pohybují okolo ***20 000 EUR bez daně*** *(rok 2003).* Z výše uvedených důvodů jsme tedy pro daný typ zkoumání použili nechlazenou termovizní kameru řady ***PalmIR.*** Pomocí této kamery lze získat přímý *(černobílý)* teplotní obraz typu FLIR i termografický obraz v nepravých barvách.

4.3.2 Rozlišitelnost nezřetelných brzdných stop - statická měření

Po zaznamenání všech podmínek *(vozidlo, teplota vozovky ....)* byl proveden na vybraném úseku vozovky s maximální razancí brzdný manévr. Potom byly na vozovce vyznačeny křídou místa ve kterých jsou lidským okem rozpoznatelné počátky zanechaných stop. Počátky stop byly zaměřeny vůči předním kolům vozidla a délka stop byla křídou zapsána přímo k označeným počátkům stop. Tyto údaje byly označeny písmeny „VIS“ (visible).

Následně byl pomocí termografie nalezen zcela bez ohledu na předchozí vizuální pozorování počátek zanechaných stop, tak jak se tento jeví v infračervené oblasti - „IR“. Bylo optimalizováno nastavení ovládacích prvků termokamery tak, aby zanechané brzdné stopy byly co nejzřetelnější.

Zisk optické informace o nezřetelné brzdné stopě je vyjadřován takto :

VIS - nominální délka lidským okem viditelné brzdné stopy

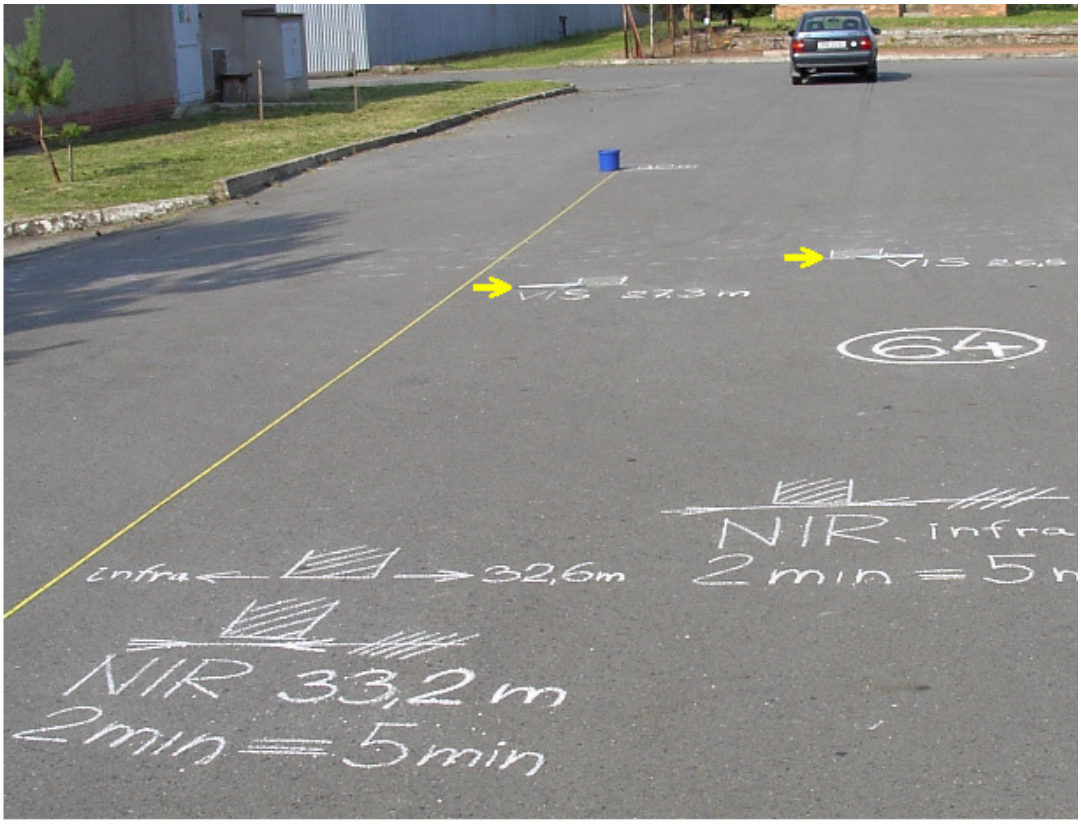
NIR - detekovaná délka brzdné stopy pomocí termografie

$$ZISK = \frac{NIR - VIS}{VIS} * 100 = \ldots\ldots \; [\%]$$

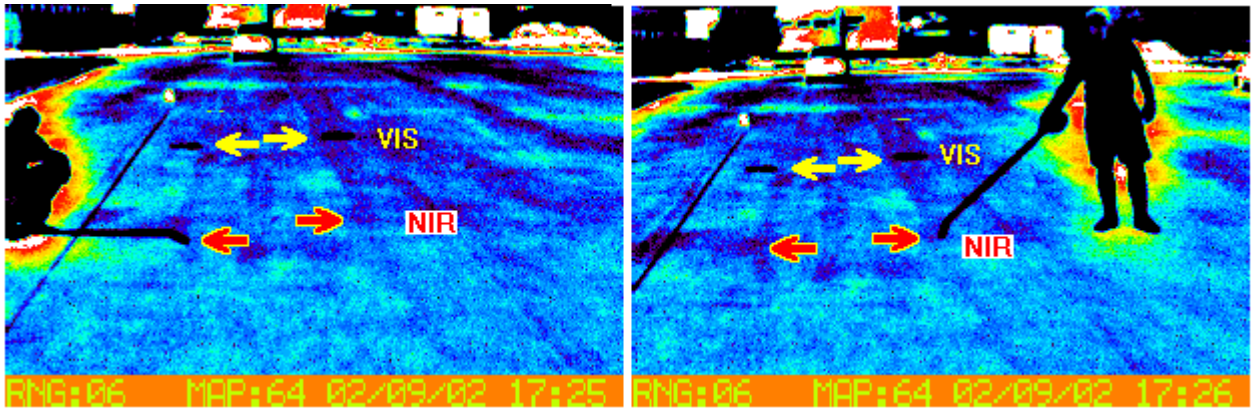
Pokud postupně docházelo ke ztrátě informace o zanechané brzdné stopě *(tzv. „zkracování“ teplotně detekovatelné části brzdné stopy)* bylo toto zkracování stopy v čase dokumentováno výše popsaným způsobem, kdy k naměřeným údajům NIR byl na vozovku připsán křídou údaj o uplynulém čase od provedení brzdného manévru (viz Obr. 4).

Vlastní konkrétní naměřené hodnoty zisku optické informace při různých podmínkách a grafické zpracování zjištěných závislostí jsou poměrně obsáhlé a je proto v případě potřeby nutné, odkázat na doktorskou práci autora, kde v rámci příloh jsou předmětné údaje kompletně uvedeny.

V úrovni VIS protínají brzdné stopy dvě krátké příčné linie černé barvy (viz Obr. 5). Do těchto míst byly záměrně položeny 2 kovové tyče *(které jsou chladné),* tak aby byla na i na termozáznamu dokumentovaná délka brzdných stop rozpoznatelná lidským okem (VIS). Poloha kovových tyčí je znázorněna v Obr. 4 žlutými šipkami. Na Obr. 5 je také patrné, jak asistent jinou dlouhou kovovou tyčí dle pokynů obsluhy termokamery napomáhá nalézt počátek nezřetelné brzdné stopy v IR oblasti.



Obr. 4 Fotografická dokumentace měření číslo 64



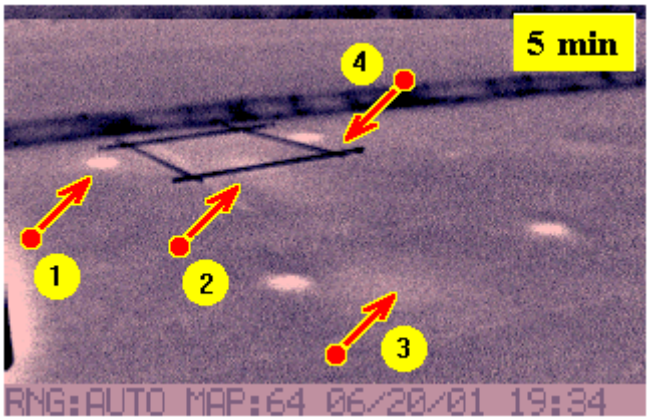
Obr. 5 Termozáznamy měření číslo 64 (po 30 minutách od brzdění)

4.3.3 Rozlišitelnost pozměněných konečných poloh - dynamická měření

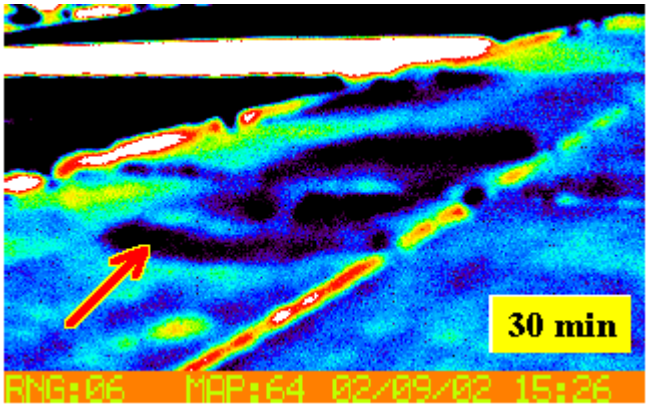
Pokud je vozidlo odstraněno či chodec přemístěn z konečné polohy, potom je situace po fyzikální stránce výrazně odlišná, než v předchozím případě.

Vozidlo, které je brzděno, působí tepelně na vozovku sice výrazně, ale jen po nepatrný čas - vzniklé teplo je v poměrně krátké době z povrchu vozovky odvedeno. Naopak při pozměnění konečných poloh chodce či vozidla je možno oprávněně předpokládat, že tyto objekty na vozovku tepelně působí minimálně několik sekund či spíše minut. Při tomto dlouhodobějším tepelném působení dochází k relativně rozsáhlejšímu prohřátí vozovky a lze proto zkoumat časovou změnu teplotního pole vzniklého působením objektů v původních konečných polohách.

Proto bylo postupováno tak, že vozidlo *(zahřáté po jízdě na provozní teplotu)* tepelně působilo na vozovku ***10 minut.*** Po odstranění vozidla z konečné polohy bylo místo původní konečné polohy termograficky pozorováno v časových krocích a zkoumáno po jakou dobu lze informaci o konečné poloze vozidla zjistit (viz Obr. 6, 7). Stejná metodika byla použita i u detekce konečné polohy ležícího chodce (viz Obr. 8, 9).

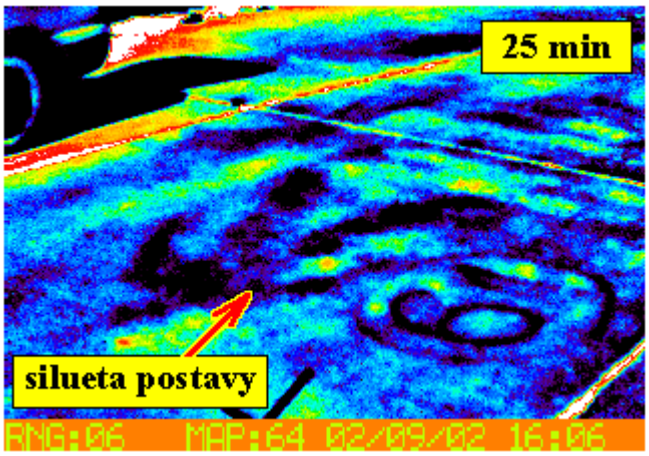


Obr. 6 Tepelný otisk Škoda Octavia při měření č. 10 (5 min), 17,5 °C (1 : LP kolo, 2 : motor, 3 : výfuk, 4 : tyče pro identifikaci termozáznamů) - monochromatický mód



Obr. 7 Tepelný inverzní otisk odstaveného vozidla Škoda Octavia při měření č. 60 (30 min) - horké počasí, mód zobrazení - nepravé barvy

Obr. 8 Tepelné působení ležícího chodce na vozovku po dobu 10 minut



Obr. 9 Termozáznam polohy chodce po 25 minutách (horké počasí)

5 HLAVNÍ VÝSLEDKY PRÁCE

5.1 Detekce nezřetelných brzdných stop

1. V souladu s odbornou literaturou bylo při měřeních potvrzeno, že při intenzivním brzdění vozidla vzniká na suché vozovce detekovatelný tepelný účinek. Tento tepelný účinek je velmi intenzivní po dobu **cca 15 sekund**. Bylo však současně zjištěno, že vzniklé teplotní pole lze s použitou technikou detekovat až do **cca 30 minut**. Vzniklé teplo *(tzv. změna části pobybové energie vozidla na teplo)* souvisí s dynamickým zkrácením detekovatelné části brzdné stopy v infračerveném spektru. Mimo toto vzniklé teplo je však vozovka sekundárně tepelně ovlivněna ještě jinak. Vznik sekundárního teplotního pole zřejmě souvisí s nanesením mikrootěrů pneumatiky na vozovku. Tyto *(černé)* otěry pneumatiky absorbují více tepla, než vozovka v místě, kde se tyto mikrootěry nenacházejí. Proto je možno detekovat sekundární teplotní pole nad rámec primárně vzniklého tepla.
2. Pozoruhodně pozitivních výsledků bylo dosaženo při horkém počasí, kdy zisk optické informace o nezřetelné brzdné stopě stabilně *(minimálně několik hodin)* přesahoval cca 20 % jak na asfaltovém tak zejména na betonovém krytu vozovky.
3. Pouze při brzdění v horkém počasí na asfaltovém krytu vozovky bylo pozorováno v infračerveném spektru dynamické zkrácení brzdné stopy. Při nižších teplotách dynamické zkrácení brzdné stopy nebylo na asfaltu pozorováno, což zřejmě souvisí s tím, že při chladnější vozovce je primární tepelná složka velmi rychle odvedena do okolí a lze tedy spolehlivě detekovat jen sekundární tepelné ovlivnění vozovky (viz bod 1). Horké počasí zřejmě výrazně zpomaluje ztrátu tepla do okolí. Na

betonovém krytu vozovky však dynamické zkrácení brzdné stopy nebylo zaznamenáno ani při horkém počasí.

4. Zejména při měřeních za relativně nižších teplot (cca 14 - 20 °C) byl zjištěn zvláštní jev, v tom smyslu, že zisk informace při pozorování termovizní kamerou byl vyšší u lidským okem méně zřetelných *(ale viditelných)* stop, než u okem jasně viditelných stop, kde došlo k výraznému odběru materiálu z pneumatiky vozidla.
5. Stejně jako při vizuálním pozorování má vliv na účinnost pozorování termovizní kamerou stupeň znečištění vozovky. Čím je vozovka více znečištěna, tím jsou výsledky pozorování lepší. Dobrých výsledků pozorování bylo dosaženo při zkouškách, které byly realizovány po delších obdobích bez deště.
6. Na mokré vozovce byla zjištěna nemožnost detekce jakýchkoliv stop termovizní kamerou. Po oschnutí vozovky byla sice jedna ze zanechaných stop termovizní kamerou pozorovatelná, ale stejného výsledku pozorování bylo dosaženo i při pozorování lidským zrakem. Na mokré vozovce tedy není použití termovizní kamery žádným přínosem.
7. V jednom případě *(noční pozorování a lidským okem relativně málo zřetelná stopa)* bylo zjištěno, že u brzdné stopy, která se pro lidské oko jeví homogenní, lze pomocí termovizní kamery zjistit zřetelné přerušování stopy v průběhu brzdění, což zjevně koresponduje s kolísáním brzdných sil na kolech vozidla vybaveného ABS.
8. Při chladnějším počasí byl zjištěn vyšší zisk optické informace u měření prováděných v noci. Vliv větru lze charakterizovat jako velmi negativní zejména při chladnějším počasí. Při horkém počasí i silnější vítr ovlivňovat měření minimálně.

5.2 Detekce konečné polohy vozidla po dopravní nehodě

1. Dle provedených měření bylo zjištěno, že konečnou polohu vozidla je na vozovce možno teplotně detekovat až do ***cca 45 minut*** po jeho přemístění. Dle konkrétních podmínek je možno pozorovat celkovou půdorysnou siluetu vozidla (stín), otisk tepelného vyzařování motoru, otisk výfukového potrubí a zejména tepelný otisk pneumatik.
2. Celková půdorysná silueta vozidla je pozorovatelná především při slunečném počasí *(zkoumáno při teplotách kolem **cca 20 °C**)* a tento teplotní obraz stínu vozidla je rozlišitelný do doby ***cca 5 minut***.
3. Tepelný „otisk“ motoru na vozovce je pozorovatelný do ***cca 15 minut*** a je velmi závislý na době tepelného působení vozidla v konečné poloze a na dostatečném prohřátí motoru vozidla.
4. Teplotní pole po přítomnosti pneumatik na vozovce je nejzřetelnější, kdy teplotní pole je pozorovatelné až do **cca 45 minut** po přemístění vozidla. Výsledek pozorování není silně závislý na okolních jevech *(běžný svit slunce, vítr),* neboť pneumatiky jsou jediná součást vozidla, která je v přímém *(tepelném)* kontaktu s vozovkou. Určení původce tepelného zdroje je v tomto případě velmi dobré, neboť rozložení tepelných otisků pneumatik kopíruje rozměry vozidla *(rozvor, rozchod).*
5. Při horkém, slunečném počasí je možno na vozovce detekovat pouze inverzní teplotní obraz vozidla - stín vozidla, také po dobu ***cca 45 minut*** - ostatní teplotní pole včetně tepelného působení kol vozidla nebylo možno na termozáznamu zjistit *(viz bod 1).*
6. Pokud by vozidlo *(resp. ležící chodec)* před odstraněním z konečné polohy působilo na vozovku kratší dobu než ***10 minut***, bylo by možno konečnou polohu vozidla *(chodce)* termograficky detekovat zřejmě po kratší dobu než ***45 minut*** *(30 minut).*

5.3 Detekce konečné polohy chodce po dopravní nehodě

1. Na suché vozovce je možno provádět detekci původní konečné polohy ležícího chodce po jeho přemístění do ***cca 25 - 30 minut***, při chladnějším i horkém počasí.
2. Celková - plná silueta ležícího člověka *(trup, končetiny, hlava)* je pozorovatelná do ***cca 15 minut.*** Poté je dominantní již jen teplotní pole trupu a u končetin dochází k postupné ztrátě tepelného otisku směrem k podélné ose končetin.
3. Při horkém počasí dochází k inverznímu tepelnému otisku *(podobně jako u odstaveného vozidla),* kdy ležící chodec svým tělem stíní a zabraňuje tak v prostoru pod svým tělem prohřátí vozovky slunečním svitem. Během tepelného působení mezi vozovkou a tělem chodce postupně dochází pod tělem chodce k ochlazování původně horké vozovky.

6 ZÁVĚR

K detekci nezřetelných brzdných stop : Snaha o detekci nezřetelných stop je pro obor analýza dopravních nehod velmi důležitá *(viz kap.1).* Práce se zabývá zejména vztahem vnějších *(klimatických)* podmínek a optickým ziskem informace o nezřetelné brzdné stopě. Zisk informace je možný, ale jen za určitých podmínek *(viz kap.5.1).* Proto před zavedením termografické detekce nezřetelných stop do praxe bude třeba dále pokračovat v poznávání těchto podmínek. Byla nalezena metodika, jak zisk optické informace definovat, měřit a vyhodnotit. Významným přínosem práce je zjištění pozoruhodného zisku optické informace o nezřetelné brzdné stopě při horkém počasí. Jelikož předmět zkoumání je multiparametrickou záležitostí, kdy nebyl výrazněji

variován typ vozidla, typ ABS, typ pneumatik, teploty pod ***15 °C*** apod. nelze z daných měření vyvozovat silnější závěry, než je uvedeno. Práce měla za cíl pouze zkoumat použitelnost fyzikálních metod pro detekci stop na místě dopravní nehody a dotknout se alespoň základních fenoménů ovlivňujících detekci brzdných stop. V práci jsou formulovány závěry zkoumání včetně sestavení hypotéz interpretujících naměřené výsledky, proto lze tuto práci využít jako jeden z podkladů pro další výzkum detekce nezřetelných brzdných stop. Dále bude třeba také provést měření zisku optické informace o nezřetelné brzdné stopě na úsecích, kde je vozovka výrazněji ovlivněna provozem vozidel.

V budoucnu může dále dojít k nárůstu optického zisku o nezřetelné brzdné stopě pomocí termovizních kamer, předpokladem je ovšem lepší rozlišení a vyšší teplotní citlivost. V současné době dosahuje citlivost senzoru použitelné kamery ***0,08 °C*** a její rozlišovací schopnost je ***320 x 240 pixel.***

K detekci konečných poloh vozidla a chodce : Práce ukázala, že na suché vozovce, lze detekovat skutečné konečné polohy chodce a vozidla až do ***cca 30 - 45 minut.*** Přínosem této části práce je již jen vlastní myšlenka tyto skutečné konečné polohy detekovat. Uvedení detekce konečných poloh objektů na místě dopravní nehody do praxe Policie je vyjma pořizovací hodnoty termokamery vzásadě reálné, problémem pouze zůstává, jaký bude například časový dosah detekce konečné polohy vozidla, které bude odstaveno například po 1 minutě.

7 PŘEHLED POUŽITÉ LITERATURY

[1] APPEL, KRABBEL : Unfallforschung, Unfallmechanik und Unfallrekonstruktion Verlag Berlin, 1994

[2] BRADÁČ A.: Znalecký standart č. III / IV : Technická analýza střetu vozidla s chodcem, technická analýza nárazu vozidla na překážku, nakladatelství VUT Brno, 1991

[3] BURG, RAU : Handbuch der Unfallrekonstruktion, Verlag Information Ambs, Berlin, 1981

[4] BURKAT, EBERHARDT, HIMBERT, LOHLE.: Rekonstruktion von Verkehrsunfällen, Stuttgart, 1980

[5] ČSAV kol. - encyklopedický institut.: Ilustrovaný encyklopedický slovník Academia, 1981

[6] DANNER, HALM : Technische Analyse von Strassenverkehrsunfällen, Kraftfahrzeugtechnischer Verlag, München, 1981

[7] ENGELS K.: Das Notbremsvermögen von PKW mit und ohne automatischen Blockierverhinderern (ABV) auf nasser Straße : časopis **V**erkehrsunfall **u**nd **F**ahrzeugtechnik, Verlag Information Ambs GmbH Kippenheim, 11/1980

[8] ENGELS K.: Möglichkeiten und Grenzen der Geschwindigkeitsrück - rechnung aus Regelspuren ABV - gebremster PKW : VuF, Verlag Information Ambs GmbH Kippenheim, 5/1983

[9] ENGELS K.: Thermographie, eine Möglichkeit zur Sichtbarmachung von Regelspuren ? : VuF, Verlag Information Ambs GmbH Kippenheim, 10/1986

[10] ENGELS K.: Die Bedeutung des Spurzeichnungsverhaltens von PKW mit ABV für die Unfallrekonstruktion : VuF, Verlag Information Ambs GmbH Kippenheim, 2/1990

[11] FORSSTRÖM, KRON, MATTSON : Applikations of chemiluminescence in rubber research : publisher The Royal Innstitute of Technology, Stockholm, 1993

[12] GURRATH, GROSSER.: Technische Analyse von Verkehrsunfällen und polizeilichen Verkehrs - Überwachungs - Methoden in Frage und Antwort, Publikace Verlag DAT (D) /1996

[13] HOTELL, SAROFIM : Přenos tepla zářením, SNTL Praha,1979

[14] HRUBEC F.: Aquaplaning, časopis Znalectvo (SK) ISSN 1335 - 1133, 3/1997

[15] JANÍČEK, PORADA.: Teorie identifikace a modelování v technice a kriminalistice, časopis Soudní inženýrství (CZ), 4/1995

[16] KARDOŠ, BEREK: Základy kvapalinovej chromatografie, nakladatelství Alfa, 1976

[17] KASANICKY G.: Súčasné a perspektívne možnosti analýzy dopravných nehôd, VŠDS Žilina, 1996

[18] KASANICKÝ, LUKÁŠIK, KOHÚT.: Pneumatika ako súčasť vozidla, časopis Znalectvo (SK) ISSN 1335 - 1133, 1/2001

[19] KASANICKÝ, PORADA.: Vyšetrovanie cestných dopravných nehôd, časopis Znalectvo (SK) ISSN 1335 - 1133, 1-2/1999

[20] Kol.EVU : Katalogove listy (KTL) EVU - Teoretische Grundlagen

[21] KLIMEŠ L.: Slovník cizích slov, SPN Praha, 1981

[22] KRUG, WEIDE.: Vědecká fotografie ve fotografické praxi, SNTL Praha, 1978

[23] KUBENA J. : Úvod do optiky : skripta Masarykova univerzita, sekce fyziky, Brno, 1994

[24] KULHÁNEK J.: Černobílá fotografie, Orbis Praha č. 11 - 021 - 72, Praha, 1972

[25] LAPKA V.: Slovník pro technickou praxi - Německo - Český, Montanex ISBN 80 - 85780-45-3, Ostrava, 1995

[26] MAREK J.: Vlnová optika - kvantové vlastnosti světla, SPN č. 27 - 66 - 08, Praha, 1972

[27] MAREK J.: Základy fotometrie - paprsková optika, SPN č. 27 - 66 - 12, Praha, 1972

[28] MOORE W. J.: Základy fyzikální chemie, SNTL Praha 1979

[29] NEAL, KYLE : Nechlazené termovizní systémy od firmy Raytheon : časopis Jemná mechanika a optika, nakladatelství Fyzikálního ústavu AV ČR, 5/1999

[30] PORADA V.: Kriminalistická identifikace, časopis Soudní inženýrství (CZ), 9/1997

[31] RÁBEK V.: Závěrečná práce ÚSI VUT v Brně, Obrazová analýza brzdných stop z fotodokumentace a teoretické podklady pro optimální zhotovení této formy záznamu brzdné stopy, 1995

[32] RICHTY R. a kol.: Základy teorie vědy, Academia Praha, 1988

[33] ŘEŠETKA M.: Anglicko - Český slovník, FIN Publishing ISBN 80 - 86002-62-4, Olomouc, 2001

[34] ŠACHL J. : Adheze pneumatik ve znalecké analýze dopravních nehod : časopis Znalec, Praha, 1/2001

[35] ŠACHL J.: Možnost posílení optické informace o zanechané stopě na vozovce použitím tzv. barevných filtrů, 1996

[36] ŠČEPKO, PANČÍK : Cenovo prístupný systém pre zobrazovanie tepelných polí : časopis Jemná mechanika a optika, nakladatelství Fyzikálního ústavu AV ČR, 1/1998

[37] TRNKOVÁ : Nechlazené termovizní systémy Raytheon pro průmyslové využití : časopis Jemná mechanika a optika, nakladatelství Fyzikálního ústavu AV ČR, 5/2000

[38] : www.raytheon.com/ir *(termovizní systémy)*

[39] : www.barringer.com *(pachové detekční systémy)*

8 ŽIVOTOPIS

Studium, zaměstnání autora :

Narodil jsem se 9.2. 1968 ve Šternberku, okres Olomouc. Základní školu jsem navštěvoval na ZDŠ J. Haška v Uničově. Střední školu jsem ukončil v roce 1986 na SPŠ strojní v Uničově maturitou. V roce 1990 jsem úspěšně ukončil státní zkouškou studium na fakultě strojní a elektrotechnické při VŠB v Ostravě a získal jsem titul inženýr. V témže roce jsem nastoupil do Uničovských strojíren a.s. jako technolog, zabývající se tvorbou technologických postupů pro výrobu a montáž mechanických součástí a celků *(zejména pro těžební velkostroje řady KU 300, KU 800).* Tento pracovní poměr jsem ukončil v září 1993 a poté jsem pracoval do roku 1996 pro Bank Austria a.s jako samostatný pracovník v úseku bezhotovostního platebního styku - platební karty VISA.

V letech 1993 - 1994 jsem absoluvoval na Pedagogické fakultě při UP v Olomouci s vyznamenáním postgraduální studium pro absoluventy vysokých škol technických. V letech 1993 - 1995 jsem současně absoluvoval specializační studium na Ústavu soudního inženýrství při VUT v Brně. Od 25. 10. 1996 jsem až do současnosti soudním znalcem pro obory (KS v Ostravě, č.j. : Spr. 3143/96) :

1. doprava, odvětví doprava silniční, doprava městská
2. ekonomika, odvětví ceny a odhady motorových vozidel
3. strojírenství, odvětví strojírenství všeobecné, se specializací autoopravárenství

V letech 1998 - 1999 jsem byl spolumajitelem a jednatelem společnosti Invicta Bohemica, s.r.o se sídlem v Praze 1, Senovážné nám. 23, IČO 25715101. Tato společnost se zabývá technicko - ekonomickými analýzami palivoenergetického komplexu.

V současnosti se profesně výhradně zabývám již jen znaleckou, publikační, výukovou a zejména výzkumnou činností v oboru. Ve výhledu 5 - 10 let předpokládám, že tento stav bude setrvalý, jelikož mě velmi uspokojuje činnost v předmětném oboru. Další informace o autorovi práce je možno získat na http://rabek.aktualne.cz.

K zálibám :

Mým největším koníčkem je výzkum v oboru analýza dopravních nehod, se zaměřením na tvorbu nových metodických postupů řešení a teoretický výzkum rázu vozidel. V současné době se zabývám realizací těchto teoretických poznatků a metodických nápadů, které společně s RNDr. ing. Jindřichem Šachlem, jr. využíváme ve vlastním expertním programu pro analýzu střetu vozidel „Impulz Expert 1.0“. Této činnosti věnuji během posledních dvou let velké množství času a úsilí. Závodně se věnuji šachové hře.

9 ABSTRACT

The content of the work is the investigation of whether it is possible to obtain additional information about traces at the scene of a traffic accident, which are not visible by human eye. Specifically, the work deals with the possibility of optical detection of invisible part of the braking trace of a passenger car equipped with ABS system under various climatic conditions. Another task is the investigation of possibility of finding the real final positions of vehicles and lying persons (for example an injured pedestrian) if the vehicles or persons were moved prior to arrival of the Police. Having performed the laboratory measurements of optical properties of the investigated substances – tyre, asphalt surface of the road (reflection, luminescence), the author of the work uses thermographical procedure to achieve the objectives of the research.

A significant optical information about invisible part of the braking trace can be obtained on a dry road in very warm (hot) sunny weather. It was established that the temperature field, which the vehicle or a lying pedestrian leaves behind in the final position can be established on a dry road for as much as ca 45 minutes. The concrete conditions of measurement, read data and hypotheses explaining the results arrived at are descried in details in the work.