

Rozlišovací schopnost v případě nehod způsobných za tmy

-

Sledování součinitelů odrazu

Ruth Paas
Pavel Pustina

Tento článek se zabývá analýzou dopravních nehod, ke kterým dochází za soumraku popř. za tmy. Blíže se zaměříme na fenomén viditelnosti osob na vozovce.

V úvodu uvádíme ve stručném shrnutí základní fyzikální údaje. Na základě těchto skutečností přinášíme vysvětlení, jak lze pomocí zákonů odrazu vytvořit model rozptýlení světelné hustoty, na základě něhož lze vyhodnotit viditelnost. Na rozdíl od dosud běžné vizualizační metody můžeme prostřednictvím tohoto postupu dosáhnout velmi přesného stanovení chyb zjištěných hodnot. Závěrem představíme postup pro měření součinitelů odrazu.

1. Úvod

Při řešení dopravních nehod, ke kterým dochází za soumraku popř. za tmy, hraje velkou roli nesprávně stanovený vliv světelných poměrů. Přitom si často musíme klást otázku, jaké objekty by byli bývali museli vidět účastníci dopravní nehody, aby dokázali předejít dopravní nehodě.

V případě nízké intenzity světla vnímá oko okolí pouze pomocí tyčinek citlivých na kontrast. Na základě modelu vnímání kontrastu je možné za stávajících kontrastů posoudit viditelnost určitého objektu popř. osoby na vozovce jak bez tak i s oslněním [1]. Důležitý nástroj znalce při posuzování nehod za soumraku a za tmy proto spočívá ve vytvoření rozptylu (rozložení) světelné hustoty.

Prostřednictvím vhodných fotometrických měřicích přístrojů lze měřit rekonstruované rozložení světelné hustoty. S touto metodou jsou ovšem spojeny následující dvě značné nevýhody. Zaprvé se mohou, v závislosti na metodě měření, velmi snadno vyskytnout velmi závažné chyby při provádění měření, které znemožní správné vyhodnocení situace. Kromě toho je na základě této metody téměř nemožné zohlednit v posudku povětrnostní podmínky, pokud je lze pro měření napodobit pouze nedostatečným způsobem.

Tento článek se proto zabývá jinou, dosud málo akcentovanou metodou aplikovanou pro rekonstrukci intenzity světla panující v okamžiku dopravní nehody. Tato metoda nám přináší objektivní informace, jejichž základem je měření součinitelů odrazu. Tento postup nabízí na rozdíl od běžných přístupů tu výhodu, že sice musíme znát světelné zdroje, situaci dopravní nehody ovšem nemusíme patřičným způsobem rekonstruovat.

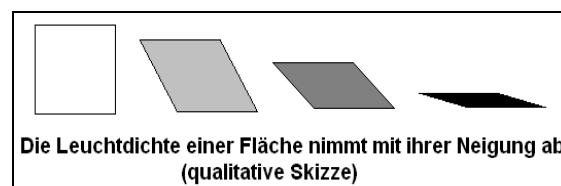
* * *

2. Základní fyzikální údaje

Světlo může ozařovat plochy zcela odlišným způsobem. Viditelnost osoby na vozovce se přitom stanoví prostřednictvím kontrastu, který se vytváří vzhledem k vozovce. Jinak řečeno, viditelnost za dané intenzity světla se stanoví prostřednictvím intenzity a druhu odrazu na vozovce popř. na oděvu dotyčné osoby. Níže uvádíme potřebné fyzikální pojmy pro výpočet za využití součinitele odrazu.

Světelná hustota L

Pod pojmem „světelná hustota“ rozumíme poměr intenzity světla odrážejícího se od určité plochy a zdánlivé plochy (pohled seshora na tuto plochu). V důsledku toho determinuje světelná hustota určité plochy subjektivně vnímanou světlost plochy (obr. 1).



Obr. 1: Světelná hustota určité plochy je její zdánlivá světlost, zohledňuje se zde sklon plochy

Pokud se na plochu podíváme pod úhlem θ zešikma k dopadu světla, vnímáme pouze promítnutí do viditelné roviny coby světelnou hustotu:

$$L = \frac{dD}{dA \cdot \cos(\theta)} = \frac{d\Phi}{dA \cdot \cos(\theta) \cdot d\Omega} \quad (1)$$

Přitom je dD světelnost, která ozařuje plochu dA a $d\Phi$ světelný tok, který plocha dA odráží do prostorového úhlu $d\Omega$. Součinitel odrazu plochy A se musí zakomponovat do světelnosti či do světelného toku, abychom tak získali správný výsledek.

Světelný zdroj	Světelná hustota
Slunce	$1,5 \cdot 10^9 \text{ cd/m}^2$
Noc	$1 \cdot 10^{-3} \text{ cd/m}^2$
Světlo žárovky (matovaná žárovka)	až $3 \cdot 10^5 \text{ cd/m}^2$
Bílý papír (400 lx)	100 cd/m^2
Měsíc	2000 cd/m^2

Tab. 1: Některé příklady ([2] mimo jiné) pro světelnou hustotu na volném poli

Druhy světelných zdrojů

Pro výpočet prováděný v rámci konkrétní nehody je účelné zařadit světelné zdroje do různých kategorií. V závislosti na způsobu šíření světla se přitom provádí následující klasifikace:

1. Světlo prostředí (osvětlení pozadí), které je charakteristické přibližně stejnou světelností do všech směrů, **2. směrové popř. přímé světelné zdroje**, jejichž světelnost se šíří určitým hlavním směrem (laser), **3. izotropní bodové světelné zdroje**, které se vyznačují malým rozsahem a září do všech směrů stejnoměrně. Tato klasifikace platí přibližně pro veškeré světelné zdroje, jejichž rozsah je malý ve srovnání se vzdáleností k pozorovateli, a které vykazují „úzké clony“. To znamená, že světelné zdroje nevykazují žádné nebo pouze zanedbatelně malé „clony“ odrážející světlo nebo že odrážejí pouze minimálně („clony odrážející světlo pouze nepatrně“). **4. Coby bodová svítidla popř. zářiče** označujeme veškeré bodové světelné zdroje, jejichž světelnost proniká prioritním směrem zadaným clonou

odrážející světlo nebo stíněním (např. pouliční lampy). **5. Plošné světelné zdroje** jsou světelné zdroje s velkým plošným rozsahem v poměru ke vzdálenosti pozorovatele. Pro každý druh zářičů je k dispozici přesně stanovená metoda pro provádění posudku, která se stanoví prostřednictvím závislosti intenzity světla na vzdálenosti pozorovatele.

Zákon odrazu

Záření vytvářejí elektromagnetické vlny, které podléhají principu superpozice v oblastech intenzity, které jsou pro nás zajímavé. Proto můžeme pracovat s každým světleným zdrojem samostatně, takže následně se musí provést pouhý součet nashromážděných výsledků. Plocha, kterou ozařuje světlo, vyzařuje určitou světelnou hustotu. Příslušný předpis pro provádění výpočtu obsahuje zákon odrazu.

Rozlišujeme mezi dvěma druhy odrazů, mezi difúzním odrazem (reflexí) a usměrněným odrazem. V případě difúzního odrazu se dopadající světlo odráží všemi směry. Světelná hustota, která vzniká na základě difúzních reflexí, závisí na směru pozorování, je ovšem nezávislá na úhlu dopadu světla. Čím šikmější je úhel pohledu na danou plochu, tím tmavší se nám plocha jeví.

V případě usměrněných odrazů jsou pro světelnou hustotu důležité dva úhly: úhel ozařování a úhel pozorování. V případě tohoto druhu odrazu je vyzařovaná světelná hustota zvlášť vysoká, pokud jsou oba výše uvedené úhly stejně velké.

V případě obou druhů reflexí je tak odraz závislý na směru.

Reflexe znamená z různých důvodů vždy ztrátu světlosti. To se vyjadřuje

prostřednictvím příslušného součinitele odrazu R , který je v případě, který není ideální, menší než 1 (tabulka 2).

$$D_{aus} = R \cdot D_{ein} \quad (2)$$

Přitom je D_{aus} intenzita osvětlení odrážející se od plochy a D_{ein} osvětlení plochy v důsledku působení světelného zdroje.

Barvy	R	Materiál	R
bílá	0,8	kovové zrcátko	0,98
světle žlutá	0,7	omítka	0,8
světle zelená, růžová	0,4	bílé dlaždičky	0,7
nebeská modř	0,4	javor, bříza	0,6
světle šedá	0,4	dub, světlý	0,4
světle hnědá	0,3	beton	0,3
šedá	0,2	tmavé dřevo, červená pálená cihla	0,2
tmavě červená	0,1	stavební sklo	0,1
černá	0,1	jemná skla	0,035-0,04

Tab. 2: Několik údajů z literatury pro takřka paralelní dopad světla (přiblížení pro světla s dostatečnou vzdáleností ([3] aj.)

3. Rozlišovací schopnost dle modelu kontrastu

Odrážená světlost od ploch různého druhu vytváří v zorném poli pozorovatele více či méně markantní kontrast, na základě něhož můžeme posoudit viditelnost.

Kontrast světlo-tma nebo citlivost na rozdíly ve světelné hustotě

Celkový kontrast označuje rozdíl světelné hustoty mezi nejsvětlejším a nejtmaším bodem zorného pole.

Z fyzikálního hlediska se kontrast definuje jako:

$$K_{celk.} = \frac{L_{max} - L_{min}}{L_{max} + L_{min}} \quad (3)$$

$$K_{bod} = \frac{L_{bod} - L_{refer.}}{L_{refer.}} \quad (4)$$

Přitom L je světelná hustota. Kontrast chodce na vozovce je tedy

$$K_{chodce} = \frac{L_{oděvlnice}}{L_{silnice}}$$

Potřebný minimální kontrast, při němž jsou objekty viditelné, činí

$$K_{min} = \frac{L_{okolí} + \Delta L_0}{L_{okolí}} = \frac{I}{I_0} = 0,02$$

Přitom je $L_{okolí}$ střední světelná hustota zorného pole, ΔL_0 rozdíl světelné hustoty sledovaného objektu vzhledem k okolí a I jsou příslušné intenzity.

Schopnost vnímání s ohledem na kontrast se zhoršuje úměrně s tím, čím tmavší je absolutní světelná hustota okolí. Na rozdíl od toho se zvyšuje absolutní vnímání světelné hustoty (vnímání oslnění) úměrně s poklesem absolutní světelné hustoty okolí. Čím větší je tma, tím je tedy důležitější, aby se vzhledem k okolí vytvářely velké kontrasty tak, aby zůstala zachována dostatečná vnímatelnost. Působení oslnění lze vypočítat pomocí metody TI, která zohledňuje právě uvedené aspekty (bližší informace viz DIN EN 13201-3).

Můžeme tedy snadno vypočítat, zdali je určitý objekt viditelný, pokud známe hodnoty světelné hustoty pozorovaných ploch. To lze vypočítat na základě vlastností svítidel, pokud známe reflexní vlastnosti ploch. Výpočet se provádí buď na základě čistě empirického modelu osvětlení zpracovaného Phong Bui-Tuongem (1975, viz [3]) nebo na základě fyzikálního modelu osvětlení dle Schlicka (1993, viz [6]). Pro proces je vždy zásadně důležitý součinitel odrazu.

Oba modely jsou lokálními modely osvětlení. To znamená, že ve výpočtu zohledňují pouze přímé světelné zdroje, nikoli světelné paprsky odrážené od ostatních ploch. Toto přiblížení není v některých případech s velmi vysokou světelnou intenzitou dostačující. Pak musíme sáhnout po globálním modelu osvětlení, který zohledňuje také nepřímé světelné paprsky. Tím ovšem extrémně vzroste náročnost prováděných výpočtů. Příslušné počítačové simulace si v případě této metody vyžadují až několik hodin na provádění výpočtů tak, abychom získali reálně vypadající obraz. V těchto případech by se neměl aplikovat výpočet prostřednictvím součinitele odrazu.

* * *

4. Vlastní měření

4.1 Důležité fenomény dle Phongova osvětlovacího modelu

Světelné zdroje

Phongova výpočetní metoda rozlišuje mezi odrazy různého druhu, přičemž se samostatně pozorují druhy světla jako jsou ambivalentní, difúzní a usměrněné světelné zdroje:

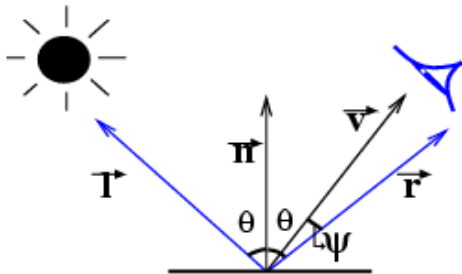
$$\begin{aligned}
 I_{aus} = & I_{amb} \cdot R_{amb} \\
 & + I_{ein} \cdot R_{dif} \cdot \cos(\theta) \\
 & + I_{ein} \cdot R_{spe} \cdot \cos^m(\psi)
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

Přitom jsou I_{amb} (ambientní) intenzita záření okolního světla, I_{ein} intenzita světla svítidel dopadající na podložku, R součinitele odrazu odpovídající druhu rozptylu světla, amb = ambientní, dif = difúzní, spe = specular (zrcadlí se komponenty), θ je úhel mezi směrem dopadu \underline{l} světla a vertikálou \underline{n} na povrchu a ψ je úhel mezi ideálním směrem odrazu odrážejícího se světelného paprsku \underline{r} a směrem pohledu pozorovatele \underline{v} (obr. 2).

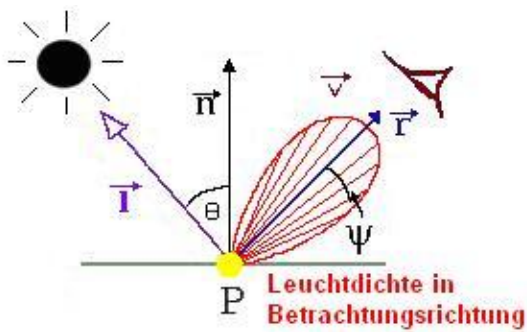
Přizpůsobení struktury povrchu

V Phongově modelu se měří světelná hustota odrážená od určité plochy pomocí různých úhlů pohledu. Vyplyvá z toho, že závislost na úhlu se přibližně rovná průběhu funkce \cos^m . Tato hypotéza se opět objevuje v posledním sčítanci rovnice (5). Exponent m je *materiálová konstanta* a popisuje působení povrchové struktury materiálu při odrazu. Na obrázku 3 vidíme světelné paprsky odrážející se různými směry, délka šipek přitom udává intenzitu odrazu. Obrázek 4 znázorňuje funkce \cos^m pro zvolené hodnoty m ,

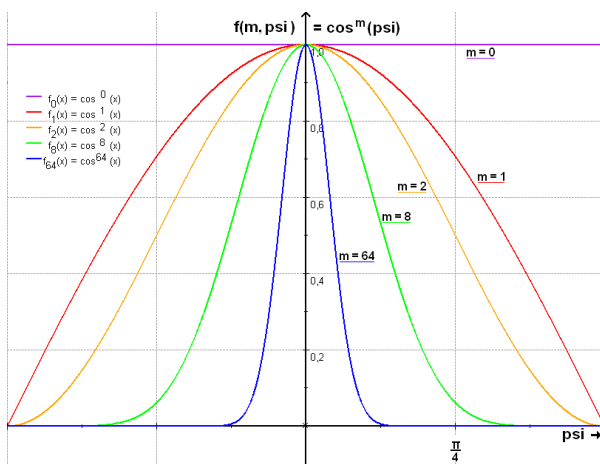
intenzita odrazu pod určitými úhly ψ se uvádí na ose y. V případě $m = 1$ se u tohoto materiálu jedná o **Lambertův zářič**, tedy o ideální difúzní reflektor. Čím vyšší je hodnota m , tím méně materiál rozptyluje dopadající světlo.



Obr. 2: geometrický náčrtek [7]



Obr. 3: odrážející se paprsky zrcadlí se komponenty povrchu se odrážejí s vyšší hodnotou ψ ve tvaru funkce \cos^m



Obr. 4: Funkce \cos^m popisují v Phongově osvětlovacím modulu intenzitu poklesu světla při

zvětšujícím se úhlu ψ (což odpovídá úhlu psi v grafickém zobrazení)

4.2 Zjednodušení

Vyhodnocení konkrétní dopravní nehody nám často umožňuje provést některá zjednodušení. Za účelem posouzení viditelnosti osoby na vozovce se nemusí rekonstruovat celé zorné pole řidiče. Pro případ, že řidič ve svém přímém zorném poli neviděl žádný značně rozšířený světelný zdroj, pak se musí pouze posoudit povrch silnice a oblečení chodce (A). Navíc je účelné omezit se na posouzení viditelnosti v posledním možném reakčním bodě (nebo v jiném, libovolně zvoleném bodě) (B). Pak postačí změřit směr dopadu a odrazu světla zaznamenaný prostřednictvím polohy světel, chodce a zvoleného bodu (obr. 3). Tyto směry se následně označí pouze jako vyznačené směry popř. světelné paprsky. Není proto bezpodmínečně nutné provádět přesnější měření materiálové konstanty m , protože se \cos^m -Term prakticky promítá v součinitelích odrazu závislých na směru. Další zjednodušení můžeme provést tehdy, je-li okolní světlo malé ve srovnání se světly vyzařujícími světlo na chodce popř. do jeho bezprostředního okolí (C). Pak můžeme od měření ambientního součinitele odrazu upustit. Měření se tedy nakonec omezí na relativně malý počet hodnot. Sem patří rozměry vozovky, které se ovšem také musí zaznamenat pro jiné účely, polohy a vlastnosti světel, které můžeme zjistit na příslušných místech, a měření součinitelů odrazu.

Zjednodušení

A) Situace: Světelná hustota je relativně konstantní v zorném poli obviněného.

Důsledek: S ohledem na světelné vlastnosti se musí proměřit pouze oděv a bezprostřední okolí chodce.

B) Situace: Provedli jsme již analýzu průběhu dopravní nehody a nabízí se již pouze otázka viditelnosti v prostoru.

Důsledek: Smysluplně zvolený pozorovací bod vymezení počet nutně prováděných měření.

C) Situace: Okolní světlo je velmi tmavé ve srovnání s konkrétními světly.

Důsledek: Měření a výpočet ambientních součinitelů odrazu odpadá.

Zaznamenávané hodnoty

- 1) Světelné zdroje
 - a. Ambientní světelná hustota
 - b. Intenzita osvětlení stran znečištěných světél
 - c. Směr záření světél
 - d. Poloha světél
- 2) Povrchy (silnice v okolí chodce, oděv chodce)
 - a. Rozměry a poloha
 - b. Součinitele odrazu

4.3 Součinitel odrazu

V rámci této metody je tedy součinitel odrazu směrodatnou veličinou (obr. 5).

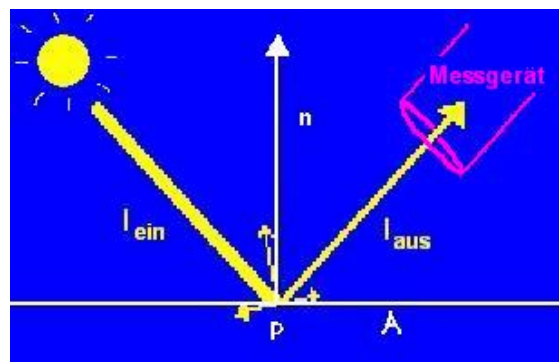
Při měření součinitelů odrazu nehraje obecně žádnou roli skutečnost, zda se

měří dopadající a odrážející se světelná hustota L , intenzita osvětlení E nebo namísto toho intenzita I . Proto lze v tomto oddílu používat jednotlivé pojmy ekvivalentně. Platné jsou následující vzorečky:

$$E_{aus} = R \cdot E_{ein} \quad (6a)$$

$$L_{aus} = R \cdot L_{ein} \quad (6b)$$

$$I_{aus} = R \cdot I_{ein} \quad (6c)$$



Obr. 5: Ztráty při odrazu kvůli $R < 1$

Jak jsme měli možnost vidět, v nejhorším případě musíme na každé důležité ploše stanovit vždy tři různé součinitele odrazu. Jsou to:

1) Součinitel odrazu determinovaný prostředím

Ten by se měl dle možností měřit bez rušivého vlivu světél. Buď si světelnou hustotu světla okolí v okamžiku měření zjistíme u meteorologického ústavu nebo si ji změříme sami za využití vhodného přístroje. Světelná hustota vyzařovaná povrchem ve směru pozorování nám poté na základě vzorečku (6b) přináší informace o ambientním součiniteli odrazu.

$$R_{amb} = \frac{L_{aus}}{L_{Umfeld}} \quad (7)$$

2), 3) odrazový a difúzní součinitel odrazu

Ze směrů zjištěných na základě polohy světél necháme na zkoumaný materiál dopadat takřka paralelní světelný paprsek, jehož intenzitu známe. Tento paprsek poté zachytíme ve směru pozorování pomocí měřicího přístroje s malým úhlem otevření. Součinitel odrazu poté získáme výpočtem pomocí rovnice (6c):

$$R(x) = \frac{I_{aus}}{I_{ein}} \quad (8)$$

To by se mělo opakovat na různých místech na materiálu, abychom tak získali reprezentativní střední hodnotu a abychom mohli uvést toleranci chyby vypočítávaných hodnot.

Nyní můžeme postupovat dál dvojným způsobem.

1. Budeme jednotlivě sledovat zaznamenané světelné paprsky každého světla na různých bodech povrchu. Musí se pak pouze vytvořit střední hodnota na různých místech, aby bylo možné vypočítat vyzářenou intenzitu příslušného světla. Světelná hustota *plochy A* při *úhlu pozorování* $\varphi = \theta - \psi$ poté vyplyne z intenzity zjištěné na základě rovnice (9):

$$L = \frac{I_{aus}}{A \cdot \cos(\varphi)} \quad (9)$$

Světelné hustoty několika světél se navzájem sečtou, abychom tak získali celkovou světelnou hustotu plochy A.

Tato možnost nám sice neskýtá žádné informace o oddělení difúzního a zrcadlicího se součinitele odrazu, je ovšem u malého počtu světél spojena pouze s nízkými náklady.

2. Nejprve se provede měření na několika bodech povrchu, u nichž dopadá světlo na plochu paralelně k vertikále. Tím koeficient $\cos(\theta)$ z rovnice (5) odpovídá 1 a tudíž odpadá. Pokud úhel odrazu ψ kolísá, podobají se naměřená data funkci \cos^m . Příslušné přizpůsobení lze provést pomocí následujících parametrů:

$$I_{aus}(\psi) = c_1 + c_2 \cdot \cos^m(\psi) \quad (10)$$

$$c_1 = I_{amb} \cdot R_{amb} + I_{ein} \cdot R_{dif} \quad (11)$$

$$c_2 = I_{ein} \cdot R_{spe} \quad (12)$$

Běžné matematické programy přinášejí po zadání měřených dvojic hodnot (I_{aus}, ψ) konstanty c_1, c_2 a m. Pomocí jiných, již známých proměnných tak lze na základě rovnic (11) a (12) vypočítat součinitele odrazu.

V případě difúzního součinitele odrazu se ovšem musí ještě provést další měření, protože je tento součinitel obecně závislý na úhlu vyzařování světla θ . Doporučujeme vyměřit prioritní směry pomocí fixní hodnoty ψ a stanovit difúzní součinitel odrazu na základě všech nashromážděných dat, a sice při využití rovnice (5).

4.4 Přesnost měřicích přístrojů

Při měření se musí dbát obecně na to, aby byla zajištěna dostatečná přesnost, protože tyto hodnoty jinak nemají pro posouzení viditelnosti žádný význam. V závislosti na tom, jaká veličina se

měří, musíme dbát na různé body [1]. Veškeré měřicí přístroje připadající v úvahu musí být samozřejmě dimenzované pro uvažovaný účel využití.

Přístroje na měření světelné hustoty by měly vykazovat chybu měření maximálně 7%, aby celková chyba vyvolaná přístrojem nepřekročila hodnotu 10%. Nejmenší úhel otevření (pomocí nástavců či podobně) by se měl pohybovat do maximálně 0,2°. V ideálním případě můžeme pomocí tohoto přístroje měřit světelnou hustotu až s přesností na 0,001 cd/m². Není-li ambientní světelná hustota zdrojem jakýchkoliv problémů, např. pokud ji můžeme zanedbat nebo je-li dostatečně vysoká, pak můžeme použít i přístroje měřící s přesností na 0,01 cd/m². Při měření musíme dbát na to, aby na přístroj nepůsobilo jiné parazitní světlo jiného světelného zdroje než je světlo měřící svítilny.

Přístroje na měření intenzity osvětlení musí být bezpodmínečně vybavené dobrým přizpůsobením k $V(\lambda)/V'(\lambda)$ a $\cos(\varphi)$, protože jinak mohou vznikat nepřesnosti značně převyšující 100%. Po technické stránce jsou bezvadně přizpůsobeny vnímání lidského oka. Používání tohoto přístroje nám přináší tu výhodu, že se zobrazují také barvy světla, na něž lidské oko reaguje různě při různé světelné intenzitě okolí, čímž se optimalizuje přesnost měření. Nevýhoda spočívá v tom, že se použitelné přístroje nacházejí na základě své technické komplexnosti spíše ve vyšších cenových hladinách.

Při měření se musí dbát na to, aby se ani nezachycovalo parazitní světlo ani neclonilo pronikání měřeného světla.

* * *

5. Výhody předkládané metody

Metoda, kterou zde představujeme, se do jisté míry liší od dosud běžně používaných postupů. Těžištěm této metody je zaznamenání vlastností materiálu při známých vlastnostech svítilna a nikoliv měření simulované situace. Je snadné prověřit informace od účastníků této metody, tzn. že lze na základě subjektivních sdělení dospět k objektivnímu posouzení. Jelikož intenzita představuje základní fyzikální veličinu, do hodnocení mohou snáze vstupovat rušivé faktory jako je například počasí. Značný rozdíl od vizualizační metody spočívá v tom, že lze stanovit toleranci této metody.

Tento postup je tak zvlášť vhodný pro posuzování dopravních nehod, ke kterým došlo za soumraku nebo za tmy, při nichž

- 1) se v zorném poli obviněného vyskytují světelné paprsky pouze malého počtu světél
- 2) může být velmi obtížné provést rekonstrukci reálného osvětlení, např. ofocením apod.
- 3) není zajištěna optimální viditelnost, protože viditelnost přímo souvisí se zbytkovou intenzitou v určité vzdálenosti
- 4) světelná hustota v zorném poli řidiče nikterak zvlášť nekolísá

Mělo by se sáhnout po jiné metodě, pokud

- 1) byla silnice pokryta v okamžiku dopravní nehody „vodním filmem“, jehož přibližnou výšku nelze později bezpečně rekonstruovat
- 2) se v bezprostřední blízkosti místa dopravní nehody nacházejí plochy značně odrážející světlo (např. výlohy)

3) se průměrná světelná hustota v zorném poli obviněného značně liší od světelné hustoty silnice v okolí chodce. V tomto případě lze sice podobně provést analýzu prostřednictvím geometrického pozorování, musí se ovšem zaznamenat značně větší množství měřených hodnot a provést patřičně větší počet výpočtů, takže by se v tomto případě mělo pracovat s příslušným simulačním programem.

* * *

6. Shrnutí a výhled do budoucna

V našem článku jsme se zabývali přístupem, který slouží k objasnění otázky viditelnosti při dopravních nehodách, ke kterým dochází za soumraku nebo za tmy. Pro provádění výpočtů jsou přitom základem dvě fyzikální veličiny: **součinitel odrazu** a **světelná hustota**. Tak jak popisujeme v tomto pojednání, obecně lze rekonstruovat zorné pole řidiče empirickým způsobem bez využití vizualizační metody. Specifikem tohoto

přístupu je skutečnost, že lze provádět velmi přesné sledování chyb stanovených hodnot.

Náročnost na provádění výpočtů je sice vyšší než u vizualizačních metod, prezentovaná metoda ovšem nabízí značné výhody spočívající v libovolně přesné analýze chyb a v možnostech uvedených v tomto článku.

Protože se technické možnosti i nadále rozšiřují, budou v budoucnu možná k dispozici měřicí přístroje, které budeme moci používat pro provádění nutných měření. Následně lze z nashromážděných naměřených hodnot získávat zkušenosti a odhadované hodnoty. Navíc bychom si uměli představit, že by se zpracoval simulační program šitý na míru této metodě, který by, za využití naměřených hodnot, dokázal vypočítat kompletní rozložení kontrastu z pohledu řidiče.

Postup prezentovaný v tomto článku by tak mohl v dohledné době představovat užitečný nástroj pro zpracovávání fenoménu zvaného „viditelnost“.

Literatura:

- [1] Burg, Heinz / Moser, Andreas: Handbuch Verkehrsunfallrekonstruktion. Wiesbaden 2007, str. 829 – 854
- [2] <http://www.ubicampus.mh-hannover.de/~physik/vorlesung/kap46/kap46.html>, stav k: 18.11.2007
- [3] http://www.osram.com/osram_com/Tools_&_Services/Training_&_Knowledge/lichtlexikon_popups/pop_1_Absorption24475.jsp, stav k: 18.11.2007
- [4] Gramberg-Danielsen, Berndt: Der Dunkelheitsunfall / Berndt Gramberg-Danielsen, Erwin Hartmann u. Heinz Giehring. – Stuttgart: Enke, 1984
- [5] <http://web.inf.tu-dresden.de/~wm1/Masculus/cg.pdf/Licht.pdf>, stav k: 10.04.2007
- [6] <http://dept-info.labri.fr/~schlick/DOC/ewr3.html>, stav k: 18.11.2007
- [7] <http://medien.informatik.uni-ulm.de/lehre/courses/ss02/ModellingAndRendering/04-beleuchtungsmodelle.pdf>, stav k: 18.11.2007