

SVĚTELNÉ VLASTNOSTI VYBRANÝCH REFLEXNÍCH PRVKŮ

LIGHT REFLECTIVE ATTRIBUTES OF SELECTED MATERIALS

Jan Schejbal³², Arnošt Kuře³³, Jakub Motl³⁴, Jan Škoda³⁵, Michal Belák³⁶, Albert Bradáč³⁷, Martin Bilík³⁸

ABSTRAKT:

Článek je souhrnem dílčí části projektu specifického výzkumu, prováděného na ÚSI VUT v Brně za účelem ověření světelných vlastností vybraných reflexních a fluorescenčních materiálů a jejich porovnání s vlastnostmi, získanými u běžných oděvních materiálů na českém trhu. Článek shrnuje výsledky laboratorních měření vybraných světelných vlastností na sérii vzorků, zahrnující reflexní materiály používané v oděvním průmyslu, na výstražných oděvech, na různých propagačních předmětech a současně nepoužívanější materiály a barvy pro svrchní oděvy. V rámci laboratorního měření bylo provedeno, mimo jiného, měření difuzní a zrcadlové složky odraženého světla, která je důležitá pro viditelnost těchto prvků. V návaznosti na toto měření budou následně provedena praktická měření za různých světelných podmínek. Snahou výzkumu je ukázat zásadní rozdíl ve viditelnosti běžného oděvu chodce za snížené viditelnosti v porovnání s oděvem, opatřeným reflexními materiály a nalézt závislost mezi laboratorními výsledky a skutečným subjektivním vnímáním těchto povrchů za reálného provozu. Výsledkem projektu po jeho dokončení by mělo být zejména doporučení pro výběr a umístování reflexních prvků na chodce, pohybující se za snížené viditelnosti po vozovce, a to jak z hlediska barvy a velikosti, tak z hlediska umístění pro jeho co nejlepší viditelnost.

ABSTRACT:

The article is a summary of the partial specific research project, conducted at the IFE BUT in order to verify properties of selected light reflective and fluorescent materials and their properties compared with those obtained with conventional clothing materials on the Czech market. This article summarizes the results of laboratory measurements of selected attributes of light on a series of samples, including reflective materials used in the clothing industry, warning garments for various promotional articles, while the most commonly used materials and colors for outerwear. The laboratory measurements were carried out, among other things, measurement of diffuse and specular components, which is important for the visibility of these elements. Following this measurement will be carried out practical measurements under different lighting conditions. The aim of the research is to show the fundamental difference in visibility casual dress walkers in poor visibility compared to clothing, fitted with reflective materials. The result of the project after its completion, it should be recommendations for the selection and placement of reflective elements for pedestrians,

³²⁾ Schejbal, Jan, Ing. – Ústav soudního inženýrství v Brně, jan.schejbal@usi.vutbr.cz

³³⁾ Kuře, Arnošt, Ing. – Ústav soudního inženýrství v Brně, arnost.kure@usi.vutbr.cz

³⁴⁾ Motl, Jakub, Ing. – Ústav soudního inženýrství v Brně, jakub.motl@usi.vutbr.cz

³⁵⁾ Škoda, Jan, Ing. Ph.D. – Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, VUT v Brně, skoda@feec.vutbr.cz

³⁶⁾ Belák, Michal, Ing. – Ústav soudního inženýrství v Brně, michal.belak@usi.vutbr.cz

³⁷⁾ Bradáč, Albert, Ing. Ph.D. – Ústav soudního inženýrství v Brně, ing.bradac@usi.vutbr.cz

³⁸⁾ Bilík, Martin, Ing. et Ing. Bc. – Ústav soudního inženýrství v Brně, martin.bilik@usi.vutbr.cz

moving in poor visibility over the road, both in terms of color and size, and in terms of the location to the best possible visibility.

KLÍČOVÁ SLOVA:

reflexní prvek, retroreflektivita, chodec, oblečení, viditelnost

KEYWORDS:

retroreflectivity, high visibility, pedestrian, clothes, viditelnost

1 ÚVOD

Tento článek se zabývá výsledky specifického výzkumu, provedeného na Ústavu soudního inženýrství VUT v Brně, zaměřeného na stanovení některých optických vlastností reflexních, fluorescenčních a vybraných textilních materiálů.

Současný stav v oblasti používání reflexních prvků je velmi neuspokojivý. Reflexní prvky jsou užívány jen ve velmi omezeném množství, jsou brány spíše jako součást oblečení od výrobce, než vyhledávaný bezpečnostní prvek. Někteří lidé je sice již záměrně vyhledávají, jiní je však považují za zbytečné. Reflexní materiály však dokáží chodce v silničním provozu několikanásobně zviditelnit, a tím ho ochránit před potenciálním nebezpečím. Při nehodách mimo obec bylo například v roce 2010 usmrceno 54 chodců (o 7 osob více), z toho 39 chodců při nehodách v noční době (tj. přes 72%!!!) – převážně na silnicích I. a II. třídy (27, resp. 8 usmrcených chodců), ale také na dálnicích (2 usmrcení – především se jednalo o řidiče při opravě vozidel apod.).

2 SOUČASNÝ STAV POZNÁNÍ

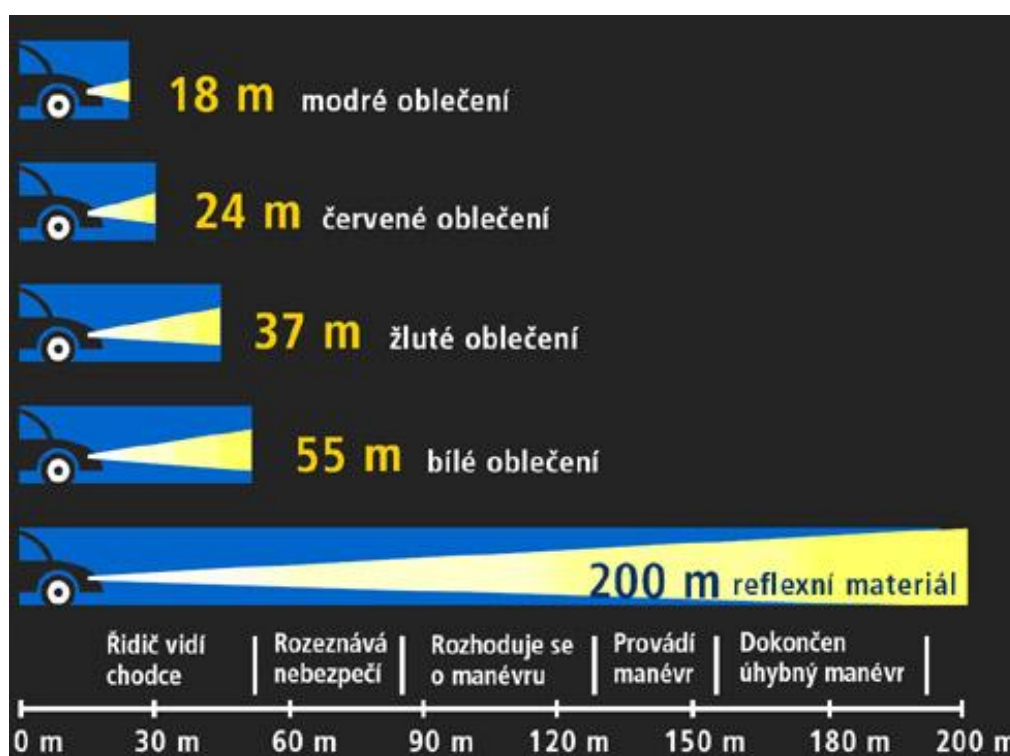
V současné době jsou nejpoužívanější dva druhy materiálů, které zviditelňují chodce či cyklisty. Vedle reflexních materiálů jsou to i takzvané fluorescenční barvy, což jsou barvy sytě žluté, oranžové či zelené, koncipované především jako vesty nebo bundy. Tyto fluorescenční barvy vytváří dobrý kontrast proti okolí, kde se běžně nevyskytují, a jsou tedy dobře vidět za denního světla. Avšak v noci a za snížené viditelnosti jsou prakticky neviditelné. A právě v těchto situacích se osvědčují reflexní materiály, které fungují na principu odrazu světla (tedy vrací co největší podíl dopadajícího světla zpátky ke zdroji). Množství odraženého světla je závislé mj. na intenzitě světla a druhu světelného zdroje. Dle dosavadního poznání postačuje zhruba pěticentimetrový proužek reflexního materiálu, aby chodce výrazným způsobem zviditelnil. S kvalitním reflexním materiálem má řidič šanci rozpoznat chodce na podstatně větší vzdálenost před vozidlem a má tedy více času přizpůsobit svou jízdu konkrétním podmínkám.

Je obecně známo, že různé druhy běžně užívaných barev oblečení jsou za snížené viditelnosti velmi špatně viditelné a je doporučeno užívat reflexních prvků, které zvýší viditelnost chodce (cyklisty). Není však řešeno, jak jsou jednotlivé druhy reflexních materiálů viditelné, tedy jaká je jejich retroreflexivita, resp. na jakou vzdálenost je řidič schopen objekt označený takovýmto materiálem registrovat. Dále doposud nebyl kvantitativně stanoven rozdíl mezi homologovanými a nehomologovanými reflexními prvky.

Dalším problémem současné doby je skutečnost, že v české legislativě není zakotveno povinné užití reflexních materiálů chodci a cyklisty v noci, popř. za jinak snížené viditelnosti, jako je tomu v jiných zemích (např. Slovenská republika). Oproti tomu je již zavedena povinnost motoristům mít v automobilu reflexní vestu a tuto v případě pohybu po vozovce

mimo vozidlo v určitých případech použít. Přitom pravděpodobnost nečekaného pohybu řidiče mimo vozidlo je podstatně nižší, než pravděpodobnost pohybu chodce či cyklisty (často neosvětleného) po neosvětlené vozovce v noci.

Tímto výzkumem se částečně zabývá národní organizace BESIP, se kterou byla v rámci tohoto projektu navázána blízká spolupráce. Z výsledků organizace BESIP se můžeme například dozvědět dohled na chodce v různých barvách oblečení. Pouze rozlišení barev oblečení, respektive barevných odstínů však nemá pro naše účely dostatečnou vypovídací hodnotu. Skutečná vzdálenost, na kterou je objekt vidět závisí také na druhu použité barvy a podkladovém materiálu. I přesto je např. z následujícího obrázku zřejmé, že reflexní materiál je v noci vidět na cca 4x větší vzdálenost než bílé oblečení a na více než 10x větší vzdálenost než oblečení modré. Při rychlosti 90km/h potřebuje řidič nejméně 25 metrů (1 sekundu) na to, aby si uvědomil nebezpečí a odpovídajícím způsobem zareagoval. Po 1s začne zpomalovat, nebo zahájí vyhýbací manévr. Z obrázku 1 je tedy zřejmé, že na chodce v modrém či červeném oblečení by ani nestihl zareagovat a už by se dostal na jeho úroveň. Ve zdroji, ze kterého pochází tento obrázek, opět není řešeno, jaká byla barva testovaného reflexního prvku, zda byl homologovaný, nebo ne a jaké byly povětrnostní podmínky.



Obr. 1 – Viditelnost chodců podle barvy oblečení [3]

Fig. 1 – Pedestrians visibility by clothes color

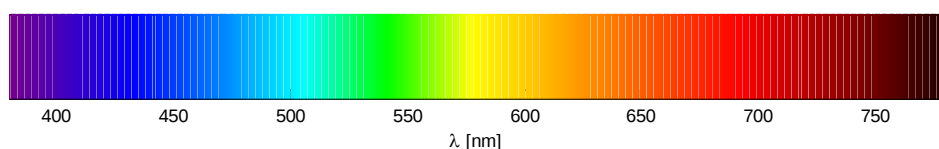
3 ÚVOD DO PROBLEMATIKY

Reflexní vesta se z pravidla skládá ze dvou materiálů, kterými jsou úplet a odrazný prvek. Každý z materiálů plní na vestě jinou funkci, a tudíž je nezbytné, k nim přistupovat při jejich hodnocení odlišně.



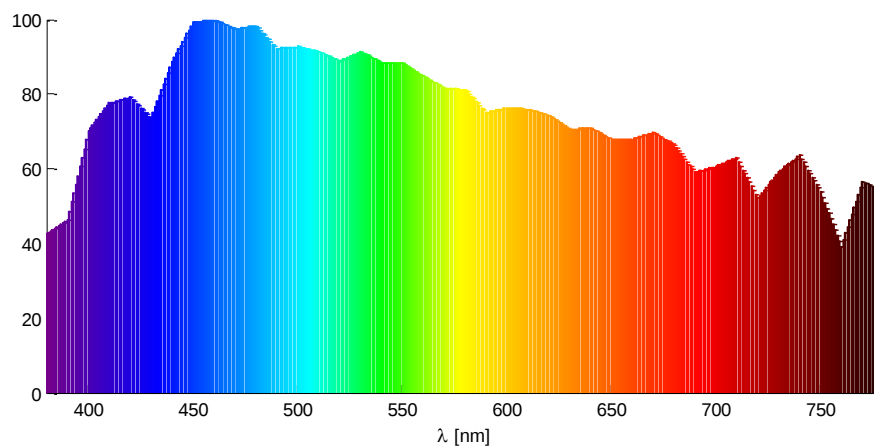
Obr. 2 – Vzorkovník reflexních barev. [1]
Fig. 2 – Reflective colors sampler.

Úplet je většinou tvořen tkaninou výrazné barvy, jež se vyznačuje fluorescencí, tj. dějem, při kterém se krátkovlnné záření (UV, modrá barva, ...) transformuje do oblasti záření s delšími vlnovými délkami (např. zelená nebo oranžová barva),



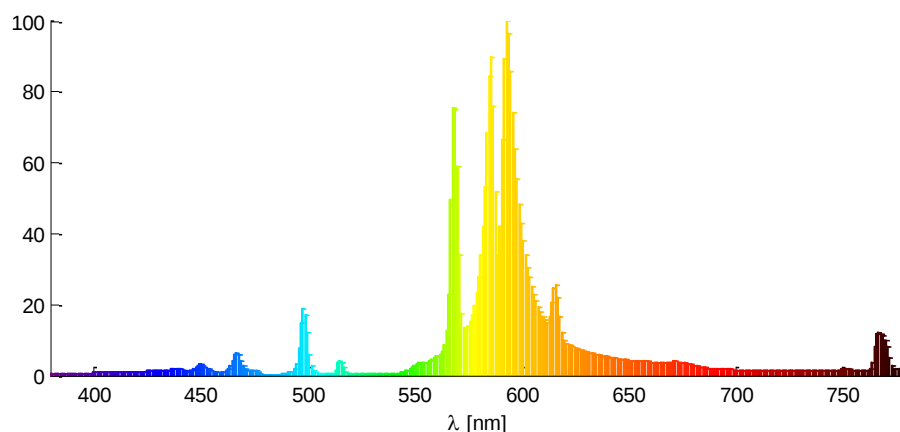
Obr. 3 – Barevné spektrum světla.
Fig. 3 – Color spectrum of light

kde se přičte k odraženému světlu a vznikne tak dojem výrazné (reflexní, syté) barvy. Nutno však upozornit, že k uskutečnění tohoto jevu je zapotřebí, aby dopadající záření obsahovalo krátké vlnové délky, které budou transformovány na delší.



Obr. 4 – Barevné spektrum normalizovaného denního světla CIE D65.
Fig. 4 – Color spectrum of normalized daylight CIE D65

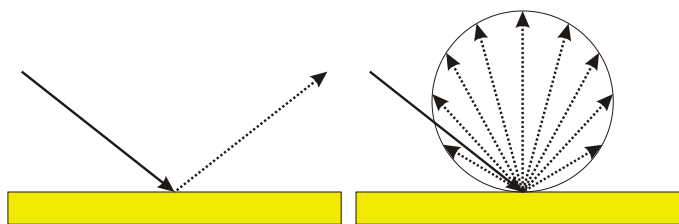
Tento děj se velmi výrazně projevuje při denním světle, neboť jeho spektrum je velmi bohaté na modré složky světla (Obr. 4). Naproti tomu při osvětlování umělým světlem, jenž se u venkovní osvětlovací soustavy realizuje v ČR převážně vysokotlakými sodíkovými výbojkami, se tento jev díky nízkému podílu modrých složek (Obr. 5) tak výrazně neuplatní. Proto má-li reflexní vesta dobře sloužit jako pasivní ochrana chodců v silničním provozu i v noci, musí být vybavena odraznými prvky, které odráží co nejvíce světla zpět ve směru dopadu, tj. nejlépe do oka přibližujícího se řidiče. Z výše uvedených skutečností vyplývá, že úplet vesty hraje svou roli hlavně přes den a odrazné prvky v noci, resp. v situaci, kdy je chodec osvětlován světly k němu přijíždějícího dopravního prostředku. Z toho rovněž plynou i požadavky na jednotlivé prvky vest.



Obr. 5 – Barevné spektrum vysokotlaké sodíkové výbojky.

Fig. 5 – Color spectrum of high pressure sodium lamp.

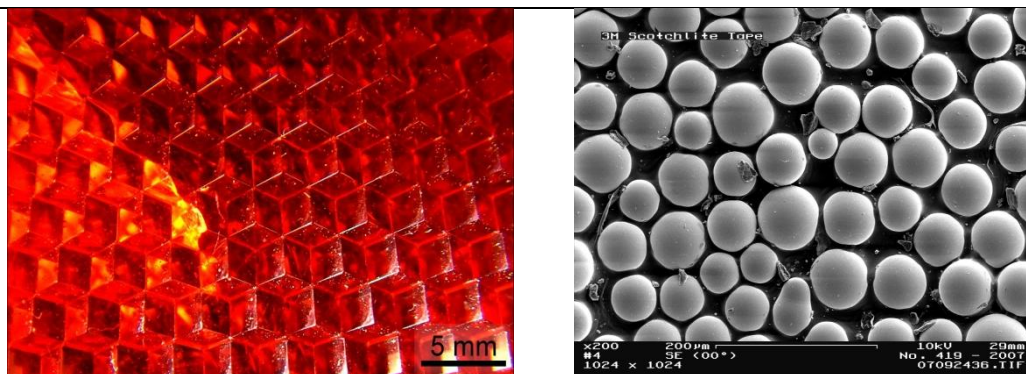
Úplet by měl mít s ohledem na rozptýlenost denního světla vlastnosti difúzního materiálu, tj. materiálu, jenž bude všesměrově odrážet světlo nezávisle na úhlu jeho dopadu a měl by mít takovou barvu (viz předchozí text), aby ve spojitosti s okolím byl zajištěn pro osobu co nejlepší kontrast (tj. výrazné odlišení od okolí).



Obr. 6 – Zrcadlový a difúzní odraz.

Fig. 6 – Mirror and diffuse reflection.

Reflexní prvky, které jsou na vestě realizovány většinou formou pruhů, mají naopak plnit funkci jakéhosi zrcadla, tj. prvku, který nebude rozptylovat světlo, ale bude jej odrážet zpět směrem ke zdroji resp. k řidiči přibližujícího se dopravního prostředku. Takový odraz se v praxi realizuje většinou dvěma způsoby, a to soustavou rohových zrcadel (hranol nebo tři rovinná zrcadla upořádaná tak že tvoří roh) nebo skupinou kulových zrcadel většinou realizovaných z mikroskopických kuliček (Obr. 7).



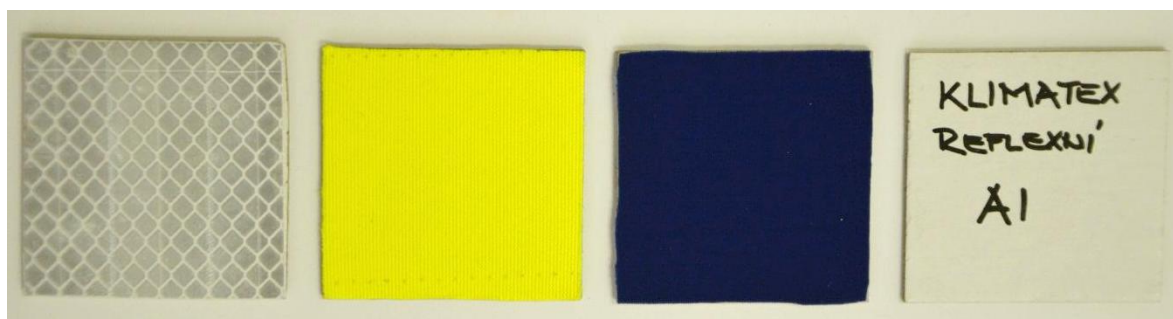
Obr. 7 – Povrch reflexních prvků. [2], [3]

Fig. 7 – Reflective materials surface.

4 MĚŘENÍ ODRAZIVOSTI

Měření odrazivosti se provádělo na souboru vzorků, ve kterém byly obsaženy vybrané textilní, reflexní a fluorescenční materiály. Jedná se převážně o materiály běžně dostupné na českém trhu. V souboru jsou zahrnuty reflexní vesty (značkové i neznačkové), reflexní pásy a samolepky, čepice s reflexními prvky, reflexní přívěšky, ale také vzorky ryze textilní bez reflexních nebo fluorescenčních vlastností. Tyto vzorky byly získány především díky spolupráci s firmou Klimatex, a.s. a organizací BESIP.

Z každého materiálu byl odebrán vzorek, čtverec o rozměrech 50x50 mm, který byl následně nalepen na kartonovou bílou destičku (Obr. 8).



Obr. 8 – Vzorky materiálu připravené na měření.

Fig. 8 – Materials samples prepared for measurement.

Jelikož je zapotřebí u materiálů difúzních nebo reflexních vyhodnocovat míru odraženého světla, je třeba k tomu užít vhodnou měřicí aparaturu. Tato měřicí sestava by měla umět změřit difúzní a zrcadlovou složku materiálů. Těmto požadavkům vyhovuje i námi použitý spektrofotometr Konica Minolta CM-3600d, jehož vnitřní uspořádání je navrženo tak, aby bylo možné změřit oba požadované parametry. Při měření zrcadlového odrazu je prvořadé změřit odražené světlo zpět ke zdroji, proto by zdroj a senzor měly být co nejblíže u sebe. Výše zmiňovaný spektrofotometr toto realizuje soustavou optických prvků, pomocí kterých lze dosáhnout při měření zrcadlové složky odklonu od normály 8°. [4]

Přístroj nevyhodnocuje integrální odraznost, ale spektrální odraznost (ve viditelné oblasti) tj. míru odraženého světla na jednotlivých vlnových délkách od 360 nm do 740 nm

s krokem po 10 nm. Výhoda spektrální odraznosti vůči integrální spočívá v nezávislosti na dopadajícím světle.

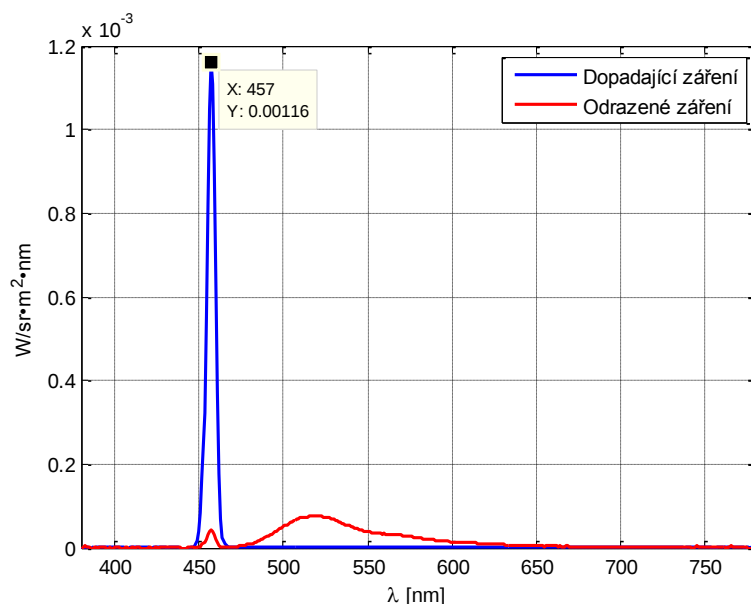
Příklad: Bude-li na desku odrážející pouze červené světlo dopadat světlo modré, žádné se neodrazí a veškerá energie se pohltí. Integrální činitel odraznosti bude nulový. Bude-li naopak na tuto desku dopadat červené záření, odrazí se v ideálním případě všechno. Činitel odraznosti tedy bude pro červené světlo sto procent.

Tímto způsobem můžeme hodnotit, zda ten či onen materiál bude dobře odrážet světlo z halogenových případně xenonových reflektorů.

Měření probíhá srovnávací metodou, kdy testované vzorky jsou porovnávány s kalibrovaným vysoce odrazným materiálem bílé barvy, u kterého má výrobce měřicí aparatury přesně změřenu spektrální charakteristiku. Vzájemným srovnáním testovaného materiálu s tímto vzorkem lze pak stanovit jeho spektrální odraznost.

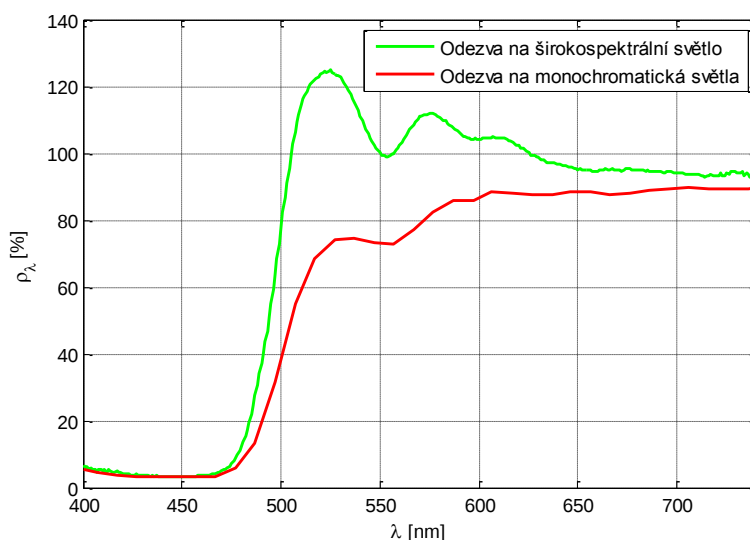
Zajímavá skutečnost nastává při měření materiálů vykazujících fluorescenci. Aby se dala stanovit spektrální odraznost materiálu ve výše uvedeném rozsahu, je třeba testovaný vzorek osvětlovat širokospektrálním zdrojem světla. Díky přítomnosti krátkých vlnových délek v používaném světle, dochází u fluorescenčních materiálů k jeho převedení na světlo s delšími vlnovými délkami a materiál tak v určitých oblastech spektra vykazuje odraznost větší než 100 %, tj. že se na určitých vlnových délkách odrazí, resp. vyzáří, více světla, než kolik jej dopadlo. Jelikož je ale tento děj při vlastním měření závislý na spektru dopadajícího světla, je nutné, aby všechny vzorky, které chceme vzájemně porovnávat, byly osvětlovány stejným druhem světla. Toho je docíleno výrobcem předepsanou kalibrací před každým měřením. Jedině tak lze získat relevantní data, použitelná pro další zpracování.

V případě, kdy požadujeme změření spektrální charakteristiky bez projevu fluorescence, musíme k tomuto účelu použít monochromatický zdroj světla a testovat tak množství odraženého světla vyzářeného na stejné vlnové délce jako je vlnová délka zdroje.



Obr. 9 – Odezva na monochromatické záření 457 nm.

Fig. 9 – Monochromatic radiation 457 nm response.



Obr. 10 – Spektrální odraznost pro širokospektrální a monochromatická světla.

Fig. 10 – Spectral reflectance for broadspectral and monochromatic light.

Pokud změříme i postranní vlnové délky, lze snadno odhalit fluorescenční vlastnost materiálu. Na obr. 9) je zobrazena odezva na monochromatické záření 457 nm, u které se v pásmu od 470 nm do 700 nm projevuje záření způsobené fluorescencí. Na obr. 10) jsou pro názornost zobrazeny spektrální průběhy téhož vzorku pro případy, kdy je uvažována fluorescenční složka a kdy je z průběhu vyloučena.

Pro vzájemné porovnávání vzorků a jejich hodnocení, je vhodné fluorescenční vlastnost do spektrální charakteristiky zahrnout, neboť se jedná o žádoucí stav.

Budeme-li hodnotit vztah odrazného materiálu vůči druhu dopadajícího resp. odraženého světla, je výhodné tuto vzájemnou závislost vyjádřit integrálním činitelem odrazu ρ , který lze jednoduchým způsobem vypočítat z následujícího vztahu

$$\rho = \frac{\int_0^{\infty} \left(\frac{d\Phi_e(\lambda)}{d\lambda} \right)_{\lambda} \cdot V(\lambda) \cdot \rho(\lambda) \cdot d\lambda}{\int_0^{\infty} \left(\frac{d\Phi_e(\lambda)}{d\lambda} \right)_{\lambda} \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda}$$

kde $\left(\frac{d\Phi_e(\lambda)}{d\lambda} \right)_{\lambda}$ reprezentuje spektrum dopadajícího záření,

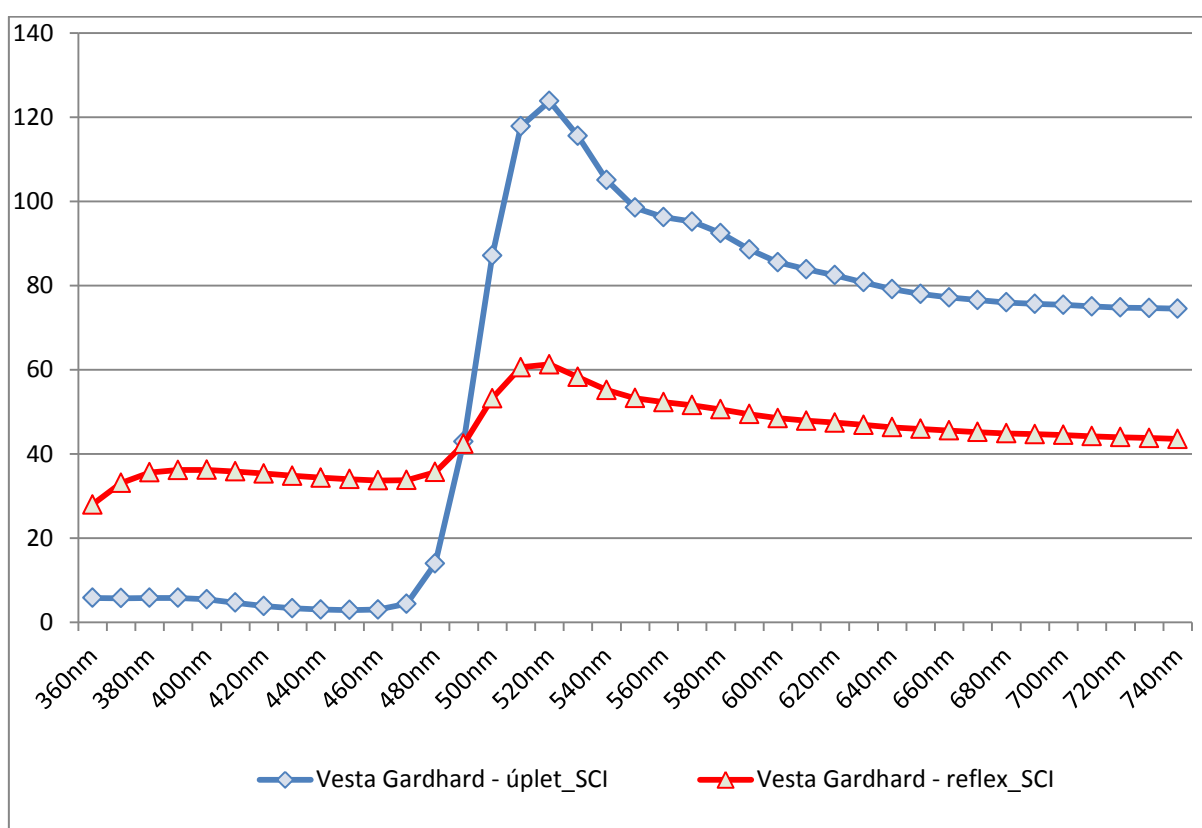
$V(\lambda)$ reprezentuje spektrální citlivost normálního fotometrického pozorovatele (spektrální citlivost lidského oka) a

$\rho(\lambda)$ zastupuje spektrální činitel odraznosti.

5 VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH DAT

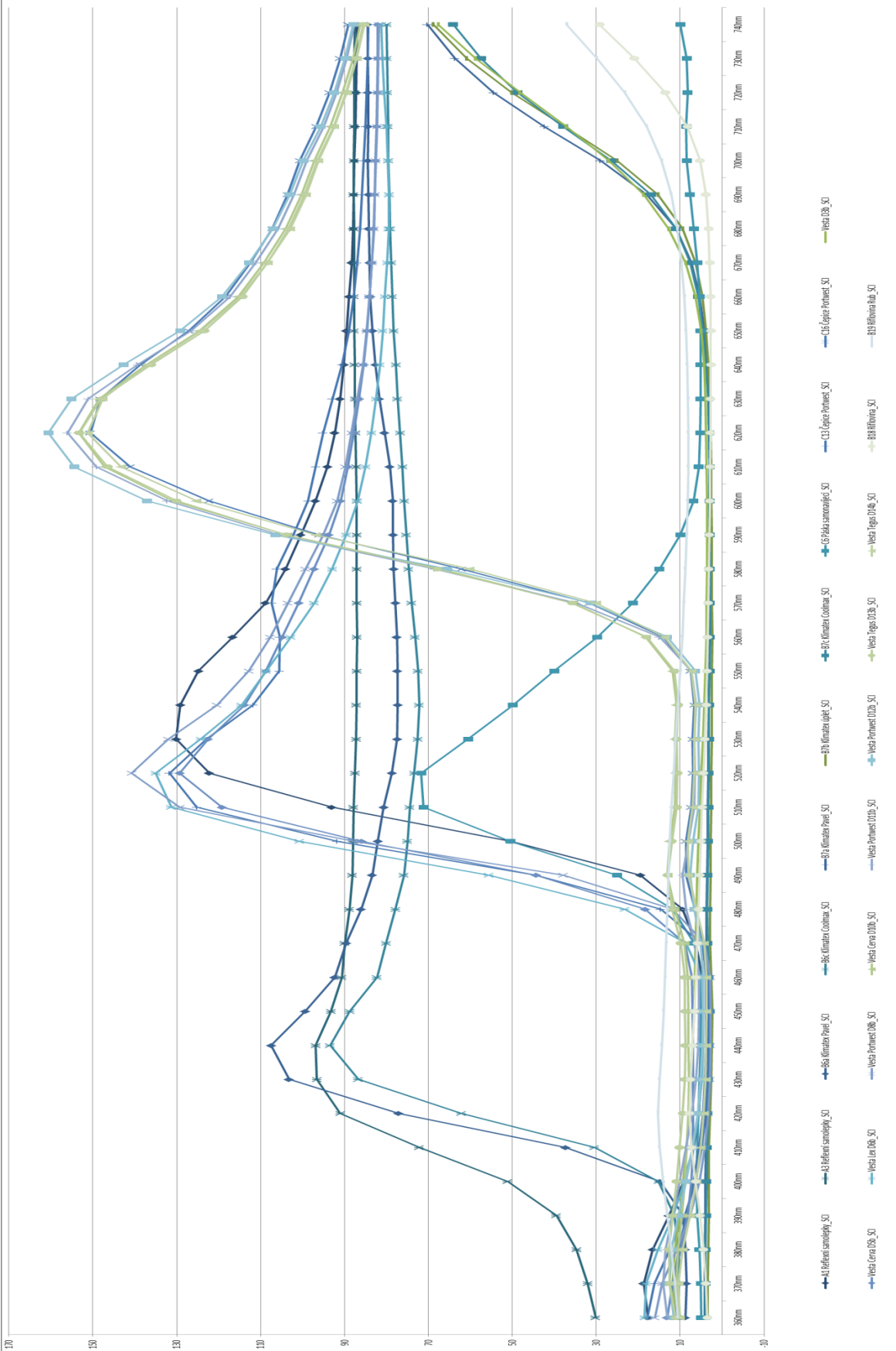
Data z provedených laboratorních měření, která byla uskutečněna ve spolupráci s Fakultou elektrotechniky a komunikačních technologií VUT v Brně, byla byla zdrojem pro následující grafy hodnot odrazivosti jednotlivých prvků.

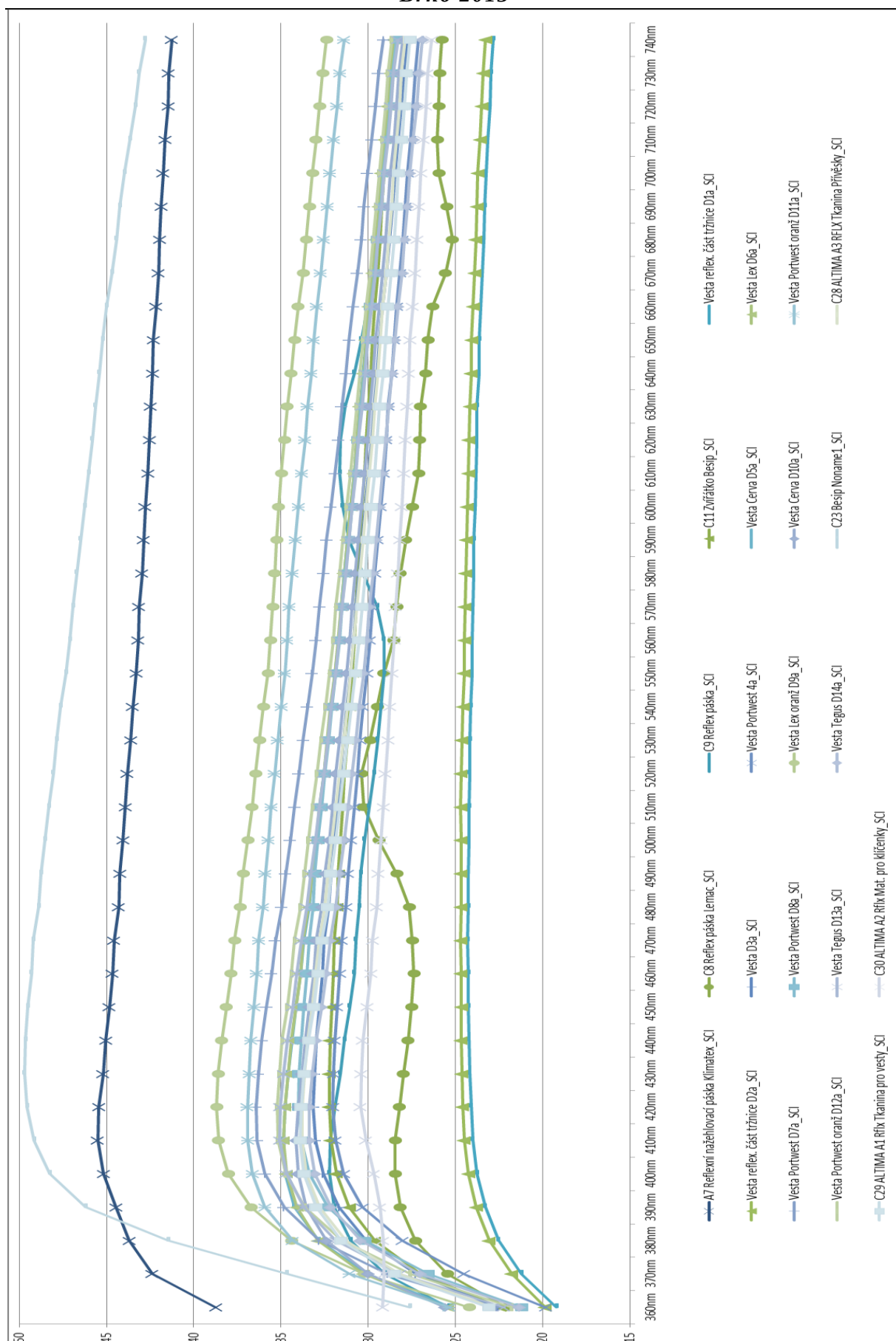
Z následujícího grafu č. 1 je patrná závislost odrazivosti měřeného materiálu (včetně zrcadlové složky) na vlnové délce, tedy „chování“ ve viditelném spektru vlnových délek světelného spektra. Pro naměření hodnot pro graf 1 byla použita vesta Gardhard. Jedná se vestu v barevné kombinaci s podkladovou žlutou fluorescenční částí a reflexními pásy. Jak je z grafu patrné, v určitém barevném spektru fluorescenční materiál překoná svými vlastnostmi prvek reflexní. Avšak reflexní prvek se chová v celém světelném spektru stabilněji.



Obr. 10 – Gardhard reflexní vesta.
Fig. 10 – Gardhard high visibility vest.

Grafy 2 a 3 již zobrazují kompletní průběhy hodnot odrazivosti měřených reflexních, fluorescenčních a oděvních materiálů. Graf č. 2 zobrazuje materiály, které svými vlastnostmi vybočovaly z normálního průběhu, tedy dosáhly velmi nízkých nebo vysokých hodnot popř. došlo k extrémním změnám v průběhu křivky. Na grafu č. 3 můžeme vidět „nejstabilnější“ průběhy měření. Tyto křivky náleží především reflexním prvkům. Jak je tedy zřejmé, reflexní prvky se v celém spektru chovají konstantě.





6 ZÁVĚR

V rámci projektu bylo provedeno 154 laboratorních měření reflexních, fluorescenčních a oděvních materiálů různých barev a složení. Materiály byly získány mimo běžného nákupu také díky spolupráci s firmou Klimatex, a.s a organizací BESIP.

Z výsledků měření vyplynulo, že ve viditelném spektru světla můžeme měřené prvky rozdělit do tří skupin podle jejich vlastností při měřeních. Do první skupiny řadíme prvky, jejichž průběh odrazivosti není ničím výrazný, tedy nedosahují extrémních hodnot. Do druhé skupiny patří naopak prvky, které vykazují extrémní minima či maxima, a tedy jsou v určitém spektru světa viditelné velmi dobře či naopak téměř neviditelné. Třetí skupinu můžeme označit pro nás jako nejdůležitější. Do této skupiny spadají především reflexní prvky. Jak bylo výše zmíněno, jejich průběh je konstantní a chovají se téměř stejně za jakékoliv vlnové délky.

Tato zjištění jsou velmi důležitá pro další výzkum a měření. Na jejich základě budou vybrány materiály a barvy s nejhorsím průběhem a reflexní prvky, které při měření dopadly nejlépe a nejhůře. Materiály budou následně užity k externím měřením, na jejichž základě bychom rádi navrhli úpravu zákona o provozu na pozemních komunikacích, týkající se užívání reflexních prvků s cílem zvýšení bezpečnosti chodců a cyklistů na pozemních komunikacích a právní jistoty řidičů.

7 LITERATURA

- [1] Reflexní barvy. Color Zeman [online]. [cit. 2013-01-17]. Dostupné z: http://www.colorzeman.cz/images/reflexni_barvy/1.jpg
- [2] Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2013-01-17]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Katzenaugar.jpg>
- [3] Rozdíly ve viditelnosti. Dostupné z: <http://www.lbesip.cz/Viditelnost/Rozdily-ve-viditelnosti>