

POROVNÁVACÍ MĚŘENÍ SVĚTLOVODŮ

ABSTRAKT: V tomto článku je popsána metoda měření osvětlení pro porovnávací zhodnocení dvou světlovodů. Byly ohodnoceny dva komerčně dostupné světlovody stejných rozměrů z hlediska přenosu světla. Měření a metodika zpracování dat byla dokončena pro porovnání účinnosti světlovodů. Prezentace výsledků tříměsíčního souvislého měření, po minutových intervalech, je představena v článku.

KLÍČOVÁ SLOVA: světlovody, denní osvětlování, měření osvětlenosti.

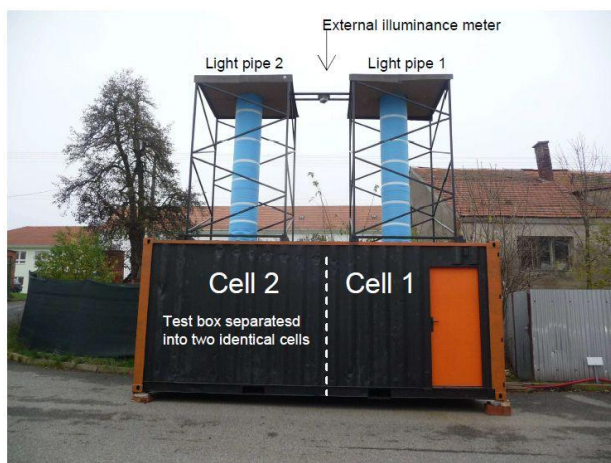
ÚVOD

Světlovody jsou vhodné k dennímu osvětlení místností bez oken v nitru budov. Umí vést světlo díky vícenásobným odrazům od vnitřního odrazného povrchu světlovodu [1,2]. V těchto případech jsou světlovody spojeny se stavbou (konstrukcí) střechy a stropem místnosti k přivedení denního světla z vnějšího prostředí na vzdálenost jednoho podlaží dovnitř budovy [3].

Světlovody byly mnohokrát použity jako téma pro teoretické a/nebo experimentální zhodnocení / porovnání [4-6] a pro komplexní technické zprávy [8-9]. Světelná účinnost těchto systémů závisí na jejich rozměrech, jako jsou průměr, délka a vnitřní činitel odrazu trubky, stejně jako optické vlastnosti průhledné střešní části (jímací) a optických prvků ve stropu (difuzor). Umístění světlovodů v budově a jejich spojení s konstrukcí hraje klíčovou roli pro přenos denního světla [9].

STUDOVANÉ SVĚTLOVODY

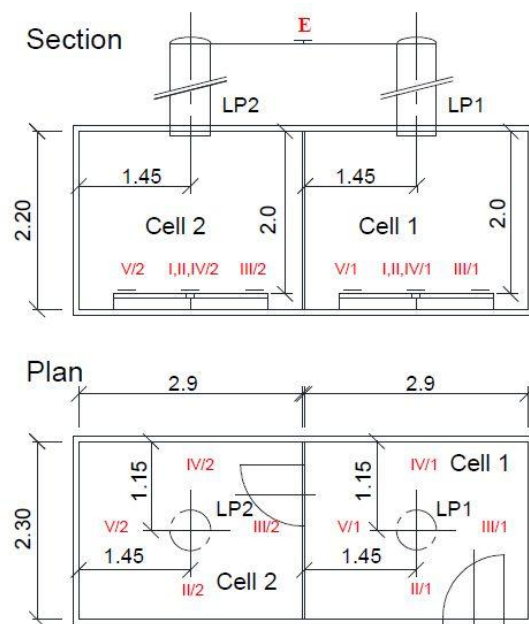
Rozměrově porovnatelné komerčně dostupné světlovody byly zhodnoceny z hlediska přenosu světla. Tyto byly instalovány na nosnou ocelovou konstrukci umístěnou na testovací skříni (resp. stavební Unimo buňce), Obr.č.1. Buňka o rozměrech podlahy (5,80 x 2,30) m a se světlou výškou 2,20 m, byla rozdělena na dvě identické místnosti, osvětlované skrze zkoumané světlovody, Obr.č.2.



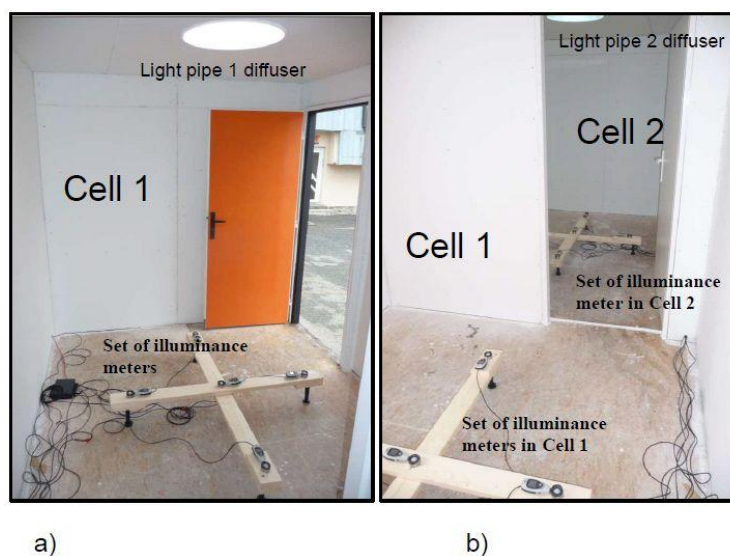
Obr.č.1. Fotografie Unimo buňky s instalací dvou světlovodů

Byla sledována úroveň denního osvětlení získaného světlovody o délce 2,50 m a průměru 0,53 m (místnost 1) a 0,55 m (místnost 2). Oba typy měly nahoře akrylátovou kupoli a průhledný difuzor připevněný na strop Unimo buňky. Měření osvětlenosti bylo prováděno pomocí pěti senzorů v každé místnosti umístěných

pod světlovodem (Obr.č.2, Obr.č.3) a jedním venkovním senzorem (Obr.č.1, Obr.č.2), který byl chráněn poklopem z průhledného plastu.



Obr.č.2. Rozměry Unimo buňky rozdělené do dvou stejných místností
 LP1 - Světlovod pro místnost 1 (průměr 0,53 m, délka 2,50 m)
 LP2 - Světlovod pro místnost 2 (průměr 0,55 m, délka 2,50 m)
 E – venkovní senzor pro zjištění vodorovné osvětlenosti
 I/1 – V/1- luxmetry pro měření v místnosti 1
 I/2 – V/2- luxmetry pro měření v místnosti 2



Obr.č.3. Fotografie instalace luxmetrů v místnostech buňky

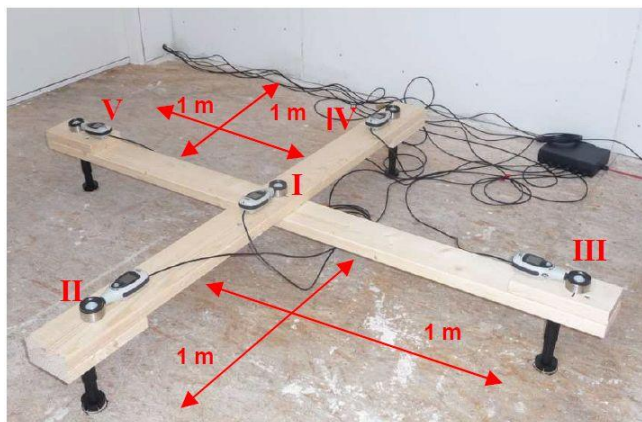
a) Místnost 1 je spojena se vstupními dveřmi

b) Místnosti 1 a 2 jsou odděleny vnitřní příčkou s dveřmi

Skupinka pěti luxmetrů je namontovaná na dřevěném kříži ve výšce 20 cm nad podlahou Unimo buňky. Každá skupina luxmetrů je situována tak, že prostředním luxmetrem prochází hlavní vertikální osa světlovodu. Vzdálenost mezi difuzorem a luxmetrem je dva metry. Ostatní luxmetry na kříži jsou vzdáleny vždy jeden metr od hlavní vertikální osy (Obr.č.2, Obr.č.3, Obr.č.4).

MĚŘENÍ OSVĚTLENOSTI

Pro měření byly použity luxmetry DT-86. Největší rozsah měření je do 40 klx s automatickým přepínáním rozsahů a s přesností 0,1 lx. Zaznamenávací systém umožnil následné zpracování dat.



Obr.č.4. Fotografie instalace skupiny luxmetrů I, II, III, IV, V.

Elektronické zařízení odečítalo měřená data z displejů luxmetrů pro potřebu počítačového zpracování. Luxmetry používají víceřádkové LCD displeje s čtyřcifernými místy. Desetinná čárka a jednotka jsou, kromě jiného, zobrazovány s násobky (10x, 100x, ...), jinou jednotkou (candela na stopu čtvereční), a ukazatelem stavu baterie.

Třídění změřených dat probíhá prostřednictvím rozhraní RS485, které umožňuje spojením s počítačem. Tato zásuvka (konektor) je standardizována ve specifikaci ZIA-485-A.

Toto rozhraní může používat až 32 spojů (nebo také odboček pro další zařízení) a to do délky přípoje 1200 m při přenosové rychlosti 100 kb/s, či 35 Mb/s do délky 10 m. Konce signálových přenosových kabelů by měly být opatřeny rezistory o hodnotě 120 Ω , aby nedocházelo k odrazu signálu (impedanční přizpůsobení).

Pro naše měření byla použita rychlost přenosu 4,8 kb/s. Pro tuto rychlost a délku kabelu 10 m není impedanční přizpůsobení nutné (může být důležité pro délku kabelů okolo 50 km). Z toho důvodu byly rezistory vypuštěny z měřicí aparatury (z konců kabelů).

Hvězdicová síť byla realizována pomocí čtyř svazkových kabelů, z nichž 12 vodičů bylo napájecích (z 9 V adaptéru) a dva z nich byly použity pro přenos dat. Celkem 11 luxmetrů (2 x 5 vnitřních a jeden venkovní luxmetr) bylo spojeno s hvězdicovou sítí. Elektronické zařízení spravující síť bylo realizováno jedním mikrokontrolérem ATmega168 pro dekodování signálu.

Z displeje luxmetru byla data čtena třikrát. V případě tří porovnatelných (podobných) výsledků byly číselné hodnoty vybrány a nahrány. Čas nutný k nahrání je asi 20 ms. V případě, že výše zmíněný proces není úspěšný, opakuje se až čtyřikrát. V souhrnu se tedy proces může prodloužit z 20 ms na 100 ms.

Program třídící změřená data byl zpracován v programu LabVIEW pro MS Windows a je použitelný, jak pro stolní počítač, tak pro notebooky. Měřicí set je spojen s PC přes rozhraní USB/RS485. Pracovní systém (operující, pracující program) přiřadí specifikaci konektoru a tato specifikace je vtisknuta (zapsána) do měřicí procedury programu. Tento program pracuje v počítači následujícím způsobem:

- zadá požadavek všem elektronickým zařízením pro měření osvětlenosti
- konkrétní luxmetry jsou poptány pro zaslání dat

- přenos dat ze všech luxmetrů probíhá prakticky současně (zpoždění získání informace z luxmetru je menší než 1 s, obvykle menší než 0,4 s)
- v případě chyby počítač požádá daný luxmetr o opravná nová data
- program posílá každých 5 minut požadavek k restartu všech luxmetrů
- časový interval pro sběr dat se pohybuje mezi jednou a pěti minutami.

Program také kontroluje změřené hodnoty zobrazené na monitoru PC. Hodnoty osvětlenosti jsou zobrazeny ve sloupcích podle jednotlivých luxmetrů. Každé dva sloupce patří k určitému luxmetru, první ze sloupců obsahuje hodnoty osvětlenosti v lx, druhý obsahuje poznámky k prvnímu (např. jednotka fc, chyby a přetížení). Změřená data jsou zapsána do textového souboru, který může být použit pro zpracování v programu MS Excel.

VÝSLEDKY

Naše měření probíhalo po minutových intervalech od února 2015. Zde je ukázána prezentace dat získaných za tři měsíce. Měření byla provedena pro luxmetry I/1 – V/1 v místnosti 1, resp. I/2 – V/2 v místnosti 2 (Obr.č.2 a Obr.č.4), namontovanými na dřevěném kříži, přičemž ústřední luxmetr leží na vertikální ose světlovodu ve vzdálenosti dvou metrů pod difuzorem světlovodu.

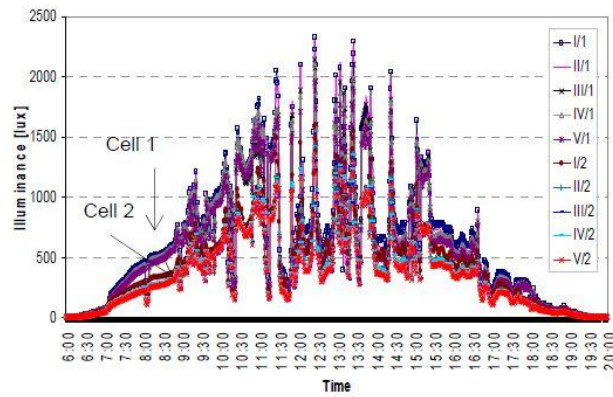
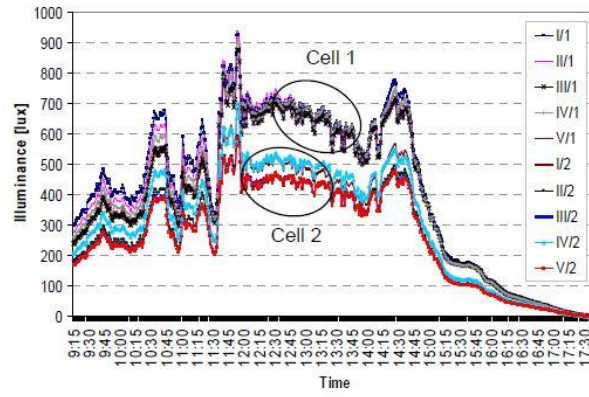
Výňatky z výsledků měření jsou ukázány na obrázcích č.5 a č.6. Měření denní osvětlenosti z 19.02.2015, při téměř úplně zatažené obloze, ukázalo výsledky ohledně účinnosti světlovodů. Průměrná venkovní denní osvětlenost byla 27157 lx a hodnota mediánu 18032 lx (Obr.č.5a). Jiný den měření, 05.04.2015, je charakterizován dynamickými změnami osvětlenosti s průměrnou hodnotou venkovní denní osvětlenosti 34135 lx a mediánem 31068 lx (Obr.č.5).

Z grafů světlovodu LP1 je zřejmé, že měl vyšší účinnost oproti světlovodu LP2. Tento závěr můžeme potvrdit z grafu denní osvětlenosti 02.03.2015 při zatažené obloze mezi 12:00 a 13:00 hod., kdy průměrná venkovní denní osvětlenost byla 11722 lx a hodnota mediánu 10041 lx.

ZÁVĚR

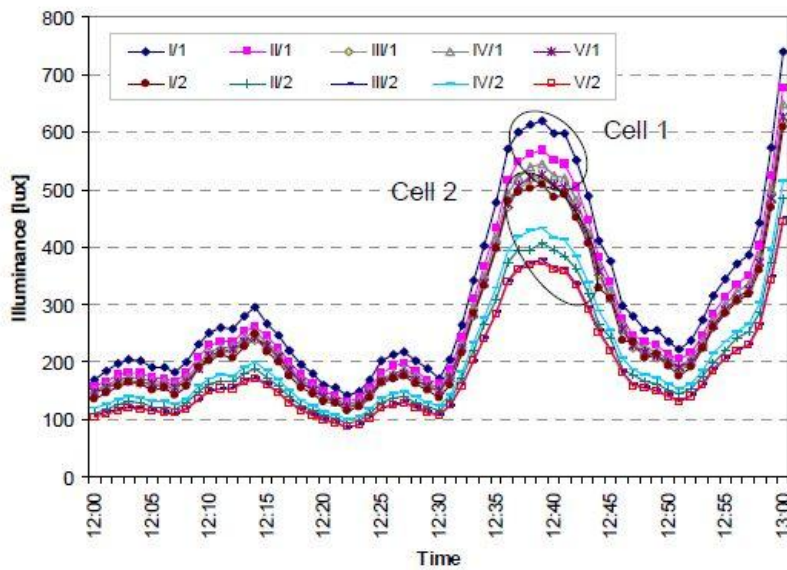
Měření osvětlenosti bylo provedeno pro dva komerčně dostupné světlovody porovnatelných rozměrů. Měření bylo zaměřeno na zjištění účinnosti dvou světlovodných systémů. Grafy na Obr.č.5 a Obr.č.6 ukázaly, že oba světlovody distribuovaly stejnou měrou světlo do měřicích místností. Navzdory menšímu průměru 0,53 m světlovodu LP1 byla zajištěna osvětlenost v místnosti 1 vyšší oproti světlovodu LP2 o průměru 0,55 m v místnosti druhé. Lepší schopnost přenést světlo světlovodem LP1 je díky vnitřnímu materiálu s vysokou odrazivostí.

Zrcadlový odrazný povrch zajišťuje vysokou účinnost přenosu světla. Rozdíly vnitřní osvětlenosti, mezi místnostmi 1 a 2, jsou viditelné z grafů. Hladina vnitřní osvětlenosti pod světlovody LP1 a LP2 kolísá od 30 do 110 lx pro oblohu zataženou a polojasnou (intermediate sky condition) se střední venkovní vodorovnou osvětleností do velikosti 28000 lx. Rozdíly ve vnitřní osvětlenosti jsou znatelně vyšší, až do 500 lx, v případě dynamických změn počasí z polojasna na jasno a naopak (Obr.č.5b). Měření budou pokračovat pro stanovení celkového ročního profilu osvětlenosti při obloze zatažené, polojasné a jasné.



Obr.č.5. Měření denní osvětlenosti:

- a) den 19.02.2015, téměř zataženo, průměrná venkovní denní osvětlenost 27157 lx, hodnota mediánu 18032 lx,
- b) den 05.04.2015, dynamické změny venkovní osvětlenosti, průměrná venkovní denní osvětlenost 34135 lx, hodnota mediánu 31068 lx.



Obr.č.6. Hodinové měření osvětlenosti (mezi 12:00 a 13:00 hod.), zataženo, den 02.03.2015, průměrná venkovní osvětlenost za hodinu byla 11722 lx a hodnota mediánu 10041 lx.

PODĚKOVÁNÍ:

Tento článek vzniknul díky projektu No. LO1408 „AdMaS UP – Pokročilé stavební materiály, konstrukce a technologie“, podpořeném Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy v rámci programu „Národní program udržitelnosti I.“ v rámci projektu TE02000077, Inteligentní regiony – informační modelování budov a sídel, technologie a infrastruktura pro udržitelný rozvoj.

REFERENCE

- [1] CARTER, D., LRT DIGEST 2 TUBULAR DAYLIGHT GUIDANCE SYSTEMS. LIGHTING RESEARCH AND TECHNOLOGY, 46 (2014), NO. 4, 369-387.
- [2] ROSEMAN, A., KAASE, H., LIGHTPIPE APPLICATIONS FOR DAYLIGHTING SYSTEMS. SOLAR ENERGY, 78, (2005), NO. 6, 772-780.
- [3] SHAO, L., RIFFAT, S.B., DAYLIGHTING USING LIGHT PIPES AND ITS INTEGRATION WITH SOLAR HEATING AND NATURAL VENTILATION. LIGHTING RESEARCH AND TECHNOLOGY, 32 (2000), NO. 3, 199-139.
- [4] CARTER, D.J., THE MEASURED AND PREDICTED PERFORMANCE OF PASSIVE SOLAR LIGHT PIPE SYSTEMS. LIGHTING RESEARCH AND TECHNOLOGY, 33,(2002), NO. 1, 39-52.
- [5] JENKINS, D., MUNEEER, T., MODELLING LIGHT PIPE PERFORMANCES – A NATURAL DAYLIGHTING SOLUTION. BUILDING AND ENVIRONMENT, 38, (2005), NO. 7, 965-972.
- [6] KOCIFAJ, M., DARULA, S., KITTLER, R., HOLLIGILM: HOLLOW LIGHT GUIDE INTERIOR ILLUMINATION METHOD – AN ANALYTIC CALCULATION APPROACH FOR CYLINDRICAL LIGHT-TUBES. SOLAR ENERGY, 82, (2008), NO. 3, 247-259
- [7] KOCIFAJ, M., KUNDRACIK, F., DARULA, S., KITTLER, R., AVAILABILITY OF LUMINOUS FLUX BELOW A BENDED LIGHT-PIPE: DESIGN MODELLING UNDER OPTIMAL DAYLIGHT CONDITIONS. SOLAR ENERGY, 86, (2012), NO. 9, 2753-2761.
- [8] CIE 164:2005. HOLLOW LIGHT GUIDE TECHNOLOGY AND APPLICATIONS. CIE TECHNICAL REPORT, VIENNA 2005.
- [9] CIE 173:2006. TUBULAR DAYLIGHT GUIDANCE SYSTEMS. CIE TECHNICAL REPORT, VIENNA 2006.

Autoři

doc. ing. Jiří Plch, CSc., Česká společnost pro osvětlování – ČSO, ČR, e-mail: jiri_plch@volny.cz

prof. ing. Jitka Mohelníková, Ph.D., Brno VUT v Brně, ČR, e-mail: mohelnikova.j@fce.vutbr.cz

ing. Jakub Král, TOPWET, s.r.o. Ostarovačice, ČR, e-mail: jakub.kral@topwet.cz