

# ZPRÁVA Z TESTOVÁNÍ

PROPUSTNOST FLEXIBILNÍCH A PEVNÝCH SVĚTLOVODŮ POD ZATAŽENOU A SIMULOVANOU  
JASNOU OBLOHOU

TESTOVACÍ ZPRÁVA Č. 248038

**Připraveno pro:**

**Ian Bell**

**Generální ředitel SolaLighting Limited**

**17. říjen 2008**

BRE  
Bucknalls Lane  
Garston  
Watford  
WD25 9XX

Tel : 01923 664000  
Fax : 01923 664010  
Email : [enquiries@bre.co.uk](mailto:enquiries@bre.co.uk)  
Website : [www.bre.co.uk](http://www.bre.co.uk)

The logo for BRE, consisting of the lowercase letters 'bre' in a bold, yellow, sans-serif font.

This report may only be distributed in its entirety and in accordance with the terms and conditions of the contract. Test results relate only to the items tested. BRE has no responsibility for the design, materials, workmanship or performance of the product or items tested. This report does not constitute an approval, certification or endorsement of the product tested.

This report is made on behalf of BRE. By receiving the report and action on it, the client – or any third party relying on it – accepts that no individual is personally liable in contract, tort or breach of statutory duty (including negligence).

## SHRNUTÍ

BRE bylo pověřeno firmou SolaLighting změřit světelnou prostupnost dvou flexibilních světlovodů a porovnat je s pevným světlovodem stejného průměru.

Flexibilní světlovody mají velmi malou světelnou prostupnost, pouze 1 až 7 % oproti 40% prostupnosti u světlovodů pevných. Natažení (vypnutí) tubusu zvyšuje jeho světelnou prostupnost, takže je zde potenciál různých výkonností v reálných instalacích.

Při simulaci slunečního svitu byla světelná prostupnost světlovodu podobná jako při zatažené obloze.

# OBSAH

Zpráva z testování.....	1
Propustnost flexibilních a pevných světlovodů pod zataženou a simulovanou jasnou oblohou.1	
Testovací zpráva č. 248038.....	1
Shrnutí.....	3
1. Úvod.....	5
2. Podrobnosti provedených zkoušek.....	6
2.1. Použití integrační skříňky.....	6
2.2. Měření pod zataženou oblohou.....	7
2.3. Měření při simulaci slunce.....	8
3. Výsledky.....	11
3.1. Zatažená obloha.....	11
3.2. Simulované sluneční světlo.....	11
4. Dodatek A – chyby měření.....	12
4.1. Měření při zatažené obloze.....	12
4.2. Měření při simulaci slunečního svitu.....	12

# 1. ÚVOD

BRE bylo pověřeno firmou SolaLighting změřit světelnou prostupnost dvou flexibilních světlovodů a porovnat je s pevným světlovodem stejného průměru. Parametry světlovodů jsou uvedeny níže v tabulce 1: (Pozn. k tabulce – výrobce, typ, průměr světlovodu, „Měření pod zataženou oblohou?“)

Make	Type	Diameter	Actual length m	Overcast sky test?
SolaLighting	Solatube Optiview (rigid)	350mm	2.36	√
Velux	Flexible suntunnel	350mm	2.4	√
Sola SkyLights	Skytunnel (flexible)	350mm	2.4	√

Všechny světlovody mají stejnou jednostěnnou kopuli nebo zasklený otvor.

Světlovody byly změřeny pod simulovaným slunečním svitem ve třech různých výškách slunce nad obzorem. Všechny světlovody byly také měřeny pod zataženou oblohou.

Světlovody poskytnuté firmou SolaLighting byly sestaveny jejími lidmi (Ian Bell, Chris Taffs a Omar Samaloussi). Každý světlovod má mít standardní délku 2,4 m. Aktuální délky světlovodů s odrazným stříbrným povrchem bez kopule ukazuje tabulka č. 1. Každý světlovod byl měřen s nástřešní kopulí, či zaskleným otvorem, a na spodním konci s difusorem / stropním krytem. Činitel prostupnosti je poté vyčíslen pro kompletní světlovod. Světlovod od SolaLighting má vnitřní reflektor konstruovaný tak, aby zachytil více parsků od slunce nacházejícího se nízko nad obzorem. Všechny tři měřené světlovody obsahovaly tento reflektor s optimálním nasměrováním.

Činitel prostupu  $T$  je dán podílem vycházejícího a vcházejícího světla  $z$  a do světlovodu. Celkový světelný tok  $F$  vycházející ze světlovodu je dán vzorcem

$$F = E \cdot T \cdot A,$$

kde  $A$  je plocha průřezu světlovodu (obsah kruhu)

$E$  je osvětelnost na horní straně světlovodu (globální vodorovná osvětlenost)

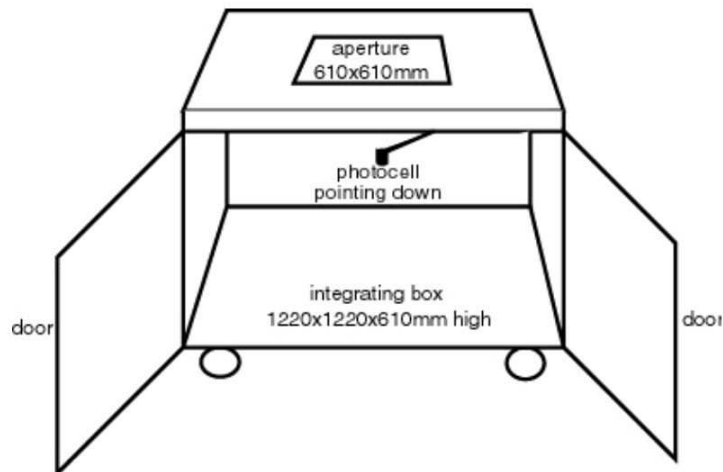
$T$  je činitel prostupu světla.

Použití prostupnosti jako parametru vede k objektivnímu porovnání světlovodů různých průměrů.

## 2. PODROBNOSTI PROVEDENÝCH ZKOUŠEK

### 2.1. POUŽITÍ INTEGRAČNÍ SKŘÍŇKY

Světlo vychází ze světlovodu všemi směry. K zajištění správného změření světelného toku byla použita fotobuňka umístěná v kvádrovém integrátoru. Obrázek č. 1 ukazuje náčrt. Uvnitř je integrátor vymalován matnou bílou barvou.



Obr. č. 1 – Integrační skříňka použitá pro měření. Dvířka skříňky jsou během měření uzavřena. (Pzn. k obrázku – okno o čtvercových rozměrech 610 x 610 mm; fotočlánek nasměrovaný dolů; dvířka; integrační skříň se čtvercovou podstavou o hraně 1210 mm a výškou 610 mm.)

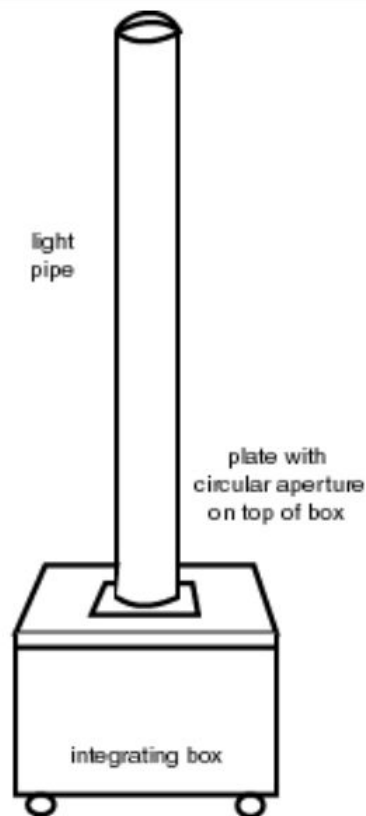
Dvířka skříňky jsou během měření uzavřena. Na fotočlánek je provedena barevná korekce a je nasazen kosinový nástavec. Toto čidlo patří k přístroji LMT Lichtmesstechnik Pocket Lux illuminance meter. Fotočlánek je nasměrován dolů, aby nebyl osvětlen přímo, ale rozptýleným světlem mnohonásobných odrazů.

Tento integrátor je obvykle využíván k měření světelné prostupnosti difúzního světla zasklením světlíku. Postup je takový: nejprve je měřeno s otevřeným horním oknem integrátoru, následně pak se zamýšleným zasklením. Prostupnost světlíku je určena jako podíl osvětlenosti se zasklením a bez něj. Hopkinson, Petherbridge a Longmore popsali metodiku měření v jejich knize Daylighting (Heinemann, London, 1966) na straně 352. Stejný postup doporučuje anglická norma BS EN1013-1 1998 – Light transmitting profiled plastic sheeting for single skin roofing: general requirements and test results. Světlíky se obvykle měří pod umělou oblohou.

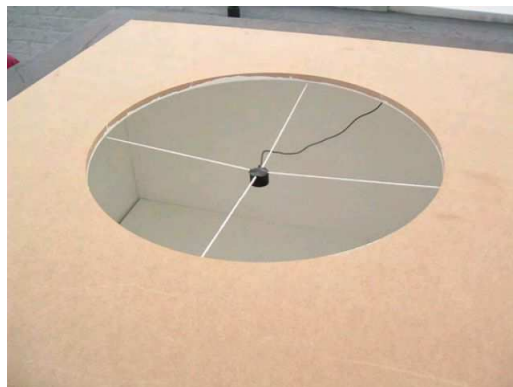
Pro tyto světlovody je výše uvedený postup také požadován. Průměr světlovodu je však menší, než je okno v integrátoru. Proto byla vyrobena clona zakrývající okno integrátoru s otvorem přesně odpovídajícím průměru světlovodu. Ze spodní strany byla clona také natřena bílou matnou barvou. Poměr osvětlenosti čidla v integrátoru s připojeným světlovodem a bez něj, udává prostupnost světlovodu.

Dva měřené flexibilní světlovody o délkách 2,4 m nejsou samonosné. Byly napnuty na nezastihující konstrukci přiléhající k integrátoru. V návodu k těmto světlovodům Sky Tunnel je uvedeno, že napnutí světlovodů zvyšuje světelnou prostupnost až o 50 %. V praxi tedy může být světelná prostupnost menší, není-li světlovod dobře napnutý.

Kvůli délce testovaných světlovodů se nemohlo měřit pod umělou oblohou a měřilo se venku.



Obr. č. 2 – Světlovod připevněný k integrátoru (Pozn. k obrázku –světlovod; clona s kruhovým otvorem pro světlovod, integrační skříň.)



Obr. č. 3 – Clona položená na okně integrátoru. Ze spodní strany je natřená na bílo. V otvoru je vidět zavěšený fotočlánek otočený směrem do integrátoru.

## 2.2. MĚŘENÍ POD ZATAŽENOU OBLOHOU

Měření proběhlo od 12. do 24. srpna 2008 na nížím nezastíněné střeše budovy č. 9 komplexu BRE. Během měření bylo zcela zataženo a na obloze nebylo vidět prosvítající slunce.

Nejprve byla osvětlenost měřena v integrátoru s clonou, následně byl přidán světlovod (obr. č. 4 ilustruje postup) a opět byl odebrán a změřena osvětlenost pouze s clonou na integrátoru. Bohužel se během těchto tří úkonů změnila globální osvětlenost. Toto však bylo korigováno

paralelním měřením globální horizontální osvětlenosti druhým luxmetrem na opačném konci střechy.

Prostupnost světlovodu je dána:

$$T = \frac{\text{Osvětlenost v integrátoru se světlovodem}}{\text{Osvětlenost v integrátoru bez světlovodu}} \cdot \frac{\text{Osvětlenost globální při měření bez světlovodu}}{\text{Osvětlenost globální při měření se světlovodem}}$$

Tato měření byla opakována pro další světlovody.



Obr. č. 4 – Světlovod při měření



Obr. č. 5 – Simultánní měření globální horizontální osvětlenosti při použití druhého luxmetru

### 2.3. MĚŘENÍ PŘI SIMULACI SLUNCE

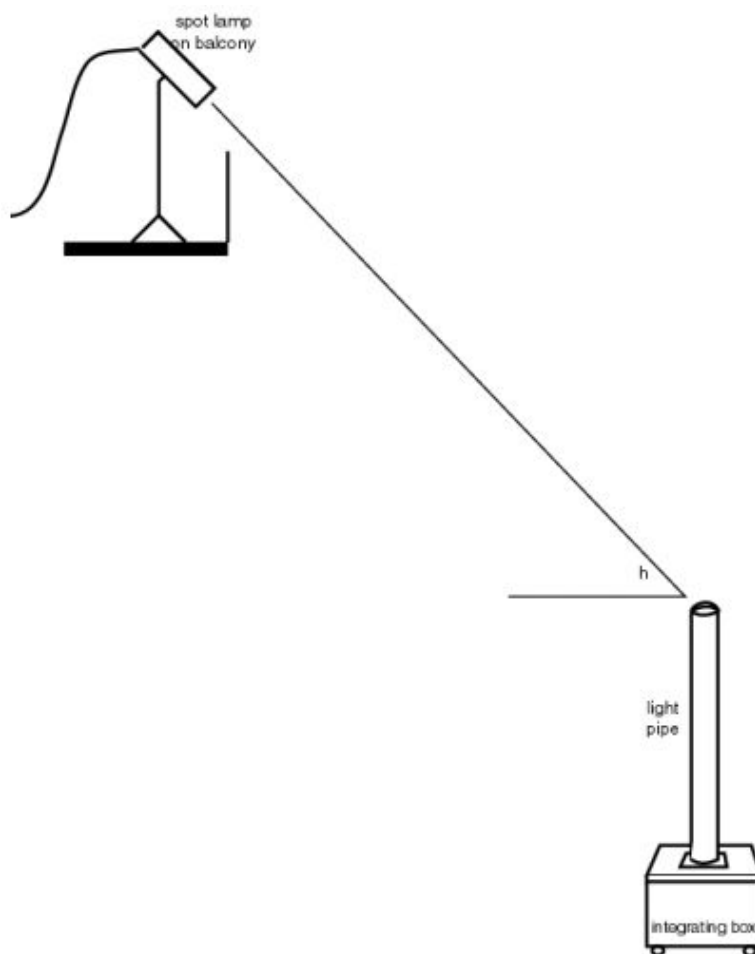
Tato měření proběhla 30. a 31. července 2008 v laboratoři zaměřené na materiály v komplexu BRE. Laboratoř tvořila vysoká místnost bez oken s ochozy po stěnách. Během měření zde nebyl žádný jiný zdroj světla.



Simulátor slunečního svitu byl halogenový studiový / jevištní reflektor s halogenovou žárovkou o příkonu 2000 W (obr. č. 6). Bylo použito dvou svítidel (svítilo však vždy pouze jedno) umístěných v různé výšce na ochozech simulujících různou výšku slunce nad obzorem.

SolaLighting pověřila BRE k provedení měření ze tří směrů (pozic) slunce nad obzorem odpovídající dnům 21. května a 21. července v časech: 8:00, 10:00 a 12:00 (další časy 14:00 a 16:00 odpovídají dopoledním 10:00 a 8:00). Což zhruba odpovídá časům 9, 11, 13, 15 a 17 hodin v Londýně (51,5° N). Tabulka 2 vypisuje výšky slunce nad obzorem a azimut pro každé z měření.

Azimut je důležitý pro měření světlovodného systému, který obsahuje vnitřní reflektor v kopuli. Tento reflektor byl nasměrován na stanovený jih při měření. Tzn., byl šikmo skloněný vůči svítidlům představujícím slunce v 8 a v 10 hodin.



Obr. č. 6 – Reflektor, světlovod a integrátor. Při každém měření byl zdroj světla vzdálen od vrcholu světlovodu nejméně šest metrů. (popisek v obrázku: reflektor na ochozu, úhel  $h$ , integrační skříň)

Tab. č. 2 – Prostupnost světla jednotlivých světlovodů (Pozn. k tabulce, po řadě: výška slunce nad obzorem ve stupních - h v obrázku č. 6; sluneční azimut při měření od severu.)

Time (solar time)	0800/1600	1000/1400	1200
Solar altitude degrees	33.8	50.4	58.1
solar azimuth degrees from north	101.0	132.4	180

Podle umístění světlovodů v prostoru haly bylo uzpůsobeno umístění svítidel na ochozech použitím obrácené metody, než je u slunečních hodin. (Hrdlo světlovodu bylo srovnáno vodováhou.) Toto zajistilo, že do hrdla světlovodu vstupovaly paprsky přesně podle zamýšleného azimutu a výšky slunce nad obzorem. Pak byla změřena horizontální osvětlenost v rovině hrdla světlovodu (obr. č. 7). Následně byla kopule nasazena zpět na hrdlo světlovodu.

K měření osvětlenosti bez světlovodu byl integrátor s clonou nastaven tak, aby paprsky reflektoru dopadající na otvor clony v integrátoru odpovídaly stejné výšce slunce nad obzorem (opět byl využit obrácený postup jako je u slunečních hodin). Osvětlenost pak byla měřena uvnitř integrátoru.

Dále byla změřena osvětlenost v rovině clony, uprostřed otvoru. Osvětlenost zde byla výrazně nižší. Je to dáno především větší vzdáleností integrátoru od zdroje a rozbíhavostí paprsků reflektoru. Toto bylo vyřešeno korekcí ve výpočtu.

Prostupnost světlovodu je dána vztahem:

$$T = \frac{\text{Osvětlenost uvnitř integrátoru se světlovodem}}{\text{Osvětlenost uvnitř integrátoru bez světlovodu}} \cdot \frac{\text{Osvětlenost v rovině clony integrátoru}}{\text{Osvětlenost v rovině hrdla světlovodu}}$$



Obr. č. 7 – Instalace fotočlánku k následnému změření osvětlenosti v rovině hrdla pod simulovaným slunečním světlem

## 3. VÝSLEDKY

### 3.1. ZATAŽENÁ OBLOHA

Výsledky měření přináší tabulka.

Tab. č. 3 – Prostupnost světlovodů při zatažené obloze (Pozn. k tabulce – první řádek: výrobce, typ, průměr světlovodu, prostupnost [%].)

Make	Type	Diameter	Transmittance %			
			1	2	3	Average
SolaLighting	Solatube Optiview (rigid)	350mm	41.8	43.2	41.4	42.2
Velux	Flexible suntunnel	350mm	5.0	3.9	2.5 6.8 stretch	3.8 6.8 stretch
Sola Skylights	Skytunnel (flexible)	350mm	1.8 4.3 stretch	1.5 2.0 stretch	1.1 4.0 stretch	1.5 3.4 stretch

Flexibilní světlovody vykazují malou prostupnost, ačkoli byly pevně napnuté. Nejvyšší zaznamenaná prostupnost byla 6,8 %, méně než jedna šestina prostupnosti u pevného světlovodu. Přesnost výsledků je závislá na správném natažení flexibilního světlovodu, což představuje riziko ohledně výkonnosti u reálných instalací.

### 3.2. SIMULOVANÉ SLUNEČNÍ SVĚTLO

Výsledky testů uvádí tabulka 4:

Tab. č. 4 – Prostupnost světlovodů při simulaci slunečního svitu. (Pozn. k tabulce – první řádek: výrobce, typ, průměr světlovodu, prostupnost při daných časech [%].)

Make	Type	Diameter	Transmittance at given solar time %		
			0800	1000	1200
SolaLighting	Solatube Optiview (rigid)	350mm	44.5	43.8	35.2
Velux	Flexible suntunnel	350mm	2.8	5.2	4.8
Sola Skylights	Skytunnel (flexible)	350mm	0.6 1.3 stretched	1.5 3.0 stretched	1.8 3.6 stretched

Prostupnost světlovodů při osvětlování simulovaným slunečním svitem byla velmi podobná ve srovnání s předchozím měřením. Ve většině případů se pohybovala na stejné úrovni jako u zatažené oblohy při měření mezi 8 a 10 hod. ranní.

Vyšší světelná prostupnost může být způsobena větší výškou slunce nad obzorem. Nicméně světlovody obsahující vnitřní reflektor vykazovaly vyšší výkonnost i při nízkých úhlech slunce nad obzorem.

## 4. DODATEK A – CHYBY MĚŘENÍ

### 4.1. MĚŘENÍ PŘI ZATAŽENÉ OBLOZE

Měření pod zataženou oblohou je principiálně zatíženo chybou, kterou způsobuje obloha, resp. její odlišné vyzařování oproti standardizované obloze. Světlovod má nejlepší prostupnost, je-li slunce v zenitu. Tudíž, má-li zenit při měření vyšší jas, než očekáváme, pak vychází lepší prostupnost světlovodu. Chybu lze eliminovat opakovaným měřením. Pro vícenásobná měření byla stanovena přesnost měření  $\pm 5\%$ .

Zastínění na střeše způsobené skleníkem, ostatními světlovody a stromy je relativně malé. Může mít dopad při měření osvětlenosti v integrátoru bez světlovodu, nikoli však s ním. Tím pádem může být podhodnocena osvětlenost v samostatně měřeném integrátoru o  $0,1\%$ .

Vyrovnaní světlovodu do roviny bylo těžko proveditelné kvůli počasí. Světlovod byl nakloněn o  $2^\circ$ , což způsobilo chybu cca  $0,1\%$ .

K přesnému měření prostupnosti by měl otvor v cloně přesně lemovat přiložený světlovod. I přes opravy mohlo k určitým nepřesnostem dojít. Byla stanovena chyba  $2\%$ .

Ostatní chyby jsou již zanedbatelné. Byly použity dva stejné kalibrované luxmetry. Kontrola těsnosti integrátoru zamezila přístupu dalšího světla přicházející mimo světlovod.

Dohromady byla sečtena velikost chyb na  $\pm 6\%$ . Takže změřená prostupnost  $0,3$  by měla být upravena rozptylem na  $0,3 \pm 0,018$ .

### 4.2. MĚŘENÍ PŘI SIMULACI SLUNEČNÍHO SVITU

Měření se simulací slunce reflektorem je více náchylné k chybám, které mohou být:

1. Poloha slunce podle slunečních hodin může zahrnovat chybu  $\pm 2^\circ$ , která se může nezávisle projevit u všech měření, což má za následek možnou změnu prostupnosti o  $\pm 4\%$ . Větší odchýlení se může přece jen projevit u vyšší polohy „slunce nad obzorem“, ale má menší dopad na měřenou prostupnost.
2. Vyvážení hrdla světlovodu ještě nezajišťuje svislou polohu celého tubusu. Naklonění celého světlovodu o  $1^\circ$  může způsobit chybu měření  $3\%$  při nízké poloze slunce nad obzorem a  $1,5\%$  při dvou nejvyšších polohách.
3. Osvětlenost měřená v integrátoru byla velmi nízká, na hranici rozlišení zařazeného rozsahu luxmetru. Toto bylo oceněno na chybu měření  $\pm 0,01$  nízko nad obzorem a  $\pm 0,005$  vysoko nad obzorem.
4. Pokud by integrátor byl ve tvaru koule, osvětlenost by rostla v přímé úměře podle osvětlenosti horní strany světlovodu. V našem případě však při nízké výšce slunce nad obzorem docházelo k nerovnoměrnému rozložení osvětlenosti v integrátoru. A to i přes difúzní stropní kryt světlovodu (ukončení světlovodu v integrátoru). Toto

mohlo způsobit nadhodnocení osvětlenosti o 5 %. Při vyšší poloze slunce nad obzorem opět nižší nadnesení osvětlenosti.

5. Chyba výřezu v cloně, viz předešlé, 2 %.

Další chyby jsou již menší. Rozptýlené světlo odražené od stěn a stropu laboratoře nemusíme uvažovat, neboť prostor měření byl velký a reflektor byl namířen přímo na světlovod. Chyba vzniklá rozbíhavostí parsků svítidla byla korigována. Změřením osvětlenosti na hrdle světlovodu a uprostřed otvoru clony. Následně pak zahrnutím do výpočtů. Světelný zdroj měl nižší teplotu chromatičnosti, než sluneční svit. To mohlo mírně nadnést prostupnost světlovodu s přihlédnutím k tomu, že kopule nepropustí UV záření, které halogenová žárovka ani nevyzařuje.

Celkově byla chyba stanovena na  $\pm 7\%$  a navíc 0,01 pro nejnižší polohu slunce (8:00 hod.). Pro ostatní  $\pm 5\%$  a navíc 0,005 pro dvě měření při poloze slunce v 10:00 a 12:00 hodin. Tedy prostupnosti:

Čas	Prostupnost
- 8:00 hodin	$0,30 \pm 0,03$
- 12:00 hodin	$0,30 \pm 0,02$

Proto tabulka č. 4 uvádí pouze dva důležité výsledky.

Je třeba podotknout, že všechna měření proběhla na rovných světlovodech. Při instalaci se proto prostupnosti mohou výrazně odlišovat.