

Česká zemědělská univerzita v Praze

**Fakulta tropického zemědělství**

**Katedra udržitelných technologií**



Česká zemědělská univerzita v Praze

**Fakulta tropického  
zemědělství**

**Rozptyl slunečního záření na mikročásticích  
v uzavřeném objemu vodní lázně**

Bakalářská práce

Praha 2016

**Vedoucí bakalářské práce:**  
doc. Ing. Josef Pecen, CSc.

**Vypracoval:**  
Marek Jelínek

## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Rozptyl slunečního záření na mikročásticích v uzavřeném objemu vodní lázně" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 15. dubna 2016

---

## **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce doc. Ing. Josefu Pecnovi, CSc. za pečlivé a trpělivé vedení práce, poskytnuté rady a věnovaný čas. Dále bych chtěl poděkovat své rodině a nejbližším přátelům za jejich podporu.

## **Abstrakt**

Tato práce se zabývá alternativní technologií sloužící k osvětlení prostor bez přístupu denního světla. Technologie využívá především rozptylu a dále odrazu a lomu slunečního světla v optickém prostředí PET láhve s vodou a mikročásticemi. Základ technologie tvoří plastová lahev naplněná vodou s mikročásticemi a umístěná tak, že vertikálně prostupuje střechou interiéru. Efekt rozptylu slunečního světla v láhvi je zesilován využitím vhodného materiálu mikročástic.

Literární rešerše se zabývá problematikou oblastí, kterým je technologie primárně určena a aktuálním stavem jejího rozšíření. Dále je zde objasněn princip fungování technologie a faktory ovlivňující její účinnost.

Cílem experimentální části práce bylo omezené testování a výběr vhodného materiálu mikročástic a jejich koncentrace pro možnost praktického využití v rámci popsané technologie. Bylo provedeno několik měření poměru intenzity dopadajícího a rozptýleného světla za použití vybraných materiálů mikročástic o různých koncentracích. Na základě získaných hodnot a jejich porovnání byl roztok obsahující 0,5 g vápence na 1,5 l vody vybrán jako nejvhodnější optické prostředí pro řešení.

**Klíčová slova:** elektromagnetické vlnění, rozptyl světla, lom světla, dezinfekce vody, mikročástice

## **Abstract**

This thesis deals with an alternative technology used to illuminate spaces without access to daylight. Technology uses primarily scattering and also reflection and refraction of sunlight in the optical environment of the PET bottles with water and microparticles. The base of technology consists of a plastic bottle filled with water with microparticles and positioned so that it vertically penetrates the roof interior. The effect of scattering of sunlight in the bottle is amplified by using a suitable material of the microparticles.

Review of literature deals with areas that the technology is primarily designed for and the current state of expansion. The principle of technology and factors affecting its efficiency are explained.

The aim of the experiment was limited testing and selection of suitable material of microparticles and their concentration for the possibility of practical use within the technology described. Several measurements were performed of the intensity ratio of incident and scattered light using selected materials of microparticles of various concentrations. Based on the obtained values and their comparison a solution containing 0.5 g of limestone into 1.5 l of water was selected as the most suitable optical environment for the solution.

**Keywords:** electromagnetic radiation, light scattering, light refraction, water disinfection, microparticles

# Obsah

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>LITERÁRNÍ REŠERŠE</b> .....	<b>2</b>
2.1	TECHNOLOGIE SOLAR BOTTLE BULB .....	2
2.2	VZNIK TECHNOLOGIE .....	3
2.3	VYSVĚTLENÍ PRINCIPU TECHNOLOGIE .....	4
2.3.1	<i>Rozšíření, projekty a neziskové organizace</i> .....	5
2.4	VLASTNOSTI SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ .....	11
2.4.1	<i>Elektromagnetické vlnění</i> .....	11
2.4.2	<i>Vlnová délka elektromagnetického vlnění</i> .....	12
2.4.3	<i>Světlo</i> .....	13
2.4.4	<i>Ultrafialové záření</i> .....	14
2.4.5	<i>Dezinfekce vody pomocí UV složky slunečního záření</i> .....	14
2.4.6	<i>Infračervené záření</i> .....	15
2.4.7	<i>Optické prostředí, odraz a lom</i> .....	16
2.4.8	<i>Rozptyl světla</i> .....	17
<b>3</b>	<b>CÍLE PRÁCE</b> .....	<b>19</b>
<b>4</b>	<b>METODIKA</b> .....	<b>20</b>
4.1	METODIKA LITERÁRNÍ REŠERŠE .....	20
4.2	METODIKA MĚŘENÍ .....	20
4.2.1	<i>Měření č. 1</i> .....	20
4.2.2	<i>Měření č. 2</i> .....	21
4.2.3	<i>Měření č. 3</i> .....	23
4.2.4	<i>Měření č. 4</i> .....	23
<b>5</b>	<b>VÝSLEDKY A DISKUZE</b> .....	<b>25</b>
5.1.1	<i>Měření č. 1 Intenzita rozptýleného záření pro tři druhy materiálu mikročástic</i> .....	25
5.1.2	<i>Měření č. 2 Intenzita dopadajícího a rozptýleného záření pěti koncentrací mikročástic</i> .....	26
5.1.3	<i>Měření č. 3 Intenzita dopadajícího a rozptýleného záření pro malé koncentrace mikročástic</i> .....	27
5.1.4	<i>Měření č. 4 Použití hliníkové fólie, připevnění čidla na stěnu lahve</i> .....	29
<b>6</b>	<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>34</b>
<b>7</b>	<b>POUŽITÁ LITERATURA</b> .....	<b>35</b>
<b>8</b>	<b>PŘÍLOHY</b> .....	<b>I</b>

## Seznam tabulek

Tabulka 1 Barvy dle vlnových délek.....	13
Tabulka 2 Pásma UV záření.....	14
Tabulka 3 Pásma infračerveného záření.....	16
Tabulka 4 Hodnoty rozptýleného záření pro tři druhy materiálu mikročástic .....	25
Tabulka 5 Naměřené hodnoty intenzity dopadajícího a rozptýleného záření pěti koncentrací mikročástic.....	26
Tabulka 6 Naměřené hodnoty intenzity dopadajícího a rozptýleného záření pro malé koncentrace mikročástic .....	28
Tabulka 7 Měření s neupravenou krabicí (na vnitřních stěnách krabice nebyla nalepena hliníková folie).....	30
Tabulka 8 Měření s hliníkovou fólií nalepenou na vnitřní stěny krabice.....	31
Tabulka 9 Měření s čidlem připevněným ke stěně lahve .....	32

## Seznam obrázků

Obrázek 1 Povrch lahve nad střechou .....	2
Obrázek 2 Část lahve osvětlující interiér .....	3
Obrázek 3 Umístění lahve ve střeše a průchod světla lahví.....	4
Obrázek 4 Sada k sestavení svítidla akumulujícího energii .....	9
Obrázek 5 Elektromagnetické spektrum .....	12
Obrázek 6 Umístění lahve při měření .....	VII
Obrázek 7 Vnitřek krabice polepený hliníkovou fólií.....	VII

Obrázek 8 Část testovaných roztoků.....	VIII
Obrázek 9 Vynálezce A. Moser předvádí umístění lahve ve střešní krytině .....	VIII
Obrázek 10 Zakladatel projektu Illic Diaz a děti se sestavenými přenosnými svítilnami.....	IX
Obrázek 11 Logo filipínského projektu Isang Litrong Liwanag.....	IX
Obrázek 12 Logo projektu Liter of Light.....	IX

### **Seznam grafů**

Graf 1 Měření č. 1: Hodnoty rozptýleného záření pro tři druhy mikročástic.....	I
Graf 2 Měření č. 2: Hodnoty venkovního osvětlení.....	I
Graf 3 Měření č. 2: Hodnoty rozptýleného osvětlení.....	II
Graf 4 Měření č. 3: Hodnoty venkovního osvětlení.....	II
Graf 5 Měření č. 3: Hodnoty rozptýleného osvětlení.....	III
Graf 6 Měření č. 4: Hodnoty měření s neupravenou krabicí (venkovní osvětlení)....	III
Graf 7 Měření č. 4: Hodnoty měření s neupravenou krabicí (rozptýlené osvětlení)...	IV
Graf 8 Měření č. 4: Za použití hliníkové fólie (venkovní osvětlení) .....	V
Graf 9 Měření č. 4: Za použití hliníkové fólie (rozptýlené osvětlení) .....	V
Graf 10 Měření č. 4: Se sondou připevněnou ke stěně lahve (venkovní osvětlení)....	VI
Graf 11 Měření č. 4: Se sondou připevněnou ke stěně lahve (rozptýlené osvětlení)..	VI



## **Seznam použitých zkratk**

DNA	deoxyribonukleová kyselina
IR	infrared, infračervené
LED	light emitting diode
LOL	Litter of Light, jméno projektu
MIT	Massachusetts Institute of Technology
MSF	My Shelter Foundation, jméno nadace
PET	polyethylentereftalát
PVC	polyvinylchlorid
RNA	ribonukleová kyselina
ROS	reactive oxygen structures, reaktivní kyslíkové struktury
SBL	Solar Bottle Light, označení technologie
SODIS	Solar Water Disinfection, označení technologie
UV	ultraviolet, ultrafialové

# 1 Úvod

Solar Bottle Bulb je jednoduchá technologie osvětlování určená k běžnému využití především v rozvojových zemích. Zařízení je určeno pro osvětlení prostor bez oken či průzorů pro denní světlo. Typickým příkladem takových prostor jsou na sebe natěsnaná slumová obydlí. Sluneční světlo nevniká dovnitř v dostatečném množství na to, aby bylo možné provádět běžné každodenní činnosti obyvatel. Obyvatelé jsou nuceni využívat jiných zdrojů světla, například kerosinových a olejových lamp, či svíček, což s sebou nese zdravotní a bezpečnostní rizika. Dostupnost světla je jedním klíčových předpokladů k účinnějšímu vzdělávání, zdravějšímu životnímu stylu a také zvyšuje možnosti efektivně trávit volný čas. Využívání elektrické energie pro denní svícení, pokud je v dané lokalitě dostupná, přináší domácnostem ekonomickou zátěž, v mnoha případech jen těžko překonatelnou.

## 2 Literární rešerše

### 2.1 Technologie Solar Bottle Bulb

V anglické odborné literatuře je pro označení technologie nejčastěji používán pojem *Solar Bottle Lamp* (SBL), někdy také *Solar Bottle Bulb* nebo *Solar Bottle Light*. V populárně vědeckých článcích pak často není název blíže specifikován a používá se pojmu *Liter of Light*, jako souhrnného označení odvozeného od názvu projektu zabývajícího se rozšířením technologie do konkrétních světových oblastí. V češtině existuje jen několik informativních článků, zde se používá především pojmů *solární lahev* a *světlo v lahvi*.



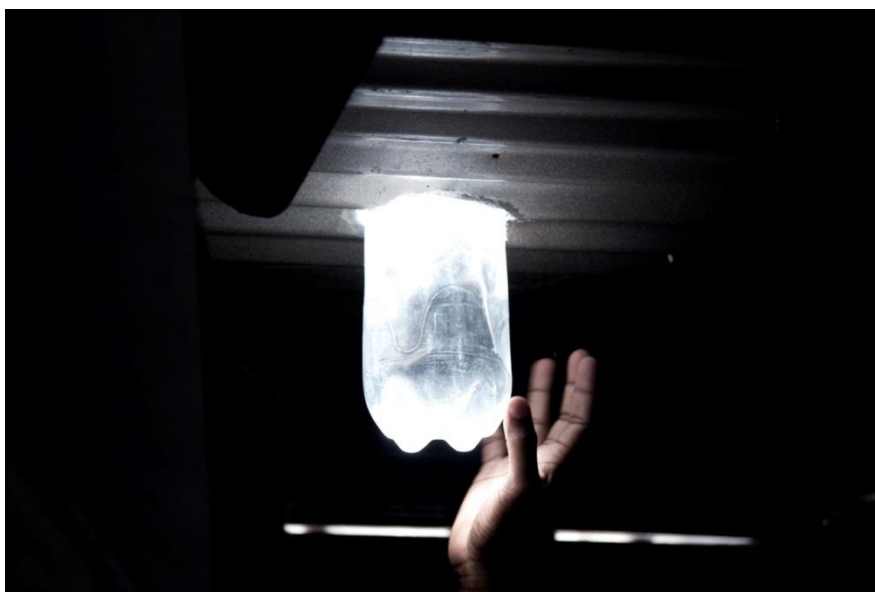
(zdroj: Liter of Light USA)

**Obrázek 1** Povrch lahve nad střechou

Základem konstrukce celého zařízení je průhledná PET lahev, která je naplněna vodou. Protože je důležité, aby vodou procházelo světlo a efekt byl dostatečně silný, je třeba použít čistou vodu a možnému znečištění zamezit. Vodu je tedy třeba zbavit nejen mechanických nečistot, ale i mikroorganismů. Toho lze docílit přidáním látky s dezinfekčním účinkem a prostým využitím antimikrobiálních účinků elektromagnetického záření. Takto upravená lahev je umístěna do otvoru ve střeše tak,

aby se část nacházela nad a část pod úrovní střechy, jak je znázorněno na obrázcích 1 a 2.

Během slunečné části dne je část povrchu lahve nad střechou vystavena slunečnímu záření vzniklé rozptýlené světlo prostupuje z láhve s vodou všemi směry do místnosti. Velmi podstatným pro funkci technologie je lom světla při vstupu do vody a odraz světla na protější straně lahve. Díky tomu, že ve vodě dochází k rozptylu světla, je uzavřený prostor osvětlen rovnoměrně. Využití SBL dokáže zajistit osvětlení, aniž by docházelo k přílišnému ohřívání místnosti. (Wang et al., 2014) Výsledná míra osvětlení interiéru je závislá především na intenzitě vnějšího slunečního záření, proto nelze tuto technologii v nevytvořeném stavu využívat během noci a není příliš účinná za zvýšené oblačnosti. V zeměpisných polohách, kde se nachází většina lokalit, pro které je tato technologie určena především, jsou podmínky pro využívání sluneční energie natolik dobré, že tento alternativní zdroj osvětlení zde lze používat bez problému. Na základě měření bylo zjištěno, že v závislosti na počasí se vyrovná elektrické žárovky o příkonu 40-60 wattů. (Krishnamurthy, 2014; Laylin, 2011)



(zdroj: Worcester Polytechnic Institute)

**Obrázek 2** Část lahve osvětluje interiér

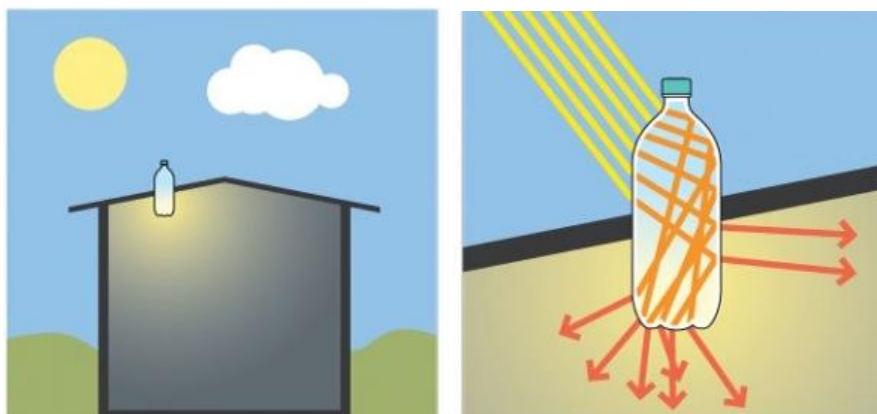
## **2.2 Vznik technologie**

Autorem technologie SBL je brazilský mechanik a domácí kutil Alfredo Moser. První lahev instaloval ve své dílně, když se tak snažil vyřešit problém nedostatku

osvětlení, způsobený častými místními výpadky v rozvodu elektřiny, při kterých nebyla elektrická energie dodávána do obydlených oblastí, ale pouze do průmyslových objektů. (Zobel, 2013) Samotný princip byl však již znám i v minulosti. Příkladem podobné technologie, která byla v minulosti běžně používána na lodích, je použití optického hranolu ze skla, připevněného na palubu a osvětlujícího podpalubní prostory. Účelem bylo zajistit bezpečný zdroj světla tak, aby nevznikalo riziko požáru. Při průchodu světla skleněným hranolem, docházelo k jeho lomu a prostor byl osvětlen. (Macky, 2015)

### 2.3 Vysvětlení principu technologie

K základní konstrukci zařízení jsou potřeba plastové lahve naplněné vodou. Další potřebnou surovinou je přípravek k dezinfekci vody, který zamezí jejímu znečištění a případnému snížení efektivity. Jako dezinfekční přípravek jsou používány přípravky na bázi chloru. (Bernard, 2012) Zařízení je pak připevněno k materiálu, odolnému vůči změnám počasí (nejčastěji vlnitý plech) a připevní se ke střeše. (UAF, 2013) Efekt je dostatečně silný pouze při denním světle, po západu Slunce už má osvětlení velmi nízkou intenzitu. V praxi bývá lahev umístěna do střechy tak, že zhruba 1/3 se nachází nad úrovní střechy a zbývající 2/3 pod její úrovní. (Mouamfon, 2015; Wang et al., 2013)



(upraveno podle Infographic Samples)

Obrázek 3 Umístění lahve ve střeše a průchod světla lahví

Sluneční paprsky prostupují povrchem lahve a vodou a uvnitř místnosti tak vznikne zdroj světla rozptylující paprsky do všech stran. Technologie využívá jednoduchých fyzikálních principů – lomu světla, vnitřního odrazu a především rozptylu záření, jak je

znázorněno na obrázku č. 3. Při průchodu optickým prostředím vody se přímé paprsky světla rozptýlí a způsobí rovnoměrné všesměrové osvětlení interiéru. Díky tomu je možné v místnosti provádět různé domácí práce, úklid, vaření. (LOE, 2015) Na základě měření bylo zjištěno, že v závislosti na počasí se vyrovná elektrické žárovce o příkonu 40-60 wattů. (Krishnamurthy, 2014; Laylin, 2011) K tomu je třeba předpokládat vhodné podmínky pro osvětlení části lahve nad střechou dané momentálním počasím a plným slunečním svitem. Pokud je lahev instalována správně, není potřeba žádné speciální údržby. Jednou za zhruba pět let je třeba vyměnit vodu s novou desinfekcí. (Bernard, 2012; Bansod a Wandile, 2015) Barva světla, které prochází lahví s vodou, se výrazně nemění. Dochází tedy k přirozenému osvětlení. (Wang et al., 2014)

### **2.3.1 Rozšíření, projekty a neziskové organizace**

Solar Bottle Light (SBL) je alternativní zdroj světla, určený k osvětlení místností bez přístupu přirozeného světla. Je schopen ve velkém rozsahu nahradit svítidla na elektřinu, kerosinové a olejové, svíčky a další používané typy svítidel, která mají zpravidla jednu z nevýhod – příliš vysoké finanční nároky nebo zdravotní závadnost. Komunity, pro které je technologie určena v první řadě, se nacházejí zejména v oblastech příliš odlehlých od elektrických rozvodových sítí, jako je tomu v případě chudých filipínských vesniček, anebo ve slumových koloniích. Vzhledem k neoficiální a pololegální povaze života ve slumových čtvrtích si lze jen těžko představit, že někdo bude platit za spotřebovanou elektrickou energii. Proto jsou tyto oblasti odříznuty od elektrických distribučních soustav. Pokud se obyvatelé rozhodnou k neoprávněnému odběru elektřiny, vystavují se riziku sankcí. (Mimmi, 2014) Pokuta za černý odběr pak může být pro finančně znevýhodněné obyvatele nepřekonatelným problémem. I v místech, kde je elektřina dostupná, mohou nastat problémy s jejím využitím. Rozvodové sítě mnohdy nemají dostatečnou kvalitu na to, aby dokázaly zajistit spolehlivé a stabilní dodávky energie a dochází zde k častým výpadkům. (Roy et al., 2014) Díky nekvalitním elektrickým instalacím je zde riziko požárů. Použití technologie SLB dokáže domácnostem ušetřit 8 – 10 dolarů měsíčně. (LOE, 2015)

Nové slumy vznikají zpravidla na periferiích velkých měst. Usazují se zde převážně přistěhovalci z malých měst a venkova, kteří přicházejí hledat práci. Díky tomu, že se metropole v průběhu času stále rozrůstají, stávají se někdy tyto původně

periferní oblasti spíše součástí centra. Obyvatelé těchto lokalit žijí většinou ve velmi špatných podmínkách, potýkají se s chudobou a bydlí v primitivních chatrčích. Díky tomu, že jsou tato obydlí z nedostatku místa natěsnaná na sebe v úzkých uličkách, velmi často jim chybí okna a dovnitř se tedy nedostává dostatečné množství světla. (Wang et al., 2014) Lidé, kteří se usídlují ve slumech, nejsou vlastníky půdy. Skuteční majitelé buď o pozemek nejeví zájem, nebo jej k užívání dobrovolně ponechávají. Ve světě je známo několik případů, kdy se společenství obyvatel žijících v konkrétním slumu stalo vlastníkem díky institutu kolektivního vydržení. (Cruz, 2015) Takové situace však nastávají pouze zřídka a v budoucnu jich nebude pravděpodobně příliš přibývat, protože je třeba vynaložit k tomuto účelu finanční prostředky a účinně spolupracovat v rámci komunity. Může dojít k situaci, že se skutečný majitel rozhodne pozemek prodat nebo na něm zahájit výstavbu, což může vést k postupnému vystěhování obyvatel, jako se tomu stalo v případě indické kolonie Kathputli v Novém Dillí, obývaném komunitou pouličních umělců po dobu více než šedesáti let. Lidem, kteří se musí vystěhovat, bylo v tomto konkrétním případě alespoň nabídnuto náhradní bydlení. (Banda et al., 2013)

To, jestli je technologie vhodná pouze pro použití v místních podmínkách určitých lokalit, nebo ji lze uplatnit v širším měřítku, závisí na efektivitě, dostupnosti a ceně materiálů, náročnosti konstrukce, použití a údržby. Technologie SBL využívá snadno dostupných PET lahví používaných k distribuci nápojů na celém světě. Lze je tedy běžně opatřit i v rozvojových zemích, přičemž náklady na jejich pořízení jsou velmi nízké. Díky jejich znovupoužití není potřeba lahve recyklovat, čímž odpadají náklady na jejich transport a zpracování. Výhoda opětovného využití lahví je o to výraznější, s ohledem na fakt, že v rozvojových zemích je nakládání s odpady zásadním problémem a odpad končí na skládkách nebo je spalován v ohni. Využití solárních lahví lze tedy vnímat nejen jako potřebný alternativní zdroj světla, ale i jako faktor schopný přispět ke zlepšení finanční situace velké části obyvatel. Pokud mají k dispozici elektřinu, mohou její spotřebu snížit na minimální úroveň a díky svícení SBL ušetřit za její odběr. K rozšíření SBL přispívají neziskové organizace. Liter of Light (LOL) je projektem nadace My Shelter Foundation (MSF), kterou založil v roce 2006 Illic Diaz, filipínský společensky prospěšný podnikatel. Nadace vznikla s cílem vytvářet projekty zaměřené na udržitelnost a zlepšení životní podmínky a vytváření pracovních míst. Mezi první

aktivity nadace patřila například výstavba budov z recyklovaných plastových lahví. Projekt LOL vznikl v dubnu 2011 ve spolupráci s Alfredem Moserem a studenty z MIT. (BSHF, 2014) Na Filipínách, kde má projekt původ, nese název Isang Litrong Liwanag. Je to technologie, která po sobě nezanechává uhlíkovou stopu. SBL je založena na principu appropriate technologies, je přiměřená tomu, co vyžadují dané společenské a environmentální okolnosti a zároveň šetrná k životnímu prostředí. (Pattnaik a Dhal, 2014)

Technologie je cíleně navržena tak, aby bylo možné opatřit si potřebné materiály i v nejhudších oblastech. Díky jednoduchosti ji lze sestavit s minimální manuální zručností. Způsobem, jak koncept rozšířit a udržovat stále funkční, je výuka lidí, kteří se mohou uživit výrobou a instalací SBL. Při uvážení toho, jak snadno lze předat informace potřebné k aplikaci, předpokládali tvůrci projektu i pozorovatelé už v počátcích projektu správně vysokou rychlost šíření. Pokud bylo zpočátku roku 2011 na území instalováno 15000 lahví (UNFCCC, 2014), v roce 2015 už to bylo více jak 145000. (Liter of Light USA, 2015) Během té doby se projekt rozšířil i mimo území Filipín do zemí jako je Bangladéš, Indie, Nepál, Pákistán, Dominikánská republika, Kolumbie, Nicaragua, Keňa a Tanzanie. Velkou roli v rozšíření technologie hrálo efektivní využití internetu a práce dobrovolníků v terénu. Do programu Liter of Light jsou zařazeny tři hlavní činnosti:

- Grassroots Enterprise Model – na začátku je zařízení poskytnuto domácnostem v cílové oblasti z prostředků nadace, takže obyvatelé nemusí vynakládat vlastní finanční prostředky. Pojem *grassroots*, pro který se v češtině obvykle nepoužívá doslovného překladu, v tomto konkrétním kontextu zdůrazňuje závislost šíření na spolupráci s místní komunitou. Základem je předpoklad, že lidé jsou spokojeni s využíváním technologie a celý koncept šíří dále. Zároveň nadace zajišťuje vzdělávání lidí, kteří se mohou živit distribucí a instalací technologie. Nadace poskytuje trénink, všechny potřebné nástroje a asistenci při kontrole kvality prvních konstrukcí. (BSHF, 2014) Plán projektu je takto vzdělat ročně zhruba místních 50 lidí, přičemž každý z nich by byl schopen zajistit funkci až 11000 lahví během dvou let. (LOE, 2015) Několik instalací je umístěno do okolí vybrané oblasti, což napomáhá informovanosti obyvatel a zvyšuje jejich zájem a poptávku.



- Dobrovolnictví v rámci komunity – pokud má být technologie zavedena ve větším měřítku, lze do projektu zapojit i velké sponzory a místní samosprávu. Takto získané peníze jsou využity na nákup materiálu a potřebného nářadí. Samotná práce, jako výroba lahví SBL, konstrukce zařízení a jejich umístění je vykonávána dobrovolníky.
- Spolupráce partnerských neziskových organizací – veškerá práce a poskytování informací probíhají již mimo správu MSF. Dobrovolníci z partnerských organizací se zabývají i finanční stránkou projektů a školením nových pracovníků. (UNFCCC, 2014)

Pokud se jedná o danou oblast a MSF nebo partnerská organizace se zabývají i přímou aplikací technologie, jsou klíčovými nástroji šíření výše zmíněné způsoby. Za dobu trvání projektu Liter of Light se technologie rozšířila i mimo území Filipín, přičemž MSF stála za uskutečněním těch největších projektů. Propagace projektu je natolik kvalitní, že se již stačil rychle dostat do povědomí lidí zabývajících se rozvojovou problematikou i obyvatel rozvojových zemí, kteří si mohou bez obtíží sestavit vlastní svítidlo za použití jednoduchého manuálu. Projekt Liter of Light je schopen rychle se šířit díky kvalitní webové prezentaci a vysoké popularitě na nejvíce využívaných sociálních sítích. Jako vhodný způsob šíření se osvědčily videonahrávky zachycující postup konstrukce nebo prosté záznamy o již uskutečněných projektech. Díky vzrůstající popularitě ve světě většina financování projektu pochází z dobrovolných příspěvků. (BSHF, 2014) Typickým příkladem současného působení projektu je rybářská vesnička Dampalit na předměstí Malabon City, části filipínské metropole Manily. Zde se na výstavbě kromě nadace finančně podílela i městská správa. Byl zde instalován vylepšený model svítidla - solárně napájené pouliční lampy využívající jednolitrových plastových lahví. Ty jsou připevněny na vysokých sloupcích z PVC. Druhou částí zde uskutečněného projektu, jsou lahve upevněné na střechy zdejších obydlí a osvětlující interiéry. V obou případech byla použita inovace původního vynálezu tak, aby bylo možno zařízení využívat i v noci. Hrdlem lahve prostupuje LED žárovka o výkonu 1 watt napájená z baterie, která přes den akumuluje energii pomocí solárních panelů. Toto zařízení se aktivuje po setmění a zajistí tak osvětlení i během noci. Obyvatelé už díky tomu nejsou odkázáni na svícení

kerosinovými lampami. Jednou z nejčerstvějších inovací je upravení technologie tak, aby byla přenosná. Materiál potřebný k sestavení této modifikace je na obrázku 4. Prodejní cena sady je zhruba 1,5 dolarů. Obsahuje LED diodu, baterii, solární článek, pingpongový míček napomáhající rozptylu a návod k sestavení obvodu. (LOE, 2015)



(Zdroj: Lauren Hinkel)

**Obrázek 4 Sada k sestavení svítidla akumulujícího energii**

V mnoha oblastech Filipín mají obyvatelé problémy s přístupem k elektrické energii nebo si ji nemohou dovolit. Existují zde celostátní rozvojové programy, jejichž cílem je v budoucnu zajistit lepší dostupnost elektřiny do většího počtu oblastí, než je nyní. Tyto programy by z dlouhodobého měřítka mohly znamenat příslib zásadního zlepšení životní situace obyvatel. (Alam M, 2011) Jako přechodnou a okamžitou pomoc lze v současnosti efektivně využít právě technologii solárních lahví, která má potenciál nejen zajistit osvětlení během denní doby, ale také úspory za elektřinu a jiné druhy osvětlení. Spolehlivý a finančně dostupný přístup k elektrické energii je jedním ze základních předpokladů pro možnosti dalšího rozvoje. I přes zjevnou důležitost elektrifikace se však řadě zemí nedaří toto pro své obyvatele zajistit. V městských částech je snazší vybudovat elektrickou síť a dodávky jsou spolehlivější, pokud je síť vybudována kvalitativně. Avšak životní podmínky ve slumových obydlích jsou nevhodné z důvodů, jako je chátrání staveb, přeplněnosti prostoru, nekvalitní konstrukce obydlí, příliš úzké ulice, nedostatek cirkulace vzduchu a špatné hygieny.

Tyto a další faktory vedou k nízké bezpečnosti a nezdravému životnímu prostředí. Podmínky v různých státech se liší v závislosti na místních podmínkách. Slumová obydlí mají lepší podmínky pro elektrifikaci díky blízkosti měst, i zde se jedná o složitý proces.

Příkladem úspěšného řešení tohoto problému je keňský slum Kibera. V Keni se nachází některé z největších městských chudinských čtvrtí. V metropoli Nairobi, jejíž populace se odhaduje na 3,5 milionu obyvatel (WPR, 2016), z toho přibližně 2 miliony lidí žijí ve slumovém obydlí. (WB, 2015) Největší slum, který se zde nachází, má název Kibera. Leží zhruba pět kilometrů od centra Nairobi a jedná se patrně o největší slum na celém africkém kontinentu. (McKinney, 2006) Přibližný počet obyvatel v Kibeře lze jen obtížně odhadovat, většina zdrojů uvádí čísla okolo 1 milionu lidí. (Mutisya a Yarime, 2011) Využití elektrické energie je zde spojeno s velkými komplikacemi. Dodávky proudu jsou velmi nespolehlivé a nekvalitní rozvody představují zdravotní riziko. V místech, kam je elektřina vedena, jsou díky tomu úrazy a požáry způsobené proudem běžně se opakující jev. Největší keňský dodavatel energie Kenya Power and Lighting Corporation v současné době vykonává dohled nad projektem zkvalitnění rozvodových sítí, který vytvořil ve spolupráci se Světovou bankou. Během jednoho roku se podařilo zlepšit stav distribuční soustavy a zvýšit její objem třicetinásobně. Tohoto výsledku bylo dosaženo za vynaložení velkého úsilí, s individuálním zaměřením na konkrétní osady a s osobním přispěním představitelů nejvyššího managementu KPLC. Nutnost takového přístupu byla způsobena nedostatečným zapojením komunity. Mezi lety 2011, kdy byl projekt započat až 2013, nedocházelo k žádnému výraznějšímu pokroku. Pracovníci v terénu se pokoušeli odstranit nelegální elektrické vedení, avšak kabely se po několika dnech opět vracely na původní místo. Docházelo také k nepovolenému přeprodávání energie mezi samotnými zákazníky. V květnu 2014 bylo tedy v oblasti legálně připojeno pouze 5000 zákazníků. Do května 2015 už počet stoupl na 150000. Nelegální přípojky přestaly být odstraňovány a došlo k několika jednáním s představiteli zdejších komunit, kterým byly vysvětleny výhody legálního připojení – bezpečnost, spolehlivost a finanční dostupnost. (WB, 2015) Velký vliv měla také spolupráce s Kenya Informal Settlements Improvement Project, keňským vládním projektem, který vznikl za účelem rozvoje slumových oblastí a má zkušenosti v komunikaci s místními lidmi a dobrou

reputaci. (WB, 2014) Světová banka poskytovala zvláštní prostředky k zafinancování výstavby nové elektrické sítě. Díky tomu mohlo dojít k celkovému snížení ceny pro nové odběratele. V konečném důsledku je nyní legálně odbíraná elektřina levnější, než předchozí systém založený na koncovém odběru od zprostředkovatele, tzv. middlemana. V květnu 2014 došlo k týdennímu setkání hlavních dodavatelů energie z dalších zemí globálního Jihu – Brazílie, Kolumbie a Jižní Afriky, kde byly navzájem předány poznatky ze snahy o elektrifikaci slumů. Díky dotacím a grantům vychází obyvatele slumu připojení k distribuční síti na zhruba 12 dolarů, zatímco běžný zákazník zaplatí 150 dolarů. (WB, 2015) Veškeré projekty, které se snaží přivést elektřinu do nerozvinutých a chudých oblastí, mají potenciál zásadně ovlivnit každodenní životy obyvatel a výrazně urychlit zdejší rozvoj. Solar Bottle Light dokáže poskytnout pouze osvětlení, zatímco díky elektřině z rozvodové sítě je možné využívat elektrické spotřebiče, ať už se jedná o telefony a počítače, kuchyňské spotřebiče, ledničky a další. Výhodou SBL je, že funguje okamžitě a je levná. Má velký potenciál i za předpokladu, že k elektrifikaci lokality dojde. Může nadále sloužit jako levnější zdroj osvětlení a ušetřit místním lidem peníze, které mají možnost uplatnit jinde.

## **2.4 Vlastnosti slunečního záření**

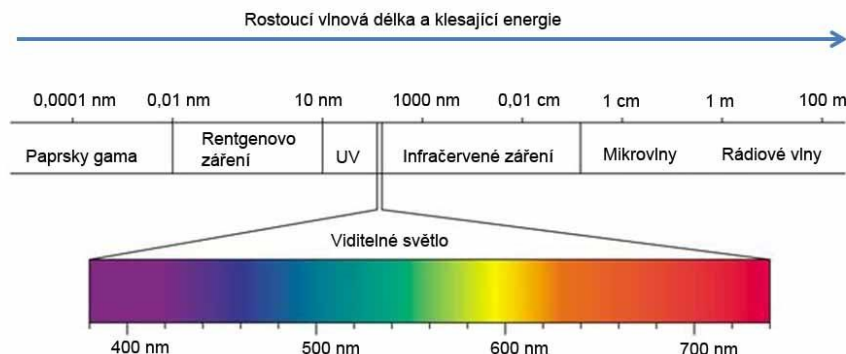
### **2.4.1 Elektromagnetické vlnění**

Elektromagnetické vlnění je vyzařováno všemi tělesy s teplotou vyšší než absolutní nula. Většina elektromagnetického vlnění dopadajícího na zemský povrch pochází ze Slunce, kde vzniká díky nepřetržité termonukleární reakci. Je to základní zdroj veškeré naší energie a závisí na něm naprostá většina procesů, které na Zemi probíhají. Díky slunečnímu záření má povrch planety dostatečnou teplotu k tomu, aby se zde mohl rozvíjet život. Záření o vlnové délce 380-760 nm je využíváno fotosyntetizujícími organismy v procesu přeměny na chemickou energii. Elektromagnetické vlnění je proces, ve kterém probíhají neustálé změny elektrického a magnetického pole, má elektrickou a magnetickou složku. Elektromagnetické záření má současně povahu vlnovou i částicovou. (Iqbal, 1983) Lze jej tedy popsat frekvencí, vlnovou délkou a rychlostí šíření. Částice tohoto vlnění, nesoucí nejmenší, dále nedělitelné množství energie, se nazývá foton. Frekvence je počet kmitů za sekundu, vlnová délka je pak nejkratší vzdálenost, kdy se pohyb částice opakuje se stejnou fází.

Součinem těchto dvou veličin je rychlost světla. (Parrish et al., 1978). Pro popsanou technologii jsou podstatné především vlastnosti ovlivňující šíření světla a tedy možnost využití pro osvětlení uzavřených prostor. Technologie je založena na rozptylu světla při průchodu optickým prostředím vody. Zcela zásadním předpokladem k tomu, aby byla technologie účinná, je čistota vody. Uplatňuje se také ultrafialové a infračervené záření, která napomáhají k dezinfekci vody. (Luzi et al., 2016)

## 2.4.2 Vlnová délka elektromagnetického vlnění

Vlnová délka je vzdálenost mezi dvěma body, které se nacházejí ve stejné oscilační fázi. Platí, že čím vyšší je frekvence záření, tím kratší je vlnová délka a naopak. Pro snadnou orientaci slouží škála elektromagnetického spektra znázorněná na obrázku 4. V této stupnici jsou rozlišeny různé druhy vlnění na základě jejich vlnových délek. Jedná se tedy o vysokoenergetické záření gama s vlnovou délkou v řádech pikometrů, dále pak rentgenové záření, ultrafialové záření, světlo, infračervené záření, mikrovlny a rádiové vlny s vlnovou délkou až 1 km.



(zdroj: Labguide)

**Obrázek 5 Elektromagnetické spektrum**

Pro fyzikální princip, na kterém je založena technologie popisovaná v této práci, jsou podstatná záření ultrafialové, viditelné a infračervené. Protože na ně platí zákony optiky, souhrnně se jim říká optické záření. Jak je patrné z obrázku 5, viditelné záření postupně mění barvu v závislosti na vlnových délkách. V tabulce 1 jsou barvy odstupňovány podle číselných hodnot jejich vlnových délek. Barva je závislá na

materiálu, na který dopadá elektromagnetické záření, tedy jaké vlnové délky jsou jím odraženy a na schopnosti pozorovatele toto záření vnímat. Lidské oko má schopnost vnímat tři základní barvy – červenou, zelenou a modrou a tři doplňkové barvy, ze kterých lze vytvořit libovolný barevný odstín.

**Tabulka 1 Barvy dle vlnových délek**

Rozmezí vlnových délek $\lambda$ [nm]	Barva
380-430	Fialová
430-465	Modrofialová
465-490	Modrá
490-500	modrozelená (tyrkysová)
500-560	Zelená
560-575	Zelenožlutá
575-585	Žlutá
585-620	Oranžová
620-770	Červená

Pokud se nám prostředí jeví jako průhledné (sklo, čirá kapalina, plyn), znamená to, že světlo prochází skrz optické prostředí a není pohlcováno. Černá tělesa pohlcují většinu dopadajícího záření. Naproti tomu bílý materiál odráží všechny viditelné vlnové délky, bílá barva vzniká složením všech ostatních barev. Rozdíl ve schopnosti různých materiálů odrážet či absorbovat záření je patrný i mimo viditelné spektrum. Znalost toho, že černá barva pohlcuje významnou část infračerveného záření a způsobuje zahřátí materiálů, lidé běžně využívají například při volbě barvy oblečení.

### 2.4.3 Světlo

Světlo je ta část elektromagnetického vlnění, kterou může člověk vnímat pouhým okem. V závislosti na intenzitě a vlnových délkách dokáže lidské oko vnímat barvy a tvary. Zrak představuje zhruba 80% podíl ze všech smyslových informací, které lidský mozek přijímá. Zbývajících 20% je potom sluch, hmat, čich a chuť. (Howes, 2015) Je to tedy smysl, který se nejvíce podílí na celkovém vnímání našeho okolí a je klíčový především pro orientaci v prostoru a vnímání dne a noci. Lidské oko je limitováno tak, že může vidět pouze omezený úsek dopadajícího záření. Zdravým okem

lze vnímat záření nabývající vlnové délky přibližně od 390 do 700 nm. (Starr et al., 2006) Rozhodující je spektrální citlivost oka, která není u všech lidí zcela stejná. S klesajícím osvětlením se schopnost vnímání snižuje a posunuje spíše ke kratším vlnovým délkám. (Smith a Pokorny, 1975) Na viditelném záření se zakládá fotosyntéza rostlin. Periodicita střídání dne a noci společně s jejich měnící se délkou v průběhu roku má vliv na fyziologické procesy zvířat i rostlin. Barva a intenzita světla ovlivňuje psychický stav člověka. Dostatek světla má pozitivní vliv na soustředěnost člověka. Naopak jeho nedostatek navozuje pocit únavy.

#### 2.4.4 Ultrafialové záření

Ultrafialové záření (UV) se dělí podle vlnových délek do 3 skupin, dělení je uvedeno v tabulce 2. Paprsky UV-A snadno prostupují atmosférou a tvoří naprostou většinu UV záření dopadajícího na zemský povrch. Naproti tomu UV-B a UV-C jsou téměř pohlcovány. Pro živé organismy je UV-C vysoce škodlivé, má karcinogenní účinky. (Linda, 2005) Díky tomu, že se UV-C podílí na produkci ozonu tak, že reaguje s plynným kyslíkem, prochází jej však na zemský povrch minimum. Ultrafialové záření o vysoké frekvenci působí na struktury molekul. Záření UV-B o vlnových délkách 280-290 nm způsobuje denaturaci proteinů, má karcinogenní účinky, pokud pronikne do DNA. Záření UV-C v intervalu 250-270 nm má baktericidní účinky, narušuje a mění DNA. Přestože se UV-záření nachází mimo rozsah toho, co lze smyslově vnímat, pokud je jeho vlnová délka kratší než 313 nm, může o vyšší intenzitě způsobovat zánět spojivek. (Linda, 2005)

Tabulka 2 Pásma UV záření

Pásma	Rozmezí vlnových délek $\lambda$ [nm]
UV-C	< 280
UV-B	280-320
UV-A	320-400

#### 2.4.5 Dezinfekce vody pomocí UV složky slunečního záření

Sluneční záření může být také využito dezinfekci vody. Metoda Solar Water Disinfection (SODIS) je primárně určena pro zajištění pitné vody pro obyvatele rozvojových zemí. Jedná se o řešení vhodné pro lokality bez přístupu k pitné vodě. Díky

tomu, že mají lidé z daných oblastí možnost pít nezávadnou vodu, se snižuje četnost průjmových onemocnění, které v rozvojových zemích působí velmi časté vážné zdravotní komplikace v mnohých případech končící smrtí. Metoda využívá PET lahev a slunečního záření. Vymytá plastová lahev je naplněna nedezinfikovanou vodou. Lahví je potřeba třepat po dobu zhruba 30 sekund, aby došlo k rozpuštění kyslíku, který se pak podílí na dezinfekci vody. (ÚÚR, 2011) Poté je lahev na několik hodin vystavena slunečnímu záření. Paprsky UV-A pronikající povrchem lahve pak působí zhoubě na mikroby a subcelulární organismy (bakterie, parazity a viry). Metoda je částečně účinná i za nízké teploty vody a okolního vzduchu. Díky jednoduchosti mohou lidé tuto metodu využívat samostatně, pro uživatele navíc neznamená nijak vysoké náklady. V zemích, kde je tradičním problémem i nakládání s odpady, jsou plastové lahve alespoň sekundárně využívány. Jedná se o způsob dezinfekce vysoce vhodný dezinfekci menších objemů vody. Nevýhodou je poměrně silná závislost na intenzitě slunečního záření. Za jasného počasí postačí expozice láhve na slunci po dobu 6 hodin, měly by zde však být zahrnuty doby kolem poledne, kdy je záření nejsilnější. Při střední a vyšší oblačnosti, se doba potřebná pro dezinfekci znatelně prodlužuje. Pokud je po většinu dne oblačno, měla by být lahev paprskům vystavena po 2 dny. Metoda není účinná za deštivého počasí. (Luzi et al., 2016) Metoda SODIS využívá vlivu přímého ultrafialového záření. Účinnost je vyšší ve svrchních vrstvách vody. Podstatou deaktivace patogenních organismů je poškození proteinů a DNA organismů, způsobená ve vlnových délkách zejména UV-B a UV-A záření. UV-B záření dopadající na povrch Země má schopnost blokovat činnost patogenů narušením jejich DNA a RNA. (Jagger, 1985) Polyethylentereftalát, ze kterého jsou lahve vyráběny, však většinu UV-B pohlcuje. Ačkoliv UV-A nemá takovou schopnost přímo ovlivnit nukleové kyseliny, způsobuje však tvorbu ROS - reaktivních forem kyslíku – volné atomy, superoxidy, peroxid vodíku a hydroxylové radikály, které potom reagují a narušují bílkoviny a nukleové kyseliny. (Whitlam a Codd, 1986) Vznik ROS lze vhodně podpořit umístěním fotosenzitivních částic – jako například organických molekul či železa. (Rincón a Pulgarin, 2004)

#### **2.4.6 Infračervené záření**

Do infračerveného záření jsou zahrnovány vlnové délky spadající do širokého rozmezí 760m až 1mm. Podobně jako UV záření je děleno do pásem, stejně tak IR



záření se dělí na IR-A, IR-B a IR-C. Prostředím vody prochází nejlépe paprsky IR-A, ostatní jsou z většiny pohlcovány. Infračervené záření dokáže tepelně působit, tedy zrychlit tepelný pohyb molekul a ohřívat tak povrch, na který dopadá. V nižší míře má tuto schopnost také světlo s delšími vlnovými délkami. Při vysoké intenzitě je IR nebezpečné a může způsobit hypertermii organismu a poškození kůže. (Linda, 2005)

**Tabulka 3 Pásma infračerveného záření**

<b>Pásmo</b>	<b>Rozmezí vlnových délek <math>\lambda</math> [nm]</b>
IR-A	700-1400
IR-B	1400-3000
IR-C	3000-1000000

#### **2.4.7 Optické prostředí, odraz a lom**

Optickým prostředím je takové prostředí, kterým se šíří elektromagnetické vlnění. Optická prostředí se dají dělit na různé druhy, podle vlastností, s jakými se v nich světlo šíří. Pokud vlnění prostředím prochází bez toho, aby se měnil směr šíření – tedy nedochází k žádnému rozptylu světla, jedná se o čiré prostředí. Vzhledem k tomu, že paprsky světla si zde drží stále stejný směr, nedochází ani ke změně barvy světla. Jestliže se určité vlnové délky světla nechají částečně pohlit, avšak jeho paprsky nemění směr, pak je prostředí průhledné a zbarvené. Dochází-li v prostředí k částečnému rozptylu, je prostředí průsvitné. Pokud je vlnění zcela pohlcováno, nebo odraženo, jedná se o prostředí neprůhledné. Z hlediska změn rychlosti šíření světla se pak ještě prostředí dělí na izotropní (stejná rychlost ve všech směrech šíření světla) a anizotropní (rychlost se liší v závislosti na směru šíření světla). Při přechodu světla z jednoho prostředí do druhého dochází k lomu, pokud se prostředí liší optickými vlastnostmi. Každé prostředí má jiný index lomu. Ze dvou prostředí se to s vyšším indexem lomu nazývá opticky hustší a prostředí s nižším indexem je opticky řidší. Lomem světla se rozumí chování elektromagnetického vlnění přecházejícího z jednoho optického prostředí do druhého prostředí, které má odlišné vlastnosti šíření. Na rozhraní dvou prostředí se optické vlastnosti mění skokově. Rychlost světla, která je ve

vzduchu přibližně  $3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , se při vstupu do vody sníží na  $2,25 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . (Kalus, 2014) Typickými příklady takovýchto přechodů jsou například průchod světla z vody do vzduchu nebo ze skla do vzduchu. V případě technologie SBL vchází světlo ze vzduchu do vody v plastové lahvi. Materiál lahve má za následek částečný odraz světla ještě, než stačí světlo vstoupit do vody. Pokud světlo projde vodou na druhou stranu lahve, část světla projde opět ven do vzduchu a část se odrazí zpět do vody, jak lze vidět na obrázku 5.

#### 2.4.8 Rozptyl světla

Rozptyl světla je fyzikální jev, se kterým se běžně setkáváme v každodenním životě. Lze jej pozorovat například na prachových částicích pohybujících se ve vzduchu. Jedná se o jev, který je značně složitý, je ovlivněn odrazem světla, jeho lomem a interferencí záření. Rozptyl světla je závislý především na mikročásticích nacházejících se v daném optickém prostředí a jejich velikosti. Pokud by prostředí bylo dokonale čisté, k rozptylu světla by v něm nedocházelo. Příkladem jevu, který vzniká rozptylem světla, je modré zbarvení oblohy. Na obloze jsou přítomny všechny barvy, dominantní je však modrá. Přes den lze tedy pozorovat modrou oblohu. Při pohledu na snímky Země pořízené družicemi z oběžné dráhy lze pozorovat modrý obrys planety v místech, kde paprsky světla prochází atmosférou. Jedná se o rozptýlené sluneční paprsky. V noci má nebe barvu černou a lze na něm jasně vidět obrysy kosmických těles. To je způsobeno tím, že na odvrácenou stranu planety nedopadá přímé sluneční světlo a nedochází tak k žádnému rozptylu. Světlo procházející atmosférou se setkává se spoustou překážek, drobnými tělísky a částčkami, jako například ledové krystaly, kapky vody či prachové částice. Částičky takovýchto velikostí však způsobují bílé zbarvení oblohy, přičemž vlnová délka světla nemá na rozptyl vliv. Jedná se o tzv. aerosolový rozptyl. Pokud se tedy obloha jeví jako bílá, efekt vzniká na větších částicích a proto lze pozorovat bílá oblaka a mlhu i kouř. Se stoupající nadmořskou výškou pozorovatele pak barva oblohy zpravidla tmavne, protože částic v atmosféře tvořících překážku ubývá a obloha je čistější. Efekt modré barvy je způsoben molekulami vzduchu. Tyto molekuly samy o sobě mají vzhledem k vlnovým délkám viditelného slunečního záření pouze malé rozměry. Světelné částice jsou tak schopny je míjet bez jakékoli změny. Molekuly se však v atmosféře neustále neuspořádaně pohybují velmi vysokou rychlostí. Díky tomu se molekuly v atmosféře navzájem srážejí

a tvoří přechodně menší či větší shluky, které mají v čase krátkou soudržnost – trvají pouze zlomek sekundy. V tomto krátkém časovém úseku vzniká nehomogenita vzduchu v ovzduší, na které se paprsky rozptýlí. Účinnost rozptylu se liší pro vlnové délky tak, že kratší vlnové délky (modrá, fialová) jsou rozptylovány mnohem silněji, na rozdíl třeba od červené. Tento rozdíl je vyjádřen vztahem nepřímé úměrnosti vzhledem ke čtvrtým mocninám vlnových délek záření. Pokud má tedy modré světlo délku 400 nm, dochází k 6,6 krát silnějšímu rozptylu, než u červeného o vlnové délce 640 nm. (Kalus, 2014) Pro pozorovatele má obloha modrou barvu, ačkoliv fialové světlo má ještě kratší vlnovou délku. Velká část fialového záření je však v atmosféře pohlcena ozonovou vrstvou a celkově ho ze Slunce přichází méně a navíc lidské oko je na tuto barvu málo citlivé.

### 3 Cíle práce

Hlavním cílem práce je porovnat hodnoty světelného záření získané měřením a z testovaných druhů materiálu mikročastic vybrat tu nejvhodnější. Pro vybrané materiály mikročastic je třeba ještě na základě dat získaných měřením vybrat jejich vhodnou koncentraci.

Pro dosažení hlavního cíle práce byly stanoveny následující specifické cíle:

- Provést literární rešerši s těmito cíli:
  - o Zmapovat současnou situaci týkající se využívání technologie solárních lahví.
  - o Popsat faktory ovlivňující fungování technologie a její účinnost.
  - o Popsat vlastnosti a chování slunečního světla při jeho průchodu rozptylujícím optickým prostředím.
- Změřit hodnoty dopadajícího a rozptýleného světelného záření v závislosti na vlastnostech optického prostředí PET láhví
  - o Provést základní otestování navrženého vzorku svítidla a jeho vlastnosti
  - o Porovnat použití nejméně dvou různých materiálů mikročastic a zjistit jejich chování s vodou
  - o Na základě výsledků jednotlivých měření snížit počet druhů testovaných mikročastic, u nich pak zvýšit počet testovaných koncentrací.
- Vyhodnotit získaná data:
  - o Na základě získaných hodnot porovnat ztráty světla při průchodu testovanými koncentracemi a vybrat nejvhodnější z nich

## 4 Metodika

### 4.1 Metodika literární rešerše

Informace obsažené v literární rešerši, byly získány především z anglicky psaných podkladů. Při vyhledávání informací bylo používáno zejména vědeckých plnotextových databází, zejména: *Science Direct*, *Web of Science* a *Google Scholar*. Dalšími nástroji při vyhledávání článků a relevantních byly vědecké sociální sítě *ResearchGate* a *Academia.edu* a oficiální stránky projektu *Liter of Light*. Klíčovými slovy použitými při vyhledávání byly především: *electromagnetic radiation*, *light scattering*, *light refraction*, *water disinfection*, *microparticles*.

### 4.2 Metodika měření

Za účelem získání dat o rozptylových vlastnostech materiálu mikročástic ve vodě byla provedena celkem čtyři měření. Výsledky každého jednotlivého měření tvořily východiska pro přípravu následujícího.

#### 4.2.1 Měření č. 1

Cílem prvního měření bylo porovnání materiálu mikročástic z hlediska míry absorpce světla. Na základě toho byla posouzena jejich vhodnost k použití v dalších měřeních.

První měření bylo provedeno v laboratoři. Hlavním zdrojem osvětlení byla wolframová žárovka 60 W nasměrovaná ke světelné sondě měřicího přístroje. Měření probíhalo za pomoci spektrometru, počítače s příslušným softwarem a plastových lahví o objemu 1,5 l naplněných vodou a určitou hmotností daných mikročástic. Pro přípravu vzorků byly použity mikročástice oxidu titaničitého, vápence a oxidu zinečnatého. Koncentrace mikročástic byly zvoleny tři: 1 g, 2g a 4g a byly vztaženy na 1,5 l vody (objem PET lahve).

Postup měření byl následující:

- 1) Všechny vzorky (roztoky vody obsahující mikročástice o různých koncentracích) byly během měření postupně ve svislém směru a stejným způsobem vkládány mezi zdroj světla a sondu.
- 2) Prázdné lahve byly ještě před naplněním použity k měření a zaznamenání ztrát intenzity světla, které jimi procházelo.
- 3) Hmotnost mikročástic 1 g, 2g a 4g a byly použity k přípravě celkem 9 vzorků (9 lahví s 3 druhy mikročástic a 3 různými koncentracemi na 1,5 l vody).
- 4) Byla naměřena a zaznamenána intenzita procházejícího světla pro každý vzorek. Každá lahev mikročásticemi byla před svým umístěním k čidlu důkladně protřepána.
- 5) Získané hodnoty byly zpracovány, zaneseny do tabulky č. 4 a znázorněny pomocí grafu č. 1.

Pro další měření byly zachovány zbývající dva druhy mikročástic, u kterých byly připraveny navíc další vzorky s nižšími koncentracemi. Vzhledem k tomu, že rozdíly způsobené materiálem lahve byly výrazné a mohly by ovlivnit přesnost dalších měření, byly pro další měření opatřeny lahve od stejného výrobce, se stejným objemem a materiálem. Byla zvolena lahev od výrobku běžně dostupného i v oblastech použití technologie. Další měření byla provedena venku za působení přímého slunečního záření.

#### **4.2.2 Měření č. 2**

Cílem měření bylo shromáždit data a porovnat intenzitu rozptýleného světla na mikročásticích oxidu titaničitého a vápence o různých připravených koncentracích. Na základě porovnání byl počet vzorků snížen a využit pro další měření.

Pro experimentální měření byl využit jednoduchý typ solární technologie tak, aby bylo zajištěno co nejsnazší použití. Byly použity dva luxmetry, 11 plastových lahví s vodou, kartonová krabice, mikročástice oxidu titaničitého a vápenec v koncentracích 0,25 g, 0,50 g, 1 g, 2 g, a 4 g. K měření byly použity lahve o objemu 1,5 l z čirého plastu. Pro možnost porovnání byla při měření použita i lahev naplněná čistou vodou. Důležité z hlediska výběru lahví bylo, aby nebyly nijak deformovány a jejich povrch nebyl znečištěn. Z toho důvodu byly také sejmuty etikety a odstraněno zbývající lepidlo. Lahve byly umístovány vždy do stejné hloubky vzhledem k víku

krabice, takže 1/3 lahve byla nad úrovní víka a 2/3 pod úrovní. Stejný poměr je běžně používán v praxi.

Pro měření intenzity rozptýleného záření bylo třeba vytvořit prostor, do kterého nezasahuje přímé sluneční světlo. K tomu byla použita krabice z tvrdého kartonu o základně  $380 \times 460$  mm a výšce 420 mm. Krabice byla zevnitř zpevněna, aby vydržela manipulaci způsobenou opakovaným měřením. Na krabici bylo zhotoveno víko z kartonu, do jehož středu byl vyříznut otvor o průměru zhruba 80 mm, do kterého byly během měření vkládány vzorky v plastových lahvích. Průměr otvoru byl o něco menší, než průměr lahví. Díky tomu lahve zůstávaly po celou dobu měření ve stejné poloze a nebylo třeba hledat způsob, jak je upevnit, aby nepropadávaly skrz víko. Veškeré spoje na krabici byly překryty černou lepicí páskou, aby byl minimalizován vstup světla. Při uzavření krabice a zakrytí otvoru na lahve ukazoval luxmetr intenzitu 0 lx.

Vzhledem k tomu, že nebylo možné zajistit, aby byla stejná intenzita záření a stejné podmínky pro každé měření, bylo nutné provést nejen měření rozptýleného světla uvnitř krabice, ale i vnějšího osvětlení dopadajícího do prostoru víka. Díky tomu bylo později možné odhadnout, jestli lze hodnoty rozptýleného záření věrohodně srovnávat. K měření intenzity osvětlení byly použity dva luxmetry se selenovým fotočlánkem. Měření probíhající uvnitř krabice byla zaznamenávána přístrojem označeným jako luxmetr A na stupnici o rozsahu 500 lx. Měřicí sonda byla umístěna do rohu krabice a v průběhu všech měření s ní nebylo nijak pohybováno. Měření přímého záření bylo provedeno za pomoci luxmetru B za zvoleného nejvyššího rozsahu, tedy 5000 lx. Sonda byla umístěna na víko krabice a upevněna. Měření byla uskutečněna ve stejný den, přičemž rozestupy mezi jednotlivými sériemi byly zhruba 10-15 minut a každé měření trvalo zhruba 1 minutu.

Postup byl následující:

- 1) Každá lahev se vzorkem byla důkladně protřepána a umístěna do otvoru v krabici.

- 2) Pomocí luxmetru A byla naměřena a zaznamenána hodnota intenzity rozptýleného záření. Vždy bylo nutné počkat, až dojde k relativnímu ustálení hodnot na stupnici obou přístrojů.
- 3) Současně byla pomocí luxmetru B naměřena a zaznamenána hodnota přímého slunečního záření, dopadajícího na horní část PET lahve.
- 4) Uvedený postup byl opakován pětkrát pro každý vzorek. Vzniklo tak celkem pět sad měření.
- 5) Získané hodnoty byly zpracovány do tabulky č. 5 a znázorněny pomocí grafů č. 2 a 3.

#### **4.2.3 Měření č. 3**

Třetí měření navázalo na předchozí měření a bylo uskutečněno na stejném místě. Jednotlivé sady byly označeny čísly 1 - 20 a hodnoty byly zahrnuty do tabulky č. 6. Pro možnost porovnání byla opět použita i lahev naplněná pouze čistou vodou.

Postup třetího měření se shodoval s postupem druhého s výjimkou počtu opakování, kterých bylo tentokrát dvacet. Počet měřených vzorků byl zredukován z původních deseti na čtyři.

#### **4.2.4 Měření č. 4**

Postup čtvrtého měření se nelišil od předchozích dvou, pouze počet opakování byl v tomto případě deset. V tomto měření byly použity tři vzorky s obsahem vápence 0,25 g, 0,5 g a 1 g. Měření bylo rozděleno na tři části:

- V první části byla použita krabice ve stejném stavu jako při měření č. 2 a 3 tedy uvnitř neupravená.
- Pro následující část byly všechny vnitřní stěny krabice pokryty (polepeny) hliníkovou fólií.
- Pro třetí část měření byla hliníková fólie z vnitřních stran krabice sejmuta. Sonda luxmetru byla přemístěna z původní polohy v rohu krabice a připevněno pomocí lepicí pásky přímo na stěnu lahve zasahující do krabice.



Důvodem první úpravy byla možnost kvantifikace vlivu odrazu rozptýleného světla od stěn krabice na celkovou hodnotu intenzity rozptýleného světla uvnitř krabice, jestliže je vnitřek interiéru přizpůsoben tak, aby odrážel světlo.

Druhá úprava – připevnění sondy na stěnu lahve – byla provedena tak, aby byly minimalizovány ztráty světla povrchem krabice. Tak se dá lépe odhadnout ekvivalentní výkon potřebné žárovky. Postup čtvrtého měření se nelišil od předchozích dvou, pouze počet opakování byl v tomto případě deset.

## 5 Výsledky a diskuze

### 5.1.1 Měření č. 1 Intenzita rozptýleného záření pro tři druhy materiálu mikročástic

Tabulka 4 Hodnoty rozptýleného záření pro tři druhy materiálu mikročástic

Intenzita osvětlení [lx]		
Vzorek	Prázdná lahev	Voda s rozptýlenými mikročásticemi
TiO <sub>2</sub> 1g	692,2	277,2
TiO <sub>2</sub> 2g	685,4	160,7
TiO <sub>2</sub> 4g	697,5	48,8
Vápenec 1g	625,3	502,3
Vápenec 2g	628,7	323,7
Vápenec 4g	445,8	108,9
ZnO 1g	698,0	49,2
ZnO 2g	685,8	45,0
ZnO 4g	677,2	21,0

Přímá intenzita osvětlení pocházející z použitého zdroje byla ve všech případech 1. měření 782 lx. Výsledné hodnoty intenzity osvětlení byly porovnány z hlediska všech druhů mikročástic i jejich jednotlivých koncentrací. Nejvíce světla procházelo lahvemi s mikročásticemi z vápence o 1g a 2g koncentracích. Mikročástice oxidu titaničitého pohltily více světla, intenzita osvětlení se výrazněji lišila v závislosti na jeho koncentraci. Vzorky s mikročásticemi oxidu zinečnatého při všech koncentracích absorbovaly světla nejvíce. Všechny použité materiály mikročástic propouštěly při nižší koncentraci více světla.

Z hodnot získaných měření je patrné, že světlo procházející prázdnou lahví (sloupec 2 tabulky 4.), je částečně utlumeno. V závislosti na materiálu plastových lahví byly rozdíly různě velké. Lahev, do které byl později umístěn vápenec s koncentrací 4 g, absorbovala výrazně více světla.

Na základě poznatků z měření č. 1 byl oxid zinečnatý, jako materiál mikročástic, vyhodnocen jako nejméně vhodný k dalšímu měření a byl tedy vyloučen.

### 5.1.2 Měření č. 2 Intenzita dopadajícího a rozptýleného záření pěti koncentrací mikročastic

Toto měření bylo provedeno pouze se dvěma materiály mikročastic (oxidem zinečnatým a vápencem, ale pro další dvě malé hodnoty jejich koncentrace. Jako zdroj záření bylo použito přímého slunečního světla. Data získaná druhým měření jsou uvedena v tabulce 5.

Tabulka 5 Naměřené hodnoty intenzity dopadajícího a rozptýleného záření pěti koncentrací mikročastic

Vzorek	Intenzita přímého záření [lx]					Rozpětí hodnot	Průměr	Směrodatná odchylka
Voda	3300	3600	3800	4000	4000	3300 - 4000	3740,0	265,3
	265	270	340	255	250	250 - 340	276,0	32,8
TiO <sub>2</sub> - 4 g	2950	4000	4200	4600	4000	2950 - 4600	3950,0	545,9
	60	165	60	35	70	35 - 165	78,0	45,0
TiO <sub>2</sub> - 2 g	3200	4200	4000	4600	4400	3200 - 4600	4080,0	483,3
	125	110	100	60	100	60 - 125	99,0	21,5
TiO <sub>2</sub> - 1 g	3200	4000	4200	4600	4000	3200 - 4600	4000,0	456,1
	145	190	135	60	150	60 - 190	136,0	42,4
TiO <sub>2</sub> - 0,5 g	3200	4000	4200	4400	4200	3200 - 4400	4000,0	419,5
	220	155	185	190	200	155 - 220	190,0	21,2
TiO <sub>2</sub> - 0,25 g	3200	4000	3900	4600	4600	3200 - 4400	4060,0	520,0
	240	210	200	110	200	110 - 240	192,0	43,5
Vápenec 4g	3000	4000	4000	2000	3900	2000 - 4000	3380,0	785,9
	145	105	115	110	105	105 - 145	116,0	15,0
Vápenec 2g	3000	4000	4000	2000	3900	2000 - 4000	3380,0	785,9
	180	165	150	150	135	135 - 180	156,0	15,3
Vápenec 1g	2900	4000	4300	2000	4000	2000 - 4300	3440,0	863,9
	195	160	185	165	205	160 - 205	182,0	17,2
Vápenec 0,5g	3200	4000	4400	1800	4000	1800 - 4400	3480,0	926,1
	300	325	330	350	360	300 - 360	333,0	20,9
Vápenec 0,25 g	3100	4200	4200	1900	4000	1900 - 4200	3480,0	888,6
	280	290	315	300	310	280 - 315	299,0	12,8
<b>sada měření</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>			

Pozn. k tabulce: Hodnoty přímého osvětlení byly v této tabulce zvýrazněny oranžovou barvou. Hodnoty rozptýleného záření (v rohu uvnitř krabice) byly ponechány v bílé barvě.

Měřením č. 2 byla shromážděna data, na jejichž základě bylo možno vzájemně porovnat rozptylové vlastnosti obou druhů mikročástic ve stejných koncentracích. Při měření se vzorky obsahujícími vápenec byly hodnoty rozptýleného osvětlení obecně vyšší, než u oxidu titaničitého.

Při porovnání naměřených hodnot venkovního osvětlení bylo zjištěno, že během jednotlivých sad měření bylo osvětlení relativně stálé. Výjimku tvořila čtvrtá sada, kde došlo k výraznému snížení intenzity dopadajícího světla. Vzhledem k tomu, že efekt rozptylu světla na mikročásticích je velmi silně ovlivněn vnějším slunečním světlem, je výsledná hodnota osvětlení závislá především na intenzitě vnějšího slunečního záření, které kolísá, bylo potřeba provést více měření a pokusit se minimalizovat tento vliv.

Z hlediska koncentrace mikročástic v roztoku je z měření patrné, že méně světla absorbovaly lahve s nižšími koncentracemi mikročástic. Pro další měření (měření č. 3) byly vybrány čtyři vzorky s nejvyššími naměřenými hodnotami intenzity rozptýleného záření (uvnitř krabice), tedy:

- Vápenec 0,5 g
- Vápenec 0,25 g
- Oxid titaničitý 0,5 g
- Oxid titaničitý 0,25 g

### **5.1.3 Měření č. 3 Intenzita dopadajícího a rozptýleného záření pro malé koncentrace mikročástic**

Výsledná tabulka 6 na základě dat z měření č. 3.

Tabulka 6 Naměřené hodnoty intenzity dopadajícího a rozptýleného záření pro malé koncentrace mikročástic

Vzorek	Intenzita přímého záření (lx)													
lahev s vodou	2600	4400	4600	4400	4200	3200	2200	1900	2800	1600	3600	4200	3600	3600
	165	290	245	290	365	300	200	160	390	175	310	360	320	390
Vápenec 0,5g	2800	4400	4700	4600	3800	3200	2600	2200	2800	1800	4400	4400	3800	3400
	145	280	290	290	245	330	240	185	300	120	360	275	300	250
Vápenec 0,25g	2600	4400	4600	4200	3500	3000	1800	1900	2800	1800	3200	4200	3800	3400
	120	230	200	250	240	320	145	120	275	135	260	240	260	200
TiO <sub>2</sub> 0,5g	3000	4400	4500	4400	3700	3000	1900	1900	3000	1600	4800	4400	4000	3200
	100	160	150	190	175	190	90	85	190	85	190	190	185	165
TiO <sub>2</sub> 0,25g	3600	4000	4200	4600	3800	2800	1900	1900	3000	1600	4600	4400	3600	2600
	115	170	170	195	180	185	100	110	245	100	215	215	210	130
<b>sada měření</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>

Vzorek	Intenzita přímého záření (lx)						Rozpětí hodnot	Průměr	Směrodatná odchylka
lahev s vodou	3600	3600	3400	3100	3400	3600	1600 - 4600	3380,0	806,6
	350	290	250	180	210	250	160 - 390	274,5	73,6
Vápenec 0,5g	3600	3400	3400	3100	3500	3400	1800 - 4700	3465,0	771,5
	300	240	200	150	240	185	120 - 360	246,3	63,1
Vápenec 0,25g	3400	3600	3600	3600	3400	3300	1800 - 4600	3305,0	787,7
	260	225	190	200	205	125	120 - 320	210,0	55,6
TiO <sub>2</sub> 0,5g	3000	3600	3600	3200	3800	3800	1600 - 4800	3440,0	878,9
	160	160	120	110	150	130	85 - 220	148,8	37,3
TiO <sub>2</sub> 0,25g	3200	3800	3600	3400	3700	3700	1600 - 4600	3400,0	849,7
	200	180	130	140	10	130	100 - 245	161,5	43,3
<b>sada měření</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>			

Pozn.: Hodnoty přímého osvětlení byly v této tabulce zvýrazněny oranžovou barvou. Hodnoty pro rozptýlené záření byly ponechány v bílé barvě.

Ačkoli intenzita slunečního světla v průběhu času kolísala, podařilo se většinu měření v rámci jednotlivých sad zaznamenat v relativně shodných podmínkách. Intenzita rozptýleného záření dosahovala u vápence vyšších hodnot než u oxidu titaničitého. Z průměrných hodnot uvedených v tabulce 6 je patrné, že nejvyšší hodnoty rozptýleného osvětlení byly naměřeny pro vzorek obsahující 0,5 g vápence. Míra osvětlení s tímto vzorkem byla v průběhu všech dosavadních měření vyšší ve srovnání s vyššími i nižšími koncentracemi mikročastic této látky. Podařilo se tak nalézt nejvhodnější z testovaných koncentrací.

#### **5.1.4 Měření č. 4 Použití hliníkové fólie, připevnění čidla na stěnu lahve**

Výsledky z tohoto měření byly zaznamenány do tabulek 7, 8 a 9. V první části měření byly nejvyšší hodnoty rozptýleného osvětlení naměřeny pro 0,5g obsah vápence v láhvi. U všech vzorků s mikročasticemi byly naměřeny vyšší hodnoty, než pro lahve naplněné čistou vodou. Po nalepení hliníkové fólie na vnitřní stěny krabice, došlo k celkovému zvýšení intenzity rozptýleného osvětlení. Nejvyšší hodnoty byly opět naměřeny pro 0,5g obsahu vápence a u všech vzorků s mikročasticemi byly opět naměřeny vyšší hodnoty, než u lahve naplněné čistou vodou. Pokud bylo čidlo vnitřního luxmetru A připevněno přímo k povrchu lahví, hodnoty osvětlení byly mírně vyšší ve srovnání při použití hliníkové fólie. Došlo k celkovému zvýšení intenzity osvětlení. Nejvyšší hodnoty byly opět naměřeny pro 0,5g obsah vápence a u všech vzorků s mikročasticemi byly opět naměřeny vyšší hodnoty, než u lahve naplněné čistou vodou.

,

Tabulka 7 Měření s neupravenou krabicí (na vnitřních stěnách krabice nebyla nalepena hliníková folie)

Vzorek	Intenzita osvětlení [lx]										Interval hodnot	Průměr	Směrodatná odchylka
Vápenec 1g	3400	3400	3350	3400	3400	3500	3500	3550	3500	3400	3350 - 3550	3440,0	62,4
	250	190	190	200	230	225	210	220	200	195	190 - 250	211,0	18,8
Vápenec 0,5g	3300	3450	3400	3400	3450	3600	3500	3600	3500	3400	3300 - 3600	3460,0	88,9
	260	220	230	230	240	215	235	210	240	250	210 - 260	233,0	14,7
Vápenec 0,25g	3300	3350	3350	3300	3500	3600	3500	3600	3500	3400	3300 - 3600	3440,0	109,1
	240	220	210	200	210	200	230	235	200	240	200 - 240	218,5	15,8
lahev s vodou	3400	3400	3350	3350	3500	3550	3500	3550	3400	3500	3350 - 3550	3450,0	74,2
	230	210	200	210	180	210	195	190	190	200	180 - 230	201,5	13,4
<i>sada měření</i>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>			

Pozn.: Hodnoty přímého osvětlení byly v této tabulce zvýrazněny modrou barvou. Hodnoty pro rozptýlené záření uvnitř krabice byly ponechány v bílé barvě.

Tabulka 8 Měření s hliníkovou fólií nalepenou na vnitřní stěny krabice

Vzorek	Intenzita osvětlení [lx]										Interval hodnot	Průměr	Směrodatná odchylka
Vápenec 1g	3400	3400	3350	3400	3400	3500	3500	3450	3600	3600	3350 - 3600	3460,0	83,1
	350	360	350	360	380	380	345	350	360	370	345 - 380	360,5	11,9
Vápenec 0,5g	3400	3400	3400	3400	3400	3600	3550	3400	3600	3500	3400 - 3600	3465,0	83,8
	410	370	360	390	410	405	380	390	400	380	360 - 410	389,5	16,2
Vápenec 0,25g	3400	3300	3350	3300	3500	3600	3550	3500	3500	3500	3300 - 3600	3450,0	100,0
	360	350	350	360	340	345	340	335	350	340	335 - 360	347,0	8,1
lahev s vodou	3400	3400	3350	3300	3500	3500	3450	3550	3600	3500	3300 - 3600	3455,0	87,9
	320	310	310	350	310	290	290	300	310	280	280 - 350	307,0	18,5
<i>sada měření</i>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>			

Pozn.: Hodnoty přímého osvětlení byly v této tabulce zvýrazněny modrou barvou. Hodnoty pro rozptýlené záření uvnitř krabice byly ponechány v bílé barvě.



Tabulka 9 Měření s čidlem připevněným ke stěně lahve

Vzorek	Intenzita osvětlení [lx]										Interval hodnot	Průměr	Směrodatná odchylka
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
Vápenec 1g	3450	3350	3500	3500	3450	3500	3400	3500	3400	3400	3350 - 3500	3445,0	52,2
	270	185	250	235	235	220	215	220	210	210	185 - 270	225,0	22,5
Vápenec 0,5g	3450	3350	3400	3500	3600	3500	3400	3400	3500	3450	3350 - 3600	3455,0	68,7
	255	225	260	240	245	205	235	230	230	260	205 - 260	238,5	16,4
Vápenec 0,25g	3400	3350	3500	3450	3600	3500	3500	3500	3450	3400	3350 - 3600	3465,0	67,3
	260	260	200	210	220	205	240	245	200	245	200 - 260	228,5	22,9
lahve s vodou	3400	3400	3500	3450	3600	3550	3400	3400	3450	3400	3400 - 3600	3455,0	68,7
	240	220	205	220	210	200	180	200	190	220	180 - 240	208,5	16,4
<i>sada měření</i>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>			

Pozn.: Hodnoty přímého osvětlení byly v této tabulce zvýrazněny modrou barvou. Hodnoty pro rozptýlené záření uvnitř krabice byly ponechány v bílé barvě.

Cílem měření bylo nalézt materiál, jehož mikročástice by působily rozptyl světla způsobem nejvhodnějším pro popsanou technologii. Vhodnost je zde myšlena jako nejlepší kompromis mezi co nejvyšší intenzitou procházejícího světla a využitím mikročástic, které mají požadovanou schopnost rozptylu, zároveň však jako stínící překážky způsobují útlum osvětlení. K cíli nalezení vhodného materiálu a jeho koncentrace směřovala měření č. 1 – 3. Jako nejvíce vyhovující z testovaných druhů mikročástic se ukázal vápenec. Nejvhodnější z jeho vyzkoušených koncentrací je 0,5 g na 1,5 l vody.

V závislosti na denní době se s úhlem dopadu slunečního záření mění i intenzita osvětlení způsobeného využitím technologie, což dokládá čtvrté měření provedené za pozdního odpoledne. Mikročástice v testovaných roztocích způsobily oproti vodě silnější rozptyl světla a v důsledku toho došlo k rovnoměrnějšímu osvětlení celého vnitřního prostoru právě u vzorků s mikročásticemi. Tato vlastnost mikročástic je pro jejich případné využití klíčová, je smyslem jejich případného využití. Ve čtvrtém měření byl upraven povrch stěn krabice tak, aby odrazil světlo. V praxi lze tuto vlastnost využít úpravami interiéru za pomoci světlých barev a lesklých materiálů.

Úprava povrchu stěn interiéru za účelem menšího pohlcování rozptýleného světla z popsaného světelného zdroje, (jak je demonstrováno v tab. 8.) může stávající účinnost technologie částečně zlepšit.

## 6 Závěr

V provedené literární rešerši byly nalezeny informace o principu této technologie, způsobu její aplikace a cílových oblastech. Naopak zcela chyběly informace o materiálu a koncentraci mikročástic v láhvi, na kterých je závislá intenzita rozptýleného světla. Proto bylo hlavním cílem provedených experimentů a ověřovacích testů této technologie alespoň vyzkoušet několik materiálů mikročástic a jejich koncentraci s cílem kvantifikovat jejich vliv na intenzitu rozptýleného světla uvnitř modelové krabice, která měla nahrazovat takto osvětlovaný reálný interiér.

Vzhledem k tomu, že tato technologie poskytuje poměrně nízkou úroveň osvětlení interiéru, lze za těchto podmínek vykonávat pouze omezenou množinu činností. Úprava povrchu stěn interiéru za účelem menšího pohlcování rozptýleného světla z popsaného světelného zdroje, (jak je demonstrováno v tab. 8.) může stávající účinnost technologie částečně zlepšit. Použití rozptýleného světla je u této technologie dáno mimo jiné i jeho větší přirozeností vnímáním lidským okem ve srovnání s nerozptýleným světlem. Zároveň dochází k dalšímu snížení světelné účinnosti této technologie, jak dokazují provedené experimenty.

Díky nízkým nákladům a jednoduchosti je tato technologie předurčena a vhodná pro použití v popsaných oblastech. Nakonec lze konstatovat, že existují modifikace poskytující širší možnost využití oproti původnímu modelu, která ale v podstatné míře nepřekročí základní rámec daný vlastnostmi této technologie.

## 7 Použitá literatura

Banda S, Vaidya Y, Adler D. 2013. The case of Kathputli colony. Mapping Delhi's first in situ slum rehabilitation project. CPR Working Paper 3: 1-23.

Bansod VR, Wandile AA. 2015. Study on solar water bulb-a liter of light. International Journal for Innovative Research in Science & Technology 10: 256-259.

Bernard B. 2012. Innovative "Solar Bottle Bulb" Lighting the darkness with the help of bleach disinfectant. Water and Health. Available at: <http://www.waterandhealth.org/innovative-solar-bottle-bulb-lighting-darkness-bleach-disinfectant/> Accessed 2016-02-03.

Building and Social Housing Foundation. 2014. Liter of Light. Available at: <https://www.bshf.org/world-habitat-awards/winners-and-finalists/liter-of-light/> Accessed 2016-03-13.

Cruz F. 2015. Building goes from rundown slum to international award winner. Agência Brasil. Available at <http://agenciabrasil.ebc.com.br/en/direitos-humanos/noticia/2015-09/building-goes-rundown-slum-international-award-winner/>: Accessed 2016-02-11.

Howes D. 2015. International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences (Second Edition). Montreal: Concordia University. 620p.

Infographic Samples. 2014. Solar Bottle Bulb. Available at: <http://www.infographicsamples.com/solar-bottle-bulbs/> Accessed 2016-03-11.

Iqbal M. 1983. An Introduction to Solar Radiation. Vancouver: Department of Mechanical Engineering, University of British Columbia. 389p

Jagger J. 1985. Solar-UV actions on living cells. New York: Praeger. 202p.

Kalus R. 2004. Trivium z optiky. Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě. 106p.

Krishnamurthy R. 2014. Solar Water Bottle Bulbs. Permaculture News. Available at: <http://permaculturenews.org/2014/03/14/solar-water-bottle-bulbs/> Accessed: 2016-01-30.

Labguide. 2014. Fluorochromy. Available at: <http://labguide.cz/fluorochromy/> Accessed: 2016-03-01.

Layilin T. 2011. MIT Students Install 10,000 Revolutionary Solar Bottle Lamps in Manila Slums. Inhabitat. Available at: <http://inhabitat.com/mit-students-install-10000-revolutionary-solar-bottle-lamps-in-manila-slums/> Accessed: 2016-03-01.

Linda T (2005) Elektromagnetické záření. Pozitivní a negativní působení na zdraví, možnosti ochrany a prevence. [Dp.] Praha: 3. lékařská fakulta Univerzity Karlovy v Praze. 30p.

Liter of Light USA. 2015. Daylight Bottle. Available at: <http://www.literoflightusa.org/daylight-bottle/> Accessed 2016-01-20.

Living on Earth. 2015. Liter of Light. Available at: <http://loe.org/shows/segments.html?programID=15-P13-00014&segmentID=7/> Accessed 2016-01-21.

Luzi S, Tobler M, Suter F, Meierhofer R. 2016. SODIS manual: Guidance on solar water disinfection. Dübendorf: Eawag. 55p.

Macky I. 2015. Deck Lights / Deck Prisms. Glassian. Available at: <http://www.glassian.org/Prism/Deck/> Accessed: 2016-03-03

McKinney. 2006. A trip through Kenya's Kibera slum. International Medical Corps. Available at: <https://internationalmedicalcorps.org/sslpage.aspx?pid=1561/> Accessed 2016-01-20.

Mimmi LM. 2014. From informal to authorized electricity service in urban slums: Findings

from a household level survey in Mumbai. Energy for Sustainable Development 21: 66–80.

Mouamfon M. 2015. 'Liters of light' shining in Cameroon slums. Clean Leap. Available at: <http://cleanleap.com/liters-light-shining-cameroon-slums/> Accessed: 2016-03-20.

Mutisya E, Yarime M. 2011. Understanding the grassroots dynamics of slums in Nairobi: The dilemma of Kibera informal settlements. *International Transaction Journal of Engineering, Management, Applied Sciences & Technologies* 2: 197-213.

Pattnaik BK, Dhal D. 2014. Mobilizing from appropriate technologies to sustainable technologies based on grassroots innovations. *Technology in Society* 40: 93-110.

Rincón AG, Pulgarin C. 2004. Bactericidal action of illuminated TiO<sub>2</sub> on pure *Escherichia coli* and natural bacterial consortia: post-irradiation events in the dark and assessment of the effective disinfection time. *Applied Catalysis B: Environmental* 49 (2): 99–112.

Roy D, Lees MH, Palavalli B, Pfeffer K, Sloot MAP. 2014. The emergence of slums: A contemporary view on simulation models. *Environmental Modelling & Software* 59: 76-90.

Science Lane. 2012. Isang Litrong Liwanag. Available at: <https://sciencelane.wordpress.com/2012/02/11/isang-litrong-liwanag/> Accessed: 2016-03-15.

Smith VC, Pokorny J. 1975. Spectral sensitivity of the foveal cone photopigments between 400 and 500 nm. *Vision Research* 15 (2): 161–171

Starr C, Evers ChA, Starr L. 2006. *Biology: Concepts and applications*. Belmont: Brooks/Cole. 795p.

United Nations Framework Convention on Climate Change. 2014. A litre of light. [http://unfccc.int/secretariat/momentum\\_for\\_change/items/6638.php/](http://unfccc.int/secretariat/momentum_for_change/items/6638.php/) Accessed: 2016-03-15.

Ústav územního rozvoje. 2011. SODIS - solární dezinfekce vody (Švýcarsko). Available at <http://www.uur.cz/default.asp?ID=4324/> Accessed 2016-02-11.

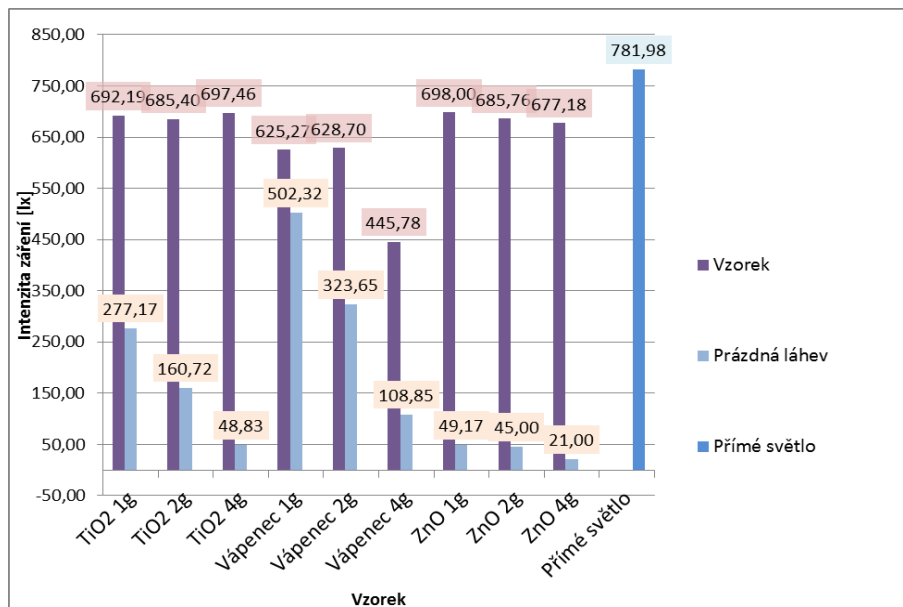
- Uweza Aid Foundation. 2013. Solar Bulb. Available at: <http://www.uwezakenya.org/our-work/solar-bulb-project/> Accessed 2016-01-30
- Wall Street Journal. 2014. Solar-Powered Light Bulbs Illuminate Tacloban. Available at: <http://www.wsj.com/video/solar-powered-light-bulbs-illuminate-tacloban/8C2B331D-EA42-4F7D-BBFA-F72AE4136573.html/> Accessed 2016-01-20.
- Wang Ch, How VL, Abdul-Rahman H. 2013. The performance of solar bottle bulbs at different interior exposure levels. *Lighting Research and Technology* 45 (5): 1–12
- Wang Ch, Rahim FAM, Yusoff NSM, Abdul-Rahman H, How VL. 2014. Critical view on daylighting through solar bottle bulb. *Building Research Journal* 61: 115–128.
- Whitlam GC, Codd GA. 1986. Damage to micro-organisms by light. *Special Publication of the Society of General Microbiology* 17: 129-69.
- Worcester Polytechnic Institute. 2013. Scene 4: Introduction to Mtshini Wam. Available at: <http://wp.wpi.edu/capetown/projects/p2013/community-mobilisation-through-reblocking-in-flamingo-crescent/acts-and-scenes/act-2/scene-5/> Accessed 2016-03-02.
- World Bank. 2014. Kenya Informal Settlements Improvement Project (KISIP). Environment and social management Framework. Available at: <http://documents.worldbank.org/curated/en/2014/10/24411077/kenya-informal-settlements-improvement-project-additional-financing-environmental-assessment-environment-social-management-framework/> Accessed 2016-03-01.
- World Bank. 2015. Bringing Electricity to Kenya's Slums: Hard Lessons Lead to Great Gains. Available at: <http://www.worldbank.org/en/news/feature/2015/08/17/bringing-electricity-to-kenyas-slums-hard-lessons-lead-to-great-gains/> Accessed 2016-02-30.

World Population Review. 2015. Kenya Population. Available at: <http://worldpopulationreview.com/countries/kenya-population/> Accessed 2016-01-20.

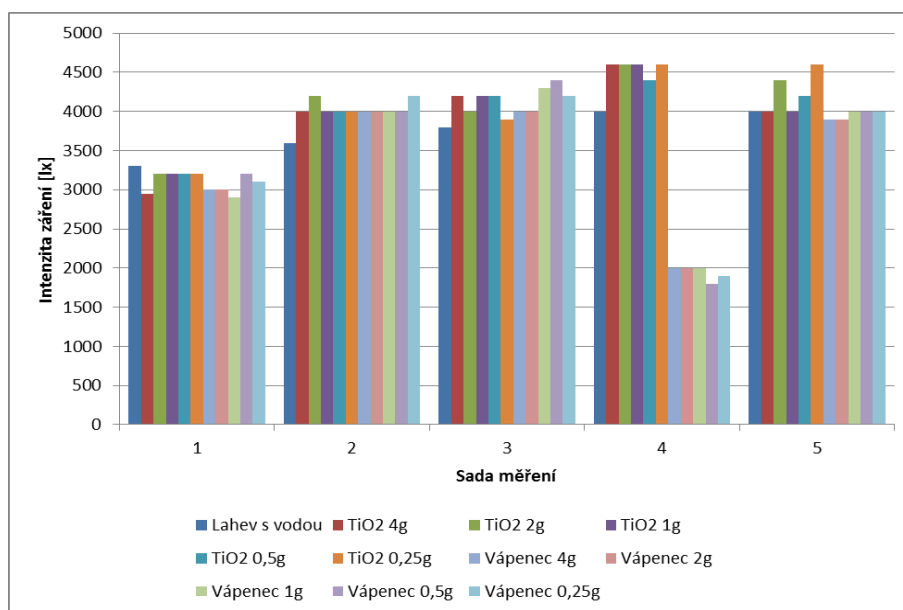
Zobel G. 2013. Alfredo Moser: Bottle light inventor proud to be poor. BBC World Service. Available at: <http://www.bbc.com/news/magazine-23536914/> Accessed 2016-02-02.



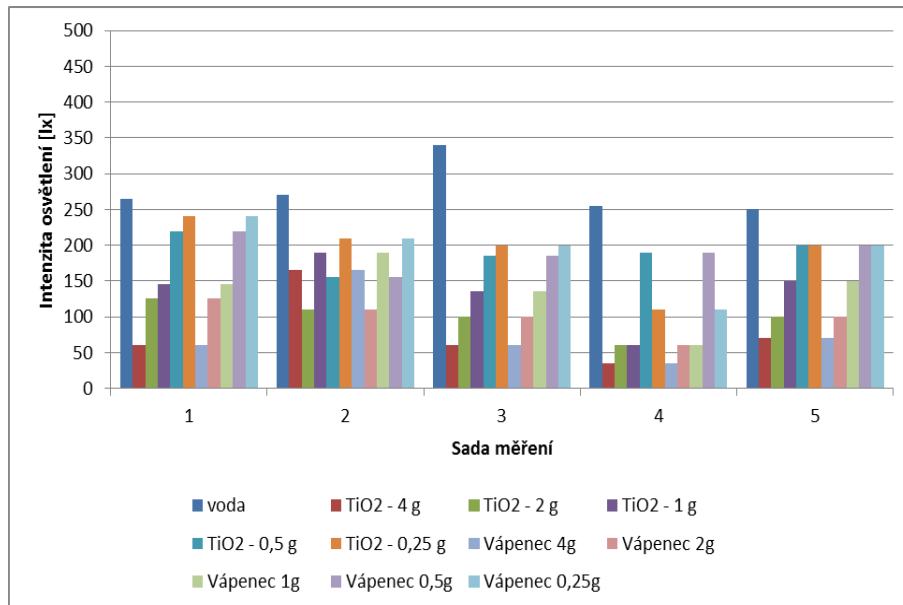
## 8 Přílohy



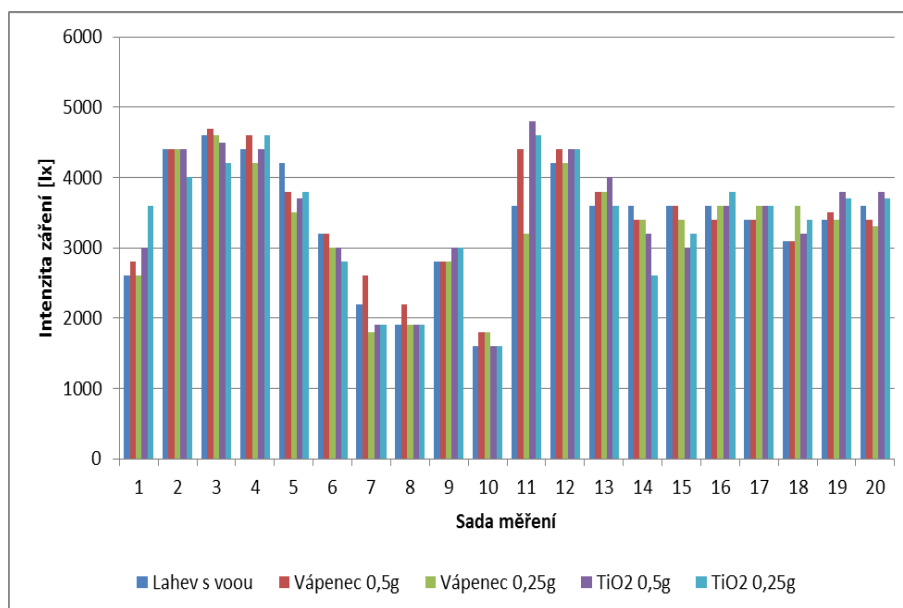
Graf 1 Měření č. 1: Hodnoty rozptýleného záření pro tři druhy mikročásteček



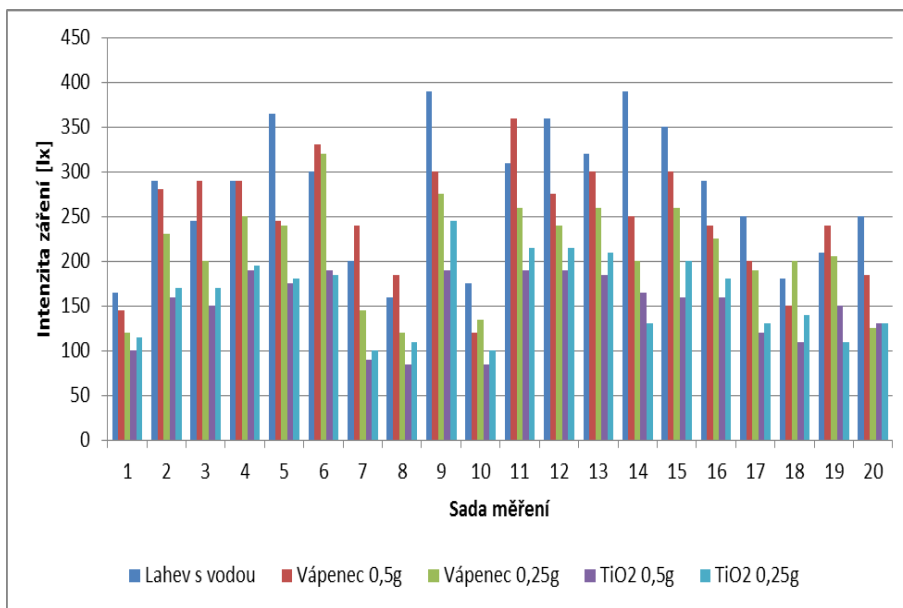
Graf 2 Měření č. 2: Hodnoty venkovního osvětlení



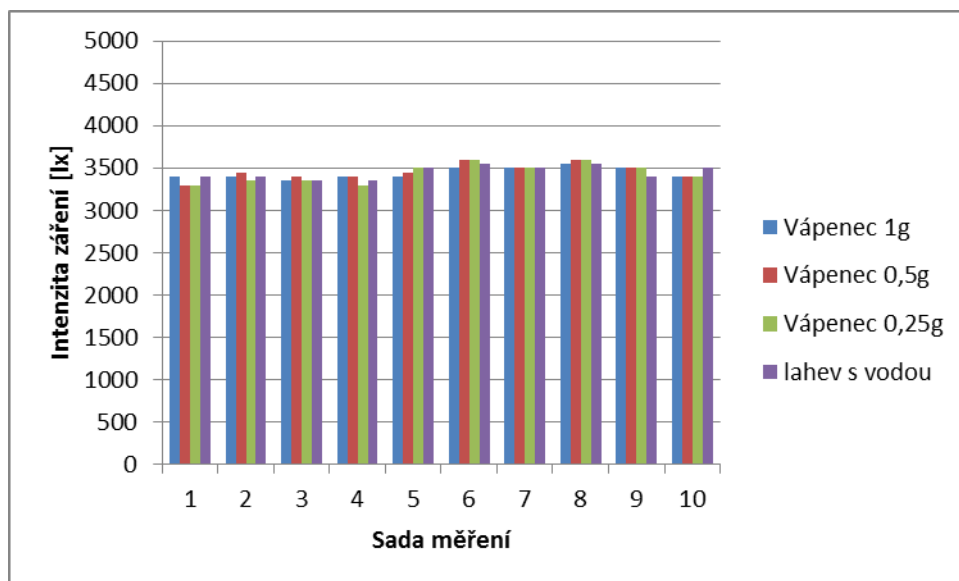
Graf 3 Měření č. 2: Hodnoty rozptýleného osvětlení



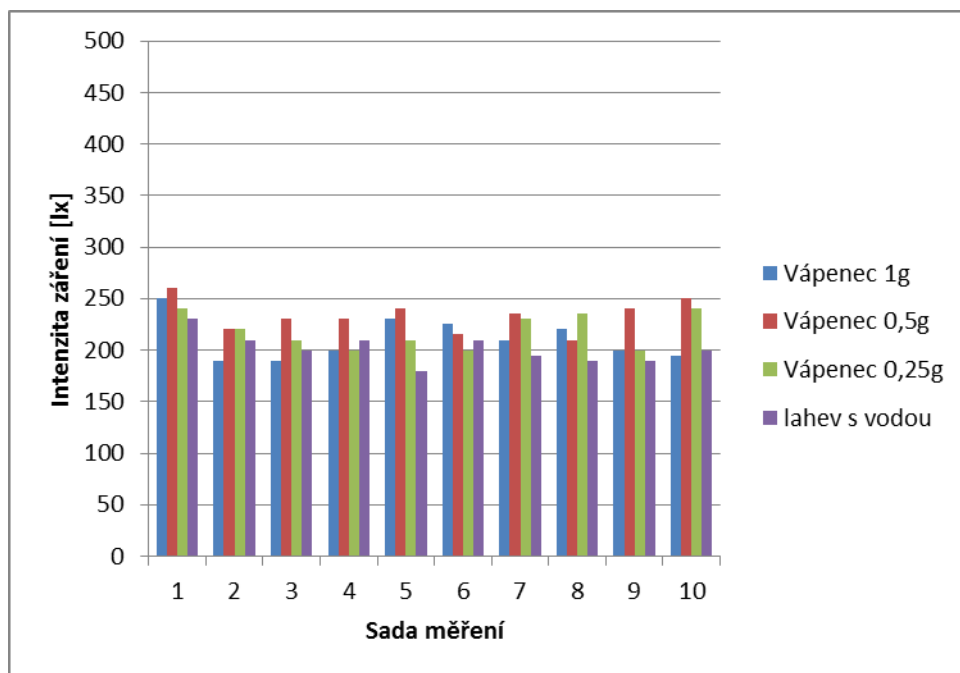
Graf 4 Měření č. 3: Hodnoty venkovního osvětlení



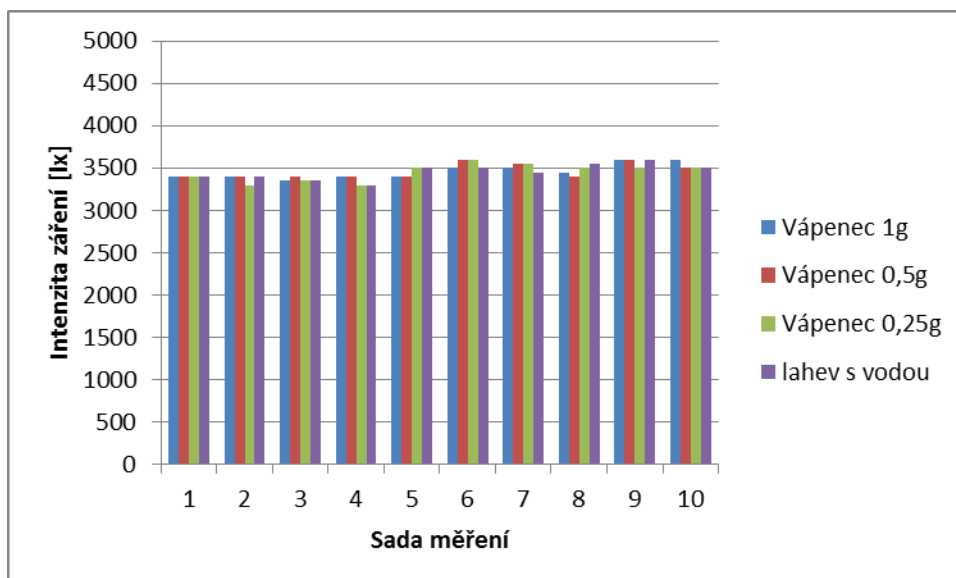
Graf 5 Měření č. 3: Hodnoty rozptýleného osvětlení



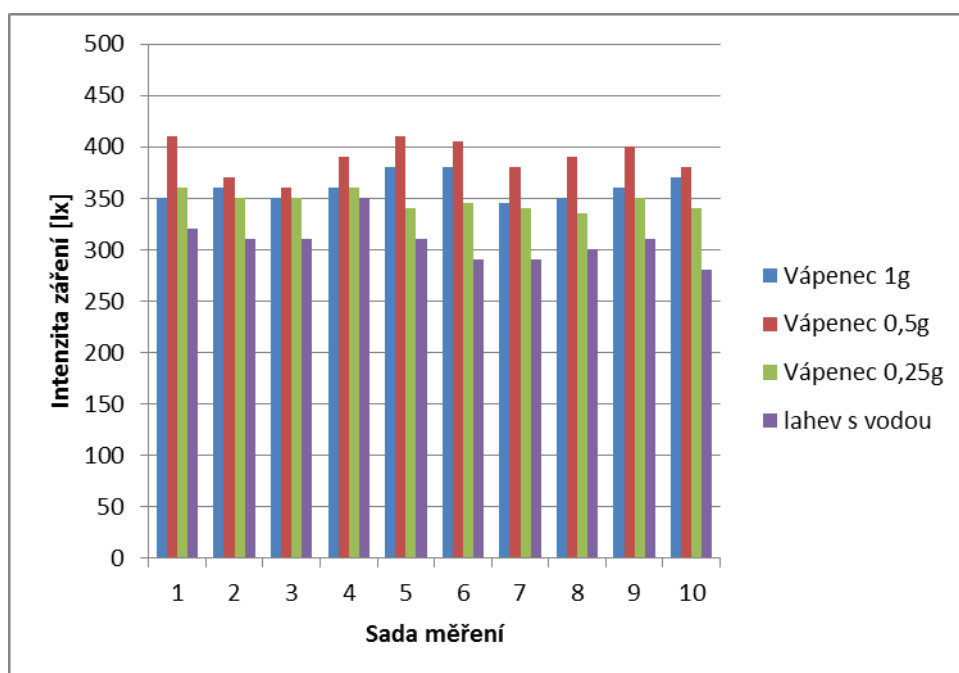
Graf 6 Měření č. 4: Hodnoty měření s neupravenou krabicí (venkovní osvětlení)



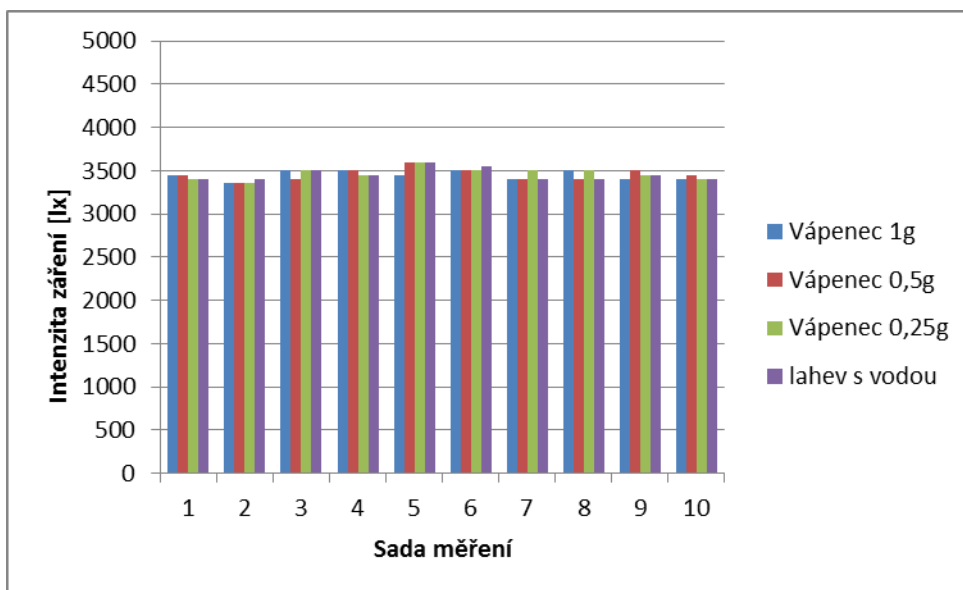
Graf 7 Měření č. 4: Hodnoty měření s neupravenou krabicí (rozptýlené osvětlení)



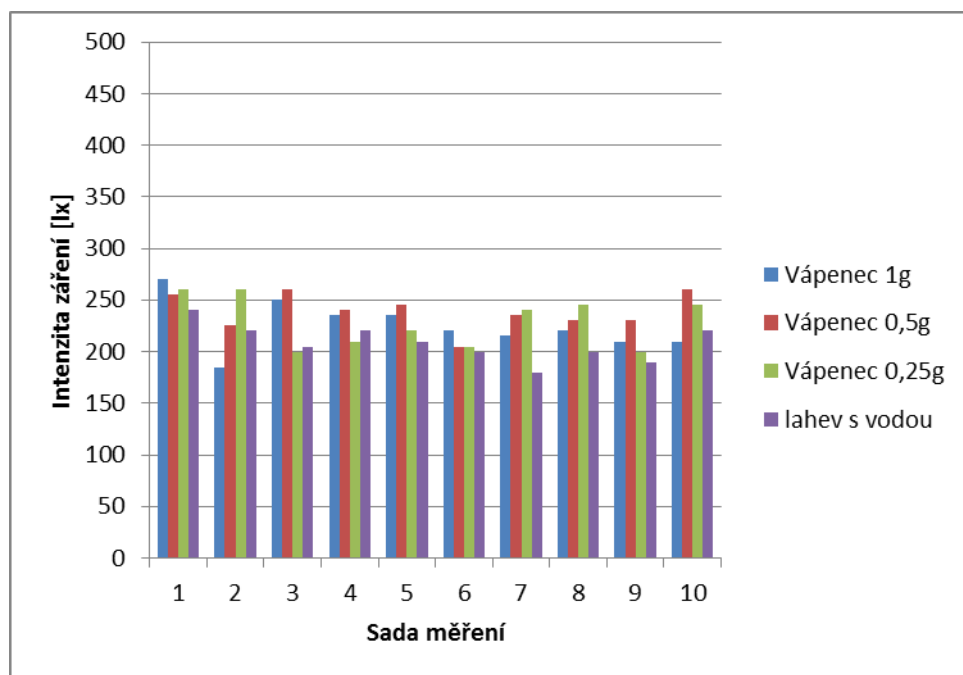
Graf 8 Měření č. 4: Za použití hliníkové fólie (venkovní osvětlení)



Graf 9 Měření č. 4: Za použití hliníkové fólie (rozptýlené osvětlení)



Graf 10 Měření č. 4: Se sondou připevněnou ke stěně lahve (venkovní osvětlení)



Graf 11 Měření č. 4: Se sondou připevněnou ke stěně lahve (rozptýlené osvětlení)



(zdroj: autor)

**Obrázek 6 Umístění lahve při měření**



(zdroj: autor)

**Obrázek 7 Vnitřek krabice polepený hliníkovou fólií**



(zdroj: autor)

Obrázek 8 Část testovaných roztoků



(zdroj: Permaculture News)

Obrázek 9 Vynálezce A. Moser předvádí umístění lahve ve střešní krytině





Obrázek 10 Zakladatel projektu Illic Diaz a děti se sestavenými přenosnými svítilnami

(zdroj: Liter of Light USA)



(zdroj: Science Lane)

Obrázek 11 Logo filipínského projektu Isang Litrong Liwanag



(zdroj: Wall Street Journal)

Obrázek 12 Logo projektu Liter of Light