

Česká zemědělská univerzita v Praze

**Fakulta tropického zemědělství**



Czech University of Life Sciences Prague

**Faculty of Tropical  
AgriSciences**

## **Zvýšení účinnosti solární desinfekce vody**

Bakalářská práce

Praha 2017

**Vedoucí bakalářské práce:**

Mgr. Josef Zeman, Ph.D.

**Vypracovala:**

Michaela Vránová

*Čestně prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Zvýšení účinnosti solární desinfekce vody“ vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce. Veškerou použitou literaturu a další zdroje jsem uvedla v referencích.*

V Praze dne .....

.....

Michaela Vránová

## **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucímu mé bakalářské práce panu Mgr. Josefovi Zemanovi, Ph. D. za odborné vedení při zpracování této práce a provedení celým výzkumem. Dále děkuji i jeho kolegům z katedry fyziky, kteří asistovali při celé realizaci výzkumu.

## **Abstrakt**

Bakalářská práce se zabývala solární desinfekcí vody (SODIS – Solar disinfection), rozšířeným způsobem úpravy vody v rozvojových zemích světa. SODIS je jednoduchou, nízko nákladovou metodou, která využívá vlivu UV záření a teploty ke zničení patogenních bakterií a virů, obsažených ve vodě. V oblastech vysoké intenzity záření se PET láhve naplní biologicky kontaminovanou vodou, vystaví se po dobu 6 hodin na přímé sluneční záření a poté je voda připravena ke konzumaci.

Hlavním cílem bakalářské práce byl pokus o zvýšení účinnosti solární desinfekce vody pomocí solárního kolektoru v podmínkách mírného podnebného pásma.

Práce byla rozdělena na teoretickou část, zahrnující poznatky z různých studií a dat čerpaných z vědeckých článků a na praktickou část s vlastním výzkumem. V teoretické části byly shrnuty informace o problému s pitnou vodou a s tím spojenými zdravotními riziky, shrnutí technologií ošetření vody, zpracování poznatků o metodě SODIS a funkčnosti projektu v zemích s tropickým a subtropickým pásmem. V praktické části byl proveden experiment solární desinfekce vody čistě pomocí metody SODIS, která k desinfekčnímu procesu vyžaduje takovou intenzitu slunečního záření, že není reálně použitelná v podmínkách zeměpisných šířek České republiky. Z tohoto důvodu byl výzkum proveden se stejným postupem, ale za pomoci koncentrujícího kolektoru.

Při hledání informací byla použita následující klíčová slova: znečištění vody, pitná voda, solární desinfekce, ultrafialové záření.

Výsledky ukázaly, že efekt této metody v šířkách mírného podnebného pásma je zcela bezvýznamný bez využití koncentrujícího kolektoru. Ačkoliv nedošlo v rámci výzkumu v podmínkách České republiky ke kompletní destrukci mikroorganismů ve vodě, z výsledků je prokazatelné, že koncentrátor zvýšil účinnost solární desinfekce vody.

## **Abstract**

The bachelor thesis deals with a solar water disinfection (SoDis – Solar Disinfection), which is extended way of water treatment in developing countries. SODIS is a simple low – cost method which uses UV radiation and temperature to destroy pathogenic bacteria and viruses in water. In areas with high UV intensity, the PET bottle is filled by biologically contaminated water, exposed to direct sunlight for 6 hours and then water is ready for consumption.

The main aim of this thesis was an attempt to increase the efficiency of solar water disinfection using a solar collector under the mild climate conditions.

The thesis was divided into a theoretical part, including studies and data from scientific articles and the practical part with own research. In the theoretical part was summary of information about drinking water problem and health risks deals with it, summary of water treatment technologies, SODIS method and projects in tropical and subtropical climate zone countries. In the practical part was performed an experiment of SODIS method in geographical latitudes of the Czech Republic. The research was performed with the sunlight concentrating collector.

Keywords: water pollution, drinking water, solar disinfection, ultraviolet radiation.

The results showed the effect of SODIS method in the mild climate zone is completely insignificant without using a concentrating collector. Although the microorganisms in the water were not completely destroyed under the conditions of the Czech Republic, the results showed that the concentrator has increased the efficiency of the solar water disinfection.

## Obsah

1. Úvod.....	1
2. Literární rešerše .....	2
1. Požadavky na jakost pitné vody.....	2
Definice pitné vody v České republice .....	2
Mikrobiologické ukazatele .....	3
2. Technologie hygienického zabezpečení vody.....	5
2.1. Chemické ošetření vody .....	5
Plynný chlor .....	5
Oxid chloričitý.....	6
Chlornan sodný.....	6
Ozon.....	6
2.2. Fyzikální zabezpečení vody.....	7
UV záření .....	7
Teplota .....	8
3. Technologie zabezpečení pitné vody v rozvojových zemích.....	9
Domácí chlorování.....	9
Keramická filtrace.....	9
Flokulant / desinfekční síla .....	9
4. Metoda SoDis – Solar Disinfection.....	10
4.1. Postup SoDis.....	11
4.2. Materiál .....	13
4.3. SODIS a jeho výsledky .....	14
4.4. Výhody a nevýhody SODIS .....	15
5. Kolektory slunečního záření .....	16

Ploché kolektory .....	16
Trubicové kolektory.....	16
Koncentrující kolektory .....	17
• Parabolický korýtkový (žlabový) kolektor.....	18
• Parabolický miskový kolektor.....	18
• Power tower systém.....	18
6. Princip absorpce slunečního záření .....	18
3. Cíl práce .....	22
4. Metodika.....	23
5. Výsledky.....	26
6. Diskuze.....	31
7. Závěr .....	34
8. Reference.....	36
9. Přílohy .....	40

## Seznam tabulek, obrázků a grafů

Tabulka 1 – Mikrobiologické ukazatele.....	3
Tabulka 2 - Termorezistence mikroorganismů.....	8
Tabulka 3 – Výsledky z rozboru mikroorganismů .....	30
Tabulka 4 - Průměrná intenzita slunečního záření dopadající na povrch země v průběhu let 1996-2006.....	32
Obrázek 1 – Vlnové délky UV záření.....	7
Obrázek 2 – Oblasti slunečního spektra.....	8
Obrázek 3 – Aplikace metody SODIS v Indonésii .....	10
Obrázek 4 – Počet uživatelů metody SODIS k roku 2008.....	11
Obrázek 5 – Logo k testu kalnosti vody.....	12
Obrázek 6 – Solární vakuová trubice.....	17
Obrázek 7 – Úhel dopadu a odrazu na rovinném zrcadlu .....	20
Obrázek 8 – Duté zrcadlo      Obrázek 9 – Vypuklé zrcadlo .....	21
Obrázek 10 – Zdánlivé ohnisko F.....	21
Obrázek 11 – Skutečné ohnisko F .....	21
Obrázek 12 – Konstrukce kolektoru .....	24
Obrázek 13 – Intenzita slunečního záření .....	31
Graf 1 – Průběh teplot ve vakuové trubici a PET láhvi .....	26
Graf 2 – Průběh teplot v PET láhvích za oblačného počasí .....	27
Graf 3 – Průběh teplot v láhvi v parabole .....	28
Graf 4 – Průběh teplot v PET láhvi mimo parabolu .....	29
Graf 5 – Průběh teplot ve skleněné láhvi mimo parabolu .....	29



## **Seznam použitých zkratek**

CDC – Centers for Disease Control and Prevention (Centrum pro kontrolu a prevenci nemocí)

DNA – Deoxyribonucleic acid (Deoxyribonukleová kyselina)

EAWAG – Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (Švýcarský federální institut vodní vědy a techniky)

KTJ – Kolonii tvořící jednotka

PE – Polyethylen

PET – Polyethylentereftalát

PVC – Polyvinylchlorid

RNA – Ribonucleon acid (Ribonukleová kyselina)

SANDEC – Department of Water and Sanitation in Developing Countries (Oddělení pro vodu a sanitární zařízení v rozvojových zemích v EAWAG)

SODIS – Solar Water Disinfection (Desinfekce vody pomocí slunečního záření)

UV – Ultraviolet (ultrafialové záření)

WHO – World Health Organization (Světová zdravotnická organizace)

## 1. Úvod

Voda je životně důležitá pro všechny formy života. Množství čerstvé vody na Zemi je omezené. Voda vhodná k lidské spotřebě je nazývána vodou pitnou. Není-li voda pitná, musí jí být docíleno filtrací, destilací nebo jinými metodami, kterých stále přibývá.

Nejméně 1,8 miliardy světové populace využívá zdroje pitné vody, které jsou kontaminované výkaly. Takto kontaminovaná voda může šířit střevní onemocnění, choleru, úplavici, tyfus a dětskou obrnu. Na střevní onemocnění zemře přibližně 842 000 lidí každý rok. (WHO, 2016) Tato onemocnění jsou druhou nejčastější příčinou úmrtí u dětí mladších 5 let. (WHO, 2013) Nejvíce ohroženy na životě jsou děti trpící podvýživou, slabou imunitou nebo lidé nakažení virem HIV. Za úmrtím stojí především dehydratace. Při těchto onemocněních je obvyklým příznakem infekce v zažívacím traktu způsobena bakteriálními, virovými či parazitickými organismy. Infekce se šíří častěji za předpokladu nedostatku vhodné sanitární, hygienické a nezávadné vody k pití, vaření a umývání, kontaminovaných potravin nebo z člověka na člověka v důsledku špatné hygieny. Z tohoto důvodu je potřeba dodržovat zásady na úpravu vody, bezpečnost skladování a dodržování přiměřené hygieny k dlouhodobému pozitivnímu vlivu na zdraví. Rotaviry a *Escherichia coli* jsou dva nejčastější důvody střevního onemocnění v rozvojových zemích (Meierhofer & Landolt, 2008).

Rozvojové země leží především v oblastech tropického a subtropického pásma, kde intenzita slunečního záření po celý rok dosahuje vysokých hodnot. Právě díky tomuto klimatickému pásmu je tato oblast vhodná pro úpravu kontaminované vody pomocí solární energie, přesněji SODIS metodou. Projekt SODIS, popsáný v kapitole o metodě SODIS, je integrován do rozvojových zemí k desinfekci kontaminované vody, která má za následek miliony úmrtí ročně. Voda, kontaminovaná biologickými mikroorganismy, na které metoda SODIS působí, není problémem pouze zemí tropického a subtropického pásma. Práce se v praktické části zaměřuje na pokus o rozšíření této metody do oblastí mírných klimatických podmínek.

## 2. Literární rešerše

### 1. Požadavky na jakost pitné vody

#### Definice pitné vody v České republice

Následující definice pitné vody vychází ze Sbírky zákonů České republiky:

*„Pitnou vodou je veškerá voda v původním stavu nebo po úpravě, která je určena k pití, vaření, přípravě jídel a nápojů, voda používaná v potravinářství, voda, která je určena k péči o tělo, k čištění předmětů, které svým určením přicházejí do styku s potravinami nebo lidským tělem, a k dalším účelům lidské spotřeby, a to bez ohledu na její původ, skupenství a způsob jejího dodávání. Hygienické požadavky na zdravotní nezávadnost a čistotu pitné vody (dále jen "jakost pitné vody") se stanoví hygienickými limity mikrobiologických, biologických, fyzikálních, chemických a organoleptických ukazatelů, které jsou upraveny prováděcím právním předpisem, nebo jsou povoleny nebo určeny podle tohoto zákona příslušným orgánem ochrany veřejného zdraví. Hygienické limity se stanoví jako nejvyšší mezní hodnoty, mezní hodnoty a doporučené hodnoty. Doporučené hodnoty jsou nezávazné hodnoty ukazatelů jakosti pitné vody, které stanoví minimální žádoucí nebo přijatelnou koncentraci dané látky, nebo optimální rozmezí koncentrace dané látky. Za pitnou vodu se nepovažuje přírodní léčivý zdroj a přírodní minerální voda, o níž bylo vydáno osvědčení podle zvláštního právního předpisu“ (Parlament České republiky, 2000)*

Definice „voda určená k lidské spotřebě“:

*a) veškerá voda, v původním stavu nebo po úpravě, určená k pití, vaření, přípravě potravin nebo k jiným účelům v domácnosti, bez ohledu na její původ, či zda je dodávána z rozvodné sítě, ze zásobníků cisteren, v lahvích nebo kontejnerech;*

*b) veškerá voda používaná v potravinářských zařízeních k výrobě, zpracování, konzervaci nebo uvádění výrobků nebo látek určených k lidské spotřebě na trh, pokud se příslušné vnitrostátní orgány neujistí, že jakost této vody nemůže ovlivnit zdravotní nezávadnost potravin v jejich konečné podobě; (Rada EU, 1998).*

## Mikrobiologické ukazatele

Dle vyhlášky č. 252/2004 Sb. Ministerstva zdravotnictví (2004) jsou v následující tabulce stanoveny mikrobiologické ukazatele pro jakost vody určené k lidské spotřebě v rámci České republiky.

Tabulka 1 – Mikrobiologické ukazatele

ukazatel	jednotka	limit	typ limitu
Escherichia coli	KTJ/100 ml	0	NMH
Enterokoky	KTJ/100 ml	0	NMH
Koliformní bakterie	KTJ/100 ml	0	MH
Počet kolonií při 22 °C	KTJ/1 ml	200	DH
Počet kolonií při 36 °C	KTJ/1 ml	40	DH

Zdroj: Ministerstvo zdravotnictví (2004)

Použité zkratky v tabulce:

- KTJ – kolonie tvořící jednotka
- NMH – nejmenší mezní hodnota
- MH – mezní hodnota
- DH – doporučená hodnota

Namísto nákladného a složitého měření patogenů ve vodě, lze využít organismy indikující fekální znečištění vody. Bakterie, vyskytující se ve střevním traktu člověka a teplokrevných živočichů patří mezi základní ukazatele mikrobiologického znečištění vody. Výskyt těchto patogenních bakterií a virů poukazuje na kontaminaci vody výkaly nebo zbytky živočichů. Mezi mikrobiologické ukazatele se řadí:

***Escherichia coli (E. coli)*** se vyskytuje u většiny teplokrevných živočichů jako součást fyziologické mikroflóry tlustého střeva. Není schopna dlouhodobě existovat mimo tělo

hostitele. Proto se řadí jako hlavní indikátor fekálního znečištění vody. Bakterie *E. coli* uhynou při teplotě 56 °C za 4 - 6 min, při teplotě 60 °C za 2 minuty.

***Koliformní bakterie*** se řadí mezi neškodné bakterie, žijící jak ve střevním traktu, tak v půdě. Považují se za indikátor účinnosti úpravy vody, sekundární kontaminace či vysokého obsahu živin v upravené vodě. Pod koliformní bakterie spadá i druh *E.coli*.

***Enterokoky*** indikují čerstvé fekální znečištění vody. Jsou vysoce rezistentní k vysokému pH (8,5) a teplotám, proto se jejich význam uplatňuje v případech, kdy koliformní bakterie ve vodě nepřežívají.

***Počet kolonií při 22 °C*** je indikátor obecné kontaminace. Mikrobiologický ukazatel vyjadřuje celkové bakteriální znečištění. Vyšší počty kolonií ukazují na průnik okolního znečištění nebo nedostatečnou úpravu vody.

***Počet kolonií při 36 °C*** je indikátor obecného znečištění. Teplotní optimum růstu 36 °C vykazuje návaznost na teplotně odolné organismy, čímž je i dán jejich poněkud vyšší hygienický význam oproti počtu kolonií s optimem růstu okolo 22 °C (Kožíšek, 2003).

## **2. Technologie hygienického zabezpečení vody**

Ošetření vody musí být takové, které nebude zatěžovat životní prostředí, ale bude současně dostatečně účinné a cenově přijatelné. Solární desinfekce vody a místy použitá chlorace jsou příklady nízkonákladových desinfekčních možností pro ošetřování zásob dešťové vody.

### **2.1. Chemické ošetření vody**

Chemické ošetření pitné vody zahrnuje jakoukoliv desinfekční technologii na bázi chloru, jako je například oxid chloričitý, stejně jako ozon a jiných.

Desinfekce pitné vody v domácnostech rozvojových zemí se provádí v první řadě za pomoci čistého chlóru, a to buď v kapalně formě jako kyseliny chlorné (komerčního chlornanu nebo více zředěného roztoku chlornanu sodného) nebo v suché formě jako chlornanu vápenatého (WHO, 2011). Manipulace s touto formou čistého chloru je pohodlná, relativně bezpečná a levná. Dávkování musí být správně dodržováno, z důvodu udržení dostatku chlóru po dobu skladování a užívání.

Při chemickém ošetření pitné vody se nedoporučuje použití silných kyselin či bází, a to z důvodu jejich nebezpečných chemických látek, které mohou změnit pH vody na nebezpečně nízkou nebo naopak vysokou úroveň. Nicméně nouzově nebo krátkodobě lze využít šťáv z některých citrusových plodů, jako jsou limety a citrony, které dostatečným přidáním do vody vedou k snížení hodnoty pH vody (pH nižší než 4,5) a k inaktivaci viru *Vibrio cholerae* (WHO, 2011).

#### **Působení sloučenin chloru a ozonu**

V chemickém ošetření lze využít několik možných druhů sloučenin chloru, mezi které patří například plynný chlór, oxid chloričitý a chlornan sodný. Kromě sloučenin chloru lze využít také účinnost ozonu.

#### **Plynný chlór**

Plynný chlór ( $\text{Cl}_2$ ) se využívá jako účinné desinfekční činidlo i při nízkých koncentracích, neboť má silné dezinfekční účinky. Může se vyskytovat v různých

skupenstvích, a to v kapalném, plynném a tuhém. Díky svému účinku představuje nejefektivnější a ekonomicky nejvýhodnější způsob chemické úpravy vody, které ale současně představují riziko a značnou toxicitu pro člověka. Nevýhodou je přísné dávkování, bezpečné uchovávání a transport. Je pro něj typický pronikavý dusivý zápach, který je možné rozpoznat již při koncentraci 0,058 až 0,145 mg/m<sup>3</sup> (Šopíková, 2012).

### **Oxid chloričitý**

Oxid chloričitý (ClO<sub>2</sub>) je sloučenina, která má silné oxidační a dezinfekční účinky. Je několikanásobně účinnější než plynný chlor a také odstraňuje lépe barvu a zápach z vody. Dezinfekční účinek je nezávislý na pH. Nevýhodou oxidu chloričitého jsou vyšší provozní náklady, nižší rozpustnost ve vodě a především nutnost výroby ClO<sub>2</sub> na místě z bezpečnostních důvodů.

Oxid chloričitý se využívá ve dvou způsobech – chlorová a nechlorová metoda. Chlorová metoda spočívá v reakci chloritanu sodného s chlorem a nechlorová metoda s kyselinou chlorovodíkovou. Následně je roztok oxidu chloričitého dávkován do pitné vody. Je vhodný při odželezování a hubení železitých bakterií (Šopíková, 2012).

### **Chlornan sodný**

Chlornan sodný (NaClO) se nejčastěji používá k desinfekci menšího objemu vody. Dodává se jako 50% vodní roztok a je méně náročný na obsluhu. Nevýhodou chlornanu sodného je 7x menší účinnost než u chloru plynného, potřeba delšího kontaktu s vodou a vyšší náklady na desinfekci. Jeho užíváním dochází k zvýšení pH upravované vody, proto je nutné hodnotu pH dodatečně snižovat, aby výsledná upravená voda měla nejlépe neutrální pH (pH = 7), kdy je také účinnost této metody nejvyšší (Šopíková, 2012).

### **Ozon**

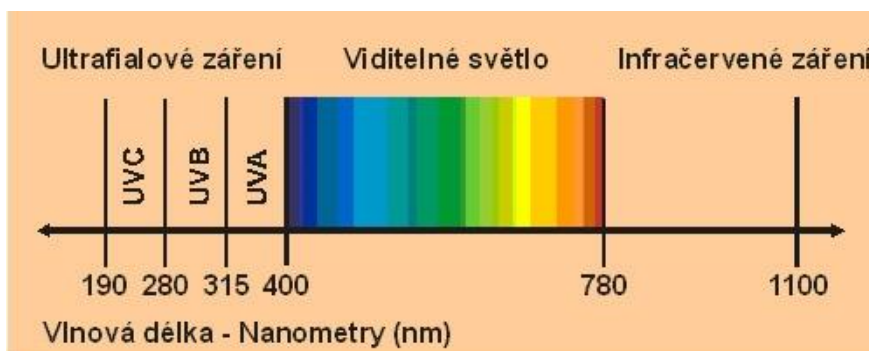
Ozonom upravovaná voda se nazývá proces ozonizace. Ozon jako elementární forma kyslíku je plyn, přirozeně se vyskytující ve výšce 25-35 km nad hladinou moře, tvořící ozonovou vrstvu Země, která ji chrání před ultrafialovým zářením. Je velmi nestabilní sloučeninou a je nazýván aktivním kyslíkem (obsahuje o jeden atom kyslíku

více než kyslík). Výhodou ozonu je vysoký desinfekční účinek, žádný vedlejší produkt, velká účinnost při ničení virů a bakterií. Nedoporučuje se v nízko příjmových komunitách, neboť nelze skladovat, musí být generován přímo na místě a neobejde se bez elektrické energie. Další nevýhodou je krátkodobý účinek, toxicita, vysoké investiční náklady a prostorová náročnost (Šopíková, 2012).

## 2.2. Fyzikální zabezpečení vody

### UV záření

Sluneční záření můžeme rozdělit dle vlnové délky: ultrafialové záření, viditelné světlo a infračervené záření. Ultrafialové záření (UV) představuje elektromagnetické záření v rozmezí 100 - 400 nm, tedy rozsah mezi X-paprsky a viditelnou částí spektra. Lze jej klasifikovat na Vacuum UV (100 - 190 nm), UV-C (190 - 280 nm), UV-B (280 - 315 nm), UV-A (315 - 400nm) (Kožíšek, 2003).



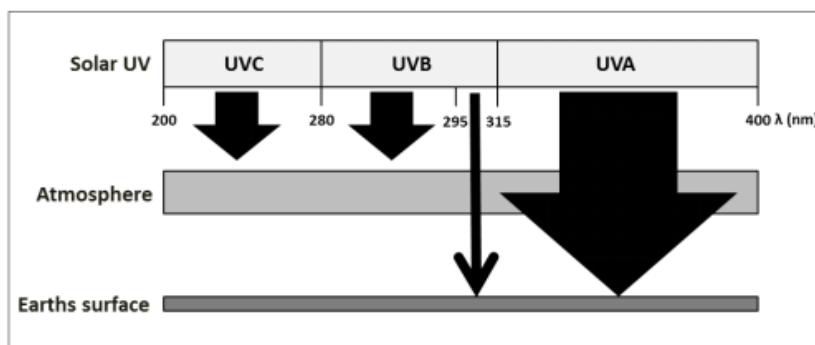
Obrázek 1- Vlnové délky UV záření

Zdroj: Kožíšek (2003)

UV záření absorbuje DNA a RNA mikroorganismy, zabíjí bakterie a viry ve vodě. Účinek závisí na dávce UV záření a době expozice. UV záření je efektivní způsob, jak dezinfikovat malé množství čisté vody v oblasti s vysokou intenzitou slunečního záření.

Jedná se o velmi agresivní záření, které může způsobit vážné poškození kůže i očí a ničí živé buňky. Většina UV-C a UV-B záření v rozmezí od 190 do 315 nm je absorbována ozonovou vrstvou ( $O_3$ ) atmosféry, která chrání Zemi. Pouze UV-A záření (315 - 400 nm) dosáhne povrchu země.





Obrázek 2 – Oblasti slunečního spektra

Zdroj: Bolton & Cotton (2008)

## Teplota

Dlouhovlnné záření sluneční energie nazýváme záření infračervené. Není viditelné lidským okem, ale lze cítit teplo produkované světelnou vlnovou délkou nad 700 nm. Infračervené záření zahřívá vodu a ničí mikroorganismy citlivé na teplo. V následující tabulce je vyobrazena teplota a doba expozice k zahubení mikroorganismů. Voda se nemusí vařit, aby zabila 99,9 % mikroorganismu (Meierhofer & Wegelin, 2002).

Tabulka 2 - Termorezistence mikroorganismů

Mikroorganismy	Teplota pro 100 % destrukci		
	1min	6min	60 min
Enteroviry			62 °C
Rotaviry		63 °C za 30 min	
Koliformní bakterie	Při 80 °C kompletní zničení		
<i>Salmonella</i>		62 °C	58 °C
<i>Shigella</i>		61 °C	54 °C
<i>Vibrio Cholera</i>			45 °C
<i>Entamoeba Histolytica Cysts</i>	57 °C	54 °C	50 °C
<i>Giardia Cysts</i>	57 °C	54 °C	50 °C

Zdroj: Sommer et al. (1997)

### **3. Technologie zabezpečení pitné vody v rozvojových zemích**

Bylo prokázáno, že následující 3 způsoby ošetření vody, vč. metody SODIS zmíněné níže, dostatečně ošetřily vodu a tím zmírnily střevní potíže v rozvojových zemích.

#### **Domácí chlorování**

Domácí chlorování zahrnuje úpravu vody roztokem chloru v místě užití a skladování v bezpečné nádobě. Přidáním jedné odměrky roztoku do nádoby zmírnilo střevní potíže o 22-84 %. Cena produktu je od 0,01 – 0,05 centů USD za litr. Mezi výhody patří snadné použití a nízká cena. Nevýhodou je pro spotřebitele chuť a zápach a nižší ochrana proti některým organismům v kalné vodě (CDC, 2008).

#### **Keramická filtrace**

Keramická filtrace závisí na mechanickém procesu za použití filtru. Zmírnění střevních potíží tímto způsobem je 60-70 %. Cena produktu se pohybuje od 0,034 – 0,14 centů USD za ošetřený litr vody. Výhodou této filtrace je snadná použitelnost, dlouhá životnost filtru a potenciál pro místní produkci. Velkou nevýhodou je neznalost efektivity proti virům, snadno opakovatelná kontaminace vody, pomalý průtok vody, potřebný know - how pro spotřebitele k udržování čistého filtru a nádoby (CDC, 2008).

#### **Flokulant / desinfekční síla**

Při této metodě je potřeba přidat jeden sáček flokulantu do 10 litrů vody, zamíchat, nechat usadit, přeš hadřík vodu přecedit a po 20 minutách se voda stává pitnou. Tento způsob redukuje střevní onemocnění v 16-90 %. Cena produktu je 1 cent USD na litr vody. Výhodou je vysoká kvalita vody, vizuální zlepšení a zbytkové ošetření proti opětovné kontaminaci. Mezi nevýhody patří rozmanitost kroků k správnému ošetření vody, nutnost předmětů k provedení desinfekce – dva kýble a filtrační hadřík. Další nevýhodou je relativně vysoká cena k ošetření jednoho litru vody (CDC, 2008).

#### 4. Metoda SoDis – Solar Disinfection

Aftim Acra v roce 1984 přišel s novou metodou desinfekce - Metoda SODIS (Luži, 2016). Je to jednoduchý způsob čištění biologicky kontaminované vody. SODIS je způsob desinfekce vody nejčastěji pomocí PET lahví a slunečních paprsků a tím znečištěnou vodu přetvořit ve vodu pitnou. SoDis neboli Solar Disinfection využívá vlivu slunečního záření, zejména UV-A záření a tepla, ke zničení patogenních bakterií a virů způsobující střevní onemocnění (jedno z nejčastějších příčin úmrtí v rozvojových zemích). WHO (2013) odhaduje, že onemocnění celosvětové populace je z 10 % zapříčiněno nedostatkem adekvátní pitné vody, špatnou hygienou a neefektivní sanitací. Tento způsob desinfekce vody je vhodný v regionech, kde finance, zdroje a vzdělání jsou nedostatečné.

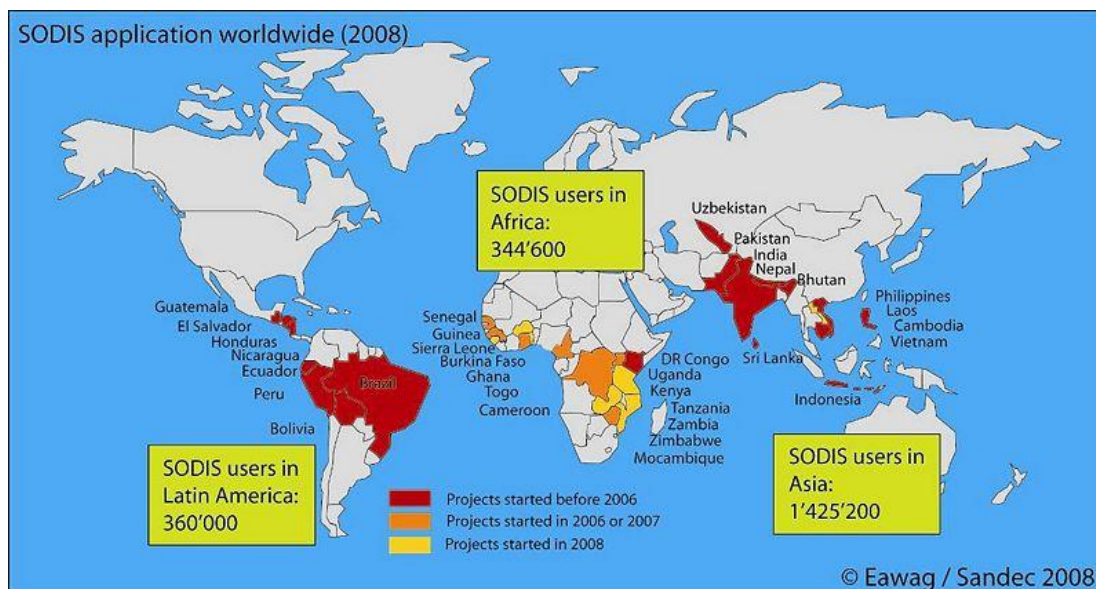


Obrázek 3 – Aplikace metody SODIS v Indonésii

Zdroj: SODIS EAWAG

Efektivita této metody je podmíněna počasím a klimatem. Oblačnost, nižší teploty, silný vítr, původ kontaminace vody, to vše jsou ovlivňující faktory. Nejpřívětivější území s vhodnými klimatickými a povětrnostními podmínkami pro SODIS se nachází mezi 15° a 35° severní a jižní šířky.

Na obrázku 4 jsou vyobrazeny země využívající metodu SODIS, kde počet uživatelů přesáhl hodnotu 2 000 000 v 33 zemích. (Meierhofer & Landolt, 2008) Nyní více než 5 000 000 lidí čistí vodu touto metodou (SODIS, 2014).



Obrázek 4 – Počet uživatelů metody SODIS k roku 2008

Zdroj: Meierhofer & Landolt (2008)

#### 4.1. Postup SoDis

SODIS metoda se provádí následujícím způsobem:

- Uživatel si vybere 0,5 – 2 litrovou láhev, obvykle z polyethylen reftalátu (PET). Může být použita i láhev ze skla nebo jiného plastu.
- Umytá, očištěná a etikety zbavená láhev se naplní vodou z přírodního zdroje (jezero, řeka, studna) a 20 sekund protřepe.
- Láhev se umístí na přímé sluneční světlo, nejčastěji na tzv. „SODIS desku“ z vlnitého plechu nebo plechovou střechu na jeden celý den. (Alespoň 6 hodin včetně poledních hodin nebo na celé 2 dny, pokud je obloha z 50 % zatažená.) V případě dosažení teploty vody 50 °C, láhve jsou vystaveny po dobu 1 hodiny. Nedoporučuje se tuto metodu používat ve dnech nepřetržitého deště.
- Upravená voda je uložena v lahvích ke konzumaci (Luzi, 2016).

Pro správné užití metody SODIS je nezbytné, aby zákal surové vody nebyl větší než 30 NTU (nefelometrická jednotka kalnosti) a hloubka vody byla maximálně 10 cm. (Hirtle, 2008) Čím větší zákal voda má, tím menší je síla působení intenzity UV-A záření a snižuje tím efektivitu SODIS metody. Nicméně teplotně voda dosahuje téměř stejné hodnoty jako v nezakalené vodě, a tak jsou mikroorganismy inaktivovány teplotou namísto UV-A zářením. V tomto případě se doporučuje použití plastových sáčků, kde voda nedosahuje takové hloubky jako v lahvích. V případě, že zdroj pitné vody je více zakalený a hloubka vody v PET láhvi přesahuje limit, intenzita slunečního záření je nedostatečná a voda se musí nejprve přefiltrovat. Zda je potřeba filtrace, lze zjistit pomocí SODIS loga, na které se umístí naplněná láhev. Jestliže při pohledu skrz hrdlo na dno láhve lze logo přečíst, zákal je menší než 30 NTU, voda splňuje limit kalnosti a je možné desinfikovat touto metodou. V případě viditelnosti paprsků u písmena O (viz obrázek), je zákal dokonce menší než 20 NTU (Wegelin, 1994). V krajních možnostech lze využít tzv. metodu prstu, kdy uživatel drží láhev ve své ruce a pokud lze pozorovat všechny čtyři prsty skrz láhev, je voda považována za dostatečnou pro ošetření metodou SODIS (Meierhofer & Wegelin, 2002).



**Obrázek 5 – Logo k testu kalnosti vody**

Zdroj: Meierhofer & Wegelin (2002)

Sluneční záření má přímý vliv na mikroorganismy. UV-A záření je přímo absorbováno organickým materiálem. Kromě toho sluneční záření produkuje vysoce reaktivní formy kyslíku, které usmrcují mikroorganismy. Reaktivní formy kyslíku zahrnují volné radikály a peroxid vodíku. Tyto formy jsou dočasnými produkty, které po skončení doby vystavení na slunci, oxidací ničí mikroorganismy v okysličené vodě. Okysličení vody může být dosaženo intenzivním mícháním surové vody ještě

před naplněním nádoby nebo třepáním z půlky naplněné nádoby a následným doplněním. Poté se láhev vystaví na přímé sluneční záření. Pro zvýšení inaktivace mikroorganismů by se toto opatření mělo provádět zejména u stojatých vod z rybníků a nádrží, případně vody ze studny (Lawrie et al., 2015).

#### **4.2. Materiál**

Vystavením znečištěné vody se díky slunečnímu záření v láhvi deaktivují organismy způsobující střevní onemocnění. Jedná se o UV-A záření (vlnová délka 320 - 400 nm), které reaguje s kyslíkem rozpuštěným ve vodě a vytváří bezkyslíkaté radikály a peroxid vodíku, které poškozují patogeny, ničí bakterie a současně ohřívá vodu (Luzi, 2016).

Plastové láhve postupně nahrazují sklo. Tyto láhve jsou vyráběny z PET (polyethylen tereftalát) nebo PVC (polyvinyl chloridu) materiálu. Oba materiály obsahují UV stabilizátory k udržení jejich stability a ochrany. Přesto jsou pro metodu SODIS preferovány PET láhve s méně než 1 % přidaných aditiv a tím znamenajícím menším zdravotním rizikem. Láhve musí být průhledné a bezbarvé. Fotochemické stárnutí láhví nemá vliv na kvalitu vody uložené v PET láhvích s ohledem na aldehyd, organické fotoprodukty, přidané látky nebo koncentraci ftalátů. Všechny tyto látky, v případě, že byly detekovány ve vodě, tak v nízkých koncentracích hluboko pod limity pro pitnou vodu. PVC a skleněné láhve brání průniku záření (Bach et al., 2012).

Mezi výhody použití PET lahví patří:

- Nízká hmotnost
- Relativně nepoškoditelné
- Průhlednost
- Chemicky stabilní

Mezi nevýhody použití PET lahví patří:

- Omezená tepelná odolnost (deformace při teplotě nad 65 °C)
- Opotřebení láhve (př. poškrábání)

Propustnost UV záření je do značné míry určena obsahem oxidu železa ve skle. Klasické skleněné láhve o tloušťce 2 mm nebo více nepropustí UV záření. Existují speciální skla, která mají mnohem větší propustnost než klasická. Ovšem k využití k metodě SODIS v tak velkém měřítku je sklo nejméně přívětivé, hlavně z důvodu vysoké ceny (Meierhofer & Wegelin, 2002).

Výhody skleněných láhví:

- Žádné škrábance
- Žádné potisky
- Vysoká tepelná odolnost

Nevýhody skleněných láhví:

- Lehce znečištěné
- Vysoká cena
- Hmotnost

### **4.3. SODIS a jeho výsledky**

První výzkum dopadu konzumace vody upravené SODIS metodou na zdraví byl proveden v 90. letech 20. století v Keni. Průzkum byl prováděn mezi dětmi mladších pěti let a bylo prokázáno 16-24 % snížení střevních onemocnění a 86 % redukce projevené cholery. V letech 2000 až 2003 švýcarský Tropical Institute ve spolupráci s Eawag provedl posuzovací studii metody SODIS a jeho zdravotního dopadu na děti mladší pět let v Bolívii, s výsledkem snížení výskytu střevních onemocnění o 35 %. Další významnou studii provedenou v jižní Indii u 100 dětí opět mladších pěti let v městském slamu v Tamil Nadu, bylo po 6 měsících užívání vody ošetřenou SODIS metodou prokázáno významné snížení výskytu, délky trvání a závažnost střevních onemocnění o 40 %. Průzkum uskutečněný od října 2003 do listopadu 2006 v Uzbekistánu ukázal snížení výskytu střevních onemocnění o 53-57 % a v Nepálu o 50 % (Meierhofer & Landolt, 2008).

Metoda SODIS je velice významný posun v desinfekční činnosti. Průměrné náklady na realizaci tohoto projektu ve 13 zemích, včetně nákladů na láhve

a vzdělávacích materiálů činily ročně 0,75 USD za jednu školenou osobu. V následujících letech uživatelé hradí v průměru 0,40 USD ročně za láhve nahrazující láhve již poškozené (Meierhofer & Landolt, 2008). V poměru dosažení zlepšení zdravotního stavu v důsledku snížení výskytu bakterií a virů ve vodě způsobujících střevní onemocnění náklady na zdravotní péči klesají, ekonomická produktivita dospělých a počty dětí absolvující školní docházku se zvyšují.

Rozšířenost metody SODIS rapidně stoupá, přesto existují důvody, proč lidé tuto metodu odmítají. Hlavním problémem je nedůvěřivost. Lidé nevěří, že pouhé sluneční záření dokáže zabít bakterie ve vodě. Dalším důvodem je doba trvání. Nemají trpělivost a raději vodu upraví klasickým způsobem, př. převařením na ohni. V neposlední řadě je to chuť a pach vody, speciálně při využívání plastových tašek namísto PET láhví. V některých případech to je nedostupnost materiálu (Meierhofer & Wegelin, 2002).

#### **4.4. Výhody a nevýhody SODIS**

Metoda SODIS přispívá k zlepšení zdravotního stavu nejen z hlediska zahubení patogenních organismů ve vodě, ale také z důvodu nahrazení původního získávání zdrojů energie. Ženy a děti trpí dýchacími obtížemi z kouře, neboť převaření vody na ohni je jedním z nejčastějších způsobů úpravy vody v rozvojových zemích (Black et al., 2003). SODIS se šíří velice rychle a lidé opouští od tohoto konventního způsobu desinfekce. Snížení deforestace, znečištění ovzduší a spotřeby dřeva, petroleje a plynu jsou dalším aspektem výhody SODIS metody. Zlepšuje mikrobiologickou kvalitu pitné vody, může sloužit jako první krok k zlepšení životního stavu a vzdělání ohledně hygieny. SODIS je jednoduchá a snadno pochopitelná metoda nevyžadující velké náklady (Black et al., 2003).

Hlavní nevýhodou je mezní limit kalnosti (30 NTU) surové vody před ošetřením. Mezi nevýhody se řadí i fakt, že metoda vyžaduje dostačující sluneční záření. Znamená, že je závislá na počasí a klimatických podmínkách. Je účinná pouze s malým množstvím vody, nehodí se tedy pro velkoobjemové úpravy (Meierhofer & Wegelin, 2002).



## 5. Kolektory slunečního záření

Dostatek slunečního záření pro metodu SODIS, mimo země s tropickým podnebím, lze částečně zajistit pomocí solárních kolektorů, které využívají absorpce slunečního záření ke sběru tepla. Využití solárních kolektorů se uplatňuje především v přípravě teplé užitkové vody, vytápění budov, ohřevu vody v bazénech, průmyslovém teplu a chlazení. Kolektory se dělí na ploché, trubicové a koncentrující.

### Ploché kolektory

Nejčastěji používanými jsou ploché kolektory, využívající různých principů absorpce dopadajícího záření. Z důvodu jejich pevné instalační konstrukce, nedochází k plnému využití dopadající solární energie. Největší účinnosti absorpce záření je dosaženo kolmo dopadajícími paprsky energie na absorpční plochu. V tomto případě je využití solární energie závislé na ročním období a denním pohybu Slunce (Tempeco, 2012).

- Kapalinové – teplonosnou látkou je voda, nemrznoucí kapalina nebo propylen-glykol
- Vzduchové – teplonosným médiem je vzduch
- Vakuové – vakuum izoluje teplonosnou látku od okolí

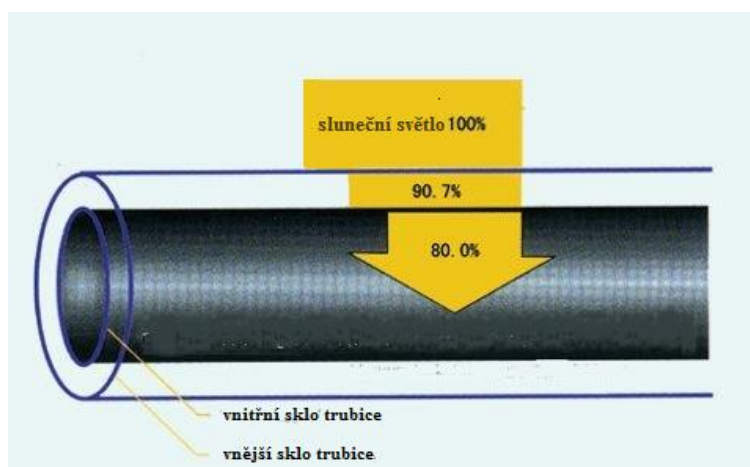
### Trubicové kolektory

Trubicové kolektory se v mnohém liší od plochých kolektorů. Jedná se o novější a více nákladnou technologii. Ve dvouplášťové trubici je vakuem izolovaná teplonosná látka. Vakuum, které izoluje vnější část trubice, významně zabraňuje tepelným ztrátám, tím dosahuje vyšší účinnosti než ploché kolektory a to především v chladnějším podmínkách. Prakticky nepodléhá vlivu vnější teploty vzduchu a válcovitý tvar umožňuje absorbovat záření po celý den. Z hlediska materiálu se trubicové kolektory dělí na dva typy. Trubky uvnitř kolektoru se vyrábí ve variantě sklo – sklo nebo sklo – kov (Tempeco, 2012).

- Sklo – sklo varianta: Použity jsou dvě vrstvy skla spojené na obou koncích s vakuem mezi vrstvami (př. termoska). Mají velice spolehlivé vakuové těsnění,

avšak dvouvrstvé sklo omezuje propustnost záření dopadající na absorpční plochu.

- Sklo – kov varianta: V této verzi je použita jedna vrstva skla, která je spojena s tepelnou trubicí na horním konci. Tato kombinace umožňuje vyšší propustnost záření a ochranu tepelné trubice před korozi, která v případě sklo – sklo může vzniknout v nevakovaném prostoru.



**Obrázek 6 – Solární vakuová trubice**

Zdroj: Vlastní zpracování dle Resources & Protection Technology [online]. Dostupné z: <http://www.rpt.com.hk/COMMOM/PIC/PROD/rp011.gif>

### **Koncentrující kolektory**

Kolektory využívající optické prvky (např. odrazové plochy, čočky a další) se nazývají koncentrující. Přímé sluneční světlo je parabolickými zrcadly koncentrováno do jednoho ohniska. Používají je k přesměrování a koncentraci slunečního záření, které přechází přes ohnisko do přijímače. Koncentrující kolektory, které mimo slunečné počasí mají téměř nulový zisk, jsou i přesto efektivnější než kolektory ploché. Využívají se hlavně v solárních elektrárnách k ohřevu pracovní látky na vysoké teploty (250 – 800 °C). Nevýhodou koncentrujících kolektorů jsou nezbytná mechanická zařízení, která otáčejí kolektor za sluncem a udržují přijímač (absorbér) kolmo ke slunci (Kapucu, 2004).

- **Parabolický korýtkový (žlabový) kolektor** - systém tohoto kolektoru spočívá v jeho tvaru písmena „U“. Žlab koncentruje sluneční světlo trubici, která funguje jako přijímač tepla a je umístěna v ohniskové linii žlabu. Parabolický žlabový kolektor využívá jedné nebo dvojí osy slunečního záření. Teploty v přijímači mohou dosáhnout 400 °C.
- **Parabolický miskový kolektor** – tento kolektor je vizuálně podobný velké satelitní parabole se zrcadlovými reflektory a přijímačem v ohnisku. Využívá dvojí osy slunečního záření. Parabolický miskový kolektor využívá počítač k nasměrování za sluncem a koncentraci slunečních paprsků do přijímače v ohnisku kolektoru. V přijímači mohou tyto kolektory dosáhnout až 1000 °C.
- **Power tower systém** – jedná se o energetickou věž, umístěnou uprostřed pole s velkými zrcadly, které sledují a kopírují dráhu slunce po obloze. Zrcadla koncentrují sluneční záření do přijímače umístěného na vrcholu věže. Opět se využívá počítačový systém, který udržuje zrcadla tak, aby byla namířena k přijímači, kde může být dosaženo teplot až přes 1000 °C (Kapucu, 2004).

## 6. Princip absorpce slunečního záření

### Optika

Optika neboli nauka o světle je věda, která se zabývá vznikem, šířením, detekcí světla a jeho interakcí s látkou. Světlo neboli optické záření je část elektromagnetického záření, která je schopna vyvolat zrakový vjem (vidění). Elektromagnetické záření (vlnění) světla se pohybuje v hodnotách od  $3,8 \times 10^{14}$  Hz do  $7,7 \times 10^{14}$  Hz. Jelikož je světlo vlněním, může se na překážkách malého rozměru ohýbat. Zdrojem světla je jakékoliv těleso, které je schopno světlo vysílat. Nejčastěji je zdrojem světla Slunce, hoření, jiskra či žárovka. Světlo se šíří prostředím, které se označuje za optické prostředí. Dle vlastností se prostředí dělí na průhledné, průsvitné a neprůhledné (Beneš et al., 2014).

- Průhledné (čiré) prostředí, je prostředí, ve kterém nedochází k rozptylu a zeslabení světla. Např. čirá voda, vakuum, čiré sklo.

- Průsvitné prostředí je prostředí, které světlo částečně rozptyluje všemi směry, ale zároveň světlo skrz prostředí částečně prochází. Např. mléčné či matné sklo, tenký papír, mlha.
- Neprůhledné prostředí je prostředí, které světlo nepropouští. Světlo se na rozhraní prostředí odrazí či je pohlceno (např. stěna, zrcadlo).

Dle vlastností šíření světla se prostředí dělí také na homogenní, izotropní a anizotropní.

- Homogenní prostředí je prostředí, které je stejnorodé. V každém bodě jsou stejné optické vlastnosti. Např. vakuum.
- Izotropní prostředí je prostředí, ve kterém má světlo ve všech směrech stejnou rychlost. Např. vakuum, vzduch.
- Anizotropní prostředí je prostředí, ve kterém rychlost světla závisí na směru jeho šíření. Je opakem izotropního prostředí (Beneš et al., 2014).

Optika se dělí na geometrickou, vlnovou a kvantovou optiku. Vlnová optika zkoumá vznik, podstatu a šíření světla, které charakterizuje pomocí elektromagnetických vln. Zkoumá interferenci, ohyb, polarizaci a další jevy, při kterých světlo interaguje s objekty. Kvantová optika zkoumá jevy, při kterých se světlo nešíří spojitě, ale jako tok elementárních energetických částic, které se nazývají fotony (Kuchynka et al., 2016).

## **Geometrická optika**

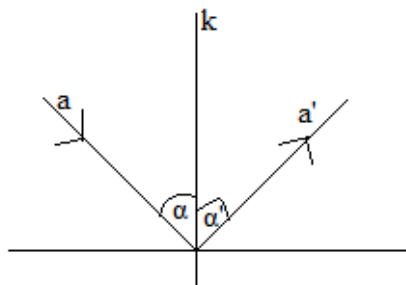
Geometrická optika neboli paprsková optika se zabývá šířením světla, jeho odrazem a lomem. Jak již bylo zmíněno, koncentrující kolektory využívají k přeměně světla optické prvky jako např. odraz a lom světla, odrazové plochy a čočky, které jsou popsány níže. Světlo je, jak z názvu vypovídá, chápáno jako paprsek. Základ geometrické optiky tvoří zákon odrazu světla, zákon lomu světla, princip přímočarého šíření světla a princip nezávislosti chodu světelných paprsků. Princip přímočarého šíření světla znamená, že se světlo v homogenním prostředí šíří přímočaře, čili kolmo na vlnoplochu. Princip nezávislosti chodu paprsků znamená, že paprsky vycházející z prostorového zdroje se navzájem protínají. Jeden paprsek projde druhým, avšak se neovlivňují a postupují optickým prostředím nezávisle na sobě. Paprsek světla je

v geometrické optice charakterizován jako kolmá přímka na vlnoplochu, která udává směr šíření světla.

V geometrické optice se zákon lomu vyjadřuje častěji pomocí absolutního indexu lomu ( $n$ ), který vyjadřuje poměr rychlosti světla ve vakuu ( $c$ ) a rychlosti světla v daném prostředí ( $v$ ). Udává, kolikrát je rychlost světla v látce (v daném prostředí) menší, než ve vakuu (Kubínek, 2003).

$$n = c/v$$

Dle zákona odrazu světla se velikost úhlu dopadu ( $\alpha$ ) rovná velikosti úhlu odrazu ( $\alpha'$ ). Úhel dopadu je úhel mezi kolmicí dopadu ( $k$ ) a dopadajícím paprskem ( $a$ ) a úhel odrazu je úhel mezi kolmicí dopadu ( $k$ ) a odraženým paprskem ( $a'$ ). Dopadající i odražený paprsek leží v rovině dopadu. Následující obrázek znázorňuje úhel dopadu a odrazu na rovinném zrcadle, které splňuje zákon odrazu. Obraz vytvořený rovinným zrcadlem je zdánlivý, přímý, stejně veliký jako předmět, souměrný s předmětem podle osy zrcadla a stranově převrácený.



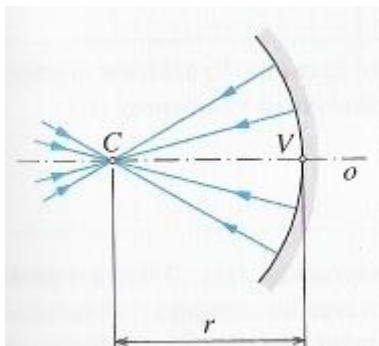
Obrázek 7 - Úhel dopadu a odrazu na rovinném zrcadle

Zdroj: Vlastní zpracování dle Kubínek (2003)

### ***Kulové zrcadlo***

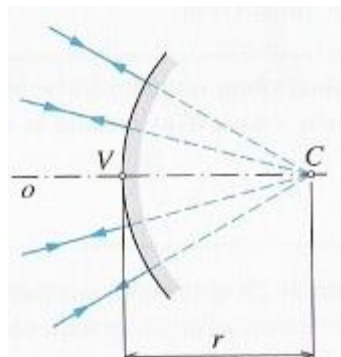
Odrasná plocha zrcadla nemusí být jako u rovinného zrcadla rovinná, ale může být i zakřivená. Příkladem kulového zrcadla může být zrcadlové bludiště v Praze na Petříně či zrcadla na silnicích pro auta. Kulové zrcadlo může být duté či vypuklé. Pokud je odrazný povrch vytvořen na vnitřním povrchu kulové plochy, jedná se o zrcadlo duté.

Pokud je odrazný povrch vytvořen na vnějším povrchu plochy, jedná se o zrcadlo vypuklé.



Obrázek 8 - Duté zrcadlo

Zdroj: Lepil (2014)



Obrázek 9 - Vypuklé zrcadlo

Zdroj: Lepil (2014)

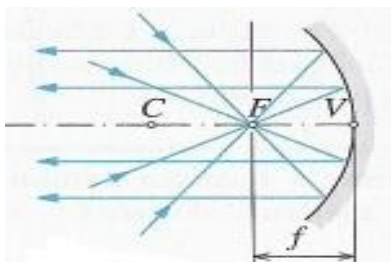
C .... střed křivosti

V .... vrchol zrcadla

o .... optická osa zrcadla (přímka procházející body C a V

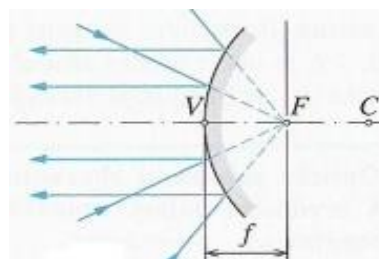
$r = |CV|$  .... poloměr křivosti zrcadla

Ohnisko zrcadla je místo na optické ose, kde se protínají paprsky, které mají rovnoběžný směr s optickou osou. Na optické ose je ohnisko zrcadla vzdáleno stejně od vrcholu zrcadla jako od středu křivosti zrcadla. Vzdálenost mezi ohniskem a zrcadlem se nazývá ohnisková vzdálenost. U dutého zrcadla je ohnisko skutečné, naopak u vypuklého zrcadla je ohnisko zdánlivé (UFMI, 2017).



Obrázek 11 – Skutečné ohnisko F

Zdroj: Lepil (2014)



Obrázek 10 – Zdánlivé ohnisko F

Zdroj: Lepil (2014)

Bod F znázorňuje ohnisko kulového zrcadla. Vzdálenost ohniska od vrcholu V kulového zrcadla je ohnisková vzdálenost  $f$ :  $f = |FV| = r/2$

### 3. Cíl práce

Metoda SODIS nabízí vysokou efektivnost s nízkými náklady. Avšak jak je již popsáno v kapitole o metodě SODIS, efektivní účinek splňuje pouze v oblasti pásma kolem rovníku, kde jsou ideální podmínky pro realizaci. Problematika s adekvátní vodou se vyskytuje i v jiných státech světa s vyšší nadmořskou výškou a tedy s ne tak silnou intenzitou záření.

Hlavním cílem bakalářské práce byl pokus o zvýšení účinnosti solární desinfekce vody pomocí solárního kolektoru v podmínkách mírného podnebného pásma. Mírné podnebné pásmo leží mezi  $40^{\circ}$  -  $30^{\circ}$  s. z. š. na severní polokouli a mezi  $40^{\circ}$ -  $0^{\circ}$  j. z. š. na jižní polokouli. Nejvíce slunečního záření zemský povrch dostává pod úhlem  $90^{\circ}$ , kdy se slunce nachází kolmo nad zemským povrchem, oblasti rovníkového pásma. Čím je úhel dopadu větší, tím více slunečního záření dopadá na zemský povrch. Směrem k pólům jeho množství klesá.

Cílem bakalářské práce bylo uvedení do problematiky s kontaminovanou vodou ve světě, seznámení s tradičními způsoby ošetření vody v rozvojových zemích, vystihnout a porovnat požadavky na jakost pitné vody s vodou konzumovanou a především snaha o rozšíření metody SODIS do oblastí s mírným klimatickým pásmem.

## 4. Metodika

Práce byla rozdělena na teoretickou část, zahrnující poznatky z různých studií a dat čerpaných z vědeckých článků a na praktickou část s vlastním výzkumem.

V teoretické části převažovala data k problematice s adekvátní vodou v rozvojových zemích, čerpána z instituce WHO (World Health Organization). Kapitola o metodě SODIS, popis a efektivnost byla shrnuta ze stejnojmenného internetového zdroje sodis.ch. Studie a poznatky k výsledkům metody v rozvojových zemích byly čerpány z internetových databází zejména ze Science Direct, Research Gate a Google Scholar. Většina zdrojů byla zpracována v anglickém jazyce. Data k porovnání intenzity záření byla čerpána z internetových zdrojů, zabývajících se meteorologií a slunečním zářením SoDa a PVEducation.

Výsledkem literární rešerše byl souhrn informací o problému s pitnou vodou a s tím spojenými zdravotními riziky, shrnutí technologií ošetření vody, zpracování poznatků o metodě SODIS a funkčnosti projektu v zemích s tropickým a subtropickým pásmem.

Při hledání informací byla použita následující klíčová slova: znečištění vody, pitná voda, solární desinfekce, ultrafialové záření.

Praktická část byla rozdělena do dvou kapitol. V první kapitole byl shrnut výzkum, který probíhal začátkem roku 2017 v podmínkách České republiky. Byl proveden experiment solární desinfekce vody čistě pomocí metody SODIS, která k desinfekčnímu procesu vyžaduje takovou intenzitu slunečního záření, že není reálně použitelná v podmínkách zeměpisných šířek České republiky. Z tohoto důvodu byl výzkum proveden se stejným postupem, ale za pomoci koncentrujícího kolektoru.

Při výzkumu byl použit kolektor, vyrobený za účelem rozšíření klasické metody SODIS i mimo oblasti, kde použití naplněné PET láhve a následného vystavení slunečnímu záření na plechové střeše či jiné absorpční ploše je dostačující. Kolektor byl záměrně tvořen s minimálními náklady. Zapotřebí bylo vytvořit pevnou konstrukci, aby odolala i nepříznivým podmínkám v zájmové oblasti. Dalším atributem byl požadavek na minimální údržbu kolektoru.



Pro účely experimentu byl navrhnout kolektor s parabolou a hloubkou odpovídající ohniskové vzdálenosti pro snadné umístění předmětů (láhví s vodou) do konstrukce kolektoru. Použití kolektoru s parabolickým tvarem v podmínkách České republiky je lepší variantou než použití kolektoru kulového – sférického tvaru. Tato parabola kondenzuje 83 % energie z plochy, tj.  $1660 \text{ W/m}^2$ . Hlavním zájmem bylo minimalizovat náročnost na výrobu konstrukce, aby kolektor byl ekonomicky i technologicky únosný podmínkám zájmové oblasti (př. Mongolsko, Kazachstán, Čína).

Kolektor tvořila dřevěná konstrukce z dřevotřískových desek. Na výrobu byly použity šrouby, reálné je ovšem i použití hřebíků.



**Obrázek 12 – Konstrukce kolektoru**

Zdroj: Vlastní zpracování na základě provedeného výzkumu

Na koncentrující plochu byl použit nerezový plech o rozměrech 1 x 2 m. Vybavení kolektoru zahrnovalo dvě kolečka, solární desky přidělané po stranách konstrukce, hnací motorek, který pomocí desek zajišťoval pohyb kolektoru kolmo za sluncem. V momentě, kdy byla jedna deska zastíněna, spustil se mechanismus, který plynule konstrukcí otáčel do požadované polohy.

13. února 2017 byl při nízkých teplotách proveden experiment pomocí vodou naplněné vakuové trubice a PET láhve, kde šlo o porovnání jejich účinnosti. Trubicové kolektory jsou popsány v kapitole o slunečních kolektorech. Jak již bylo zmíněno, jedná se o dvouplášťovou trubici s vakuem uvnitř, která izoluje teplotonosnou látku, v tomto případě vodu.

10. března 2017 byl proveden experiment pomocí kolektoru a jeho vlivu za oblačného počasí. K experimentu byly použity dvě plastové láhve naplněné vodou, z nichž jedna byla umístěna do kolektoru a druhá samovolně na zemi.

27. března byl proveden stěžejní experiment za celodenního jasného počasí. Pro výzkum byly použity 4 vzorky – voda původní, voda v PET láhvi v parabolickém kolektoru, voda v PET a skleněné láhvi vystavené na slunci. Po ukončení pokusu byly vzorky uchovány v odběrových nádobách opatřené z výzkumného ústavu při teplotách 3 – 5 °C. V ranních hodinách 28. března 2017 byly vzorky odevzdány na rozbor.

V rámci výzkumu byly použity teploměry s počítačem, který logoval teploty pro zpracování dat. V reálném provedení není potřebný. Voda použitá pro výzkum byla odebrána z jezírka nacházejícího se v kampusu ČZU před technickou fakultou.

V další kapitole jsou shrnuty a zhodnoceny výsledky experimentu. Vzorky z láhví byly poslány na rozbor do Výzkumného ústavu vodohospodářského T. G. Masaryka na Podbabě, Praha 6, Dejvicích. Výsledky z rozboru zahrnovaly pouze mikrobiologické ukazatele, nikoliv další faktory, jako jsou např. zákal a pach vody, neboť experiment se zaměřuje pouze na efekt koncentrujícího kolektoru a likvidaci mikroorganismů ve vodě. Výstupy z experimentu byly pro lepší přehlednost vloženy do tabulek a zakresleny do grafu pomocí programu Microsoft Excel.

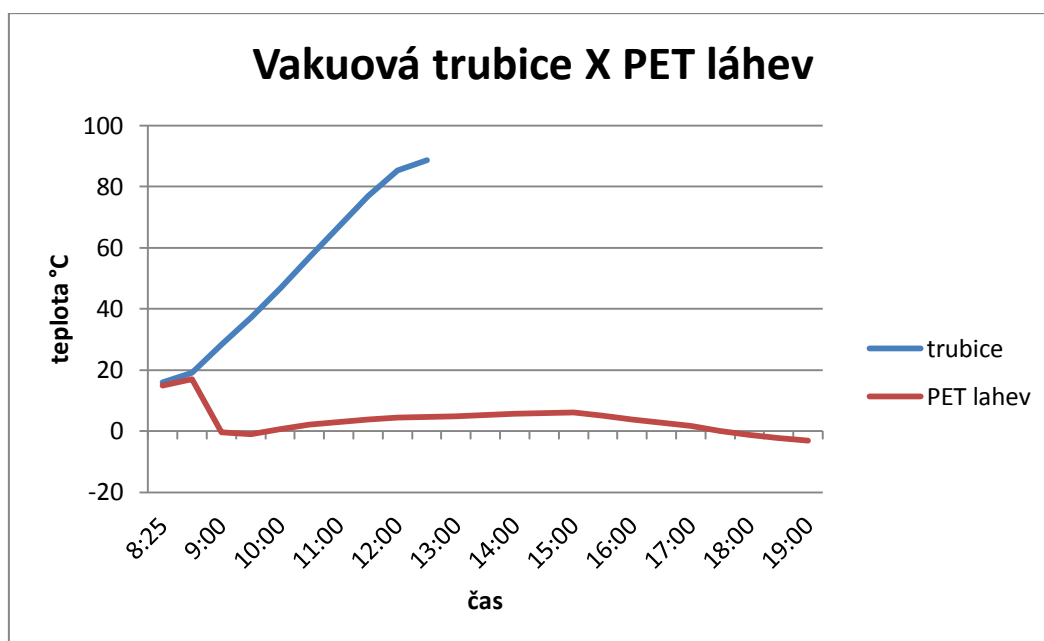
Na závěr byly shrnuty nejdůležitější poznatky z experimentu a také zda je tento způsob zvyšování účinnosti solární desinfekce vhodný pro využití v mírném podnebném pásmu. Dále byla navržena doporučení na základě výsledků z výzkumu.

## 5. Výsledky

### Účinnost vakuové trubice a PET láhve

Provedení experimentu 13. února 2017. Graf 1 znázorňuje průběh teplot. Modrá křivka představuje teplotu vody uvnitř vakuové trubice a červená teplotu vody v PET láhvi.

Graf 1 - Průběh teplot ve vakuové trubici a PET láhvi



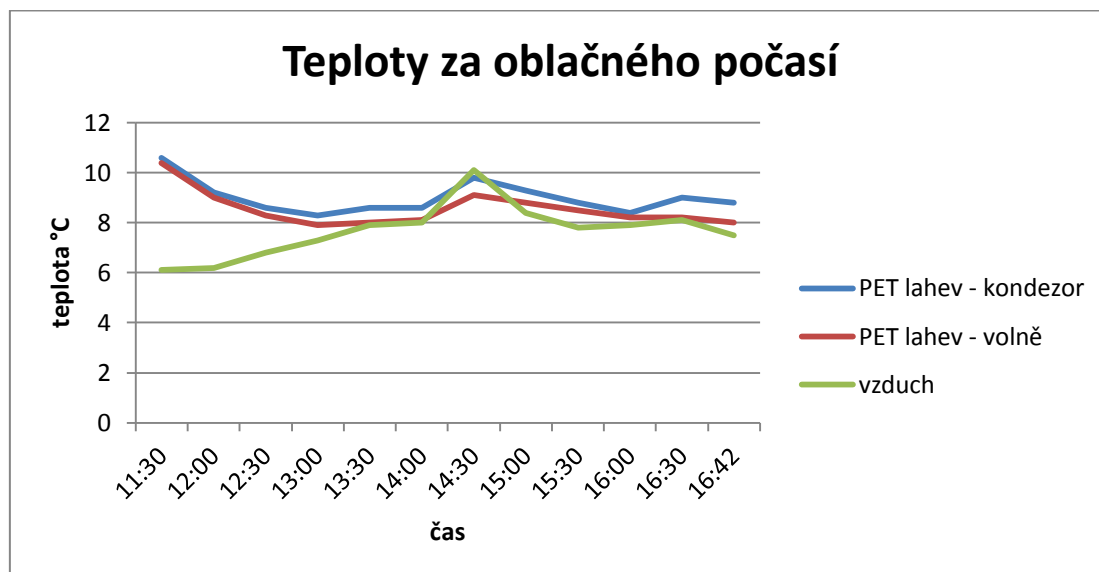
Zdroj: Vlastní zpracování na základě provedeného výzkumu

Z grafu 1 vyplývá, že voda uvnitř trubice dosáhla požadované teploty za necelé 4 hodiny, zatímco voda v PET láhvi zamrzala. Vakuové trubice mají vysokou účinnost, pojí se s nimi ale i velké náklady. Tento experiment byl proveden pouze pro znázornění i jiných technologií, než pouhé metody SODIS.

## Vliv kolektoru za oblačného počasí

Provedení experimentu 10. března 2017. Na grafu 2 lze vidět průběh teplot obou láhví a teplotu ovzduší. Modrá křivka značí láhev umístěnou v kolektoru, červená volně položenou a zelená křivka označuje teplotu vzduchu venku.

Graf 2 - Průběh teplot v PET láhvích za oblačného počasí



Zdroj: Vlastní zpracování na základě provedeného výzkumu

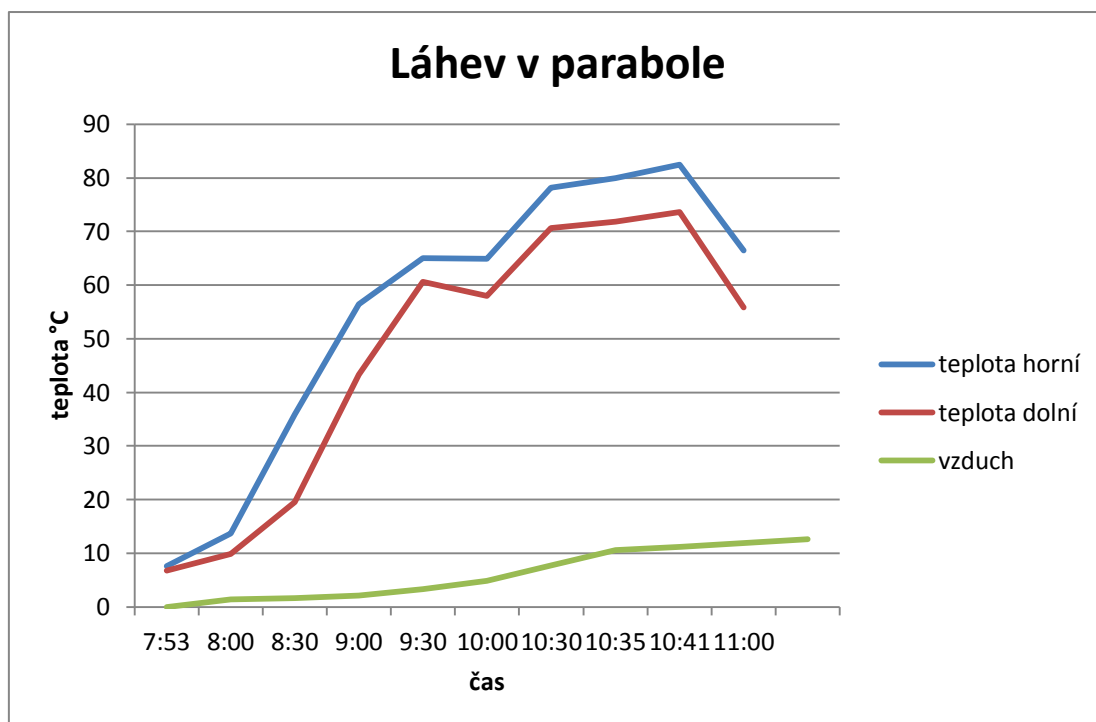
Po vystavení vzorků, teplota vody v lahvích z počátku klesala. Teploty ovzduší se po celý den pohybovaly kolem 8 °C. Z grafu 2 je viditelná změna počasí, kdy mezi 14. a 15. hodinou došlo k roztržení oblačnosti a teplota náhle o pár stupňů vystoupala. PET láhev v kolektoru vyznačovala o něco větší teploty než láhev umístěná mimo kolektor a to především ve chvíli, kdy sluneční paprsky kolektor nasvítily (viz příloha).

## Vliv kolektoru za jasného počasí

Zahájení experimentu: 27. 3. 2017 v 7 hodin 53 minut.

Ukončení experimentu: 27. 3. 2017 v 19 hodin 10 minut.

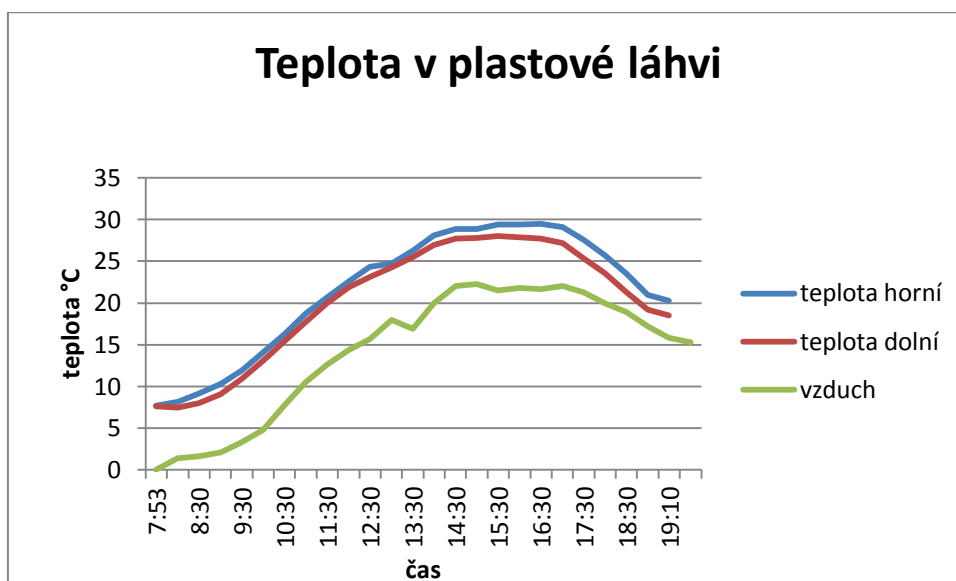
Graf 3 - Průběh teplot v láhvi v parabole



Zdroj: Vlastní zpracování na základě provedeného výzkumu

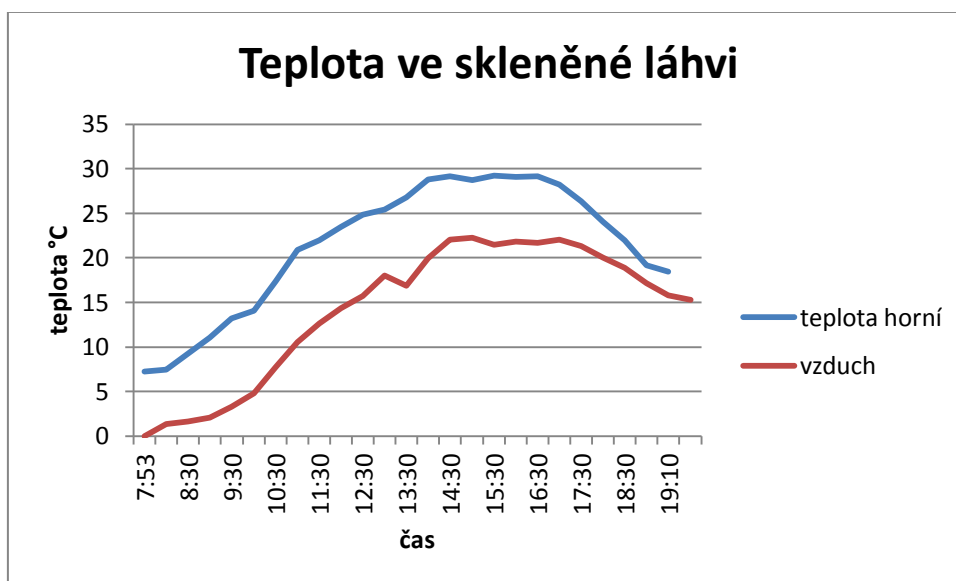
Na grafu 3 je znázorněn průběh teplot vzorku v PET láhvi umístěné v kolektoru. V láhvi byly použity dva teploměry. Teplota horní znázorňuje teplotu v hrdle láhve, teplota dolní na dně láhve. Dle grafu 3 lze zjistit, že požadovaná teplota byla dosažena po necelých 3 hodinách, zatímco teplota ve vzorcích umístěných čistě na slunečním svitu nepřesáhla 30 °C, viz grafy níže. Z kapitoly o metodě SODIS je známo, že k likvidaci bakterií je potřeba dosáhnout teploty alespoň 50 °C.

Graf 4 – Průběh teplot v PET láhvi mimo parabolu



Zdroj: Vlastní zpracování na základě provedeného výzkumu

Graf 5 – Průběh teplot ve skleněné láhvi mimo parabolu



Zdroj: Vlastní zpracování na základě provedeného výzkumu

## Výsledky z rozboru

Tabulka 3 – Výsledky z rozboru mikroorganismů

Ukazatele	Jednotka	VZOREK			
		Původní	V parabole	V PET láhvi	Ve skle
Escherichia Coli	KTJ/100 ml	18	0	0	60
Koliformní bakterie	KTJ/100 ml	2100	<100	<100	1000
Počty kolonií při 22 °C	KTJ/1 ml	1060	10	610	1890

Zdroj: Vlastní zpracování na základě provedeného výzkumu

Původní vzorek vykazoval hodnoty vysoko nad limit jakosti pitné vody.

Výsledky z rozboru prokázaly, že ani vzorek ošetřený v parabole nesplňoval limity jakosti vody. Dle vyhlášky č. 252/2004 Sb. ministerstva zdravotnictví, limit pro koliformní bakterie je stanoven na 0 KTJ koliformních bakterií ve 100 ml vody. Escherichia Coli a počty kolonií při 22 °C splňovaly limit.

Vzorek v PET láhvi vykazoval snížení mikrobiologických ukazatelů, ačkoliv nebyly splněny limity pro ukazatele koliformních bakterií, ani pro počty kolonií při 22 °C.

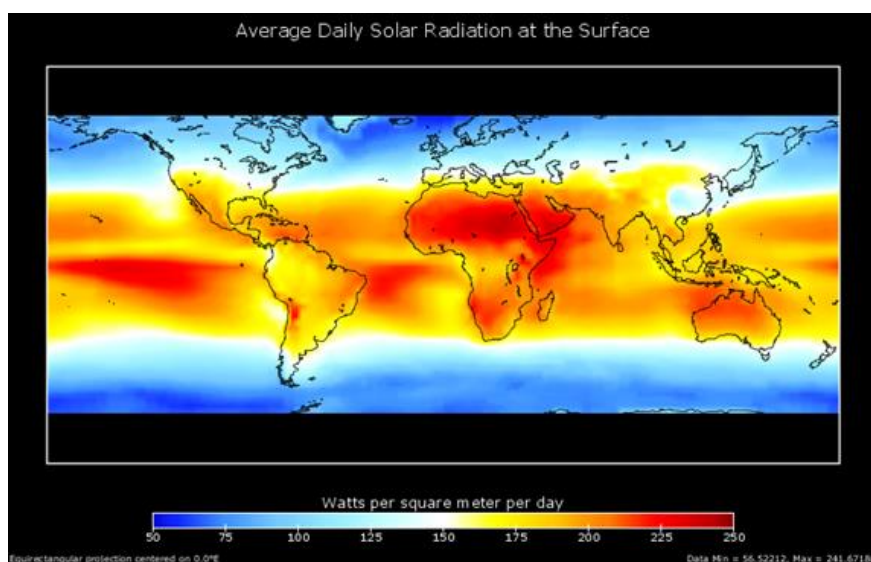
Výsledek experimentu u vody ve skleněné láhvi vykazoval nárůst hodnot mikrobiologických ukazatelů.

## 6. Diskuze

Stěžejním výzkumem práce byl experiment za jasného počasí. Hlavním zájmem bylo poukázat na rozdíl v použití metody SODIS pomocí koncentrátoru a bez něj. Z výsledků měření je jasné, že efekt této metody v šířkách mírného podnebného pásma je zcela bezvýznamný bez využití koncentrujícího kolektoru.

Pro účinnost SODIS metody je zapotřebí nejméně  $500 \text{ W/m}^2$  celkové intenzity slunečního záření po dobu 6 hodin. Studie prokázaly, že teplota až do  $40 \text{ }^\circ\text{C}$  nehraje žádnou roli v desinfekci vody (Gayán et al., 2013). V této době působí hlavně UV záření. V době, kdy teplota převyšuje hranici  $50 \text{ }^\circ\text{C}$ , proces probíhá rychleji a to z důvodu synergického efektu mezi UV zářením a teplotou (Schmid et al., 2008). Výsledky studie z Číny a Indie uvádí, že proces je výrazně urychlen a doba desinfekce zkrácena již při  $45 \text{ }^\circ\text{C}$  (Jin et al, 2016).

Intenzita slunečního záření na povrchu Země je množství sluneční energie v kWh dopadající na  $\text{m}^2$  povrchu Země. Tato intenzita je závislá na zeměpisné šířce, ročním období a klimatu. Vliv má i průměrné počasí v dané oblasti, především množství oblačnosti.



**Obrázek 13 – Intenzita slunečního záření**  
Zdroj: Wheeler (2008)



Doba expozice a intenzita záření jsou důležitější než zákal vody (Gómez-Couso, 2009). Intenzita záření velice ovlivňuje rychlostní průběh desinfekce. Proto se metoda SODIS uplatňuje především v rovníkových oblastech, kde průměrná doba denního slunečního svitu se pohybuje okolo 12 hodin po celý rok a intenzita záření dosahuje vyšších hodnot než v našich zeměpisných šířkách (viz tabulka 4) Pro zastoupení rovníkové oblasti byla zvolena Keňa, ležící 0°24' s. š., 37°51' v. d. jako typická oblast v rovníkovém pásmu s vysokým dopadem intenzity slunečního záření.

**Tabulka 4 - Průměrná intenzita slunečního záření dopadající na povrch země v průběhu let 1996-2006.**

	<b>Česká republika</b>	<b>Keňa</b>
<b>leden</b>	641,36 W/m <sup>2</sup>	6178,64 W/m <sup>2</sup>
<b>únor</b>	1109 W/m <sup>2</sup>	6793,27 W/m <sup>2</sup>
<b>březen</b>	2001,27 W/m <sup>2</sup>	6556,64 W/m <sup>2</sup>
<b>duben</b>	3600,73 W/m <sup>2</sup>	6326,18 W/m <sup>2</sup>
<b>květen</b>	4611,36 W/m <sup>2</sup>	6155 W/m <sup>2</sup>
<b>červen</b>	4590,45 W/m <sup>2</sup>	5598,09 W/m <sup>2</sup>
<b>červenec</b>	4142,27 W/m <sup>2</sup>	5383 W/m <sup>2</sup>
<b>srpen</b>	3994 W/m <sup>2</sup>	5819,09 W/m <sup>2</sup>
<b>září</b>	2723,36 W/m <sup>2</sup>	6627,09 W/m <sup>2</sup>
<b>říjen</b>	1493,18 W/m <sup>2</sup>	6547,91 W/m <sup>2</sup>
<b>listopad</b>	863,55 W/m <sup>2</sup>	5695,27 W/m <sup>2</sup>
<b>prosinec</b>	687,27 W/m <sup>2</sup>	5939,73 W/m <sup>2</sup>

Zdroj: Soda (1996 – 2006)

V tabulce 4 lze vidět, že zatímco v České republice nejvyšší hodnota dopadajícího záření nastává v období od května do července, v Keni v tomto období dosahuje záření nejnižších hodnot. Nejnižší hodnota záření v Keni nastává v červenci s 5383,00 W/m<sup>2</sup>, které intenzita záření v České republice nedosahuje ani v květnu, s její nejvyšší hodnotou 4611,36 W/m<sup>2</sup>. Měsícem s nejnižší intenzitou záření v České republice je leden. Keňa dosahuje největšího záření v únoru.

Z měření při experimentu za jasného počasí vychází, že v láhvích (PET a sklo) vystavených na slunečním záření, nastala téměř shodná teplota, avšak dle rozboru počet mikroorganismů v PET láhvi se snížil, zatímco ve skleněné láhvi se zvýšil. Z tohoto výsledku vyplývá, že ve skleněné láhvi vzniklo optimální prostředí pro množení mikroorganismů, za kterým stojí tloušťka stěny láhve, která zabránila průniku UV záření.

Dle studie o propustnosti UV záření při solární desinfekci vody vychází jako nevhodnější materiál pro úpravu vody pomocí metody SODIS PE sáčky. Tyto sáčky byly navrženy speciálně pro SODIS s širokým hrdlem pro lehké naplňování vody a tloušťkou stěny 0,23 mm. Ze studie vychází, že PE materiál je měkčí a pružnější, s vyšší propustností UV-B záření než láhve z PET materiálu, které jsou typické pro metodu SODIS (Lawrie et al., 2015).

## 7. Závěr

Závěrem lze říci, že solární desinfekční metody pro úpravu vody jsou velmi levnou alternativou jiných, více nákladných metod v rozvojových zemích. Metoda SODIS je uživatelsky přívětivá technologie nesoucí spousty benefitů, od zlepšení zdraví, větší produktivity uživatelů, menších výdajů za lékaře až po šetření životního prostředí.

V rámci České republiky nelze očekávat využití této metody ve velkém měřítku. Uplatnění metody by se mohlo najít v horských či odlehlých oblastech, především oblasti chatařů. Přesto ale výroba vlastního koncentrátoru by se mohla uživatelům zdát jako zbytečná a učení postupu desinfekce nezajímavé. Přístup k pitné vodě v České republice není nijak omezený.

Ačkoliv nedošlo v rámci výzkumu (v březnu 2017) v podmínkách České republiky ke kompletní destrukci mikroorganismů ve vodě, z výsledků je prokazatelné, že koncentrátor zvýšil účinnost solární desinfekce vody. Je tedy nezbytné provést několik dalších měření s dalším opatřením, pro ověření výsledků.

Jedním z opatření při dalším výzkumu je nezbytnost aplikace kovové destičky či jiného žáruvzdorného materiálu na dřevěnou konstrukci v úrovni ohniskové oblasti, neboť koncentrace záření způsobila ohoření dřevěné latě (viz příloha).

Dále je potřeba neopomenout výběr materiálu láhve k experimentu. Jak je již z výsledků patrné, teplota vody ve skleněné láhvi se zvýší, avšak z důvodu tloušťky stěny láhve nedochází k dostatečnému průniku UV záření. Výstupem experimentu při použití skleněné láhve je vytvoření optimálního prostředí pro množení mikroorganismů. K experimentu je tedy vhodné zvolit takovou plastovou láhev, jejíž propustnost UV záření je natolik dostačující, že vede k destrukci většiny mikroorganismů nad povolené normy. Další variantou může být použití plastového sáčku, nejlépe z PE materiálu, který dle studií vychází jako nejvhodnější varianta pro metodu SODIS. Otázkou je, zda by sáčky při dalším výzkumu vydržely koncentraci záření v koncentrátoru.

Využití metody SODIS doplněné koncentrujícím kolektorem by mohlo mít velký potenciál v oblastech s mírným podnebím. Dle výsledků experimentu dokáže koncentrátor zajistit takovou intenzitu záření, která by mohla být využívána po celý rok, kromě dnů se zataženou oblohou či nepřetržitým deštěm. Díky koncentrátoru a jeho urychlení zahřátí vody v láhvi, není nutná celodenní expozice jako při klasickém provedení metody. Proto je využití možné téměř po celý rok i v případě, že doba svitu slunce nebude probíhat po celý den.

## 8. Reference

Acra A, Raffoul Z, Karahagopian Y. 1984. Solar Disinfection of Drinking Water and Oral Rehydration Solutions. New York: United Nations Children's Fund. 56p.

Beneš J, Kyplová J, Vítek F. 2014. Základy fyziky pro lékařské a zdravotnické obory. Praha. Grada Publishing. p.143-144.

Berney M, Weilenmann H, Egli T. 2006. Flow cytometric study of vital cellular functions in *Escherichia coli* during solar disinfection (SODIS). *Microbiology* 152: p1719-1729.

Black R, Morris S, Bryce J. 2003. Where and why are 10 million children dying every year? *The Lancet* , Volume 361 , Issue 9376, 2226-2234.

Bolton J R, Cotton CA. 2008. *The Ultraviolet Disinfection Handbook*. Denver, Colorado: American Water Works Association. 149p.

CDC, Centers for Disease Control and Prevention. 2008. Preventing diarrheal disease in developing countries. Available at [https://www.cdc.gov/safewater/publications\\_pages/proven.pdf](https://www.cdc.gov/safewater/publications_pages/proven.pdf): Accessed 2017-03-12.

EAWAG/SANDEC. 2008. Department Sanitation, Water and Solid Waste for Development. [Online] Available at <http://www.eawag.ch/en/departmentsandec/>. Accessed 2017-03-20.

Fisher M, Iriarte M, Nelson K. 2012. Solar water disinfection (SODIS) of *Escherichia coli*, *Enterococcus* spp., and MS2 coliphage: Effects of additives and alternative container materials. *Water research* 46: p1745-1754.

Gayán E, Mañas P, Álvarez I, Condón S. Mechanism of the Synergistic Inactivation of *Escherichia coli* by UV-C Light at Mild Temperatures. *Applied and Environmental Microbiology*. 2013;79(14):4465-4473.

Girard P M, Francesconi S, Pozzebon M, Graindorge D, Rochette P, Drouin R, Sage E. 2011. UVA-induced damage to DNA and proteins: direct versus indirect photochemical processes. *Journal of Physics* 261: 10p.

Gómez-Couso, Hipólito, María Fontán-Sainz, Kevin G. McGuigan, and Elvira Ares-Mazás. 2009. Effect of the radiation intensity, water turbidity and exposure time on the survival of *Cryptosporidium* during simulated solar disinfection of drinking water. *Acta Tropica*: p43-48.

Hirtle Lacey Elizabeth (2008). Exploring Pretreatments for the Solar Water Disinfection (SODIS) Process. UWSpace. Available at <http://hdl.handle.net/10012/3906>. Accessed 2017-04-10.

Honsberg Ch, Bowden S. 2014. Calculation of Solar Insolation. Available at <http://pveducation.org/pvcdrom/calculation-of-solar-insolation>: Accessed 2017-03-21.

Jin Y, Wang Y, Huang Q, Zhu L, Cui L. 2016. The performance and applicability study of a fixed photovoltaic-solar water disinfection system. *Energy Conversion and Management*. p.549-558.

Kapucu Serkan.2004. Types of concentrating collectors. Available at [http://www.physic.s.metu.edu.tr/~ecevit/projects/471projects/2004-5\\_1.semester/471-2004-1-Concentrating%20collector-Serkan%20Kapucu.ppt](http://www.physic.s.metu.edu.tr/~ecevit/projects/471projects/2004-5_1.semester/471-2004-1-Concentrating%20collector-Serkan%20Kapucu.ppt). Accessed: 2017-03-15.

Kožišek F. 2011. Kam směřuje kontrola a analytika pitné vody. *Chemické listy* 105: p237-244.

Kubínek R. 2003. Optika – přednášky pro podnikatele. Olomouc. 78p.

Kuchynka P a kol. 2016. Oční lékařství 2. přepracované a doplněné vydání. Praha. Tiskárny Havlíčkův Brod. p.936.

Lawrie K, Mills A, Figueredo-Fernández M, Gutiérrez-Alfaro S, Manzano M, Saladin M. 2015. UV dosimetry for solar water disinfection (SODIS) carried out in different plastic bottles and bags. *Sensors and Actuators B* 208: p608-615.

Lepil O. 2014. Fyzika pro gymnázia – Optika. 5. přepracované vydání. Praha. Nakladatelství Prométheus. p104

Luzi S, Tobler M, Suter F, Regula. 2016. SODIS manual. Available at [http://www.sodis.ch/methode/anwendung/ausbildungsmaterial/dokumente\\_material/sodismanual\\_2016\\_lr.pdf](http://www.sodis.ch/methode/anwendung/ausbildungsmaterial/dokumente_material/sodismanual_2016_lr.pdf). Accessed 2017-02-10.

McGuigan K G, Conroy R M, Mosler H J, Martella P, Eunice U J, Pilar F I. 2012. Solar water disinfection (SODIS): A review from bench-top to roof-top. *Journal of Hazardous Materials* 235: p29-46.

Meierhofer R, Landolt G. 2008. Factors supporting the sustained use of solar water disinfection – Experiences from a global promotion and dissemination programme. *Desalination* 245: p144-151.

Meierhofer R, Wegelin M. 2002. Solar water disinfection, a guide for the application of SODIS. Švýcarsko: SANDEC. 88p.

Meteoblue. 2007. Climate zones. Available at <https://content.meteoblue.com/en/meteos-cool/general-climate-zones>: Accessed 2017-03-23.

Ministerstvo zdravotnictví. 2014. Vyhláška č. 83 ze dne 30. dubna 2014, kterou se mění vyhláška č. 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody, ve znění pozdějších předpisů. Česká republika: Sbírka zákonů České republiky, 2014, částka 34, p874-888.

Parlament České republiky. 2000. Zákon ze dne 14. července 2000 o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů. Česká republika: Sbírka zákonů České republiky, 2000, částka 74, p3622-3662.

Ray Ch, Jain R. 2014. Low cost emergency water purification technologies. Oxford: Butterworth-Heinemann. 224p.

Schmid P, Kohler M, Meierhofer R, Luzi S, Wegelin M. 2008. Does the reuse of PET bottles during solar water disinfection pose a health risk due to the migration of plasticisers and other chemicals into the water? *Water research* 42: p5054-5060.

SoDa. 2004. SoDa Service – Knowledge in Solar Radiation. Available at <http://www.sodais.com/>: Accessed 2017-04-03.

SODIS. 2014. SODIS Safe drinking water for all. Available at [http://www.sodis.ch/projekte/index\\_EN](http://www.sodis.ch/projekte/index_EN). Accessed 2017-02-03

SolarGIS. 2013. Free Download of Solar Radiation Maps:

Sommer B, Mariño A, Solarte Y, Salas M L, Dierolf C, Valiente C, Mora D, Rechsteiner R, Setter P, Wirojanagud W, Ajarmeh H, Al-Hassan A, Wegelin M. 1997. SODIS – an emerging water treatment process. *Journal of Water Supply – Aqua* 46: p127-137.

Světová zdravotnická organizace. 1996. Desinfekce vody. Česko: bez nakladatele. 20p.

Škorpík J. 2006. Sluneční záření jako zdroj energie. Available at <http://www.transformacni-technologie.cz/slunecni-zareni-jako-zdroj-energie.html>: Accessed 2017-03-01.

Šopíková L. 2012. Možnosti hygienického zabezpečení pitné vody [Bc.]. Brno: Vysoké učení technické v Brně. 63p.

Tempeco. 2012. Solární systémy. Available at [http://www.tc-solar.cz/jaky-je-rozdil-mezi-trubicovymi-vakuovymi-a-deskovymi-atmosferickymi-kolektory-ktere-vybrat/#Základní typy kolektorů](http://www.tc-solar.cz/jaky-je-rozdil-mezi-trubicovymi-vakuovymi-a-deskovymi-atmosferickymi-kolektory-ktere-vybrat/#Základní%20typy%20kolektorů). Accessed: 2017-03-27.

Wegelin M, Canonica S, Alder C, Marazuela D, Suter M J-F, Bucheli T D, Haefliger O P, Zenobi R, McGuigan K G, Kelly M T, Ibrahim P, Larroque M. 2001. Does sunlight change the material and content of polyethylene terephthalate (PET) bottles? *Journal of Water Supply – Aqua* 50: p125-135.

Wegelin M, Canonica S, Mechsner K, Fleischmann T, Pesaro F, Metzler A. 1994. Solar water disinfection: scope of the process and analysis of radiation experiments. *Journal of Water Supply – Aqua* 43: p154-167

Wheeler D. 2008. A Solar Future for the World Bank in Southern Africa?. CGD - Central Global Development. Available at <https://www.cgdev.org/blog/solar-future-world-bank-southern-africa>. Accessed: 2017-04-02

WHO. Světová zdravotnická organizace. 2011. Guidelines for drinking water quality. World Health Organization. 4. vydání. Available at [http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/44584/1/9789241548151\\_eng.pdf](http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/44584/1/9789241548151_eng.pdf). Accessed: 2017-03-12.

WHO. Světová zdravotnická organizace. 2016. *World Health Organization*. Fact sheets. Available at <http://who.int/mediacentre/factsheets/fs391/en/>. Accessed: 2017-03-17.

WHO. Světová zdravotnická organizace. 2013. World Health Organization. Available at [http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/44584/1/9789241548151\\_eng.pdf](http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/44584/1/9789241548151_eng.pdf). Accessed: 2017-02-13.



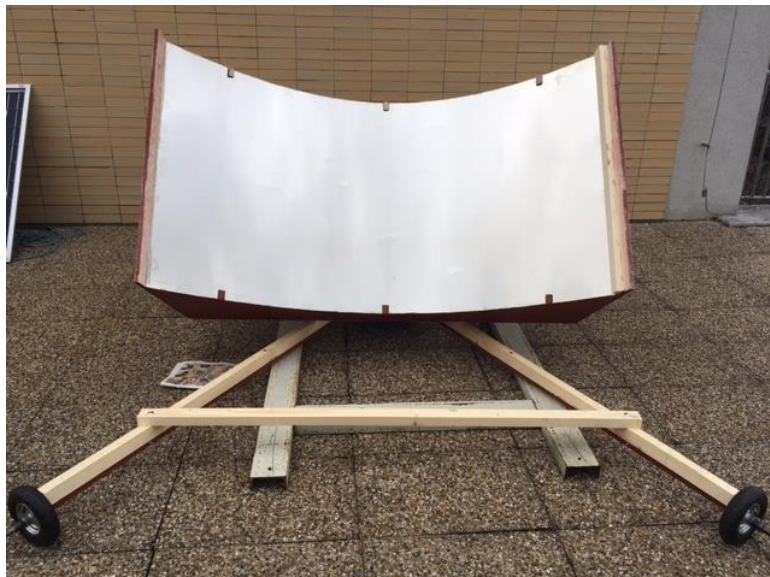
## 9. Přílohy

### Seznam příloh

Příloha 1 – Koncentrující kolektor .....	I
Příloha 2 – Solární deska na kolektoru .....	I
Příloha 3 – Vakuová trubice .....	II
Příloha 4 – Zamrzající voda v PET láhvi .....	II
Příloha 5 – Zatažená obloha v den experimentu.....	III
Příloha 6 – Provizorní umístění PET láhve v kolektoru .....	III
Příloha 7 – Jasná obloha v den experimentu .....	IV
Příloha 8 – Láhev umístěná v ohnisku záření.....	IV
Příloha 9 – Ohořelá konstrukce kolektoru.....	IV

## Příprava koncentrujícího kolektoru

### Příloha 1 – Koncentrující kolektor



Zdroj: Vlastní zpracování

### Příloha 2 – Solární deska na kolektoru



Zdroj: Vlastní zpracování

## Experiment 13.2. 2017 – Účinnost vakuové trubice a PET láhve

### Příloha 3 – Vakuová trubice



Zdroj: Vlastní zpracování

### Příloha 4 – Zamrzající voda v PET láhvi



Zdroj: Vlastní zpracování

## Experiment 10.3. 2017 – Vliv kolektoru za oblačného počasí

### Příloha 5 – Zatažená obloha v den experimentu



Zdroj: Vlastní zpracování

### Příloha 6 – Provizorní umístění PET láhve v kolektoru



Zdroj: Vlastní zpracování

## Experiment 27.3. 2017 – Vliv kolektoru za jasného počasí

### Příloha 7 – Jasná obloha v den experimentu



Zdroj: Vlastní zpracování

### Příloha 8 – Láhev umístěná v ohnisku záření



Zdroj: Vlastní zpracování

### Příloha 9 – Ohořelá konstrukce kolektoru



Zdroj: Vlastní zpracování