

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta tropického zemědělství

Katedra udržitelných technologií



Česká zemědělská univerzita v Praze

**Fakulta tropického
zemědělství**

Bakalářská práce

**Využití ultrafialového záření k úpravě a
dezinfekci vody v jednoduchých životních
podmínkách**

Praha 2015

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

Vypracovala:
Markéta Šůchová

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra udržitelných technologií

Fakulta tropického zemědělství

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Markéta Šúchová

Trvale udržitelný rozvoj tropů a subtropů

Název práce

Využití ultrafialového záření k úpravě a dezinfekci vody v jednoduchých životních podmínkách

Název anglicky

The use of ultraviolet radiation for the treatment and disinfection of water in te simple life conditions

Cíle práce

Cílem BP je ověření, jestli zeměpisná lokalizace ČR umožňuje využít k dezinfekci vody složku ultrafialového záření v dopadajícím spektru slunečního záření pro získání nezávadné pitné vody

Metodika

Tato bakalářská práce byla pojatá jako literární rešerše doplněná vlastními experimenty. Literární rešerše byla založena na sběru dat o dosud probíhajícím projektu SODIS. Kontrola účinnosti působení UV záření bude výlučně prostřednictvím sledování počtu mikroorganismů v upravované vodě

Testovaná voda bude sledována výlučně v průhledných PET lahvích

Měřena bude teplota vody a počet mikroorganismů ve sledované vodě v závislosti na délce expozice UV záření

Doporučený rozsah práce

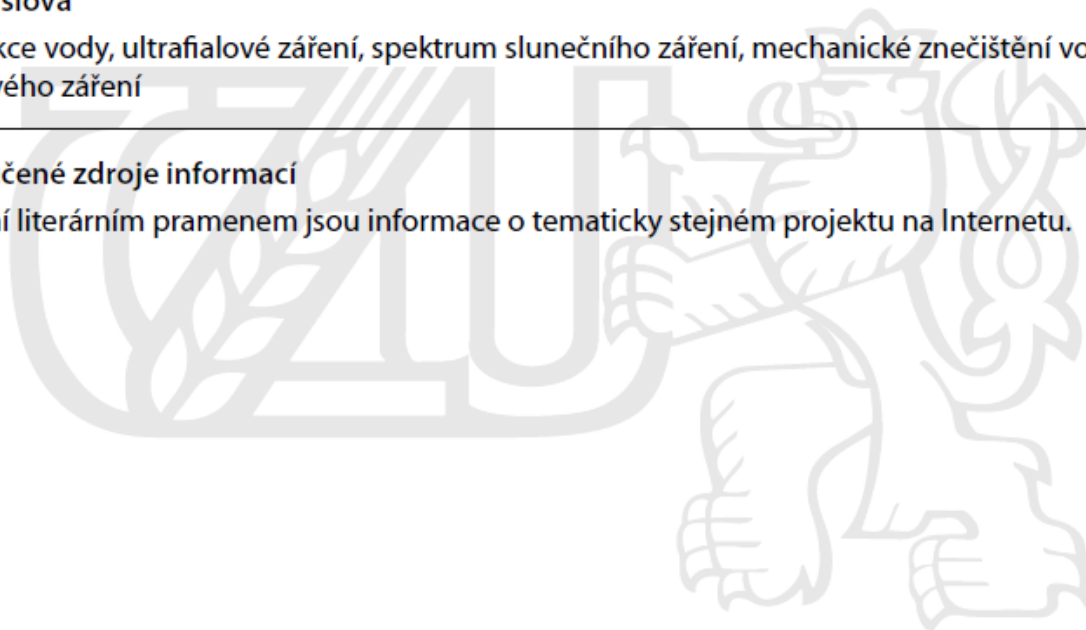
40 stran včetně příloh (viz instrukce FTZ pro vypracování BP DP)

Klíčová slova

desinfekce vody, ultrafialové záření, spektrum slunečního záření, mechanické znečištění vody, odraz ultrafialového záření

Doporučené zdroje informací

Základní literární pramenem jsou informace o tematicky stejném projektu na Internetu.



Předběžný termín obhajoby

2015/06 (červen)

Vedoucí práce

doc. Ing. Josef Pecen, CSc.

Elektronicky schváleno dne 19. 3. 2015

doc. Ing. Jan Banout, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 23. 03. 2015

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci „Využití ultrafialového záření k úpravě a dezinfekci vody v jednoduchých životních podmínkách“ jsem vypracovala 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 autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 16. dubna 2015

.....

Šůchová Markéta

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucímu své bakalářské práce, doc. Ing. Josefu Pecenovi, CSc. za veškeré rady, ochotu a čas, který věnoval mně a mé bakalářské práci.

Poděkování patří také prof. Ing. Karlu Voříškovi, CSc., který mi velice pomohl s postupem a vyhodnocením experimentu, uskutečněného v laboratořích České zemědělské univerzity.

Nemohu též opomenout mé blízké přátele a rodinu, bez jejichž podpory a trpělivosti by se tato práce tvořila podstatně hůře.

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývala úpravou užitkové vody na nezávadnou pitnou vodu pomocí slunečního záření. Hlavním zdrojem informací o této metodě byl projekt SODIS (Solar Water Disinfection). Projekt byl dosud prováděn v tropických a subtropických rozvojových zemích. Dosud neexistují výzkumy ohledně aplikace SODIS v mírném pásmu. SODIS je založen na dezinfekci vody pomocí slunečního záření v přírodních podmínkách. Jeho hlavními klady jsou minimální potřebné finanční i materiální náklady a nenáročnost celého postupu dezinfekce vody. Cílem práce bylo porovnání přírodních podmínek tropického a mírného pásma a z toho vyplívající určení omezujících podmínek pro aplikaci SODIS v mírném pásmu. Literární rešerše byla zaměřená na sběr a zpracování dat o projektu SODIS. Dále jsou srovnávány a vyhodnocovány přírodní podmínky tropického pásma s mírným pásmem na základě literární rešerše a sekundárních dat (data popisují klimatické podmínky tropického a mírného pásma). Srovnání přírodních podmínek celé oblasti tropů a mírného pásma je příliš široké, a tak za zástupce mírného pásma byla zvolena Česká republika, za tropické pásmo Keňa. Práce byla doplněna o experiment, aplikující SODIS v podmínkách mírného pásma. V závěru bakalářské práce byly shrnuty předpoklady, kdy a za jakých podmínek je možná aplikace SODIS v České republice.

Klíčová slova: dezinfekce vody, SODIS, spektrum slunečního záření, mechanismus působení slunečního záření.

Abstract

This thesis deals with the conversion of non-potable water to safe drinking water using solar radiation. The main source of information for this method was the project SODIS (Solar Water Disinfection). This project has been carried out in tropical and subtropical developing countries. Until this point, there are no studies regarding the application of SODIS in the temperate climate zone. The project SODIS is based on disinfecting water using solar radiation in natural conditions. Its main advantages are the minimal financial and material costs and the simplification of the entire process of water disinfection. The aim of the study was to compare the natural conditions of the tropical and temperate zones and thus determine the limiting conditions for the application of SODIS in varying zones. The research was focused on data collection and further processing for the purpose of evaluating the SODIS project. Furthermore the thesis provides comparison and evaluation of the natural conditions of the tropical and temperate climate on the basis of literal research and secondary data (data describing the climate conditions in the tropical and temperate climate zones.) Since comparison of natural conditions of both temperate zones are too extensive to cover, Czech Republic has been chosen to represent the temperate zone and Kenya the tropical zone. The work has been supplemented by an experiment of applying the methods of SODIS in the conditions of the temperate climate zone. In conclusion, the thesis summarizes when and under which conditions it is possible to apply the methods of SODIS in the Czech Republic.

Keywords: water disinfection, SODIS, the spectrum of solar radiation, the mechanism of action of sunlight.

Obsah

1. Úvod	1
2. Cíl práce.....	3
3. Metodika.....	4
4. Literární rešerše	5
1. Voda – základ života	5
1.1 Definice pitné vody	6
1.2 Mikrobiologické, fyzikální a chemické ukazatele pro pitnou vodu	6
1.3 Nemoci přenášené vodou	8
2. Základní způsoby dezinfekce vody na vodu pitnou	9
3. SODIS – SOLar water DISinfection	11
3.1 Historie SODIS.....	12
3.2 Mechanismus úpravy vody pomocí slunečního záření.....	12
3.21 Efekt slunečního záření.....	13
3.22 Efekt teploty.....	15
3.3 Faktory ovlivňující efekt SODIS.....	16
3.31 Počasí a klima	16
3.32 Zákal vody	18
3.33 Kyslík.....	18
3.34 Materiál lahví.....	19
3.35 Tvar lahví.....	22
3.36 Doba používání lahví	22
3.37 Fotoprodukty.....	22
3.4 Postup při SODIS	23
3.5 Výhody SODIS.....	23
3.6 Nevýhody SODIS	25

5. Výsledky.....	26
1. Porovnání klimatických podmínek	26
1.1 Porovnání zeměpisné šířky	26
1.2 Porovnání průměrných měsíčních teplot	27
1.3 Porovnání měsíčních průměrů množství dopadajícího slunečního záření	28
1.4 Porovnání intenzity slunečního záření v rámci jednoho dne.....	30
1.5 Porovnání oblačnosti	33
2. Experiment v přírodních podmínkách České republiky.....	35
2.1 Postup při experimentu.....	35
2.2 Vyhodnocení experimentu.....	36
6. Diskuze výsledků.....	38
7. Závěr.....	41
8. Reference.....	43

Seznam tabulek a obrázků (grafů)

Tabulka 1: Ideální denní spotřeba vody pro jednotlivce.....	5
Tabulka 2: Mikrobiologické ukazatele pitné vody	7
Tabulka 3: Hlavní nemoci přenášené vodou a jejich původci	9
Tabulka 4: Mikroorganismy, prokázaně zničitelné slunečním zářením	13
Tabulka 5: Termorezistence vybraných mikroorganismů	16
Tabulka 6: Porovnání solární energie v závislosti na dnech s rozdílnou oblačností	17
Tabulka 7: Porovnání výhod a nevýhod PET lahví a skleněných lahví	20
Tabulka 8: Porovnání množství dopadajícího záření na Českou republiku a Keňu v rámci měsíčních denních průměrů	29
Obrázek 1: Počet uživatelů SODIS v roce 2008	11
Obrázek 2: Oblasti slunečního spektra	14
Obrázek 3: Rozložení dopadu slunečního záření na zemi	16
Obrázek 4: Test zákalu od SODIS	18
Obrázek 5: Jednoduchý obrázek popisující postup při SODIS.....	23
Obrázek 6: Průměrná oblačnost v České republice	34
Obrázek 7: Průměrná oblačnost v Keni	35
Graf 1: Inaktivace E. coli při aerobních a anaerobních procesech	19
Graf 2: Procentuální množství propuštěného slunečního záření u různých typů materiálů	21
Graf 3: Průměrná měsíční teplota v Keni a České republice vyjádřená ve °C	28
Graf 4: Průměrná intenzita slunečního záření v červenci, Česká republika	31
Graf 5: Průměrná intenzita slunečního záření v prosinci, Česká republika.....	31
Graf 6: Průměrná intenzita slunečního záření v únoru, Keňa.....	32
Graf 7: Průměrná intenzita slunečního záření v červenci, Keňa.....	33
Graf 8: Množství sledovaných bakterií u tří druhů vzorků.....	37

Seznam zkratek použitých v práci

DNA – Deoxyribonucleic acid (kyselina deoxyribonukleová)

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

EVA – EtylVinylAcetát

KTJ – Kolonii Tvořící Jednotka

OSN – Organizace Spojených Národů

PE- PolyEtylen

PET – PolyEtylenTereftalát

PVC – PolyVinylChlorid

RNA – RiboNucleon Acid (Kyselina ribonukleová)

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

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

UNICEF – United Nations International Children's Emergency Fund (Dětský fond OSN)

UV – Ultra Violet (ultrafialové záření)

WHO – World Human Organization (Světová zdravotnická organizace)

1. Úvod

Každý rok zemře po celém světě 1,8 milionu lidí (především dětí mladších 5 let) na průjemová onemocnění (Meierhofer & Landolt, 2009). Užívání znečištěné vody má fatální důsledky především v tropických a subtropických oblastech. Užíváním vhodné vody, označené za vodu pitnou, mohou lidé toto číslo podstatně snížit. Veškerá voda však jako pitná voda nemůže být označena, musí splňovat určité požadavky.

Existuje mnoho dezinfekčních metod, sloužících pro úpravy kontaminované vody na vodu pitnou. Každá metoda má své výhody i nevýhody.

Na pomoc rozvojovým zemím se objevil projekt SODIS, aneb Solar Water Disinfection, který je znám po více než 30 let. Pomocí SODIS získává na celém světě přes 5 000 000 lidí pitnou vodu, nezávadnou pro lidské zdraví (McGuigan et al., 2012). Výhodami tohoto programu jsou pro místní obyvatele finanční a postupová nenáročnost procesu dezinfekce vody. Co se týče potřebných finančních prostředků, vynaložených na užití tohoto způsobu dezinfekce, je nutná pouze investice do vhodné PET lahve. I přes jisté výhody projektu a nízké náklady pro dezinfekci není jednoduché zajistit udržitelnost tohoto programu.

Účinnost SODIS spočívá v působení slunečního záření a teploty. Prostřednictvím současného působení těchto dvou faktorů dochází k odstranění škodlivých bakterií, ohrožujících lidské zdraví (Meierhofer & Wegelin, 2002).

Program SODIS je úspěšně prováděn pouze v tropických a subtropických zemích. V přírodních podmínkách České republiky, tedy mírného pásma, však v minulosti žádný projekt, založený na principech SODIS, proveden nebyl. Z tohoto důvodu se tato bakalářská práce bude zabývat ověřením vhodnosti dezinfekce pitné vody prostřednictvím slunečního záření v mírném pásmu. Ověření bude provedeno pomocí porovnání specifických přírodních podmínek České republiky s tropickým pásmem.

První kapitola bakalářské práce obsahuje definici pitné vody, ukazatele pitné vody a choroby, které lidské tělo mohou postihnout v důsledku konzumace kontaminované vody. Prostřednictvím následujících dvou kapitol jsou charakterizovány základní dezinfekční metody a předloženy informace o projektu SODIS, včetně mechanismu úpravy vody pomocí slunečního záření, na kterém je založen stejnojmenný princip. Na základě literární

rešerše a získaných sekundárních dat porovnává čtvrtá kapitola přírodní podmínky tropů s podmínkami mírného pásma za účelem ověření možnosti užití principu SODIS v našem okolí, tato kapitola také obsahuje experiment provedený po vzoru SODIS v České republice. Součástí práce je též diskuze výsledků. V závěru práce jsou shrnuty předpoklady pro zmiňovaný způsob úpravy vody v mírném pásmu.

2. Cíl práce

Cílem bakalářské práce bylo porovnání přírodních podmínek v tropickém a v mírném zeměpisném pásmu a z toho plynoucí omezení pro zdárné fungování dezinfekce pomocí slunečního záření (SODIS) v podmínkách mírného zeměpisného pásma. Významným nástrojem pro splnění tohoto cíle byla literární rešerše doplněná vlastním experimentem. Předpoklady použití zmiňovaného principu dezinfekce vody byly sledovány z hlediska technického i sociálního.

3. Metodika

Výsledky bakalářské práce vychází z literární rešerše a sekundárních dat, popisujících přírodní podmínky České republiky a tropů, které určují účinnost projektu SODIS. Literární rešerše je založena především na sběru dat a informací o dosud probíhajícím projektu SODIS, který je již řadu let aplikován v tropických a subtropických zemích.

Nezbytná data byla čerpána především přes internetové databáze Science Direct a Google Scholar. Další část potřebných zdrojů byla získána prostřednictvím Národní knihovny České republiky a Městské knihovny v Praze. Sekundární data pro porovnání přírodních podmínek byla získána z internetových zdrojů, zabývajících se slunečním zářením a počasím (SoDa, Climate Change Knowledge Portal, Meteoblue, PVEducation). Porovnávané oblasti byly Česká republika za mírné pásmo a Keňa za tropické pásmo. Převážná část literatury, ze které bylo čerpáno, byla psaná anglickým jazykem. K získávání potřebných informací přispěly nejvíce vědecké články, zabývající se projednávaným tématem. Celkem bylo pro tuto práci použito 31 zdrojů.

Výsledkem literární rešerše byl souhrn poznatků o funkčnosti projektu SODIS v tropech a subtropích a výsledkem porovnání přírodních podmínek bylo určení limitujících podmínek pro aplikaci SODIS v České republice. V rámci experimentu po vzoru SODIS byl dokázán vliv slunečního záření na množství bakterií v kontaminované vodě. Bylo také zjištěno, že v současné době neexistují žádné výzkumy v rámci projektu SODIS pro mírné pásmo.

Klíčovými slovy pro vyhledávání informací byly: desinfekce vody, SODIS, spektrum slunečního záření, mechanismus působení slunečního záření.

4. Literární rešerše

1. Voda – základ života

Velký podíl lidského těla tvoří voda. Procentuelní část tohoto podílu se velice blíží procentu vody, vyskytující se na zemském povrchu. Voda v lidském těle má mnoho funkcí – rozpouští živiny, napomáhá je vstřebávat a přesouvat na další důležitá místa v těle, kde dochází k jejich přeměně. Také skrz vodu dochází k vylučování nedůležitých látek z těla prostřednictvím potu a moči (Michek & Daříčková, 2007).

Pro přežití je nutné mít denní přístup k určitému množství vody. Tabulka č. 1 popisuje ideální denní množství vody potřebné pro život jednotlivce vzhledem k různým účelům. Voda není důležitá pouze pro přímou konzumaci, jak je v tabulce zřejmé, vaření a základní hygiena by bez ní také nebyla možná. V rozvíjejících se zemích je však velký problém získání dostatečného množství nekontaminované vody pro základní účel, tedy přežití.

Tabulka 1: Ideální denní spotřeba vody pro jednotlivce

Účel potřeby vody	Minimální potřeba (l / den)	Poznámky
Potřeba jídla a pití	2.5 - 3	Záleží na klima a individuální fyziologii jedince
Základní hygiena	2 - 6	Záleží na sociálních a kulturních normách
Potřeba vaření	3 - 6	Záleží na typu jídla a sociálních a kulturních normách
Celkem	7.5 -15 l/den	-

Zdroj: Ray & Jain (2014)

Pro běžné fungování lidského těla je důležité dodržovat určitý pitný režim. Není však možné pro potřeby příjmu tekutin využívat veškerou dosažitelnou vodu. Voda, pro lidské tělo zdravotně nezávadná, se označuje jako voda pitná.

1.1 Definice pitné vody

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).*

Je tedy zřejmé, že k tomu, aby voda mohla být klasifikovaná jako voda pitná, musí splňovat zákonem dané typy ukazatelů.

1.2 Mikrobiologické, fyzikální a chemické ukazatele pro pitnou vodu

Základem současného ověřování nezávadnosti pitné vody v rámci mikrobiologie jsou klasické kultivační metody, které prokazují indikátory fekálního znečištění (Enterokoky a E.coli). Používají se již několik desetiletí, a i tak jsou považované za ideální metody, i když jejich realizace je v rámci 1-2 dnů (Kožíšek, 2011).

Metody, které slouží pro bakteriální vyšetření vody, jsou smluvně dané, popisují celý postup od odběru vzorků až po způsob provedení a složení kultivačních médií. Výsledky těchto pokusů jsou popsány pomocí KTJ/objem zkoumaného vzorku. Jednotka KTJ (kolonii tvořící jednotka) udává počet bakterií.

Nejdůležitější zkoumané mikrobiologické ukazatele pro pitnou vodu jsou popsány v následující tabulce.

Tabulka 2: Mikrobiologické ukazatele pitné vody

Ukazatel	Jednotka	Limit	Typ limitu
Clostridium perfringens	KTJ/100ml	0	MH
Escherichia coli	KTJ/100 ml	0	NMH
Koliformní bakterie	KTJ/100 ml	0	MH
Enterokoky	KTJ/100 ml	0	NMH
Počty kolonií při 22°C	KTJ/1 ml	200	MH
Počty kolonií při 36°C	KTJ/1 ml	40	MH

Zdroj: Ministerstvo zdravotnictví (2014)

Použité zkratky v tabulce:

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

Jestliže byla překročena nejvyšší mezní hodnota, daná voda nesmí být použita pro pitné účely.

Pokud bylo dosaženo mezní hodnoty, může dojít k povolení užití takové vody pro pitné účely, jedná se však o časově omezenou výjimku. Vyhovující jakost v daném, překročeném ukazateli je ztracena.

Překročení doporučené hodnoty nemá žádný vliv na zákaz používání vody, ukazatel nemusí být ani napraven. DH popisuje optimální biologické hodnoty určitého ukazatele.

Clostridium perfringens je patogen, ovlivňující kvalitu pitné vody, která byla upravená z vody povrchové. Lidský a zvířecí obsah střev a také půda jsou jeho hlavním zdrojem (Michek & Daříčková, 2007). V pitné vodě se tento patogen nesmí vyskytovat v jakémkoli množství.

Enterokoky (fekální streptokoky) popisují fekální znečištění a závažné hygienické závady. Dlouho nepřežívají, ve vodě se množí zřídka. Jsou málo odolné vůči vnějším vlivům (Michek & Daříčková, 2007). Pokud se prokáže jejich existence ve zkoumané vodě, nemůže být tato voda využita k pitným účelům.

Escherichia coli je bakterie, která charakterizuje čerstvé fekální znečištění. Ve vodě přežívá, avšak není schopna množení (Michek & Daříčková, 2007). Tato bakterie se nesmí vyskytovat ve vodě určené k pitným účelům.

Koliformní bakterie se nacházejí v lidských a zvířecích fekáliích. Obsahují též druhy bakterií, které se nacházejí v půdě, vodě bohaté na živiny, rostlinném materiálu apod. Zahrnují tyto rody bakterií – *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Citrobacter*, *Escherichia* (Michek & Daříčková, 2007).

Počty kolonií při 22°C (psychrofilní bakterie) popisují celkové mikrobiální znečištění. Jejich původcem je voda, půda, rozkládající se organické hmoty apod (Michek & Daříčková, 2007).

Počty kolonií při 36°C (mezofilní bakterie) se nachází zejména ve výkalech, dále v půdě, v rostlinách, atd (Michek & Daříčková, 2007).

Voda, jejíž součástí nejsou indikátorové mikroorganismy potvrzující fekální znečištění, je biologicky nezávadná.

Ke zhodnocení vody jako pitné se využívá i fyzikálně-chemických ukazatelů (tabulka s fyzikálně chemickými ukazateli se nachází v příloze, viz Příloha 1, Příloha 2, Příloha 3). Mezi tradiční ukazatele patří sledování pH, volného chloru, zákalu atd. Mezi důležité organoleptické vlastnosti pitné vody patří kupříkladu pach a chuť.

1.3 Nemoci přenášené vodou

Většina onemocnění v důsledku požití kontaminované vody, jako jsou průjemy, bolesti břicha a zvracení, mívá mírný průběh. Průběh nemocí je většinou krátkodobý,

nemoci mohou postihnout pouze jedince, ale i velkou skupinu lidí, vše závisí na množství a typu mikroorganismů. Největší ohrožení se týká dětí, starých lidí a lidí s oslabenou imunitou. K infekci dochází přímým pozřením kontaminované vody, či pozřením potravin touto vodou omytou, prostřednictvím hygieny či také inhalací této vody (WHO, 1996).

Nejčastěji dochází ke kontaminaci vody při styku vody se zvířecími či lidskými výkaly, kdy se do vody dostanou nežádoucí fekální bakterie. Typy nemocí, přenášených vodou, a jejich jednotliví původci, jsou uvedeny v tabulce 3.

Tabulka 3: Hlavní nemoci přenášené vodou a jejich původci

Nemoci bakteriálního původu	Původci onemocnění
Břišní tyfus a paratyfus Bacilární dysenterie Cholera Akutní gastroenteritidy a průjmy	<i>Salmonella typhi</i> <i>Salmonella paratyphi A a B</i> <i>Shigella</i> <i>Vibrio Cholerae</i> <i>Escherichia coli</i> <i>Campylobacter</i> <i>Yersinia enterocolitica</i> <i>Salmonella sp.</i> <i>Shigella sp.</i>
Nemoci virového původu	Původci onemocnění
Hepatitida A a E Poliomyelitida Akutní gastroenteritidy a průjmy	Virus hepatitidy A a E Virus poliomyelitidy Virus Norwalk Rotaviry Enteroviry Adenoviry atd.
Nemoci parazitárního původu	Původci onemocnění
Amébová dysenterie Gastroenteritidy	<i>Entamoeba histolytica</i> <i>Giardia lamblia</i> <i>Cryptosporidium</i>

Zdroj: WHO (1996)

2. Základní způsoby dezinfekce vody na vodu pitnou

Dezinfekce je metoda, která slouží k ochraně lidského zdraví před nebezpečnými infekcemi přenášenými vodou. Jedná se o důležité opatření, které je potřeba aplikovat,

pokud došlo ke kontaminování vody, nebo pokud její nezávadnost nelze trvale zaručit (WHO, 1996).

Základní postupy pro dezinfekci pitné vody se rozdělují na chemické a fyzikální.

Mezi chemické procesy patří chlorování. Je to jeden z nejčastějších dezinfekčních postupů, který má i v malých koncentracích velkou baktericidní účinnost. Mezi jeho další přednosti patří silný oxidační účinek, snadná kontrola i použití. Množství chloru, potřebného k dezinfekci vody, závisí na dezinfekčních limitech a složení vody. Při užití této metody mohou vznikat nevhodné vedlejší produkty, chlor též může nevhodně ovlivnit zápach a chuť vody (Šopíková, 2012).

Mezi další známý způsob čištění vody patří dezinfekce pomocí ozonu. Hlavními výhodami tohoto postupu jsou vysoký dezinfekční účinek, velká účinnost v boji proti bakteriím a virům, nevzniká též žádný vedlejší produkt. Voda dezinfikovaná pomocí ozonu však nemůže být delší dobu skladovaná, dezinfekce má pouze krátkodobý účinek. Finančně i prostorově je tato metoda náročná (Šopíková, 2012).

Velmi výhodnou metodou pro úpravu vody je dezinfekce pomocí UV záření prostřednictvím lamp. Tento způsob není náročný, nevznikají žádné vedlejší produkty dezinfekce, celý proces nezávisí příliš na teplotě vody ani na jejím chemismu. Nevýhodou je fakt, že dezinfekce probíhá pouze v místě ozařování, a tak může docházet k mutagenní aktivitě (Šopíková, 2012).

V dnešní době se využívá též slunečního záření za účelem úpravy kontaminované vody na vodu pitnou. Projekt, který tento princip dezinfekce používá, se nazývá SODIS. Jedná se o jednoduchý proces desinfekce, vedlejší produkty dezinfekce nevznikají, na chemismu vody tento způsob závislý není. Nevýhoda je, že pouze menší množství vody touto metodou může být desinfikováno, metoda závisí na klimatu a aktuálním stavu počasí, tudíž nemůže být aplikována neustále (Meierhofer & Wegelin, 2008).

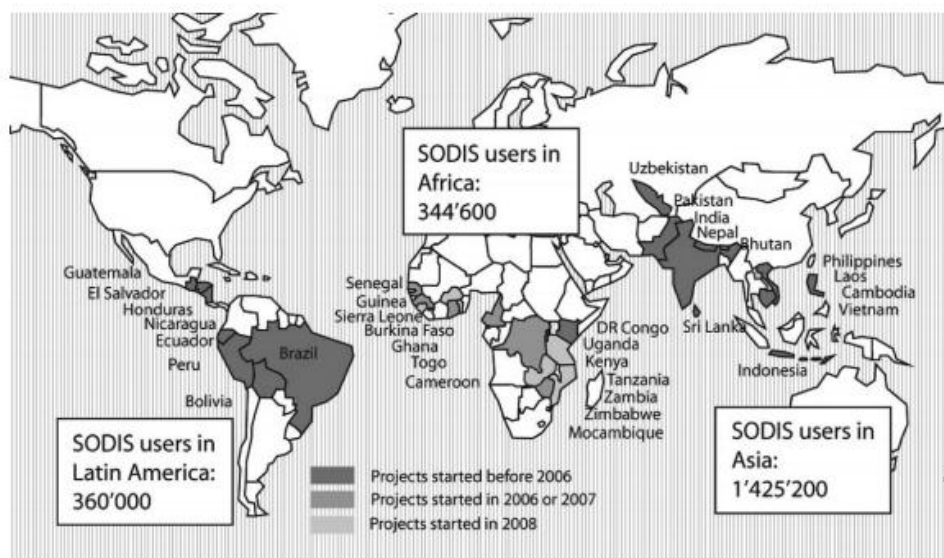
Další možnou metodou jsou membránové procesy. Nepoužívají se žádné chemikálie, tudíž nedochází ke vzniku odpadů. Jedná se o energeticky nenáročnou metodu. Dochází k odstranění téměř všech patogenních organismů. Prvotní investiční náklady jsou však vyšší, během dezinfekce je potřeba detailně sledovat membrány, jelikož i malé poškození velice snižuje nepropustnost patogenů. Membrány mají též nižší životnost. Je potřeba

složitěji upravit vodu před samotným membránovým procesem. Též děje, ke kterým dochází na povrchu membrán, snižují účinnost metody (Šopíková, 2012).

3. SODIS – Solar water DISinfection

Úprava vody pomocí slunečního záření je metoda známá po více než 30 let, využívaná v tropickém a subtropickém zeměpisném pásmu. Program SODIS je založen na umístění průhledných plastových či skleněných lahví naplněných kontaminovanou vodou na sluncem osvětlené místo. Doba osvětlení se pohybuje od 6 do 48 hodin v závislosti na slunečním svitu a citlivosti patogenů. Germicidní efekt slunečního záření je založen na kombinaci tepla, vzniklého slunečním svitem a UV záření. Mnoho výzkumů prokázalo účinnost metody v eliminaci mikrobiálních patogenů způsobujících střevní onemocnění včetně cholery (Acra et al, 1984; Berney et al, 2006; Girard et al, 2012; McGuigan et al., 2012; Meierhofer & Landolt, 2009).

Metoda SODIS je jednoduchá a finančně nenáročná. SODIS se šíří závratnou rychlostí. Na obrázku 1 je znázorněn počet uživatelů metody SODIS v roce 2008, který tehdy činil 2 000 000 lidí ve 33 zemích (Meierhofer & Landolt, 2009). V roce 2012 již počet uživatelů činil více než 5 000 000 (McGuigan et al., 2012).



Obrázek 1: Počet uživatelů SODIS v roce 2008

Zdroj: Ray & Jain (2014)

Až doposud je projekt SODIS uskutečňován pouze v tropických a subtropických zemích. Jeho hlavním cílem je snížení velkých zdravotních problémů v rozvíjejících se zemích, které způsobuje zdravotně závadná voda. Existuje již mnoho metod, jak získat

vodu vhodnou pro konzumaci. Právě metoda SODIS je pro rozvíjející se země velice výhodná, vzhledem ke své nenáročnosti, finanční dostupnosti a zdraví ovlivňujícím účinkům. Zdravotnické organizace v rozvíjejících se zemích kupříkladu často doporučují převaření vody. Avšak právě převaření vody zvyšuje riziko onemocnění dýchací soustavy, protože dochází k vystavení lidí kouři. V těchto zemích je dřevo často vzácný zdroj energie. Bylo zjištěno, že u chudého obyvatelstva převaření vody pro vytvoření zdravotně nezávadné vody vede k zvýšení celkového rozpočtu domácnosti o 11% (studie byla provedena v Bangladéši) (Schmid et al., 2008).

3.1 Historie SODIS

První zpráva o ničujícím efektu slunečního záření na bakterie byla zveřejněna v roce 1886 Downesem, o sto let později se objevil návrh využívat sluneční záření k dezinfekci vodních zdrojů (Acra, 1984). Tato myšlenka byla uvedena v brožuře UNICEF v roce 1984. Ničující efekt slunečního záření na bakterie a vyšší organismy byl následně dokázán. Výzkumný tým EAWAG/SANDEC začal s komplexními laboratorními pokusy v roce 1991. Cílem výzkumu bylo zhodnocení potenciálu této metody pro inaktivaci virů a bakterií. Laboratorní výzkumy odhalili efektivní spolupůsobení užití UVA záření a vzrůstající teploty vody za účelem inaktivace mikroorganismů. Poté byla metoda testována v terénu pro posouzení, zdali může být pro cílovou populaci dostupná a přijatelná, což se potvrdilo. Následně EAWAG/SANDEC začala šířit informace o programu SODIS, a to převážně v lokalitách, kde pitná voda není dostupná. Od roku 1999 byl program SODIS zahájen v několika zemích Latinské Ameriky, Indonésii, Srí Lance, Indii, Nepálu, Uzbekistánu, Pákistánu, Keni, Severní Africe, Angole atd. EAWAG/SANDEC podporuje místní partnery v rozvíjení informačních materiálů a propagací strategie SODIS (Meierhofer & Wegelin, 2002). V roce 2012 více než 5 000 000 lidí užívalo SODIS pro dezinfekci vody na vodu pitnou (McGuigan et al., 2012).

3.2 Mechanismus úpravy vody pomocí slunečního záření

Podstatou úspěšné dezinfekce vody pomocí slunečního záření je působení dvou faktorů – UV záření a teploty. Lidské patogeny nejsou schopny odolávat vysokým teplotám a působení UV záření. Tyto lidské patogeny způsobují kontaminaci vody, nebezpečnou pro lidské zdraví.

Lidské patogeny jsou přizpůsobeny k životu v lidských střevech, kde je tmavé, vlhké prostředí a teplotní rozmezí mezi 36°C a 37°C. Jakmile jsou patogeny vyloučeny do přírodního prostředí, stávají se velice citlivými vzhledem k drsnému přírodnímu prostředí, mimo lidské tělo umírají. Nejsou schopny odolávat vysokým teplotám a nemají žádný obranný mechanismus proti UV záření. Z tohoto důvodu může být využito právě teploty a UV záření pro inaktivaci patogenů. Výzkum dokazuje, že patogenní bakterie a viry jsou metodou SODIS zničeny. Tabulka 4 obsahuje výčet mikroorganismů, u nichž byla prokázána inaktivace působením slunečního záření (Meierhofer & Wegelin, 2002).

Tabulka 4: Mikroorganismy, prokázané zničitelné slunečním zářením

Bakterie	<i>Escherichiacoli (E.coli), Vibrio cholerae, Streptococcus faecalis, Pseudomonas aeruginosa, Shigella flexneri, Salmonella enteritidis, Salmonella paratyphi</i>
Viry	<i>Bacteriophageφ2, Rotavirus, Encephalomyocarditis virus</i>
Kvasinky a plísňe	<i>Aspergillus niger, Aspergillus flavus, Candida, Geotrichum</i>
Prvoci	<i>Giardiaspp., Cryptosporidium spp.</i>

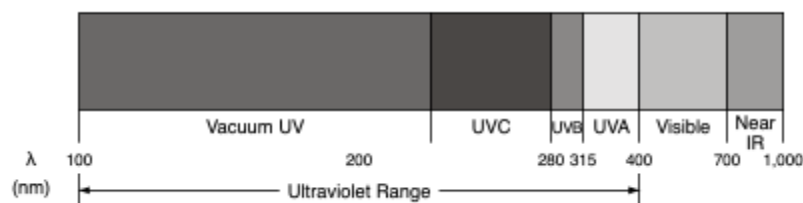
Zdroj: Meierhofer & Wegelin (2002)

Je důležité si uvědomit, že metoda SODIS neprodukuje sterilní vodu. Jiné organismy, než lidské patogeny, jako například *Algae*, jsou dobře přizpůsobeny přírodním podmínkám v lahvi využitě pro metodu SODIS a mohou v ní dále růst. Tyto organismy však nepředstavují nebezpečí pro lidské zdraví (Meierhofer & Wegelin, 2002).

3.21 Efekt slunečního záření

Rozdělení slunečního záření

Obvyklé spektrum slunečního záření je v rozmezí 100-1000 nm. Členění tohoto spektra je uvedeno na obrázku 2.



Obrázek 2: Oblasti slunečního spektra

Zdroj: Bolton & Cotton (2008)

Světelné fotony s vlnovou délkou větší než 1000 nm mají fotonovou energii příliš malou pro poškození buněk. Malá reakce nastává při působení fotonů s vlnovou délkou 700 – 1000 nm (infračervené záření). Viditelné záření (400 – 700 nm) je aktivní ve fotosyntéze zelených rostlin a řas (Bolton & Cotton, 2008).

Pro účely této práce je nejdůležitější UV záření, jehož rozsah je od 100 do 400 nm. Je rozděleno do 4 oblastí – vakuum UV (100 – 200 nm), UVC (200 – 280 nm), UVB (280 – 315 nm), UVA (315 – 400 nm), viz obrázek 2.

Každá část ultrafialového záření má různé vlastnosti. Jednotlivé vlastnosti těchto podoblastí je možné popsat pomocí toho, jak citlivě na ně reaguje lidská kůže.

UVA záření zapříčiňuje změny na lidské kůži, které vedou k opálení. UVB záření může vyvolat spálení a případně i rakovinu kůže. Největší nebezpečí pro lidské zdraví představuje UVC záření. Je absorbováno RNA, DNA a proteiny a může vést k buněčné mutaci, buněčné smrti či rakovině. Pokud jsou lidské oči tomuto záření vystaveny po delší dobu, může toto záření způsobit vznik šedého zákalu. Co se týče vakua UV, je absorbováno téměř všemi látkami, včetně tekuté vody a kyslíku ve vzduchu, jeho úspěšný přenos je realizovatelný pouze ve vakuu (Bolton & Cotton, 2008).

Další možné popsání oblastí UV záření je dle množství, ve kterém dopadají na zemský povrch. Vlnové délky kratší než 280 nm (vakuum UV a UVC) obsahují nejvíce energie, jsou však zablokovány stratosférou. UVB záření proniká ozónovou vrstvou a tvoří přibližně 5-10 % celkového slunečního záření, dopadajícího na zemský povrch. 90 % záření, které dopadá na zemský povrch, je UVA (Girard et al., 2011).

Pro možnost úpravy vody pomocí slunečního záření je tedy nejpodstatnější UVA a UVB záření, protože pouze tyto oblasti UV záření dopadají na zemský povrch.

Mechanismus slunečního záření

V čem tedy spočívá mechanismus poškození buněk pomocí UVA a UVB záření? UVB záření je absorbováno nukleovými kyselinami a má schopnost přímo způsobovat genotoxické poškození DNA. Dopad UVA záření má jiný efekt. Ačkoli UVA záření nebylo do devadesátých let věnováno příliš pozornosti, je v dnešní době toto záření považováno za ničivé činidlo pro DNA, proteiny, lipidy a kůži (Girard et al, 2011). UVA záření přímo působí na DNA, nukleové kyseliny a enzymy v živých buňkách, mění molekulární strukturu a vede ke zničení buňky. UVA záření také přímo reaguje s kyslíkem, rozpuštěným ve vodě. Vytváří vysoce reaktivní formy kyslíku (Meierhofer & Wegelin, 2002; Ikehata & Ono, 2011). Tyto reaktivní molekuly také narušují buněčné struktury a zabíjí patogeny, míra efektivnosti narušení je závislá na množství kyslíku, přítomném ve vodě (Girard et al, 2011).

Pro úspěšnou dezinfekci pomocí slunečního záření je zapotřebí minimální hodnoty dopadajícího záření o velikosti 555 W/m^2 po dobu šesti hodin (požadované sluneční záření má vlnové délky v rozmezí 350-450 nm) (Acra et al, 1984; Wegelin et al, 1994). Novější studie od Berneyho et al (2006) uvádí, že pro částečné zničení mikroorganismů stačí množství záření o minimální velikosti 530 W/m^2 po dobu šesti hodin, kdy jsou buňky zničeny.

3.22 Efekt teploty

Další částí slunečního záření je dlouhovlnné záření, nazývané infračervené (nad 700 nm). Toto záření není lidským okem viditelné, jeho působením vzniká teplo. Infračervené záření, absorbované vodou, je zodpovědné za zvyšování teploty vody. Tabulka 5 popisuje teplotu a dobu vystavení, kterých je nutné dosáhnout pro odstranění mikroorganismů. Působení dostatečné teploty po určitý čas má za následek zničení nebezpečných bakterií (Meierhofer & Wegelin, 2002).

Dle předešlých informací by tedy samostatné působení UV záření či teploty nebylo dostatečně účinné. Jen některé typy bakterií by byly zničeny, avšak nedošlo by ke zničení všech bakterií, škodlivých pro lidské zdraví. Pro úspěšné zničení nežádoucích buněk je potřeba dosáhnout teploty vody kolem 50°C (Berney et al, 2006).

Tabulka 5: Termorezistence vybraných mikroorganismů

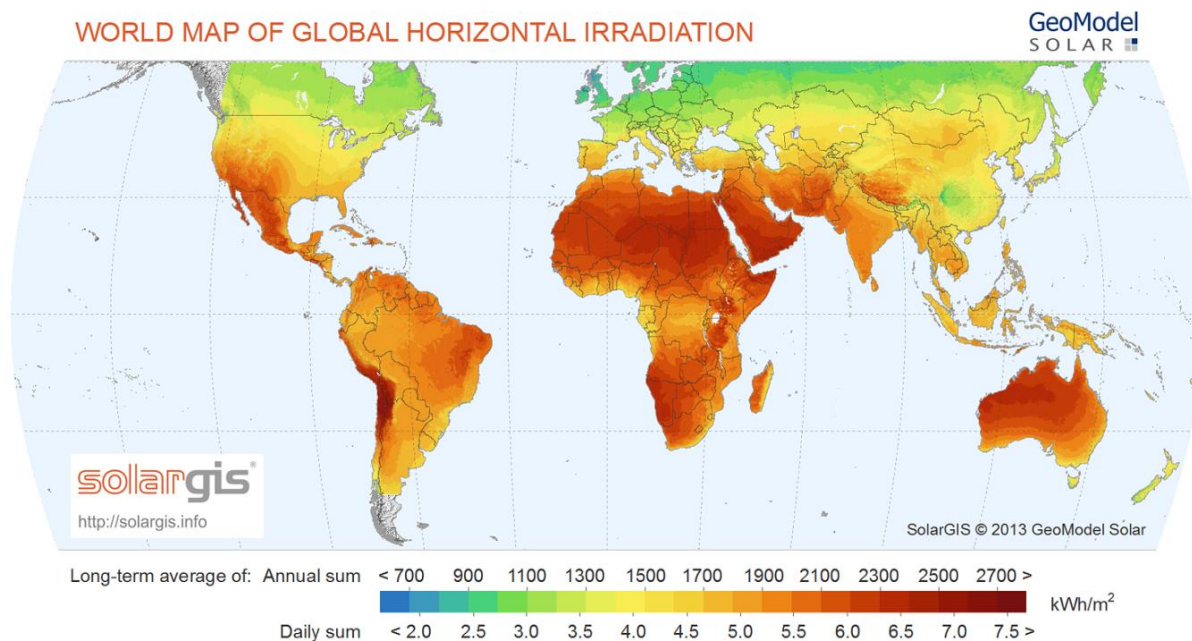
Mikroorganismy	Teplota potřebná pro 100% destrukci		
	1 min	6 min	60 min
Fekální koliformní bakterie	V 80°C kompletní destrukce		
Enteroviry			62 °C
Rotaviry			63 °C po 30 min
<i>Salmonella</i>		62 °C	58 °C
<i>Shigella</i>		61 °C	54 °C
<i>Vibrio Cholera</i>			45 °C
<i>Entamoeba Histolytica cysts</i>	57 °C	54 °C	50 °C
<i>Giardia Cysts</i>	57 °C	54 °C	50 °C

Zdroj: Sommer et al. (1997)

3.3 Faktory ovlivňující efekt SODIS

3.31 Počasí a klima

Účinnost metody SODIS je závislá na množství slunečního světla, které je k dispozici. Sluneční záření je nerovnoměrně rozložené (obrázek 3), je závislé na zeměpisné šířce, času během dne a aktuálním stavem počasí (McGuigan et al, 2012).



Obrázek 3: Rozložení dopadu slunečního záření na zemi

Zdroj: Solargis (2013)

Nejpříznivější oblasti pro metodu SODIS jsou umístěny mezi 15° a 35° severní a jižní zeměpisné šířky, pro tyto semiaridní oblasti je charakteristický velký dopad slunečního záření. Většina rozvojových zemí se nachází mezi 35° severní a 35° jižní zeměpisné šířky, proto se domácnosti v těchto zemích mohou spolehnout na získávání pitné vody metodou SODIS (Meierhofer & Wegelin, 2002).

Nejen klima, ale i aktuální stav počasí ovlivňuje účinky metody SODIS. Množství energie, dopadající na zemský povrch v závislosti na množství oblačnosti, zkoumal ve svém výzkumu Sommer et al (1997). Tabulka 6 obsahuje relativní sluneční energii zaznamenanou v testech A-E. Výsledná procenta potvrzují vliv oblačnosti na teplotu a sluneční záření, dopadající na zemský povrch. Dokládají, že bylo přibližně třikrát více energie v den s čistým nebem (test A) než v den s celkově zataženou oblohou (test E).

Tabulka 6: Porovnání solární energie v závislosti na dnech s rozdílnou oblačností

Test	Integrované UV-A záření po 180 min (%)	Integrované viditelné záření po 120 min (%)
A, čisté nebe	100	100
B, nepatrná oblačnost	100	100
C, 50% oblačnosti	64	70
D, velká oblačnost	53	68
E, celková oblačnost	37	33

Zdroj: Sommer et al. (1997)

Příručka pro aplikaci SODIS (Meierhofer & Wegelin, 2002) uvádí následující informace pro použití metody v závislosti na oblačnosti a teplotě:

- V případě, že je maximální oblačnost do 50%, je vhodné vystavit lahve na slunci po dobu 6 hodin.
- Pokud je oblačnost vyšší než 50%, je třeba láhev vystavit na slunci po dobu dvou po sobě jdoucích dnů.
- Pokud je teplota vody vyšší než 50°C, je účinná jedna hodina vystavení.
- Ve dnech nepřetržitých dešťů není metoda plně funkční. Doporučuje se tedy převaření vody a sběr dešťové vody.

Pro účinek metody SODIS vyplývá, že je důležité odhadnout aktuální množství oblačnosti. Se vzrůstající oblačností se lineárně zvyšuje doba vystavení lahví.

3.32 Zákaly vody

Nerozpustné částice ve vodě brání pronikání slunečního záření do vody a chrání mikroorganismy proti ozáření. Je nutné dezinfikovat relativně čistou vodu, která má množství zákalu menší než 30 NTU (Nefelometrická jednotka zákalu). Pokud je množství zákalu vyšší, je potřeba vodu předčistit před vystavením slunečnímu záření (sedimentace, filtrace) (Meierhofer & Wegelin, 2002).

Další možnost zjištění míry kalnosti vody je prostřednictvím loga na obrázku 4. Pokud se postaví láhev s kontaminovanou vodou na logo a skrz hrdlo lahve lze přečíst písmena pod ní, není voda kontaminovaná nad rámec funkčnosti metody SODIS.



Obrázek 4: Test zákalu od SODIS

Zdroj: Meierhofer & Wegelin (2002)

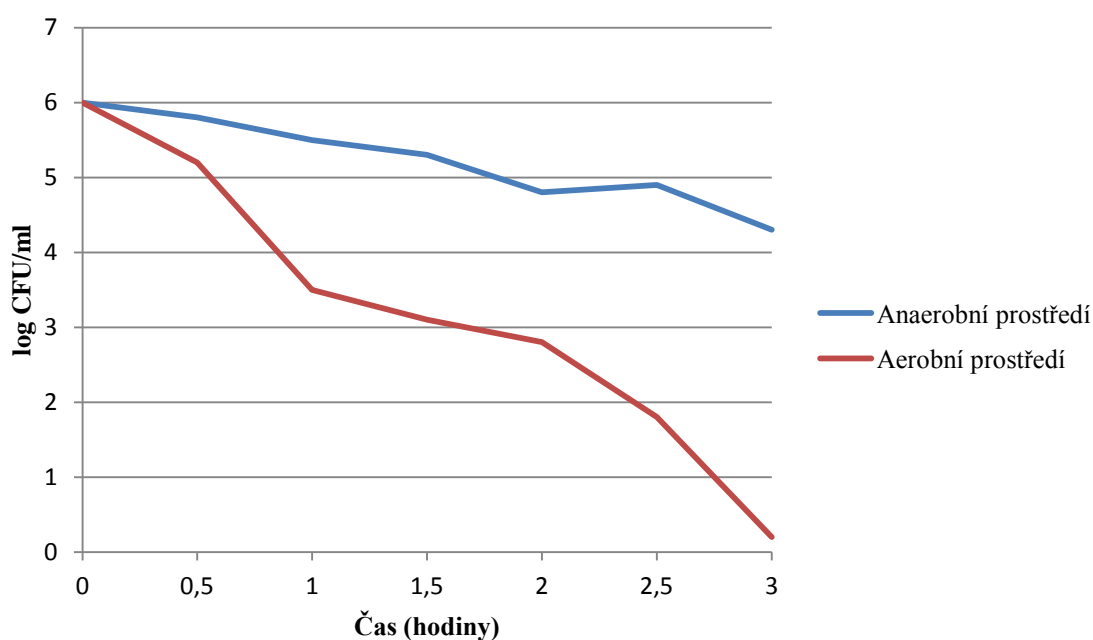
Existují způsoby, sloužící pro snížení zákalu vody, kupříkladu pomocí přidání NaCl do kontaminované vody (Dawney et al., 2014).

3.33 Kyslík

Jak bylo řečeno v kapitole Mechanismus slunečního záření, sluneční světlo vytváří ve vodě vysoce reaktivní formy kyslíku, které reagují s buněčnými strukturami a zabíjí

patogeny (Meierhofer & Wegelin, 2002; Ikehata & Ono, 2011). Čím více kyslíku voda obsahuje, tím se zvyšuje zničující účinek záření na mikroorganismy.

Množství vzduchu v láhvi lze zvýšit tímto způsobem. Láhev, naplněná ze $\frac{3}{4}$ kontaminovanou vodou, je vystavena třepání po dobu 20 sekund. Následně se doplní zbylá $\frac{1}{4}$ láhve kontaminovanou vodou. Množství kyslíku ve vodě je zvýšeno a láhev je připravena k vystavení. Tento proces lze využít pouze před prvním vystavením slunci (Meierhofer & Wegelin, 2002).



Graf 1: Inaktivace E. coli při aerobních a anaerobních procesech

Zdroj: Meierhofer & Wegelin (2002)

Zefektivnění úbytku mikroorganismů vody pomocí slunečního záření za přítomnosti vyššího množství kyslíku demonstruje graf 1, kde je k vidění snižování množství E. coli pomocí aerobních a anaerobních procesů. Graf vznikl v důsledku výzkumu Meierhofera a Wegelina (2002), kteří se zabývali efektivností SODIS vzhledem k množství kyslíku ve vodě.

3.34 Materiál lahví

Pro SODIS metodu se používají průsvitné plastické materiály, jelikož jsou vhodné přenašeče UVA záření a viditelné škály slunečního spektra. Více než PVC je vhodný PET

materiál, protože obsahuje méně přísad než lahve vyrobené z PVC (Meierhofer & Wegelin, 2002).

Přenos UV záření skrz sklo je determinován obsahem oxidu železa ve skle. Kupříkladu běžné okenní sklo o 2 mm tloušťky není vhodné, nepropouští téměř žádné UVA záření. Některá specifická skla (Vycor, Corex, Pyrex, Quartz) jsou však propustná.

Tabulka 7 popisuje výhody i nevýhody PET lahví a skleněných lahví pro užití v metodě SODIS (Meierhofer & Wegelin, 2002).

Tabulka 7: Porovnání výhod a nevýhod PET lahví a skleněných lahví

Materiál lahve	Výhody	Nevýhody
PET lahve	Malá hmotnost Relativně neznečiitelný Průhledný Chuťově neutrální Chemicky stabilní	Omezená tepelná odolnost (deformace nad 65°C) Šrámy a další defekty, spojené s užíváním lahve
Skleněné lahve	Žádné šrámy Žádné fotoprodukty Odolnost vůči teple	Snadno zničitelné Vyšší cena Větší hmotnost

Zdroj: Meierhofer & Wegelin (2002)

Porovnáním těchto dvou typů lahví vychází jako vhodnější typ PET lahev, což se v praxi odráží na jejich častějším využití. V rozvojových zemích je tento typ lahví dostupnější.

Existuje více studií, zbývajících se porovnáním různých materiálů lahví (Lawrie et al., 2014, Fisher et al, 2012).

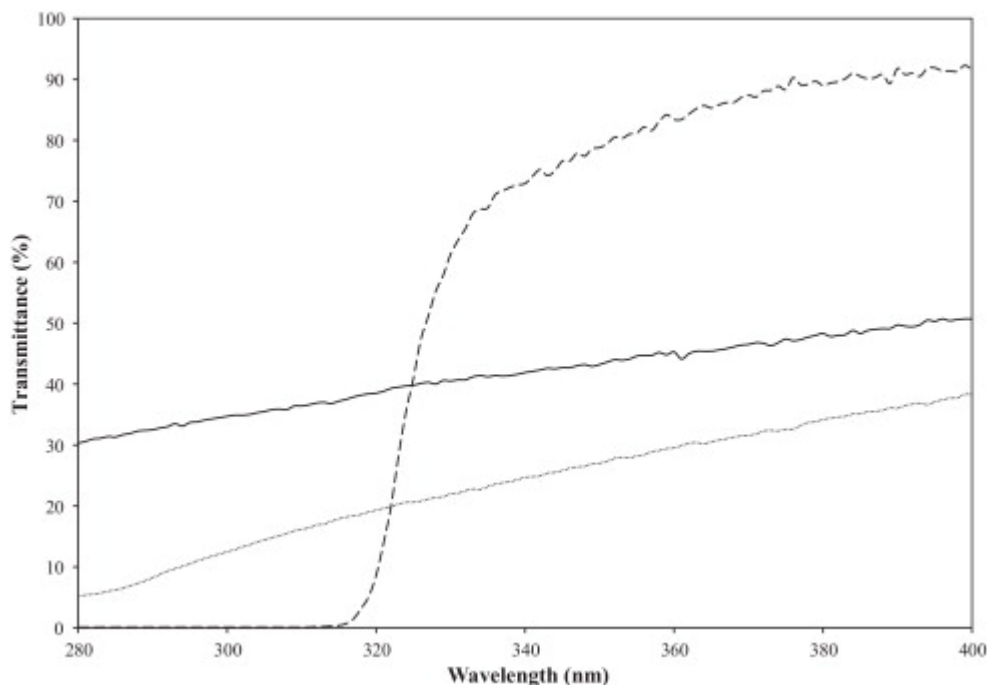
Fisher et al (2012) porovnává dva typy materiálů lahví pro SODIS – PET a PPCO. Vzhledem k tomu, že materiál PPCO je méně přístupný, je pro praktičtější účely vhodný výzkum, popsáný v následujících řádcích. Lawrie et al (2014), porovnává několik typů materiálů – jejich propustnost UV záření. SODIS se tradičně provádí pomocí PET lahví, avšak tento materiál je velmi křehký a nepropouští UVB záření. Po určitém čase používání získává mléčnou barvu v důsledku poškrábání. Plastové sáčky jsou více vhodné, než láhve.

Umožňují totiž propouštění kratších vlnových délek slunečního záření a mají větší plochu povrchu pro absorpci záření. Jsou vyrobeny z jiných polymerů, jako PE/EVA nebo PE, které jsou měkčí a pružnější. Více propouští UVB záření, než PET lahve (Lawrie et al., 2014).

PE sáček byl vyroben speciálně pro aplikaci dezinfekce pomocí slunečního záření, s jednoduchým plněním skrz široký průchod do sáčku. Jeho maximální kapacita byla 6 l, tloušťka stěny 0,23 mm a hloubka vody 5 cm (Lawrie et al., 2014).

PE/EVA sáček byl vyroben ze dvou vrstev - PE materiálu a modře zbarvené vrstvy z etylvinyl acetátu (EVA). EVA materiál zlepšuje flexibilitu a odolnost sáčku proti poškrábání. Maximální kapacita sáčku byla 4 l, s tloušťkou stěny 0,37 mm a hloubkou vody 9 cm (Lawrie et al., 2014).

PET láhve jsou typické materiály používané pro metodu SODIS, láhve využitě v tomto výzkumu měly obsah 2 l, tloušťku stěny lahve 0,24 mm, a hloubku vody 8 cm (Lawrie et al., 2014)



Graf 2: Procentuální množství propuštěného slunečního záření u různých typů materiálů

Zdroj: Lawrie et al. (2014)

Legenda grafu:

sáček(-), PE/EVA sáček (·····), PET láhev (- -)

Podle grafu 2 je tedy zřejmé, že PET lahev začíná propouštět vlnové délky od cca 317 nm, načež se její propustnost při vyšších vlnových délkách prudce zvyšuje oproti PE sáčku či PE/EVA sáčku. Průzkum tedy dokazuje, že PE a PE/EVA sáčky propouští oproti PET lahvim i kratší vlnové délky slunečního záření, při vyšších vlnových délkách však propouští mnohem méně záření než PET lahve. Při výběru materiálu mezi PE a PE/EVA je výhodnější použít PE materiál, jelikož u kratších i delších vlnových délek dosahuje vyšších hodnot než PE/EVA materiál.

3.35 Tvar lahví

Pokud je hloubka vody od plochy, na kterou dopadá sluneční záření, větší než 10 cm, efektivnost je snížena na 50%. Proto hloubka nádob pro SODIS metodu by neměla přesáhnout 10 cm hloubky (Meierhofer & Wegelin, 2002).

3.36 Doba používání lahví

Následkem užívání lahví na nich vznikají povrchové škody, které vedou ke snížení propustnosti UV záření, což má za následek menší efektivitu inaktivace mikroorganismů. Příliš poškozené láhve musí být vyměněny za láhve nové (Meierhofer & Wegelin, 2002).

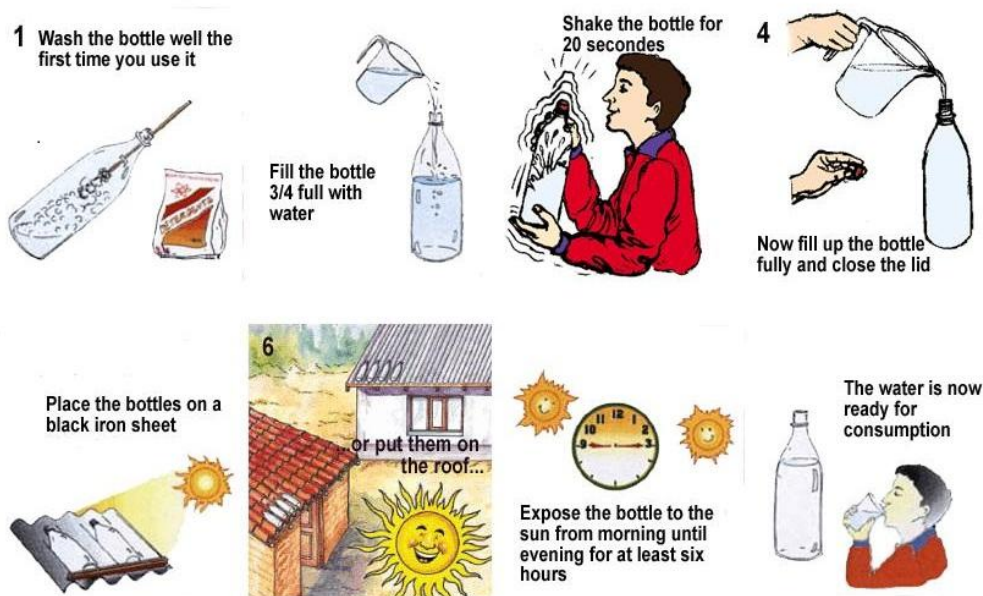
3.37 Fotoprodukty

Sluneční záření ničí nejen mikroorganismy, ale také transformuje plastový materiál na fotoprodukty. Plastové lahve totiž obsahují UV stabilizátory, které zvyšují stabilitu lahví a také chrání materiál před oxidací a UV zářením. Působení UV záření vede k fotochemické reakci, což má za následek optické změny materiálu. Existují obavy, týkající se zdravotní způsobilosti vody dezinfikované pomocí metody SODIS. Jsou založeny na myšlence, že by mohly toxické látky, obsažené v PET lahvích, putovat z lahve do vody. V několika studiích byl zkoumán vliv doby skladování dekontaminované vody a vliv životního prostředí na uvolňování chemických látek z PET lahví. V testech, kde byly PET lahve vystaveny slunečnímu záření, kupříkladu Wegelin a kolektiv (2001) zjistili, že PET degradační produkty se tvoří primárně na vnější straně lahve. Hodnocení vzorků vody uložených v lahvích odhalilo vyšší množství formaldehydu a acetaldehydu po dlouhé době skladování, avšak hodnoty těchto látek byly pro vzorky nevystavené slunečnímu záření a vystavené slunečnímu záření stejné. Podobných výzkumů bylo provedeno mnoho. Žádný

však neprokázal transport škodlivých látek za běžných podmínek, který by byl způsoben vystavením PET lahví na slunci (Schmid et al., 2008).

3.4 Postup při SODIS

Obrázek 5 popisuje jednotlivé kroky, podle kterých je potřeba se řídit, aby byla metoda účinná.



Obrázek 5: Jednoduchý obrázek popisující postup při SODIS

Zdroj: Meierhofer & Wegelin (2002)

Nejprve je potřeba láhev umýt. Následně se nádoba naplní ze $\frac{3}{4}$ kontaminovanou vodou, poté po zašroubování láhve se s lahví třepe po dobu 20 sekund pro zvýšení množství kyslíku ve vodě. Po tomto kroku se doplní zbylá $\frac{1}{4}$ kontaminované vody a uzavřená láhev se umístí na vhodnou podložku (je možné láhev umístit i na střechu). Po dobu šesti hodin se láhev vystavuje slunečnímu záření. Po ozáření je voda připravena ke konzumaci.

3.5 Výhody SODIS

- SODIS zlepšuje mikrobiologickou kvalitu pitné vody. Přímým působením sluneční energie, tedy UV záření a teploty, dochází k odstranění nežádoucích mikroorganismů, způsobujících zdravotní komplikace.

- Metoda zvedá úroveň zdraví obyvatel. Zdravotní dopady konzumace vody dezinfikované pomocí SODIS byly nejdříve zkoumány v Keni v roce 1990. Studie provedená u dětí ve věku od 5 let popisovala snížení průjmových onemocnění o 16-24% a snížení onemocnění cholerou o 86 % během epidemie. Mezi lety 2000-2003 provedl švýcarský Tropický institut ve spolupráci s EAWAG epidemiologickou studii v Bolívii, zabývající se zdravotním dopadem metody na děti mladší 5 let. Bylo vyzkoumáno, že u takto starých dětí metoda snižuje výskyt průjmu o 35%. Další studie byla provedena na 100 dětech v městském slumu v Tamil Nadu, kdy se riziko vzniku průjmových onemocnění snížilo o 40%. Další studie hodnotící vlivu metody SODIS na zdraví byly provedeny ve dvou městech – Rajoa a Chinot v Pákistánu v roce 2004. Výskyt průjmových onemocnění byl v Rajoe snížen z 26% na 13% a v Chiniotu z 39% na 19%. Mezi lety 2003-2006 probíhaly další výzkumy v Uzbekistánu, kde se snížil počet průjmových onemocnění u dětí do pěti let o 53-57%. Taktéž v projektech prováděných v Nepálu a Indii četnost průjmových onemocnění klesla zhruba o 50% (Meierhofer & Landolt, 2008).
- Metoda je jednoduchá pro pochopení. Pro čištění vody pomocí slunečního záření postačí uživateli pouze vhodná PET lahev, celý postup pro úspěšnou dezinfekci závisí pouze na několika málo jednoduchých krocích.
- Každý si může dovolit používat tuto metodu, jelikož je zapotřebí pouze slunečního záření a plastové lahve. Ve 13 zemích docházelo k průzkumu finanční náročnosti metody SODIS. Na proškolenou osobu za rok činily náklady na realizaci (včetně vzdělávacích materiálů a nákladů na lahve) průměrně 0,75 USD. Každý další rok po zaškolení uživatelé platí ročně v průměru 0,40 USD (cena za nahrazení poškozených lahví) (Meierhofer & Landolt, 2009).
- SODIS snižuje potřebu tradičních zdrojů energie jako je dřevo či plyn. V rozvojových zemích se velice často dezinfikuje voda prostřednictvím převaření vody. K vytvoření ohně se používá často dřevo a plyn, přičemž užívání SODIS žádné klasické zdroje energie nevyžaduje.
- Při používání nekontaminované vody je zdraví rodiny více chráněné, tudíž dochází k ušetření financí, které by bylo potřeba použít pro nákup léků. Provozní náklady

na SODIS jsou mnohonásobně vyváženy ekonomickými přínosy, získanými z lepšího zdravotního stavu v důsledku snížení výskytu průjmových onemocnění. Výdaje na zdravotní péči se tedy sníží, ekonomická produktivita u dospělých jedinců stoupá a školní docházka u dětí se zvyšuje. Výzkumy v Pákistánu, Uzbekistánu, Nepálu, Východním Lomboku a Indii odhalily 50% snížení výskytu průjmových onemocnění u více než 970 000 uživatelů metody SODIS. Odhadem by bylo možné metodou SODIS zabránit 2.4 milionu případů průjmových onemocnění v rozvojových zemích. Za předpokladu, že jedna léčba průjmového onemocnění stojí zdravotní sektor 10 USD, více než 24 milionů USD bylo ušetřeno. Z celkových nákladů projektu, které činily 730 800 USD, dosáhl poměr nákladů a přínosů pro oblasti zdravotnictví 01:49. Na úrovni domácností není poměr nákladů a přínosů tak dramatický, ale i přesto je významný. Uživatelé SODIS v Nepálu a Pákistánu ušetřili v průměru 32 USD. V Kibera slumu v Nairobi, v Keni, domácnost ročně ušetřila průměrně 7 USD. Každoročně se opakující náklady domácnosti pro užití metody SODIS (potřebné PET lahve) je 2.20 USD v Nepálu, 3.20 USD v Keni (Meierhofer & Landolt, 2009).

3.6 Nevýhody SODIS

- SODIS vyžaduje dostatek slunečního záření, které je závislé na počasí a klimatických podmínkách. Množství slunečního záření, dopadající na zemský povrch, se v průběhu dne výrazně mění, a tak je potřeba čistit vodu pomocí sluneční energie ve vhodnou dobu za vhodného počasí (oblačnost vyšší než 50% efekt SODIS výrazně snižuje).
- Zákal vody, která má být dezinfikovaná pomocí slunečního záření, nemůže přesahovat určité limity. Pokud je zakalenost vody vyšší než 30 NTU, není možná úspěšná úprava kontaminované vody na vodu pitnou.
- Chemické složení vody SODIS nemění. Mění pouze množství mikroorganismů ve vodě.
- SODIS není vhodný pro velké objemy kontaminované vody. Při vyšších objemech lahví, které jsou naplněné kontaminovanou vodou, není schopné UV záření projít skrz celou šířku lahve (maximální šířka lahve 10 cm), a tak opět dochází k tomu, že neupravená voda se nestává pitnou.

5. Výsledky

Tato část bakalářské práce má za úkol porovnat klimatické podmínky mírného pásma s klimatickými podmínkami tropů, důležitých pro funkčnost SODIS. Informace o přírodních podmínkách tropů a mírného pásma nebyly nalezeny dostatečně detailní, a tak za zástupce mírného pásma byla zvolena Česká republika a za tropické pásmo Keňa. SODIS v Keni úspěšně probíhá od roku 2004 (SODIS, 2012), a právě z tohoto důvodu padl výběr tropického zástupce na Keňu. Součástí této kapitoly je též experiment, který byl proveden po vzoru SODIS v podmínkách České republiky v červenci 2014. Experiment je pouze doplňující částí práce, bakalářská práce je založena především na porovnání přírodních podmínek tropů a mírného pásma ze získaných sekundárních dat .

Výsledky nezahrnují další faktory omezující účinnost SODIS (zákal vody, kyslík přítomný v lahvích, materiál lahví a tvar lahví), a to z toho důvodu, že právě na tyto faktory mají přímý vliv jednotlivci, oproti tomu klima rozdílných zeměpisných šířek není v lidské moci uzpůsobit svým potřebám.

1. Porovnání klimatických podmínek

1.1 Porovnání zeměpisné šířky

Zeměpisná šířka úzce souvisí s teplotou a intenzitou slunečního záření. V průběhu různých období se pozice slunce vzhledem k zemi mění, a tedy se mění i úhel dopadu slunečního světla vzhledem k povrchu země. Úhel slunečních paprsků se v poledne pohybuje od 90°C (na rovníku) až po 0°C (na polárním kruhu). Z toho plyne, že Slunce ohřívá zemi v okolí rovníku mnohem silněji, než na pólech (Meteoblue, 2007).

Keňa se nachází v tropickém podnebném pásmu (0-25° s. a j. zeměpisné šířky). V těchto zeměpisných šířkách dopadají v pravé poledne během celého roku sluneční paprsky vzhledem k povrchu země téměř vertikálně, což zapříčiňuje vysoké teploty, díky kterým se odpařuje více vody, a tak má toto klima vyšší vlhkost. Výsledná častá a hustá oblačnost omezuje vliv slunečního záření na teplotu vzduchu (Meteoblue, 2007). Rozdíly v průměrné teplotě i v délce dne jsou během roku minimální. V Keni je den s nejkratším působením slunečního záření 20. červenec (sluneční svit trvá 12 hodin a 3 minuty). Den s nejdelším slunečním svitem je 21. prosinec (sluneční svit trvá 12 hodin a 11 minut) (Cedar Lake Ventures, 2013).

Česká republika se rozprostírá v mírném podnebném pásmu (40°- 60° s. a j. zeměpisné šířky). V těchto oblastech je úhel dopadu slunečních paprsků nižší oproti tropickému podnebnému pásmu, což má za následek nižší průměrné teploty. Během roku dochází ke střídání období a k významným teplotním rozdílům mezi jednotlivými obdobími. Oproti tropickému pásmu je mírné klima charakteristické pravidelnějším rozložením srážek během roku (Meteoblue, 2007). Též se během roku významně mění délka dne. Den s nejdelším slunečním svitem je pro Českou republiku 20. červenec (sluneční svit dopadá na zemský povrch 16 hodin a 25 minut). Nejkratší sluneční svit dopadá na Českou republiku 21. prosince (8 hodin a 4 minuty) (Cedar Lake Ventures, 2013).

1.2 Porovnání průměrných měsíčních teplot

Pro účinnost SODIS je podstatná vyšší teplota, avšak v žádném článku nebyla nalezena informace o minimální potřebné teplotě vzduchu, při které je kontaminovaná voda dezinfikovaná slunečním zářením. V nalezených zdrojích se uvádí teplota vody 50°C, potřebná pro dezinfekci (Wegelin et al, 1994; Berney et al, 2006). Jako vhodné měsíce jsou vybrány měsíce s nejvyššími průměrnými teplotami. Důležité je, aby se vystavená užitková voda ohřála během určitého času nad teplotu 50°C pro zničení škodlivých fekálních bakterií. Čím vyšší teploty, tím kratší čas expozitury lahve slunečnímu záření.

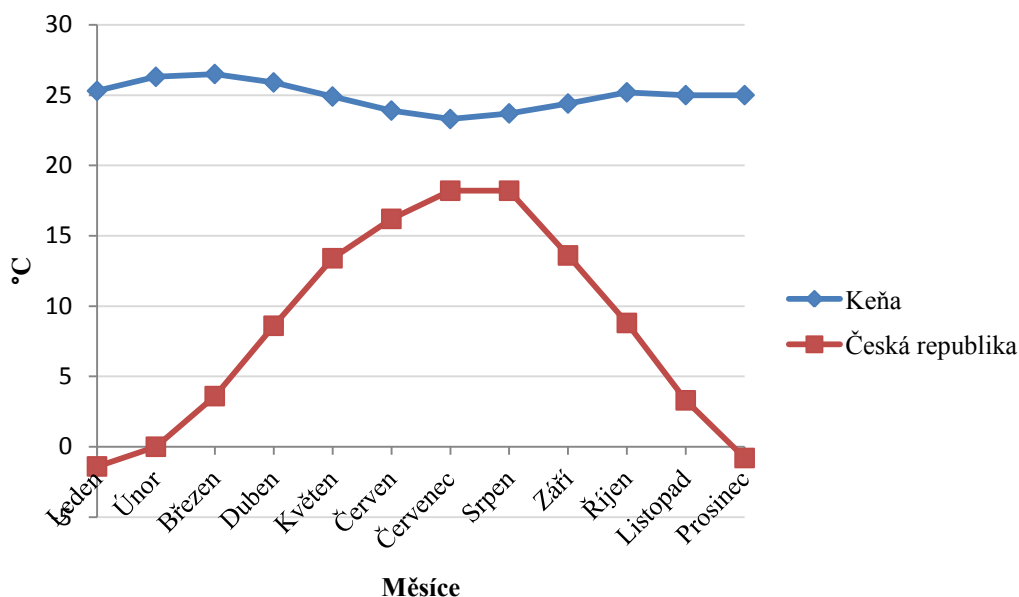
Data o průměrných měsíčních teplotách byla získána z portálu The Climate Change Knowledge Portal Beta. Jeho úkolem je shromažďovat informace o změnách klimatu po celém světě. Poskytuje on-line přístup do databáze globálních i státních dat v souvislosti se změnou klimatu a jeho vývojem. (The World Bank Group, 2015)

Pro tyto účely byla získána data zobrazující měsíční průměrné teploty z let 1990-2009 v České republice a Keni. Jednotlivé hodnoty jsou zobrazeny v grafu 3.

Dle grafu 3 je zřejmé, že hodnoty průměrných měsíčních teplot České republiky jsou výrazně odlišné od průměrů v Keni. Graf též názorně dokumentuje minimální měsíční rozdíly v teplotách v Keni v průběhu roku. Oproti tomu průměrné teploty České republiky se významně mění, jsou typické pro jednotlivá roční období mírného pásma.

Nejblíže se hodnoty přibližují v letních měsících červenec a srpen (průměrná teplota 18°C), a proto se tyto dva měsíce jeví z hlediska potřebné vyšší teploty jako nejideálnější

dobou pro možnou funkčnost SODIS v České republice. Je tedy nutné vyloučit zimní měsíce (prosinec, leden, únor) pro velice nízké teploty. V pozdních jarních dnech a brzkých podzimních dnech nejsou teploty výrazně nepříznivé, metoda by tedy mohla být funkční i v tyto dny.



Graf 3: Průměrná měsíční teplota v Keni a České republice vyjádřená ve °C

Zdroj: The World Bank Group, (2015)

1.3 Porovnání měsíčních průměrů množství dopadajícího slunečního záření

Množství slunečního záření, které dopadne na zemský povrch, je výrazně odlišné pro Českou republiku a pro Keňu. Čím vyšší množství slunečního záření, tím účinnější dezinfekce. Pro jasnou představu rozdílu těchto hodnot a především určení měsíců, kdy je dopad slunečního záření nejvyšší, vznikla tato kapitola bakalářské práce.

Pro porovnání dopadu celkového slunečního záření, které dopadne v rámci jednoho dne během jednotlivých měsíců na Českou republiku a Keňu byly použity data z projektu SoDa (SOlar radiation DAta). Jedná se o evropský projekt, jehož náplní je integrace a využití databází o slunečním záření. Projekt získává informace o infračerveném a slunečním záření pomocí sběru dat ze satelitů.

Data, popisující měsíční průměry množství celkové denní radiace v tabulce 8, bylo možno získat z let 1985 – 2005 prostřednictvím tabulek v Microsoft Excel. Pro větší

přesnost byla použita všechna dostupná data z těchto let. Pro jednotlivé měsíce jsou data aritmeticky zprůměrována.

Tabulka 8: Porovnání množství dopadajícího záření na Českou republiku a Keňu v rámci měsíčních denních průměrů

	Česká republika	Keňa
Leden	714,2857 W/m ²	6955,429 W/m ²
Únor	1250,286 W/m ²	7369,143 W/m ²
Březen	1997,714 W/m ²	7102,857 W/m ²
Duben	3457,143 W/m ²	6341,714 W/m ²
Květen	4357,714 W/m ²	5730,286 W/m ²
Červen	4206,857 W/m ²	5042,286 W/m ²
červenec	3957 W/m ²	4482,714 W/m ²
Srpen	3885,714 W/m ²	4937,143 W/m ²
Září	2529,143 W/m ²	6130,286 W/m ²
Říjen	1633,143 W/m ²	6414,857 W/m ²
Listopad	842,2857 W/m ²	6222,857 W/m ²
Prosinec	683,4286 W/m ²	6697,143 W/m ²

Zdroj: SoDa, 1985-2005

Dle tabulky 8 se intenzita slunečního záření během roku podstatně mění především v České republice. Od dubna do srpna dosahuje nejvyšších hodnot, výrazně nižší hodnoty je možné pozorovat během zimních měsíců. Oproti tomu průměrná měsíční intenzita slunečního záření se v Keni během celého roku výrazně nemění, nižších hodnot je dosaženo oproti České republice hlavně v letních měsících (červen, červenec, srpen).

Pro demonstrování významné rozdílnosti mezi měsíčními průměry v tabulce 8 mezi Českou republikou a Keňou je nejvhodnější nejvyšší hodnota sluneční intenzity pro Českou republiku, která činí 4357,714 W/m² (květen). Oproti tomu nejnižší hodnota měsíční sluneční intenzity pro Keňu je 4482,714 W/m² (červenec), čehož ani nejvyšší průměrná měsíční sluneční intenzita v České republice nedosahuje.

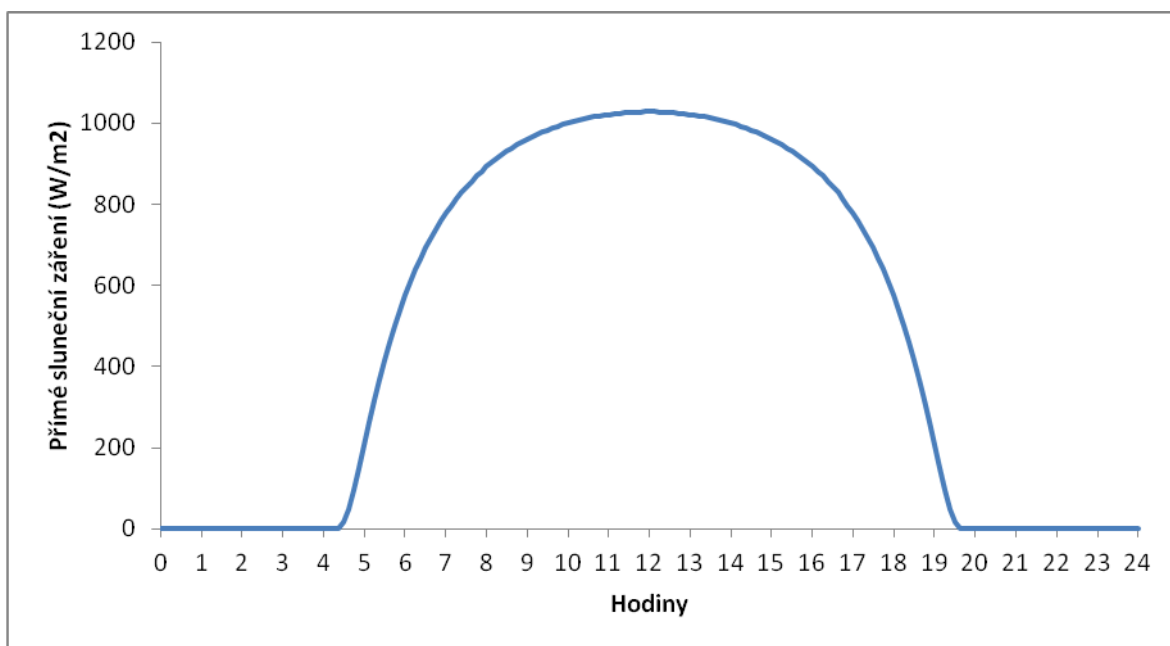
1.4 Porovnání intenzity slunečního záření v rámci jednoho dne

Nejen během měsíců v roce, ale i během dne se intenzita slunečního záření v mírném pásmu podstatně mění, je tedy důležité aplikovat SODIS v čas, který zajistí nejvyšší možný účinek slunečního záření na dezinfikovanou vodu.

Nejprve je důležité určit dobu s nejvyšším dopadem sluneční energie. I když nejdelší den v roce pro Českou republiku je v druhé třetině června, teplotně tento měsíc nedosahuje nejvyšších příček. Měsíc červenec spolu s měsícem srpnem dosahuje nejvyšších teplotních průměrů, proto jsou posuzovány v hodinových intenzitách právě tyto dva měsíce (intenzita slunečního záření v měsíci srpnu se jen nepatrně odchyluje od červencových hodnot, byla tedy zahrnuta do příloh této bakalářské práce, viz příloha 4). Je nutné poznamenat, že hodnoty grafů 5 – 8 popisují intenzitu slunečního záření během dne za ideálního stavu oblohy, tj. jasného nebe s nulovou oblačností.

Data byla čerpána z internetové stránky www.pveducation.org, kde je soustředěno mnoho dat o fotovoltaiice.

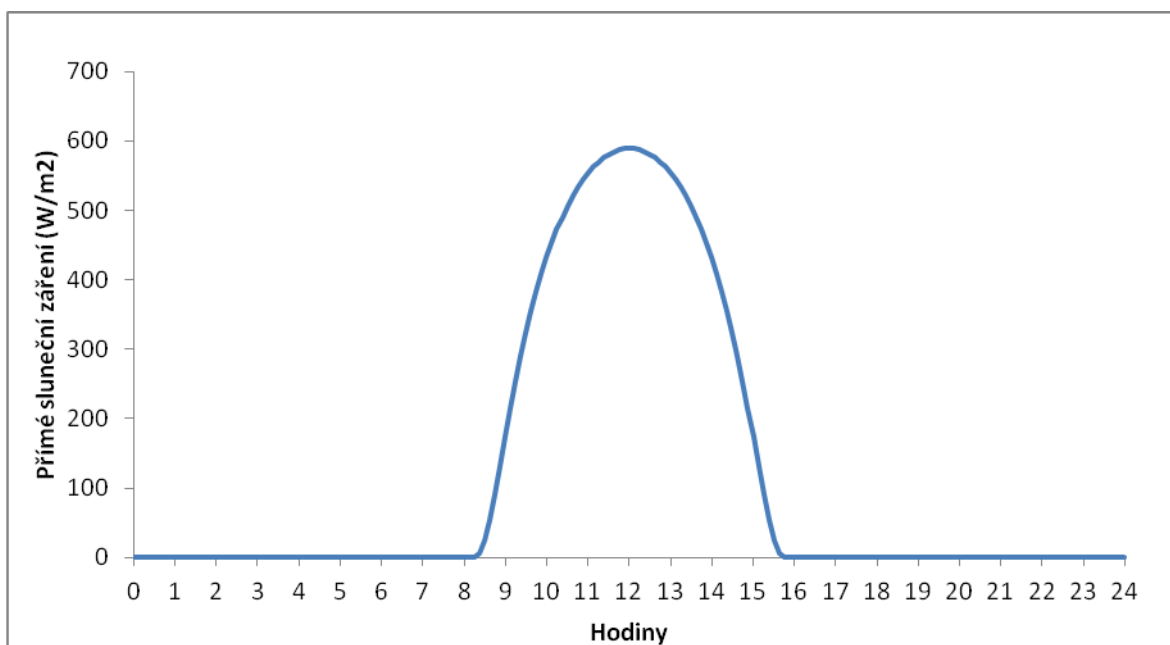
Graf 4 popisuje intenzitu slunečního záření v České republice v závislosti na hodinách v červenci. Pro demonstraci rozdílů v intenzitě dopadajícího slunečního záření během jednoho roku byl přidán graf 5, který naopak zachycuje období nejkratšího dne a nejdelší noci během roku v našich podmínkách, tedy druhou třetinu prosince.



Graf 4: Průměrná intenzita slunečního záření v červenci, Česká republika

Zdroj: Honsberg & Bowden (2015) (2015)

Pro efektivnost SODIS je důležitá minimální hranice 555 W/m^2 . Na grafu 5 je zřetelné, že této hodnoty v měsíci červenci je dosaženo průměrně kolem 6. hodiny ráno, přičemž pod tuto hranici záření klesá kolem 18. hodiny večerní.

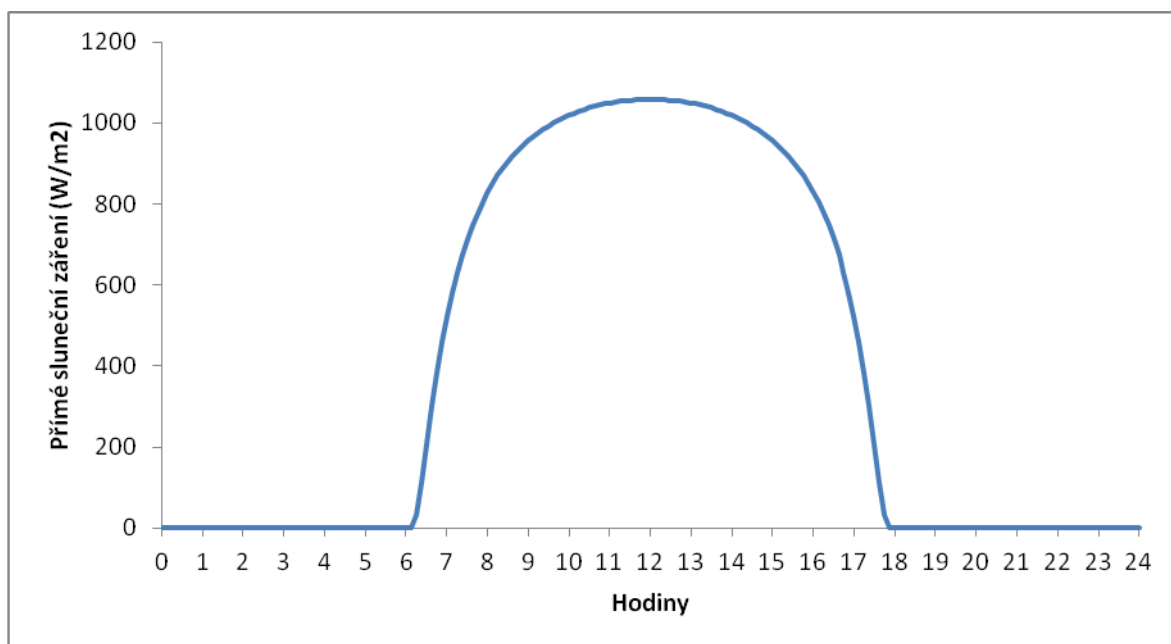


Graf 5: Průměrná intenzita slunečního záření v prosinci, Česká republika

Zdroj: Honsberg & Bowden (2015)

Na grafu 5 je naopak zřetelné výrazné snížení intenzity slunečního záření v měsíci prosinci. Intenzita slunečního záření se pohybuje z větší části pod hodnotou 555 W/m^2 , nejvyšší intenzita během dne dosahuje přibližně 590 W/m^2 . Dopadající sluneční záření dosáhne intenzity 555 W/m^2 průměrně v měsíci prosinci kolem 11. hodin ráno, přičemž po 1. hodině odpolední intenzita klesá pod tuto hodnotu. SODIS by se tedy dalo plně využít pouze po 2 hodiny, což je výrazně nedostatečná doba pro úspěšnou dezinfekci kontaminované vody pomocí slunečního záření (SODIS doporučuje minimální dobu vystavení PET lahve slunečnímu záření 6 hodin).

Intenzita slunečního záření se v Keni, vzhledem k její zeměpisné šířce, výrazně během roku nemění, proto je efektivnost SODIS zaručena po celý rok. Pro demonstraci nevelké rozdílnosti intenzity během roku bylo využito měsíce července a února. Nejvyšší intenzity slunečního záření je dosaženo právě v únoru (viz graf 6), v tento měsíc je v Keni současně nejdelší doba slunečního svitu v roce. Naopak nejnižších hodnot je dosaženo v měsíci červenci (viz graf 7), v tento měsíc je zde nekratší doba slunečního svitu v roce.

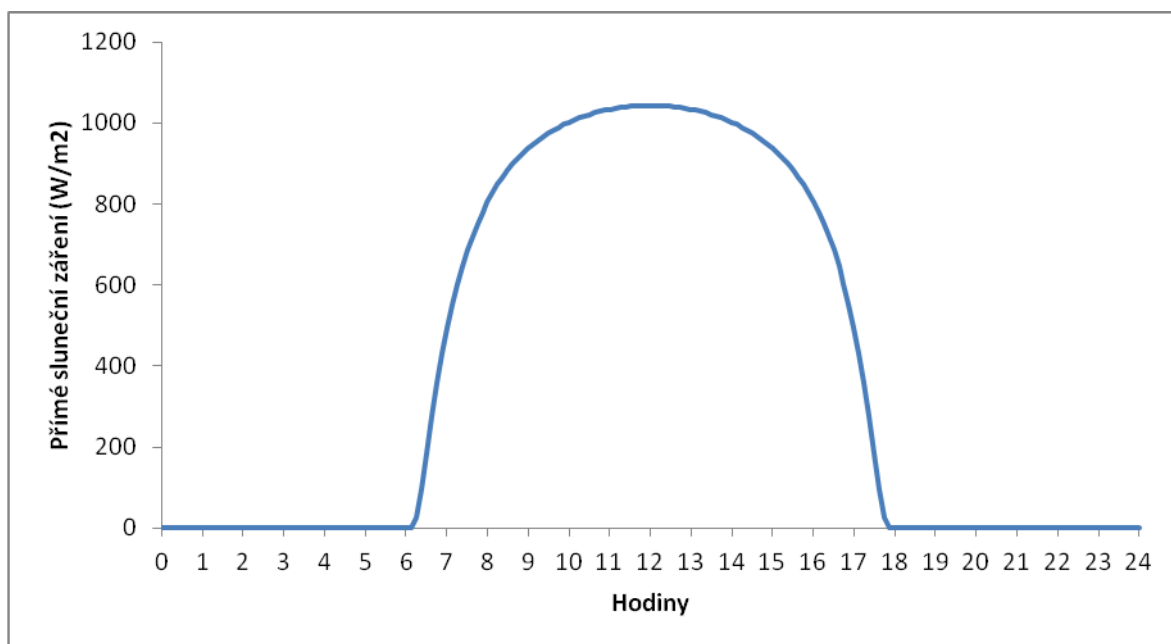


Graf 6: Průměrná intenzita slunečního záření v únoru, Keňa

Zdroj: Honsberg & Bowden (2015)

V grafu 7 je znázorněna průměrná intenzita slunečního záření v únoru v Keni. Minimální hodnoty je dosaženo již po sedmé hodině ráno, po 17. hodině intenzita opět klesá pod minimální hranici. Graf 8 vypovídá o intenzitě slunečního záření v měsíci červenci, kdy ve srovnání s grafem 7 jsou si hodnoty velice blízké, minimální sluneční

intenzity 555 W/m^2 je dosaženo před 8. hodinou, intenzita pod tuto hranici pak během dne klesá od 16. hodiny. Jednotlivé měsíce v roce jsou si tedy vzhledem k délce slunečního svitu během dne a intenzitě slunečního záření velice blízké, rozdíly jsou skoro neznatelné. Z tohoto porovnání tedy pro Keňu plyne, že během roku nejsou podstatně sníženy podmínky pro efektivnost SODIS.



Graf 7: Průměrná intenzita slunečního záření v červenci, Keňa

Zdroj: Honsberg & Bowden (2015)

1.5 Porovnání oblačnosti

Příručka SODIS uvádí, že při vyšší než 50% oblačnosti není metoda SODIS dostatečně efektivní, za takových podmínek je nutné kontaminovanou vodu vystavovat po dobu dvou dnů (Meierhofer & Wegelin, 2002). Tato část bakalářské práce porovnává průměrnou oblačnost v řádu měsíců během celého roku v České republice a Keňi.

Data pro porovnání oblačnosti byla získána z Weather Sparks Beta, což je internetová stránka o počasí. Tato stránka shromažďuje informace z databází The National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), The Norwegian Meteorological Institute a World Weather Online.

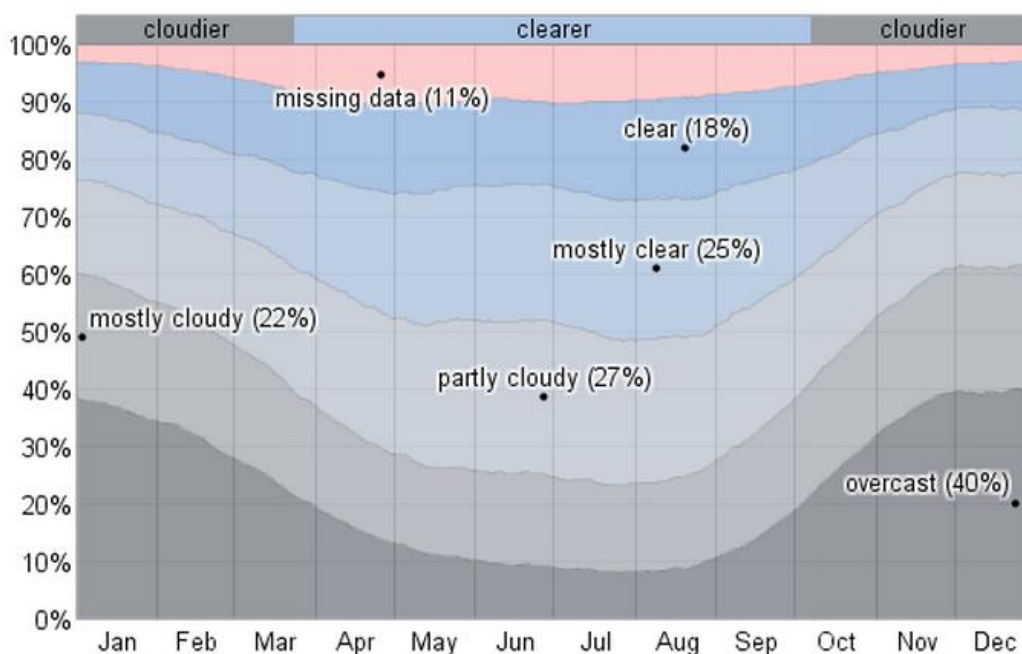
Data byla změřena pro Českou republiku v meteorologické stanici v Praze – letiště Ruzyně v letech 1974-2012. Nejjasnější den pro Českou republiku je 27. července a nejvíce oblačný den je 3. prosinec. Pro Keňu data pochází z meteorologické stanice u

Mezinárodního letiště v Nairobi. V Keni je nejjasnější den 13. ledna a nejvyšší procento oblačnosti je průměrně 14. července.

Na obrázku 6 a 7 je množství oblačnosti odstupňováno shora od sytě modré po tmavě šedivou barvu a to tedy od jasné oblohy, převážně jasné, polojasné, převážně zatažené, až po zataženou oblohu. Růžová barva znázorňuje chybějící data, tedy procento možné chyby.

Čtení obrázku je následovné (obrázek 6) - například v nejjasnější den (27. července) je nebe v České republice jasné, převážně jasné a polojasné 78% času a 22% zbylého času během dne je převážně zatažené až zatažené.

Obrázek 6 též znázorňuje období s jasnější oblohou (konec března až začátek října) po období s vyšší oblačností (začátek října až konec března). Měsíce s nejjasnější oblohou jsou dle obrázku měsíce červenec a srpen.



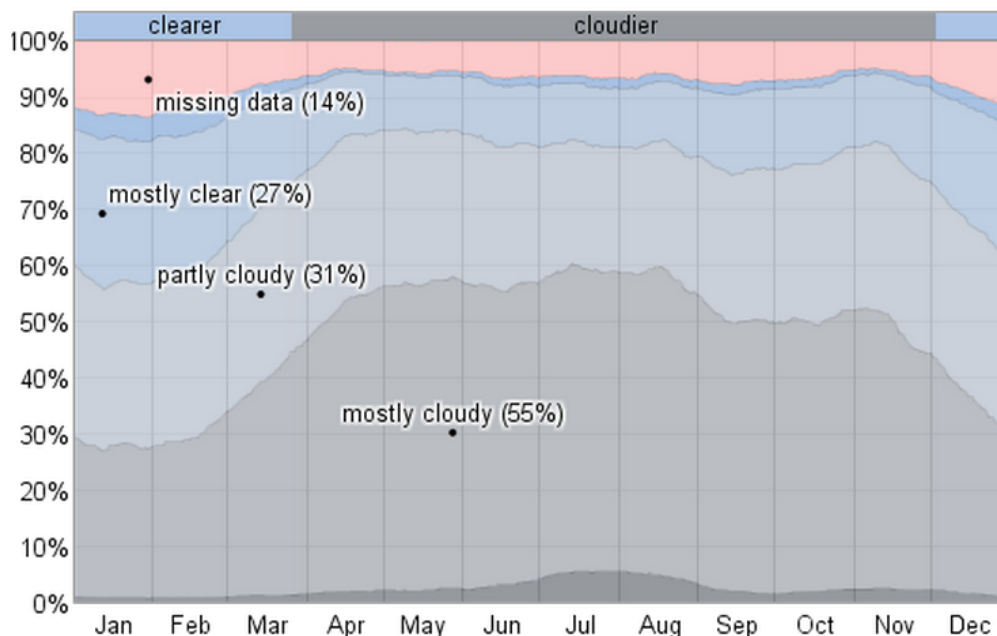
Obrázek 6: Průměrná oblačnost v České republice

Zdroj: Cedar Lake Ventures (2013)

Obrázek 7 zachycuje průměrnou oblačnost v Keni. Jasnější období začíná začátkem prosince a končí koncem března, kdy nastupuje období vyšší oblačnosti, končící začátkem prosince.

Informace o oblačnosti jsou orientační, nelze se na jejich přesnost spoléhat s naprostou jistotou. Podle podmínek SODIS o množství oblačnosti by dle obrázku 7

většinu roku nebylo možné vzhledem k vyšší oblačnosti upravovat vodu pomocí slunečního záření. V Keni je však tento projekt funkční po většinu doby, jinak by neměl projekt pro místní obyvatelstvo velký význam.



Obrázek 7: Průměrná oblačnost v Keni

Zdroj: Cedar Lake Ventures (2013)

2. Experiment v přírodních podmínkách České republiky

V srpnu 2014 byl proveden experiment, který měl za úkol posoudit působení slunečního záření na mikroorganismy v kontaminované vodě v podmínkách České republiky. Metoda pokusu byla srovnatelná s postupem projektu SODIS. Práce není založená na tomto experimentu, pokus je pouze doplňující částí práce, a tak se popis jednotlivých kroků při mikrobiologickém rozboru vypustil.

2.1 Postup při experimentu

Pro pokus byla odebrána voda z přírodního zdroje v prostorách kampusu České zemědělské univerzity. Voda byla vyhodnocena jako nepřesahující limit kalnosti - splňovala jednoduchý test pro kalnost od SODIS (viz 3.32 - Faktory ovlivňující efekt SODIS, Kalnost). Otevřená láhev naplněná po hrdlo neupravenou vodou byla položena na vytištěné logo SODIS. Skrz hrdlo láhve bylo zřetelné celé logo i s textem pod logem, láhev tedy nebyla příliš kalná. Touto vodou byly naplněny 3 PET láhve o objemu 1,5 l. PET láhve splňovaly podmínky pro SODIS – materiál lahví byl průsvitný, nepoškrábaný, největší šířka láhve nepřesahovala 10 cm.

Expozice lahví byla zahájena 4. července 2014 a ukončena 5. července 2014, a to v Karlových Varech. První den byla průměrná teplota 18,7°C, nejvyšší denní teplota byla 24°C, průměrná intenzita slunečního záření byla 830 W/m². Druhý den byla průměrná teplota vyšší - 20,5°C, nejvyšší teplota během dne dosáhla 27°C a průměrná intenzita slunečního záření byla 1127 W/m². Po oba dny bylo okem zhodnoceno množství oblačnosti menší než 50%. Vystavené láhve byly položeny na černou, kovovou podložku zkosenou přibližně na 30°, aby bylo dosaženo maximálního možného plošného dopadu slunečního záření na plochu láhve.

První láhev (vzorek č. 1) nebyla vystavena slunečnímu záření, po odběru vzorku byla uchovávána v lednici. Druhá láhev (vzorek č. 2) i třetí láhev (vzorek č. 3) byly vystaveny v 8.00 slunečnímu záření v ten samý den. Vzorek č. 2 byl odebrán po 24 hodinách a vzorek č. 3 po 48 hodinách. Oba vzorky, na které působilo sluneční záření, byly spolu se vzorkem č. 1 uloženy do lednice. Postup SODIS pro dezinfekci vody pomocí slunečního záření byl dle kroků proveden, a tak bylo dále potřeba mikrobiologicky vyhodnotit, zda li proces ovlivnil množství mikroorganismů ve vodě.

V prostorách laboratoří České zemědělské univerzity byl proveden mikrobiologický rozbor jednotlivých vzorků. Hodnotil se počet bakterií v 1 ml vzorku. Vyhodnocení mikrobiologického rozboru provedl profesor Karel Voříšek.

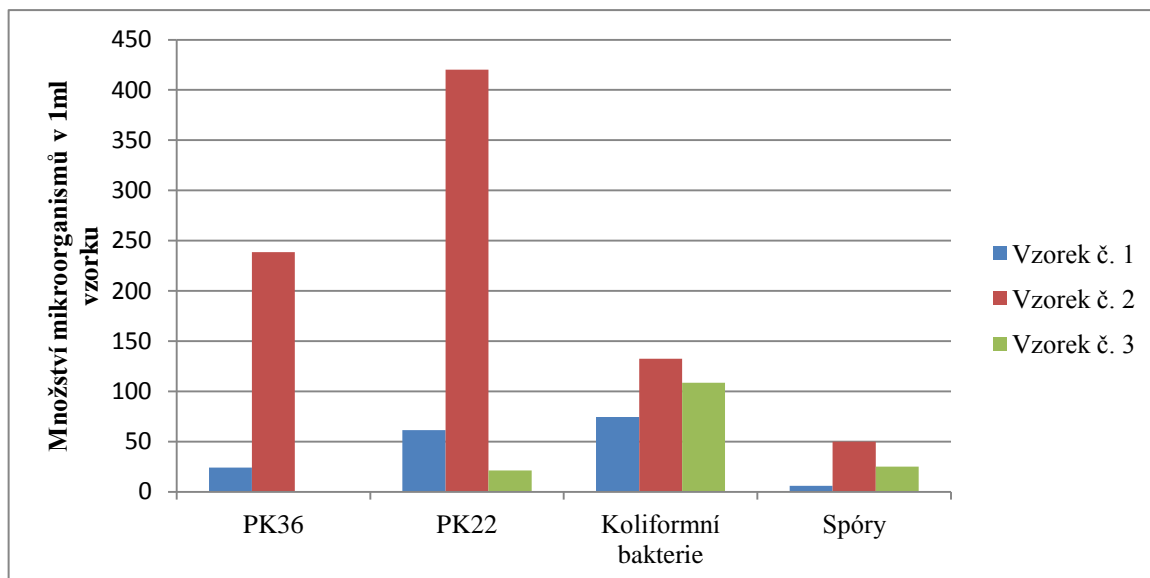
2.2 Vyhodnocení experimentu

Pro vyhodnocení vzorků byly sledovány koliformní (laktózopozitivní i laktózonegativní) bakterie, počty kolonií při 22°C (dále PK22), počty kolonií při 36°C (dále PK36) a spóry. Nejdůležitější sledovanou skupinou byly koliformní bakterie (indikátor fekálního znečištění).

Vzorek č. 1 významně nespĺňoval požadavky České republiky na pitnou vodu - obsahoval určité množství koliformních bakterií, dle normy nesmí pitná voda obsahovat jakékoli množství těchto bakterií. Množství PK36 vyhovovalo pro malé zdroje (nikoli pro kohoutkovou vodu) a PK22 vyhovovaly.

U vzorku č. 2 mělo dojít ke snížení množství bakterií, stal se však opak. Množství bakterií se podstatně zvýšilo. Množství koliformních bakterií se zvýšilo 1,8 krát, PK22 6,8 krát, PK36 9,9 krát, spóry 8,3 krát.

Ani u vzorku č. 3 nedošlo k výraznému zlepšení. Množství PK22 se oproti vzorku č. 1 zmenšilo na jednu třetinu, k podstatnému snížení došlo u PK36. Množství koliformních bakterií v porovnání se vzorkem č. 1 se zvýšilo.



Graf 8: Množství sledovaných bakterií u tří druhů vzorků

Zdroj: Vlastní zpracování (2015)

Výsledkem pokusu nebylo vymizení bakterií, ani jejich podstatné snížení, což dokumentuje graf 8. Ke snížení došlo pouze u počtu kolonií při 36°C a počtu kolonií při 22°C. Nejdůležitější skupina koliformních bakterií dosáhla naprosto nevyhovujícího zvýšení. Spóry nebylo nutné sledovat z hlediska normy pitné vody, avšak jejich výskyt měl mít za úkol indikovat účinnost ošetření. Tento typ bakterií je totiž nejodolnější.

Po experimentu se zvolená voda rozhodně v pitnou vodu nezměnila. I v jednom milimetru vzorku byl prokázán výskyt nepříjemných koliformních bakterií, obecně se vyžaduje neprůkaznost jejich výskytu ve 100 ml vody.

Tento negativní výsledek mohl být zapříčiněn malou teplotou, působící během procesu vystavení slunečnímu záření, taktéž proměnlivostí oblačnosti, která snižuje účinnost dopadajícího slunečního záření. Vzhledem k tomu, že pokus byl realizován pouze jednou, mohlo též dojít k chybě během provádění mikrobiologického rozboru. Mnohonásobným opakováním pokusu by byl výsledek ověřen, či vyvrácen, též by bylo vhodnější sledovat průběžně teplotu vody během vystavování slunečnímu záření.

6. Diskuze výsledků

Mnoho výzkumů potvrzuje, že úspěšnost dezinfekce pomocí slunečního záření je způsobena současným působením slunečního záření a teploty (Acra et al, 1984; Berney et al, 2006; Girard et al, 2012; Meierhofer & Landolt, 2009).

Množství dopadajícího slunečního záření na zemský povrch a teplota vzduchu je závislá na zeměpisné šířce, jak uvádí například McGuigan et al (2012). Pro dezinfekci vody pomocí slunečního záření jsou nejpodstatnější přírodní podmínky spojené se zeměpisnou šířkou určité oblasti: množství slunečního záření dopadající na určité území, intenzita slunečního záření během dne. A dále také aktuální stav počasí (teplota vzduchu a oblačnost).

Keňa se nachází v okolí rovníku, intenzita dopadajícího slunečního záření je zde nejvyšší (Meteoblue, 2007). Směrem od rovníku míra intenzity klesá, na Českou republiku dopadají sluneční paprsky pod podstatně nižším úhlem, než v tropech, a tak je intenzita slunečního záření výrazně nižší.

Minimální hodnotou pro efektivnost metody SODIS vzhledem k dopadajícímu slunečnímu záření je hodnota 555 W/m^2 (Acra et al, 1984; Wegelin et al, 1994). Hodnota celkové sluneční energie, která měsíčně dopadne na zemský povrch, je v Keni po celý rok vysoká, i v rámci měnící se hodinové intenzity během dne. V České republice nabývá nejvyšších hodnot od května do srpna. Intenzita sluneční energie v závislosti na hodině během jednoho dne je nejvyšší kolem druhé třetiny června, v tuto dobu je v České republice letní slunovrat, tedy nejdelší den a nejkratší noc v roce. V měsících od května do srpna je hodnota 555 W/m^2 dosaženo již v ranních hodinách.

Dalším důležitým faktorem pro SODIS je aktuální stav počasí, který zahrnuje teplotu vzduchu a oblačnost. V Keni se průměrná teplota vzduchu pohybuje po celý rok kolem teploty 25°C . Nejideálnější teploty v České republice je průměrově dosaženo dle předchozího porovnání přírodních podmínek v měsíci červenci a srpnu, kdy je průměrná teplota vzduchu 18°C . V současné době nebyly nalezeny žádné zdroje o minimální potřebné teplotě vzduchu pro SODIS, je tedy předpokládáno, že nejvyšší průměrné teploty v rámci letního období v České republice, blíží se průměrným teplotám v Keni, by měly být dostačující pro zvýšení teploty vody na 50°C . Právě při této teplotě dochází (během

několika minut) k odstranění určitých škodlivých mikroorganismů ve vodě ((Berney et al, 2006; Sommer et al, 1997; Meierhofer & Wegelin, 2002). I když se toto číslo jeví jako velice malé, průměrná teplota je počítána během celých 24 hodin, tedy pro noc i pro den zároveň.

Oblačnost má velký vliv na účinnost SODIS. Sommer et al (1997) ve svém výzkumu potvrzuje, že oblačnost ve vyšší míře (nad 50%) snižuje množství dopadajícího slunečního záření na neupravenou vodu. Z této informace vyplývá, že deštivé dny jsou přímo nevyhovující. V případě vyšší oblačnosti nestačí pro úspěšnou dezinfekci pomocí slunečního záření 6 hodin. Meierhofer & Wegelin (2002) uvádí, že za takových podmínek je potřeba vodu v tropickém prostředí vystavit slunci po dobu dvou po sobě jdoucích dnů. Dny s jasnější oblačností jsou procentuálně nejčastější v Keni od prosince do března, v České republice od března do října.

V porovnání s Keňou Česká republika dle výsledků nespĺňuje podmínky pro úspěšnou dezinfekci pomocí slunečního záření po celý rok, avšak existují měsíce, které se jeví jako vhodné. Při hledání průniku těchto výsledků důležitých klimatických podmínek pro SODIS vyplývá jako nejideálnější doba pro aplikaci SODIS červenec a srpen, kdy se střetává nejvyšší průměrná denní teplota i nejvyšší intenzita slunečního záření.

Nelze však předem předpokládat, že po celý červenec a srpen je metoda plně funkční. Aktuální stav počasí je velice proměnlivý, oblačnost i teplota vzduchu se mění ze dne na den, a tak pro možnou aplikaci SODIS je potřeba sledovat předpovědi počasí stejně jako měnící se oblačnost během dne.

V měsících, kdy teplota slunečního záření je vyšší, by bylo možné zvýšit množství slunečního záření, dopadajícího na PET lahev, kupříkladu položením lahve na zaoblený kovový černý materiál, který by soustředil více slunečního záření a zároveň zvyšoval teplotu vody v lahvi. Tímto materiálem by mohly být například kovové pláty se sinusovým průřezem.

Experiment, provedený v červenci 2014, přinesl nepředpokládané výsledky. Pro vyhodnocení vzorků byly sledovány koliformní bakterie, počty kolonií při 22°C, počty kolonií při 36°C a spóry. Při jednodenní expoziturní PET lahve slunci se počty mikrobů v lahvi zvýšily, po dvoudenním vystavení jejich hodnota opět klesla, nikoli však na nulovou hodnotu. Pro prohlášení znečištěné vody za vodu pitnou by se v ozářené vodě

neměly vyskytovat žádné sledované mikroorganismy – koliformní bakterie, počty kolonií při 22°C, počty kolonií při 36°C (sledované spóry se ve vodě vyskytovat mohou). Výsledkem experimentu je tedy důkaz o ovlivnění počtu mikroorganismů ve vodě, avšak nedostatečně efektivně. Snížení efektivnosti dezinfekce mohla způsobit nedostatečná teplota vzduchu (a tedy i malá teplota vody pro zničení mikroorganismů) či nedostatečné pozorování oblačnosti. Ke zjištění toho, v čem spočívá hlavní chyba nevymizení mikroorganismů, je potřeba pokusy mnohonásobně opakovat, je nutné se zaměřit na kontinuální měření intenzity slunečního záření a teploty vystavované vody. Pro další experimenty by mělo být rozšířeno pozorování na další typy mikroorganismů, jejichž přítomnost nesmí být prokázána ve 100 ml vzorku, sledované mikroorganismy dle zákona jsou - *Clostridium perfringens*, *Escherichia Coli*, enterokoky, koliformní bakterie, počty kolonií při 22°C, počty kolonií při 36°C (Ministerstvo zdravotnictví, 2014). Není též vyloučena chyba, ke které mohlo dojít v rámci samotného mikrobiologického rozboru v laboratořích či při odběru vzorku. Chyba by byla vyvrácena či potvrzena v dostatečném opakování pokusu.

Podle mého názoru pro Českou republiku postrádá smysl využívat SODIS plošně. Program SODIS vznikl na pomoc rozvojovým zemím v tropickém a subtropickém pásu, aby poskytl zdravotně nezávadnou vodu pro místní obyvatele a tedy i snížil úmrtí v důsledku požívání kontaminované vody (Meierhofer & Wegelin, 2002). Avšak v České republice je situace zcela jiná. Přístup k pitné vodě není pro naši zem na hranici ohrožující lidské životy, voda v našem okolí je z drtivé většiny zdravotně nezávadná. Hlavním nedostatkem metody je pro naši zem také krátká doba v rámci celého roku (nejideálnější se zdají pouze dva měsíce - červenec a srpen), kdy by bylo možné metodu aplikovat.

Avšak určitý potenciál by mohl SODIS mít v letních měsících kupříkladu pro zahrádkáře bez přístupu k pitné vodě za předpokladu, že se v jejich okolí vyskytuje zdroj vody s přiměřeným zakalením. Výhodou pro zahrádkáře je stejně, jako v rozvíjejících se zemích, nenáročnost metody a minimální finanční náklady pro provedení a opakování metody. Avšak otázkou zůstává, zdali by ochota učit se této metodě, za předpokladu jejího možného užití jen v rámci krátkého období, byla dostačující, a nepřevládla by pohodlnost koupě balené vody bez nutnosti vykonání sebemenší práce.

7. Závěr

Švýcarský projekt SODIS vznikl na pomoc rozvojovým zemím, jeho hlavními přednostmi je nenáročnost celého procesu dezinfekce vody pomocí slunečního záření a minimální náklady pro jeho aplikaci – toto tvrzení potvrzuje kupříkladu výzkum, který zjistil, že roční náklady domácnosti pro aplikaci SODIS jsou v Keni 3.20 USD. Během sběru a zpracování dat pro literární rešerši bylo zjištěno, že neexistují výzkumy, aplikující tento způsob čištění vody v České republice.

Mechanismus dezinfekce vody pomocí slunečního záření využívá spolupůsobení dvou faktorů – teploty a slunečního záření. Minimální teplota vzduchu, potřebná pro dezinfekci vody, nebyla v průběhu zpracování dat v literární rešerši nalezena. Dle mnoha výzkumů je však udána potřebná teplota vody 50 °C (vyvolaná zvýšenou teplotou vzduchu). Této teplotě nejsou schopny odolávat nebezpečné mikroorganismy, a tak umírají v rámci několika minut. Potřebná minimální dávka slunečního záření je 555W/m². Mechanismus dezinfekce vody pomocí slunečního záření není dosud celý probádán. Ze slunečního spektra dopadá na zemský povrch 90 % UVA záření, předpokládá se, že toto záření při styku s kyslíkem ve vodě vytváří reaktivní formy kyslíku, které následně ničí zdraví škodlivé mikroorganismy. Efektivnost metody ovlivňuje aktuální stav počasí – vyšší oblačnost nad 50% výrazně snižuje množství slunečního záření, které působí na vodu v PET lahvi.

Porovnání přírodních podmínek mírného pásma s pásmem tropickým bylo provedeno prostřednictvím představitelů jednotlivých klimatických oblastí – pro mírné pásmo Česká republika, pro tropické pásmo Keňa (projekt zde probíhá již řadu let).

Přírodní podmínky pro Keňu a Českou republiku jsou výrazně odlišné, hlavním důvodem je rozdílná zeměpisná šířka polohy států. Keňa potvrzuje, že její přírodní podmínky naprosto vyhovují pro aplikaci SODIS. Omezením pro funkčnost SODIS zde, ale i v České republice, představuje aktuální stav počasí. Pro tropické pásmo po celý rok teplota i množství dopadajícího slunečního záření dle zjištěných výsledků vyhovují, hlavním limitujícím faktorem pro tyto oblasti je aktuální stav počasí (aktuální teplota a procento oblačnosti).

Česká republika dosahuje nejlepších výsledků v měsíci červenci a srpnu. Tyto měsíce se zdají jako nejlepší kandidáti pro úspěšnou dezinfekci vody pomocí slunečního záření. Míra intenzity slunečního záření je podstatně menší než v Keni, avšak hodnoty 555 W/m^2 je v tyto dva měsíce běžně dosaženo. Průměrná nejvyšší teplota v tyto měsíce činí 18°C , což je i v rámci celého roku nejvyšší hodnota. Vzhledem k oblačnosti spadají červenec a srpen do nejjasnějších měsíců. Experiment, provedený v podmínkách České republiky, dokumentuje ovlivnění množství mikroorganismů v PET láhvi. I když nedošlo v rámci experimentu (červenec 2014) ke kompletnímu odstranění škodlivých mikroorganismů, je výsledkem pokusu důkaz o ovlivnění množství mikroorganismů ve vodě vlivem působení slunečního záření. Pokus je potřeba mnohonásobně opakovat pro ověření výsledků.

Limitujícími faktory pro úspěšné vyčištění vody pomocí slunečního záření v České republice je tedy především omezená doba použitelnosti této dezinfekce v rámci roku a aktuální stav počasí, který nezaručuje nepřetržité použití metody i v rámci letních měsíců. Metoda je po stránce přírodních podmínek pro Českou republiku spíše nevhodná. V České republice, na rozdíl od rozvojových zemí, nejsou problémy s nedostatkem pitné vody, a tak se nabízí otázka, zdali je tato finančně i postupově nenáročná metoda praktická pro užití obyvateli. Neexistuje širší škála obyvatel, pro které by bylo využití této metody potřebné.

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.
- 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.
- Bolton J R, Cotton CA. 2008. The Ultraviolet Disinfection Handbook. Denver, Colorado: American Water Works Association. 149p.
- Cedar Lake Ventures. 2013. Average Average Weather For Praha, Czech Republic. Available at <https://weatherspark.com/averages/32326/Praha-Prague-Czech-Republic>: Accessed 2015-03-01.
- Cedar Lake Ventures. 2013. Average Weather For Nairobi, Kenya. Available at <https://weatherspark.com/averages/29261/Nairobi-Kenya>: Accessed 2015-03-01.
- Dawney B, Cheng C, Winkler R, Pearce J M. 2014. Evaluating the geographic viability of the solar water disinfection (SODIS) method by decreasing turbidity with NaCl: A case study of South Sudan. *Applied Clay Science* 99: p194-200.
- 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.
- 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.
- Honsberg Ch, Bowden S. 2014. Calculation of Solar Insolation. Available at <http://pveducation.org/pvcdrom/properties-of-sunlight/calculation-of-solar-insolation>: Accessed 2015-03-02.
- Ikehata H, Ono T. 2011. The Mechanisms of UV Mutagenesis. *Journal of Radiation Research* 52: p115-125.

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

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.

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. 2009. 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/meteoscool/general-climate-zones>: Accessed 2015-03-01.

Michek V, Daříčková A. 2007. *Upravujeme vodu doma a na chatě*. Praha: Grada Publishing, a.s.. 104p.

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: Sběrka 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: Sběrka 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.soda-is.com/>: Accessed 2015-02-05.

SODIS. 2015. Kenya. Available at http://www.sodis.ch/projekte/afrika/kenia/index_EN: Accessed 2015-02-05.

SolarGIS. 2013. Free Download of Solar Radiation Maps: Global Horizontal Irradiation (GHI). Available at <http://solargis.info/doc/free-solar-radiation-maps-GHI>: Accessed 2015-01-05.

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. *Dezinfekce 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 2015-03-01.

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

The World Bank Group. 2015. Climate Change Knowledge Portal. Available at <http://sdwebx.worldbank.org/climateportal/index.cfm>: Accessed 2015-03-01.

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.

Přílohy

Příloha 1: Fyzikální a chemické ukazatele pro pitnou vodu, zdravotně významné – anorganické	II
Příloha 2: Fyzikální a chemické ukazatele pro pitnou vodu, ovlivňující jakost pitné vody	III
Příloha 3: Fyzikální a chemické ukazatele pro pitnou vodu, žádoucí látky	IV
Příloha 4: Průměry hodinové intenzity slunečního záření v srpnu, Česká republika	IV

Příloha 1: Fyzikální a chemické ukazatele pro pitnou vodu, zdravotně významné – anorganické

Zdroj: Ministerstvo zdravotnictví (2014)

Ukazatel	Jednotka	Limit	Typ limitu
Antimon	mg/l	0,005	NMH
Arsen	mg/l	0,01	NMH
Beryllium	mg/l	0,002	NMH
Bór	mg/l	1,0	NMH
Bromičnany	mg/l	0,01	NMH
Kadmium	mg/l	0,005	NMH
Chrom	mg/l	0,05	NMH
Měď	mg/l	1,0	NMH
Kyanidy	mg/l	0,05	NMH
Fluoridy	mg/l	1,5	NMH
Olovo	mg/l	0,01	NMH
Mangan	mg/l	0,05	NMH
Rtuť	mg/l	0,001	NMH
Nikl	mg/l	0,02	NMH
Dusičnany	mg/l	50	NMH
Dusitany	mg/l	0,5	NMH
Selen	mg/l	0,01	NMH
Stříbro	mg/l	0,05	NMH
Chlór volný (organický ukazatel)	mg/l	0,3	MH
Chloritany (organický ukazatel)	mg/l	0,2	MH

Příloha 2: Fyzikální a chemické ukazatele pro pitnou vodu, ovlivňující jakost pitné vody

Zdroj: Ministerstvo zdravotnictví (2014)

Ukazatel	Jednotka	Limit	Typ limitu
Hliník	mg/l	0,2	MH
Amonné ionty	mg/l	0,5	MH
Chloridy	mg/l	250	NMH
Vodivost	mS/m	250	MH
Sodík	mg/l	200	MH
Reakce vody (pH)		6,5-9,5	MH
Sírany	mg/l	250	MH
Rozpuštěné látky	mg/l	1000	MH
Barva	mg/l Pt	20	MH
Chuť		Přijatelná pro odběratele	MH
Pach		Přijatelný pro odběratele	MH
Zákal	NTU	5	MH
Železo	mg/l	0,2	MH
Chemická spotřeba kyslíku manganistanem	mg/l	3,0	MH
Nepolární extrahovatelné látky	mg/l	0,05	NMH
Celkový organický uhlík	mg/l	5,0	MH

Příloha 3: Fyzikální a chemické ukazatele pro pitnou vodu, žádoucí látky

Zdroj: Ministerstvo zdravotnictví (2014)

Ukazatel	Jednotka	Limit	Typ limitu
Vápník	mg/l	30 (40-80)	MH (DH)
Hořčík	mg/l	10 (20-30)	MH (DH)
Vápník a hořčík	mmol/l	2-3,5	DH

Příloha 4: Průměry hodinové intenzity slunečního záření v srpnu, Česká republika

Zdroj: Honsberg & Bowden (2015)

