



## **Bakalářská práce**

# **Dezinfekce zdravotnických prostor pomocí UV záření**

*Studijní program:*

B0914P360007 Biomedicínská technika

*Autor práce:*

**Markéta Vokálová**

*Vedoucí práce:*

Ing. Barbora Klíčová

Fakulta zdravotnických studií

Liberec 2023



## Zadání bakalářské práce

# Dezinfekce zdravotnických prostor pomocí UV záření

<i>Jméno a příjmení:</i>	<b>Markéta Vokálová</b>
<i>Osobní číslo:</i>	D20000021
<i>Studijní program:</i>	B0914P360007 Biomedicínská technika
<i>Zadávací katedra:</i>	Fakulta zdravotnických studií
<i>Akademický rok:</i>	2022/2023

### Zásady pro vypracování:

#### Cíle práce:

1. Popis elektromagnetického vlnění včetně UVC záření
2. Popis LED diody schopné emitovat UVC záření a srovnání s halogenovou výbojkou
3. Zkoumání účinnosti UVC záření při dezinfekci nemocničních prostor

#### Teoretická východiska (včetně výstupu z kvalifikační práce):

V závislosti na cíli práce bude zjišťováno, jaká je účinnost UVC záření při dezinfekci nemocničních prostor a zda může tato technologie zdokonalit dezinfekci po použití chemických prostředků, které jsou v dnešní době nejvíce využívány. Práce se zabývá také tím, zda může LED zářič úspěšněji nahradit halogenové výbojky a jaké nám nové technologie přinášejí možnosti u dezinfekce povrchů nemocničních prostor.

#### Výzkumné předpoklady / výzkumné otázky:

Je předpokládáno, že UVC záření zvýší kvalitu dezinfikování nemocničních prostor, tím by mělo dojít k poklesu nozokomiálních nákaz.

#### Metoda:

kvalitativní

#### Technika práce, vyhodnocení dat:

Analýza současného stavu problematiky a následné vyhodnocení dat z provedených experimentů.

#### Místo a čas realizace výzkumu:

Výzkum bude probíhat od září 2022 do dubna 2023 na Fakultě zdravotnických studií v Liberci a v Krajské nemocnici Liberec.

#### Rozsah práce:

Rozsah bakalářské práce činí 50-70 stran (tzn. 1/3 teoretická část, 2/3 výzkumná část).

#### Forma zpracování kvalifikační práce:

Tištěná a elektronická.

*Rozsah grafických prací:*

*Rozsah pracovní zprávy:*

*Forma zpracování práce:* tištěná/elektronická

*Jazyk práce:* Čeština

### **Seznam odborné literatury:**

ZUKERSTEIN, Jaroslav. 1995. *Elektrotechnika*. 1, Polovodiče. Ústí nad Labem: Pedagogická fakulta UJEP. ISBN 80-7044-114-3.

MUSIL, Vladislav. 2000. *Elektronické součástky*, 3. uprav. vyd. Brno: VUTIUM. ISBN 80-214-1776-5.

DIAB-EL SCHAHAWI, Magda et al. 2021. Ultraviolet disinfection robots to improve hospital cleaning: Real promise or just a gimmick?. *Antimicrobial Resistance Infection Control*. 10(33). DOI 10.1186/s13756-020-00878-4.

DVOŘÁČEK, Vladimír. 2009. Světelné zdroje: halogenidové výbojky. *Světlo*. 1(1), 36-38. Dostupné také z: <http://odbornecasopisy.cz/res/pdf/38556.pdf>

FÜSZL, Astrid et al. 2021. The use of a UV-C disinfection robot in the routine cleaning process: a field study in an Academic hospital. *Antimicrobial Resistance Infection Control*. 10(84). DOI 10.1186/s13756-021-00945-4.

RIEDLOVÁ, Helena. 2021. Posouzení účinnosti UV záření při dezinfekci povrchů. Ostrava. Diplomová práce. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta bezpečnostního inženýrství.

RAJNOCHOVÁ SVOBODOVÁ, Alena. 2012. *Poškození kůže působením slunečního záření, možnosti ochrany a prevence*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. ISBN 978-80-244-3183-3.

MICHÁLKOVÁ, Ladislava. 2014. *Dezinfekce: studijní opora*. Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě.

MELICHERČÍKOVÁ, Věra. *Sterilizace a dezinfekce*. 2015. Praha: Galén. ISBN 978-807492-139-1.

AHMAD, Shamim I et al. 2017. *History of UV Lamps, Types, and Their Applications*. *Advances in experimental medicine and biology*. DOI 10.1007/978-3-319-56017-5\_1

XIAOLING, Li et. al. 2019. *Evaluation survey of microbial disinfection methods in UV-LED water treatment systems*. [doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.344](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.344).

*Vedoucí práce:*

Ing. Barbora Klíčová

Fakulta zdravotnických studií

*Datum zadání práce:*

25. října 2022

*Předpokládaný termín odevzdání:* 5. května 2023

L.S.

prof. MUDr. Karel Cvachovec, CSc.,  
MBA  
děkan

## Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Jsem si vědoma toho, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědoma povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitou v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má bakalářská práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědoma následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.



## **Poděkování**

V úvodu své práce bych ráda poděkovala paní Ing. Barboře Klíčové, která příkladným způsobem vedla mou práci. Také bych chtěla vyzdvihnout přínos paní Mgr. Andrey Vávrové, Ph.D. za pomoc s vypracováním praktické části a odbornou konzultaci.

# **ANOTACE**

## **Dezinfekce zdravotnických prostor pomocí UV záření**

Bakalářská práce se zaměřuje na dezinfekci prostorů operačních sálů pomocí využití LED zářičů, které emitují ultrafialové C záření. Zabývá se obecným popisem elektromagnetického záření a dále podrobnějším popisem právě UVC, které je díky svým krátkým vlnovým délkám bakteriocidní, sporicidní a virucidní (She et al., 2020). Popisuje technické parametry umělých zdrojů UV, a to hlavně halogenidových výbojek a LED zářičů. Práce zkoumá, jaké výhody a jaká rizika s sebou tato technologie přináší. Zkoumá, jak nám nové a čím dál dostupnější LED technologie mohou zpřístupnit tento způsob dezinfekce prostorů a umožnit realizaci v nemocničních zařízeních. BP se pokouší kvalitativně zhodnotit přítomnost mikroorganismů, které mohou být významnými původci HAI, na operačních sálech. Také kvantitativním stanovením mikrobiální kontaminace povrchů a procentuálním úbytkem mikrobiálního znečištění po chemické a UVC dezinfekci.

### **Klíčová slova**

UV, UVC, dezinfekce, mikroorganismy, LED

# **ANNOTATION**

## **The title of the Thesis:**

### **Medical facilities disinfection by using UV radiation**

The bachelor's thesis focuses on the disinfection of operating theaters by using LED that emit ultraviolet C radiation. It deals with a general description of electromagnetic radiation and a more detailed description of UVC, which is bactericidal, sporicidal and virucidal thanks to its short wavelengths (She et al., 2020). It describes the technical parameters of artificial UV sources, mainly halogen lamps and LED emitters. The work examines the advantages and risks of this technology. He investigates how new and increasingly affordable LED technologies can make this way of disinfecting spaces accessible to us and enable implementation in hospital facilities. The work tries to qualitatively assess the presence of micro-organisms, which can be important organic agents of HAI. Also by quantitative determination of microbial contamination of surfaces and percentage reduction of microbial contamination after chemical and UVC disinfection.

## **Keywords**

UV, UVC, disinfection, microorganisms, LED

# Obsah

Seznam symbolů a zkratek.....	12
1 Úvod.....	14
2 Teoretická část.....	15
2.1 Dezinfekce	15
2.1.1 Definice dezinfekce, základní rozdělení	15
2.1.2 UVC dezinfekce	17
2.2 Popis elektromagnetického záření	18
2.2.1 Obecný popis elektromagnetického záření	18
2.2.2 Popis UV záření	20
2.2.3 Radiometrie	21
2.3 LED	23
2.3.1 Princip fungování diod	23
2.3.2 Princip fungování LED	23
2.4 Halogenidové výbojky	24
2.4.1 Princip fungování	24
2.4.2 Srovnání halogenidových výbojek a LED	25
2.5 Současný stav dezinfekčních metod	25
2.5.1 Pravidla a normy dezinfekce nemocnic v ČR	26
2.5.2 Současný stav a vývoj dezinfekčních metod ve světě	27
3 Praktická část.....	28
3.1 Cíle a výzkumné předpoklady/otázky	28
3.2 Metody	29
3.2.1 Kultivace mikroorganismů	29
3.2.2 Vyhodnocení procentuální účinnosti z počtu CFU	33
3.2.3 Diagnostika bakteriální kontaminace	38

3.3	Analýza výzkumných dat a vyhodnocení cílů	44
3.4	Vyhodnocení cílů a výzkumných otázek/předpokladů	45
4	Diskuze.....	48
5	Návrh doporučení pro praxi.....	52
6	Závěr.....	53
	Seznam použité literatury.....	54
	Seznam tabulek.....	58
	Seznam obrázků.....	59

## Seznam symbolů a zkratek

BP	Bakalářská práce
CFU	Jednotka tvořící kolonie (colony forming units)
CLSI	Clinical and Laboratory Standards Institute
CRE	Karbapenem-rezistentní <i>Enterobacterales</i>
DNA	Deoxyribonukleová kyselina
DP	Diplomová práce
ESBL	Širokospektrá beta-laktamáza (extended-spectrum beta-lactamase)
HAI	Infekce získané při hospitalizaci (healthcare-associated Infections)
HIV	Virus lidské imunitní nedostatečnosti (human immunodeficiency virus)
IR	Infračervené záření
IR-A	Infračervené záření typu A
IR-B	Infračervené záření typu B
IR-C	Infračervené záření typu C
LED	Světlo emitující dioda
MDRO	Multirezistentní organismy
MRSA	Methicilin rezistentní <i>Staphylococcus aureus</i>
RNA	Ribonukleová kyselina
TSA	Trypton Soya agar
TVC	Total visible count
UV	Ultrafialové záření
UVA	Ultrafialové záření typu A
UVB	Ultrafialové záření typu B
UVC	Ultrafialové záření typu C

VRE Vankomycin rezistentní enterokoky  
VRGB Violet red bile glucose agar



# 1 Úvod

V zájmu snížení počtu infekcí spojených se zdravotní péčí je třeba zavést účinnou strategii pro dezinfekci povrchů v okolí pacienta a její kontrolu s cílem snížit množství mikroorganismů na nich, a tím i možnost jejich přenosu. Dezinfekce povrchů, se kterými pacient nebo personál přichází často do kontaktu, patří mezi nejdůležitější opatření pro zastavení možného šíření infekce. Infekce spojené se zdravotní péčí se často mohou šířit přes plochy s opakovaným dotykem pacientů a personálu. Tyto povrchy jsou začleňovány do běžného režimu úklidu a dezinfekce. Právě proto se stávají velkým rizikovým faktorem v přenosu infekcí, zasluhujícím velkou pozornost. Obtížná je také dezinfekce přístrojů a drahých zařízení, které jsou konstruovány z různých materiálů, často velmi citlivých vůči agresivním dezinfekčním prostředkům. K povrchové dezinfekci nejčastěji používané chemické preparáty, které mohou navodit vznik rezistence a alergie a jsou zátěží pro životní prostředí. Řešením těchto problémů by se mohlo stát doplnění standardizovaných postupů o UVC dezinfekci (Haque et al., 2020)

Bakalářská práce se zaměřuje na dezinfekci prostorů operačních sálů pomocí LED emitujících UVC záření. Zabývá se obecným popisem elektromagnetického a UV záření a dále podrobnějším popisem právě UVC, které je díky svým krátkým vlnovým délkám bakteriocidní, sporicidní a virucidní. (She et al., 2020). Popisuje technické parametry umělých zdrojů UV záření o vlnových délkách účinných právě k dezinfekci, a to halogenidových výbojek a LED zářičů. Práce zkoumá, jaká s sebou tato technologie přináší rizika, ale také výhody. Také, jak nám nové a čím dál dostupnější LED technologie mohou zpřístupnit tento způsob dezinfekce prostorů a umožnit realizaci v nemocničních zařízeních.

## 2 Teoretická část

### 2.1 Dezinfekce

#### 2.1.1 Definice dezinfekce, základní rozdělení

Dezinfekce je definována jako proces, při němž dochází k likvidaci patogenních organismů. Narozdíl od sterilizace při procesu dezinfekce nedochází k likvidaci spor, tedy bakteriálních buněk, které slouží k dlouhodobému přežití i za nepříznivých podmínek. Dezinfekce se provádí z důvodu minimalizace či zabránění šíření infekcí na místech, kde jsou zvýšené nároky na čistotu (např. výroby potravin a léčiv či nemocniční zařízení) (Melicherčíková, 2015). V nemocnicích je dezinfekci nutné provádět kvůli snížení přenosu infekcí spojených se zdravotní péčí neboli Healthcare-associated infections (HAI). HAI je onemocnění, které vzniká v souvislosti s pobytem pacienta v nemocnici nebo jiném zdravotnickém zařízení. Nejčastější infekce tohoto typu jsou infekce krevního řečiště, MRSA (meticilin rezistentní *Staphylococcus aureus*), infekce močových cest, infekce chirurgických ran a pneumonie. (Monegro et al. 2023)

Nejrizikovějšími oblastmi, které je nutno dezinfikovat kvůli riziku šíření HAI, jsou místa s častým dotykem (např. madla dveří, počítačová myš nebo úložné prostory). Proto jsou tato místa doporučována čistit častěji než běžné povrchy. Studie zabývající se zlepšením úklidových standardů uvádějí, že 5–30 % povrchů zůstává potenciálně kontaminováno kvůli nedostatečné účinnosti detergentů a dezinfekčních prostředků (Casini et al., 2019).

Dezinfekci můžeme rozdělit na tři základní typy, a to dezinfekci chemickou, fyzikální a fyzikálně-chemickou. Při fyzikální dezinfekci dochází k likvidaci mikroorganismů za pomoci tepla, záření, filtrace nebo zvýšeného tlaku. Metody spadající do fyzikální dezinfekce jsou např. var ve vodě, var v přetlakových nádobách nebo použití UV záření. Chemická dezinfekce je proces, při kterém jsou mikroorganismy ničeny roztoky nebo aerosolem chemických dezinfekčních přípravků o určité koncentraci účinné látky. Při častém používání stejného chemického přípravku často dochází k tzv. rezistenci mikroorganismů. Rezistence je částečná nebo úplná odolnost vůči nepříznivým činitelům. Kvůli zabránění vzniku rezistence mikrobů

se aktivní látky v dezinfekčních přípravcích střídají. Účinným zesílením chemické dezinfekce prostor je např. doplnění o UVC dezinfekci. Při fyzikálně-chemické dezinfekci jsou mikroorganismy ničeny současným působením chemických a fyzikálních postupů. Do tohoto typu spadá např. dezinfekce v paroformaldehydové komoře (vodní pára při teplotě 45–75 °C a páry formaldehydu) (Melicherčíková, 2015).

Dezinfekční jev je proces, který byl poprvé matematicky popisován již od roku 1908 tzv. Chick-Watsonovým modelem. Rychlostní model dezinfekce se udává základní rovnicí

$$\frac{dN}{dt} = -kN \quad (1)$$

kde  $N$  je počet mikroorganismů po čase  $t$  a  $k$  je rychlostní konstanta dezinfekce. Pokud je prostředkem k dezinfekci UVC záření, rovnice má následující tvar

$$\frac{dN}{dt} = -ZIN \quad (2)$$

kde  $I$  ( $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ) a  $Z$  ( $\text{cm}^2/\mu\text{Ws}$ ) jsou intenzita UV záření a faktor citlivosti mikroorganismů. Parametry citlivosti se liší podle podmínek prostředí např. podle relativní vlhkosti, umístěním lampy nebo prouděním vzduchu. Dávka přijatá jednotkou povrchu v dané vzdálenosti  $r$  (cm) od sanitačního prostředku závisí na výkonu  $P$  ( $\mu\text{W}$ ) emitované UVC lampy podle následující rovnice:

$$D = \frac{Pt}{2\pi Lr} \quad (3)$$

kde  $L$  (cm) je délka lampy a  $t$  (s) expoziční čas, který lze odhadnout podle rovnice

$$t = \frac{2\pi LrD}{P} \quad (4)$$

pro vyjádření relativního počtu živých mikroorganismů odstraněných dezinfekčním prostředkem se užívá matematického termínu logaritmická redukce. K výpočtu se používá tohoto vzorce:

$$\text{Log}_{10}\text{reduction} = \log \frac{N_0}{N} \quad (5)$$

kde  $N_0$  je počet mikroorganismů před vystavením UVC světlu a  $N$  je počet mikroorganismů po vystavení UVC světlu. Snížení o 1 log 10 – to je častěji psáno jako 1-log – odpovídá inaktivaci 90 % cílového mikroba, přičemž počet je snížen faktorem

10. Snížení např. o 5 log tedy znamená inaktivaci o 99,999 % mikroba nebo jednotky tvořící kolonie (Guettari, Gharbi a Hamza, 2021).

### 2.1.2 UVC dezinfekce

UVC dezinfekce patří do skupiny fyzikálních dezinfekčních metod spolu s dezinfekcí za pomoci tepla, gama záření, filtrace nebo zvýšeného tlaku. UVC záření může vznikat při výboji ve halogenidových výbojkách, v LED nebo je jeho zdrojem sluneční záření (Michálková, 2014). UVC poškozuje mikroby tím, že inhibuje jejich buněčnou replikaci. Účinnost dezinfekce nezávisí na velikosti mikrobu, ale na koncentraci pyrimidinu v RNA nebo DNA. UV záření indukuje dimerizaci pyrimidinu v nukleových kyselinách, což vede k následné mutaci. Pokud není poškození opraveno, vede mutace důležitých genů k buněčné smrti. Pokud jsou pyrimidinové dimery vystaveny viditelnému světlu, aktivují se enzymy fotolyasy, které tyto dimery štěpí. Tento proces se nazývá fotoreaktivace (oprava světlem). Druhý mechanismus opravy probíhá nezávisle na světle. Dimery jsou odstraněny endonukleasou, DNA polymerasa nahradí báze a DNA ligasa spojí řetězec. (She et al., 2020).

Známým omezením tohoto typu technologie je stínění UVC, kdy některé povrchy nejsou vystaveny záření z důvodu překážky nebo nepřístupnosti. Stínění a vzdálenost výrazně snižují intenzitu UVC, a omezují tak účinný proces dezinfekce. Nečistoty a organické znečištění jsou největší výzvou pro efektivní využití této dezinfekce, protože UVC nedodává dostatek energie k inaktivaci bakteriálních a virových patogenů uložených v takovém materiálu (Diab-El Schahawi et al., 2021). Účinnost UVC dezinfekce klesá se zvyšující se relativní vlhkostí. Dezinfekci také ovlivňují pohyby vzduchu v místnosti, umístění lampy, množství prachu, mechanických nečistot na dezinfikovaném povrchu, dezinfikovaný materiál a jeho chemické složení (Guettari, Gharbi a Hamza, 2021). UVC záření není schopné projít pevnou hmotou, a tak dezinfikuje pouze povrchy, které jsou předem dobře očištěné a na něž záření přímo působí. Účinnost UVC závisí na délce expozice a intenzitě výkonu zdroje. Pokud má zdroj vyšší výkon, lze dobu expozice zkrátit a naopak – pokud výkon snížíme, můžeme účinnost zvýšit prodloužením času ozařování (She et al., 2020).

Dezinfekci je nutné provádět v opuštěné místnosti po propuštění pacienta a za nepřítomnosti personálu. UVC roboti jsou často vybaveni senzorem pohybu, který zajistí, že pokud je v místnosti někdo přítomen, přístroj se vypne. Germicidní lampy se používají také k čištění odpadních vod za účelem ničení mikroorganismů (Casini et al., 2019). Některé materiály mohou po ozařování UVC světlem degradovat (vysokotlaké akrylové materiály) (She et al., 2020).

## 2.2 Popis elektromagnetického záření

### 2.2.1 Obecný popis elektromagnetického záření

Elektromagnetické záření je příčné a postupné vlnění elektromagnetického pole. Složky elektrického a magnetického pole jsou na sebe navzájem kolmé i kolmé na směr šíření. Jsou formou energetických vln, které mají jak elektrické, tak magnetické pole. Tyto vlny mohou, narozdíl od mechanických vln, přenášet energii a procházet vakuem. Charakteristické pro toto záření jsou částicovo-vlnové vlastnosti. Částice sloužící k částicovému popisu záření nazýváme fotony. Vlnová charakteristika umožňuje popsat záření, vlnovou délku a frekvenci na základě rovnice

$$c = f \cdot \lambda \quad (6)$$

kde  $c$  je rychlost šíření elektromagnetického záření vakuem,  $f$  je frekvence záření a  $\lambda$  vlnová délka (Valkovičová, Bernard a Staffa, 2016).

Každé elektromagnetické vlnění je určeno svou vlnovou délkou a frekvencí. Elektromagnetické záření se dělí na rádiové, mikrovlnné, infračervené, viditelné, UV, rentgenové a gama záření. Všechny tyto vlny jsou součástí tzv. elektromagnetického spektra. Energie každého z těchto záření se liší (Beneš, Kyplová a Vítek, 2015).

Fotony pohybující se s frekvencí v řádu  $10^5$  až  $10^{10}$  mají nejmenší energii, a proto toto záření nemá žádné negativní či poškozující účinky vůči biologické tkáni. Tento typ záření nazýváme rádiové vlny. Dle průmyslového využití můžeme tyto vlny rozdělit na ultra krátké, velmi krátké, krátké, střední, dlouhé, velmi dlouhé a extrémně dlouhé vlny. Ultra krátké a velmi krátké vlny se používají k přenosu televizního signálu, rozhlasovému vysílání a zasahují sem i frekvence mobilních telefonních sítí. Krátké vlny mají dosah až několik desítek kilometrů a využívají se především k rozhlasovému vysílání stejně jako střední a dlouhé vlny, jejichž dosah je však stovky až tisíce

kilometrů. Vlny velmi dlouhé a extrémně dlouhé se uplatňují jen velmi málo, např. pro komunikaci ponorek (Phillips a Fritzsche, 2023).

Kratší vlnovou délkou než rádiové vlny má mikrovlnné záření s frekvencí  $3 \times 10^9$  Hz až  $3 \times 10^{11}$  Hz. Působení mikrovln je podobně jako infračervené záření především tepelné. Mikrovlny jsou schopné proniknout hluboko do tkáně a způsobit její ohřev. Největší podíl na absorpci ve tkáni mají molekuly vody.

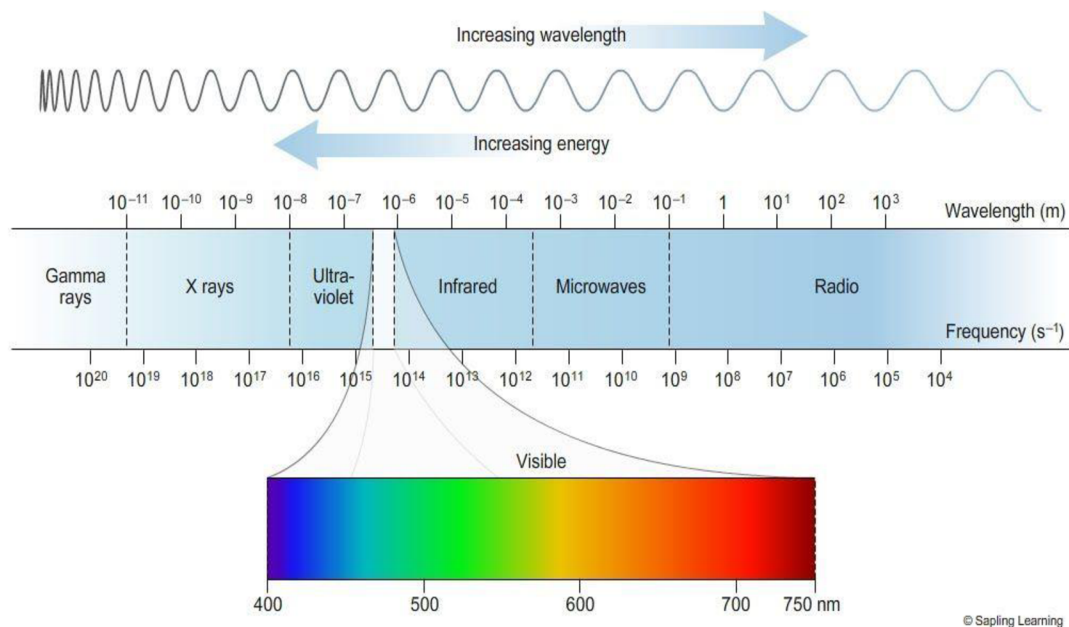
Vlnění o frekvenci  $10^{11}$  až  $10^{14}$  Hz má infračervené záření (IR), které vyzařuje každé těleso s teplotou vyšší, než je absolutní nula. Představuje asi 45 % slunečního záření. Vlnové délky IR lze dále dělit na IR-A (780–1400 nm), IR-B (1400–3000 nm) a IR-C (nad 3000 nm). IR-A má vlastnosti podobné viditelnému světlu a jeho hlavním zdrojem je Slunce. Také je toto záření jen velmi málo absorbováno vodou a díky tomu je ze všech tří nejpronikavější. IR-B a IR-C jsou silně pohlcovány vodou. Na infračervené záření navazuje červená oblast viditelného spektra.

Viditelné světlo má nejužší frekvenční pásmo, a to mezi  $3,9 \times 10^{14}$  Hz a  $7,9 \times 10^{14}$  Hz. Toto záření lze vnímat pomocí lidského oka. Mozek pak vnímá tyto vjemy jako spektrum barev od červené po fialovou. Oko je nejcitlivější na vlnovou délku 550 nm. Při kombinaci všech barev viditelného záření vzniká bílé světlo. Viditelné světlo je nepostradatelné pro život na Zemi. Díky tomuto záření mohou probíhat fotosyntéza rostlin a jiné důležité funkce u většiny organismů.

S fialovou barvou viditelného spektra hraničí UV, které má frekvenci  $10^{15}$  až  $10^{17}$  Hz. Generují ho tělesa s velmi vysokou teplotou (např. Slunce). Od těchto frekvencí má záření ionizující účinky, jelikož fotony nesou energii, která je dostatečná k ionizaci. Ionizační energie je minimální energie potřebná k odstranění nejvolněji vázaného elektronu v izolovaném plynném atomu, kladném iontu anebo molekuly (Beneš, Kyplová a Vítek, 2015).

Vyšší energii než UV záření nesou fotony pohybující se ve frekvenčním pásmu rentgenového záření, které je od  $15 \times 10^{15}$  až  $3 \times 10^{22}$  Hz. Fotony rentgenového záření nesou energii od 5–200 keV a jsou schopné ionizace. Hvězdy a jiné kosmické objekty jsou přirozeným zdrojem rentgenového záření. Umělým zdrojem je např. rentgenová lampa. Tohoto typu záření se velmi často využívá při lékařské diagnostice.

Gama záření je záření s frekvencí vyšší než  $10^{19}$  Hz. Obvykle vzniká při radioaktivním rozpadu jádra. Toto záření má velmi vysokou pronikavost (Beneš, Kyplová a Vítek, 2015).



Obrázek 1 Elektromagnetické spektrum (Anon., 2020).

### 2.2.2 Popis UV záření

UV záření je elektromagnetické záření s vlnovými délkami mezi 10–400 nm. Spektrum tohoto záření je mezi rentgenovým a viditelným zářením. Nejkratší vlnové délky UV mají schopnost ionizace. Ve vědecké literatuře se často používají tři rozdělení podle vlnových délek, a to sice: UVA (315–400 nm), UVB (280–315 nm) a UVC (<280). Vlnové délky pod 200 nm jsou klasifikovány jako UV vakua a jsou silně absorbovány vzdušným kyslíkem. Klasifikace UV záření podle vlnových délek se v odborné literatuře často mírně liší. Každý rozsah UV má specifické účinky na biologický materiál. UVC je známé pro své germicidní účinky. Toto záření může poškozovat patogenní mikroorganismy, jelikož v tomto frekvenčním rozsahu dochází k absorpčnímu maximu DNA.

UVA záření tvoří 90–99 % slunečního UV záření dopadajícího na zemský povrch. Jedná se o tzv. měkké UV záření. Dále je rozdělováno na UVA1 s vlnovými délkami mezi 340–400 nm a UVA2 s 315–340 nm. UVA záření, narozdíl od UVB, není



absorbováno ozonovou vrstvou ani sklem. Fotony UVA pronikají do kůže (přes 100  $\mu\text{m}$ ) a mohou poškodit buňky kůže. Některé studie prokazují, že energie UVA není dostatečná pro vyvolání přímého poškození molekul (Rajnochová Svobodová, 2012). VA však může inaktivovat mikroorganismy tím, že způsobí oxidační poruchu ostatních biomolekul včetně proteinů a lipidů produkcí reaktivních forem kyslíku (Hinds et al., 2019).

UVB záření tvoří přibližně 1–10 % UV záření dopadajícího na zem. Většinou je pohlcováno ozonovou vrstvou. Je považováno za silný karcinogen, asi tisíckrát účinnější než UVA. UVB není schopno procházet standardním okenním sklem. UVB prostupuje do menší hloubky kůže než UVA. Působení UVB fotonů vyvolává přímé poškození molekul.

UVC záření má ve srovnání s ostatními UV pásmy nejvyšší energii a kvůli tomu i nejintenzivnější účinky na biologickou tkáň. Působí vysoce mutageně a genotoxicky na všechny formy života i při velmi krátkých expozicích, neboť jeho vlnové délky zahrnují absorpční maximum DNA (260–265 nm). Z tohoto důvodu se používá jako účinný germicidní prostředek k prostorové dezinfekci (operační sály, laboratoře atd.) (Rajnochová Svobodová, 2012). UVC záření o vlnové délce 254 nm je nejúčinnější při zabíjení bakterií, virů, plísní, a dokonce i spor (Füszl et al., 2021). Dosah mikrobicidního účinku ve vzduchu je 30–50 cm. Ve vodě působí na mikroorganismy do hloubky 0,1–1,0 mm. Způsobuje reverzibilní i ireverzibilní změny mikroorganismů, kdy nejcitlivější jsou streptokoky a stafylokoky. Dobře citlivé jsou i virus chřipky a virus polio. Virus hepatitidy B, C a HIV jsou poměrně rezistentní (Michálková, 2014).

### **2.2.3 Radiometrie**

Fyzikální veličiny zabývající se měřením elektromagnetického záření a jeho popisem nazýváme radiometrické fyzikální veličiny. Jednou z používaných radiometrických veličin je zářivá energie, což je energie elektromagnetického záření, která je vyzařována zdrojem záření do okolí. Značí se  $E_e$  a její jednotkou je joule [J]. Další z radiometrických veličin je zářivý tok. Zářivý tok je výkon elektromagnetického záření procházející plochou za jednotku času nebo také zářivá energie procházející plochou za jednotku času. Zářivý tok lze vyjádřit vzorcem:

$$\phi_e = \frac{dE_e}{dt} \quad (7)$$

kde  $\phi_e$  je zářivý tok,  $E_e$  zářivá energie a  $t$  čas za který projde zářivá energie plochou. Jednotkou zářivého toku je watt [W]. Dále můžeme rozlišovat spektrální a integrální zářivý tok. Spektrální zářivý tok je zářivá energie vztažena k určité vlnové délce procházející plochou za jednotku času, zatímco integrální zářivý tok je pro celý interval vlnových délek. Spektrální zářivý tok lze vyjádřit rovnicí:

$$\phi_{e\lambda} = \frac{d\phi_e}{d\lambda} \quad (8)$$

kde  $\phi_{e\lambda}$  je spektrální zářivý tok,  $\phi_e$  zářivý tok a určitá vlnová délka procházející plochou za jednotku času. Integrální zářivý tok je definován rovnicí:

$$\phi_e = \int_0^{\infty} \phi_{e\lambda} d\lambda \quad (8)$$

kde  $\phi_e$  je integrální zářivý tok,  $\phi_{e\lambda}$  spektrální zářivý tok, který je derivován podle vlnové délky  $\lambda$ . Další jednotkou radiometrických veličin je zářivost, která vyjadřuje zářivý tok vyzářený do prostorového úhlu bodovým zdrojem. Lze vyjádřit rovnicí:

$$I_e = \frac{d\phi_e}{d\Omega} \quad (9)$$

kde  $I_e$  je zářivost,  $\phi_e$  zářivý tok vyzářený do prostorového úhlu  $\Omega$  bodovým zdrojem.  $\Omega$  je část prostoru, která je omezena rotační kuželovou plochou, jehož jednotkou je steradián [sr]. Jednotkou zářivosti je  $W \cdot sr^{-1}$ . Zářivý tok vycházející z plochy zdroje dopadající na jednotku povrchu ozařovaného je popsán fyzikální veličinou nazývanou intenzita vyzařování. Popisuje ji rovnice:

$$M_e = \frac{d\phi'_e}{dS} \quad (10)$$

kde  $M_e$  je intenzita vyzařování,  $\phi'_e$  zářivý tok vycházející z plochy zdroje  $S$  a dopadá na jednotku povrchu ozařovaného tělesa. Zářivý tok dopadající na element plochy vyjadřuje intenzita ozáření, která je popsána rovnicí:

$$E_e = \frac{d\phi_e}{dA} \quad (11)$$

kde  $E_e$  je intenzita ozáření,  $\phi_e$  zářivý tok a  $dA$  element plochy, na který dopadá zářivý tok. Jednotkou intenzity ozáření je  $W.m^{-2}$ . Dávka ozáření je jednotkou, která vyjadřuje intenzitu ozáření, která dopadla na danou plochu v časovém intervalu. Jedná se o součin intenzity ozáření a doby, po kterou ozáření působí. Lze vyjádřit rovnicí:

$$H_e = E_e t \quad (12)$$

kde  $H_e$  je dávka ozáření,  $E_e$  je intenzita ozáření a  $t$  doba, po kterou záření působí. Jednotkou dávky ozáření je  $W.m^{-2}$ . Všechny tyto vztahy nám mohou pomoci při určování doby expozice kontaminovaných povrchů UVC světlu, vzdálenosti zdroje světla od ozařované plochy a velikost plochy zářiče (McCluney, 2014).

## 2.3 LED

### 2.3.1 Princip fungování diod

Polovodičové diody jsou elektronické součástky obsahující P-N přechod. P-N přechod je rozhraní mezi dvěma typy polovodičových materiálů, typu P a typu N, uvnitř jednoho krystalu polovodiče. Kladná strana P obsahuje přebytek děr, zatímco záporná strana N obsahuje přebytek elektronů ve vnějších obalech elektricky neutrálních atomů. Díky tomu je možné, aby elektrický proud procházel pouze jedním směrem. Dioda je zapojena v propustném směru, pokud je na katodu (N oblast) připojen záporný pól zdroje a na anodu (P oblast) připojen kladný pól zdroje. Pokud je anoda a katoda zapojena opačně, pak je dioda zapojena v závěrném směru (Wojnar, 2013).

### 2.3.2 Princip fungování LED

LED neboli světlo emitující dioda je schopna emitovat záření (fotony) díky přeskoku elektronů v PN přechodu. Její historie sahá až do roku 1962, kdy Nick Holonyak Jr. představil první v praxi použitelnou diodu emitující viditelné světlo. Bylo to ještě pět let před tím, než byla objevena halogenidová výbojka. Osvětlení typu LED se však začalo více rozvíjet až na začátku dvacátého prvního století (Baxant, 2011). Prochází-li přechodem elektrický proud v propustném směru, přechod vyzařuje nekoherentní světlo s úzkým spektrem. Může emitovat i jiné druhy záření, např. UV či infračervené. Vlnová délka záření se dá upravovat chemickým složením polovodičového materiálu, což nám umožňuje výběr emisního pásma LED. Kromě vysoce výkonných LED jsou tyto diody konstruovány na výkony mezi 30–60 mV

(Wojnar, 2013). Polovodič je poměrně homogenní a čistá struktura, díky tomu je energie přesně určena chemickým složením jednotlivých částí a záření probíhá jen ve velmi malém rozsahu vlnových délek. Nejpoužívanějšími typy polovodičů jsou aluminium indium galium fosforid (AlInGaP) a indium galium nitrid (InGaN), které nahrazují dříve používané polovodiče galium arzenid fosforid (GaAsP), galium fosforid (GaP) a aluminium galium arzenid (AlGaAs). K transformaci se používá např. luminofor na bázi Ce<sup>3+</sup>:YAG (cerem dopovaný syntetický yttrito-hlinitý granát). Zdroj LED je napájen stejnosměrným proudem ve velikostech řádově stovky miliampérů. Napětí na jedné LED je do 3,5V. Zdroj tedy nelze připojit přímo na síťové napětí a je nutné použít předřadný prvek, proudový zdroj. Předřadný prvek je elektronická součástka nebo složitější zařízení, které se zapojuje mezi zdroj a spotřebič kvůli přizpůsobení parametrů obvodu. Diody se řetězí do sériových a paralelních větví. Při sériovém zapojení jsou při nefunkčnosti jednoho LED zdroje vyřazeny všechny ostatní zdroje v dané větvi. Doposud byla tradiční svítidla většinou standardizována za účelem vzájemné kompatibility, tak že je zdroj snadno nahraditelný za jiný. Složitější je to s výbojkami, které potřebují předřadné a startovací prvky, i v tomto případě však lze po dožití zdroj vyměnit a nahradit jiným. V tom je z hlediska praktického použití rozdíl od světelných diod. Svítidla jsou konstruována s vestavěnými zdroji a napájecí obvod je většinou součástí svítidla a je navržen na konkrétní topologii LED sítě. Svítidlo, zdroj i předřadné prvky jsou tedy jeden komponent. Při poruše pak není možná jednoduchá oprava a zprovoznění je většinou nákladnější, neboť je nutné celé svítidlo nahradit za nové nebo jej opravit, což je však značně finančně i časově náročnější, a ne vždy je to možné. Výhodou oproti jiným svítidlům, a to např. halogenidovým výbojkám, je dlouhodobá životnost, nízká spotřeba energie a relativně malá velikost (Baxant, 2011).

## **2.4 Halogenidové výbojky**

### **2.4.1 Princip fungování**

V halogenidových výbojkách vzniká světlo zářením par kovů (např. rtuti) nebo plynů (např. xenonu) společně s produkty štěpení halogenidů (Guettari, Gharbi a Hamza, 2021). UVC může být generováno z nízkého tlaku rtuťové výbojky, které produkují kontinuální UVC s maximální vlnovou délkou 253,7 nm nebo z pulzních xenonových lamp, které emitují pulzní světlo o vysoké intenzitě, a to ve spektru UVC (100–280 nm) i ve spektru viditelného světla (380–700 nm). Rtuťové výbojky mohou

být buď nízkotlaké nebo vysokotlaké. Nízkotlaké výbojky emitují přibližně 80 % UV záření a rezonanční čáry se vyskytují ve vlnových délkách 185 a 253,7 nm. Ve vysokotlakých rtuťových výbojkách převažují přechody mezi vyššími excitovanými stavy za vyzáření vlnových délek ve viditelné oblasti, ale část záření je opět v UV oblasti spektra. Vysokotlaké rtuťové výbojky jsou široce používány při úpravě vod, jelikož jsou velice intenzivním zdrojem záření (Casini et al., 2019).

#### **2.4.2 Srovnání halogenidových výbojek a LED**

UV LED jsou alternativním zdrojem pro aplikaci UV světla. Cena LED se v posledních letech snížila a jejich životnost je mnohem vyšší než u UV lamp. Navíc emise tepla z LED je mnohem nižší a díky tomu spotřebují méně energie. Jejich výhodou je také kompatibilní velikost. Rtuťové výbojky představují při užití v nemocničním prostředí určité riziko kvůli toxicitě rtuti. Kromě toho hromadění rtuti může mít nežádoucí účinky na životní prostředí i lidské zdraví. Další nevýhodou je nízká mechanická stabilita a produkce ozonu. Ozon je pro většinu účelů škodlivým vedlejším účinkem provozu lampy. Aby se jeho produkci zabránilo, většina lamp je konstruována tak, aby absorbovala 185 nm, což je nejdelší vlnová délka rtuťového světla, která ionizuje kyslík. V některých případech (při úpravách vody) je však produkce ozonu vyžadována a lampy pro toto použití nemají speciální povrchovou úpravu (Guettari, Gharbi a Hamza, 2021). UVC rtuťové výbojky zůstávají nejpoužívanějším zdrojem UV světla díky své nízké ceně (Hinds et al., 2019).

#### **2.5 Současný stav dezinfekčních metod**

Nejčastěji používanou dezinfekcí povrchů v nemocničních zařízeních je chemická dezinfekce. Chemické dezinfekční prostředky jsou v podstatě aktivní látky ve vodných roztocích, používané v různých formách podle jejich konečného účelu. Na trhu je k dispozici široká škála dezinfekčních prostředků, včetně halogenových sloučenin, jako je chlornan sodný, alkoholy, peroxidové sloučeniny, jako je peroxid vodíku, a aldehydy, jako je glutaraldehyd, z nichž všechny mají široké spektrum účinnosti, pokud se používají správně. Běžně se k dezinfekci povrchů používají směsi více aktivních látek, které jsou podle použití koncentrovány ve vodném roztoku. Chlornan sodný je běžně známý jako chlorové bělidlo (SAVO) a používá se především jako bělidlo a prostředek k úpravě vody. Americké předpisy jej dovolují používat

pro sanitaci zařízení a povrchů, které jsou ve styku s potravinami. Velmi častou složkou chemické dezinfekce povrchů jsou alkoholové směsi. Peroxid vodíku se díky svému oxidačnímu účinku používá po řadu let jako antiseptikum a dezinfektant. Přestože s růstem popularity jiných snadno dostupných prostředků využívání peroxidu vodíku pokleslo, stále ho používá mnoho nemocnic. Nejběžněji se používá k dezinfekci ran, lze ho však použít i k povrchové dezinfekci. Jiné typy dezinfekčních prostředků, jako jsou fenoly, kvartérní amoniové sloučeniny a biguanidy (včetně chlorhexidinu), jsou většinou neúčinné u bakteriálních spor a většina z nich má omezenou schopnost zabít mykobakterie (Saccucci et al., 2018).

### **2.5.1 Pravidla a normy dezinfekce nemocnic v ČR**

Podle vyhlášky č. 306/2012 se úklid nemocničních prostorech provádí každý den na vlhko, pokud je to nutné, tak i častěji. Povrch podlah by měl být uzpůsoben k úklidu daných prostor podle charakteru provozu. V prostorech, kde dochází k invazivním výkonům (operační sály a zákrokové sály), se úklid provádí před začátkem operačního programu, a to po každém pacientovi. Na odděleních s akutní lůžkovou péčí a pracovištích, kde dochází k odběru biologického materiálu, se úklid provádí třikrát denně. Úklid jiných pracovišť je přizpůsoben charakteru provozu (Česko. Ministerstvo zdravotnictví, 2012).

Na nemocničních operačních sálech i na jiných pracovištích, které jsou určeny provozním řádem, se provádí úklid běžnými čisticími prostředky a dezinfekčními přípravky s virucidním účinkem. Pracoviště mají určeny vlastní úklidové prostředky nebo úklidové stroje podle účelu použití, výjimku tvoří standardní ambulantní a lůžková oddělení stejného typu a složení fyzických osob.

V nemocničních zařízeních se mohou používat pouze přípravky, které byly dodány na trh v souladu s předpisem Evropské unie o biocidních přípravcích. Tyto přípravky pak může osoba pověřená dezinfekcí používat tak, aby bylo dosaženo účelu ochranné dezinfekce, ale jen v takové míře, aby nebyly poškozeny životní a pracovní podmínky. Aplikační dezinfekční přístroje musí splňovat bezpečnostní parametry k ochraně zdraví. Osoba provádějící dezinfekci musí podle zákona č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví dosáhnout plnoletosti, mít platné osvědčení o odborné způsobilosti k vykonávání činnosti, absolvovat odborný kurz a mít dostatečné odborné

znalosti a praktické dovednosti, které stanovuje vyhláška č. 490/2000 Sb., o rozsahu znalostí a dalších podmínkách k získání odborné způsobilosti v některých oborech ochrany veřejného zdraví. Po vykonání dezinfekce je pak tato osoba povinna kontrolovat její účinnost (Česko, 2000).

### **2.5.2 Současný stav a vývoj dezinfekčních metod ve světě**

Potřeba správného čistícího mechanismu se stala nevyhnutelnou kvůli stále se zvyšující rezistenci bakterií k antibakteriálním přípravkům, která souvisí s užíváním širokospektrálních antibiotik nebo stále stejných chemických prostředků, které po určité době často ztrácí svoji účinnost. Novými dezinfekčními prostředky na trhu jsou antimikrobiální povrchy, automatizované systémy rozptylování, UV ozařování, dekontaminace peroxidem vodíku a ošetření párou. Tyto metody by mohly představovat nové dezinfekční standardy nebo doplnění tradičních metod čištění. (Saccucci et al., 2018)

Vývoj nových dezinfekčních přípravků v současné době také směřuje k integraci robotiky do zdravotnických a hygienických postupů, které by pomohly zpomalit šíření nemocí. Roboti jsou využíváni často k redukci mezilidských kontaktů v době karantény v nemocnicích a dalších zařízeních. Zajišťují čištění, sterilizaci i jinou podporu. Díky tomu se snižuje riziko nákazy infekčním onemocněním, které dříve podstupoval nemocniční personál. Vývoj dezinfekčních prostředků zvláště nastartovala pandemie covid-19. Bylo nutné najít způsob, jak udržovat dezinfekci na vysoké úrovni, ale přesto nevystavovat personál riziku nákazy. V roce 2018 Aladin Begić et al. představil aplikaci servisních robotů pro dezinfekci ve zdravotnických zařízeních. Pacharwan Chanprakan et al. v roce 2019 představili koncept UV sterilizační technologie, která má pomoci snížit množství mikroorganismů, které mohou zůstat na površích po standardním čištění, na minimum. Mnoho odborných studií se zabývá vývojem senzorů k detekci kontaminovaných povrchů, přítomnosti lidí v místnosti a vývojem autonomních systémů robota (Undaravel, 2022).



## 3 Praktická část

### 3.1 Cíle a výzkumné předpoklady/otázky

Cíle praktické části BP:

1. Kvantitativně a kvalitativně zhodnotit účinnost chemické a UVC dezinfekce v prostorech operačních sálů nemocnice
2. Stanovení limitů UVC dezinfekce
3. Porovnání účinnosti UVC dezinfekce s tradičními metodami

Cílem praktické části BP je kvantitativní a kvalitativní stanovení mikrobiální kontaminace na površích operačních sálů před působením a po působení UVC dezinfekčního robota. Kvantitativní mikrobiální kontaminace (kultivovatelných mezofilních mikroorganismů) povrchů operačního sálu před působením a po působení UVC robota bude stanovena pomocí otiskové metody. Je předpokládáno, že bude zjištěna účinnost dezinfekčních metod využívaných v současnosti na operačních sálech a následně bude porovnána s čistotou prostor po dezinfekci UVC zářením. Je předpokládáno, že bude na povrchu přítomna koaguláza negativních stafylokoků, rod *Bacillus* a jiných zástupců kožní mikroflóry, kteří rostou při 36 °C kultivaci na Trypton Soya agaru (TSA). Na selektivně diagnostickém médiu violet Red Bile Glucose agaru bude sledována případná přítomnost gramnegativních enterobakterií (kvalitativní a kvantitativní test).

Kvalitativní stanovení případné bakteriální kontaminace ploch oportunními patogeny (kultivovaných mezofilních mikroorganismů) přítomných na površích operačního sálu bude sledováno po ozáření UVC světlem ke stanovení konkrétních mikroorganismů, které mohou být přítomny v nemocničních zařízeních a jsou významnými původci HAI, a to především multirezistentních organismů (MDRO). Je předpokládáno, že zástupci MDRO nebudou na površích operačních sálů přítomni, jelikož jejich nálezy by vykazoval závažné hygienické selhání. Je předpokládáno, že UVC dezinfekce zvýší kvalitu čistoty operačních sálů a tím i přenos HAI.

Jak bylo popsáno v kapitole 2.1.2 o UVC dezinfekci, tato metoda má několik omezení. Povrchy nemusí být dostatečně ozářeny z důvodu překážky, nepřístupnosti, stínění či vyšší vzdálenosti. Účinnost UVC dezinfekce také klesá se zvyšující se

relativní vlhkostí. Dezinfekci ovlivňují pohyby vzduchu, umístění lampy, množství prachu, mechanických nečistot, dezinfikovaný materiál a jeho chemické složení (Guettari, Gharbi a Hamza, 2021). Cílem práce je proto zjistit, jak limitující mohou být tyto aspekty pro kvalitu dezinfekce prostor a do jaké míry je můžeme ovlivnit.

Dalším cílem je stanovení bezpečnostních rizik UVC dezinfekce. Posoudit, zda po použití nedochází k degradaci materiálů a zda nemůže být poškozen personál nemocnice či pacient. Účinnost záření závisí na délce expozice ozařované plochy a vzdálenosti robota. Příliš dlouhá expozice by mohla způsobit poškození materiálů a zhoršení výkonu zdroje záření. UVC záření také může způsobit poškození elektroniky a citlivých přístrojů jako jsou počítače, tablety a mobilní telefony. Je důležité také stanovit podmínky užívání pro nemocniční personál, tak aby nedocházelo k poranění ozářením (Heimbuch a Harnish, 2019).

## **3.2 Metody**

Celý experiment probíhal v prostředí nemocničních prostor na operačních sálech. Pro chemickou dezinfekci byl použit PERSTERIL a pro dezinfekci zářením UVC LED robot se spektrálním rozptylem záření o vlnových délkách 265–280 nm. Mezi sledované plochy operačních sálu patřily povrchy s vysokou frekvencí kontaktu s rukama zdravotnického lékařského i nelékařského personálu.

### **3.2.1 Kultivace mikroorganismů**

Kvantitativní mikrobiální kontaminace, tedy počet kontaminujících kultivovatelných mezofilních mikroorganismů na površích operačního sálu, byl stanoven před aplikací a po aplikaci chemické dezinfekce a před ozářením a po ozáření plochy UVC světlem. Prvním krokem kultivace bylo přenesení mikroorganismů z testovaného povrchu do živného prostředí, tedy v tomto případě na univerzální, pevné kultivační médium. Tomuto přenosu říkáme očkování (inokulace). Očkování bylo provedeno tak, aby během přenosu nedošlo k zavedení nežádoucích mikroorganismů na plochu média ze vzduchu, rukou, dýchacích cest nebo pracovní plochy. Při očkování byla využita tzv. aseptická technika, což je sled kroků používaných k zabránění kontaminace sterilních předmětů nebo mikrobiálních kultur během manipulace. Všechna média byla před použitím sterilizována.

Pro kontrolu účinnosti chemické dezinfekce byla využita otisková metoda. Její princip spočívá v přiložení kulaté agarové plotny o průměru 5,5 cm (tedy s plochou 25 cm<sup>2</sup>) na sledovanou plochu a sejmutí tzv. „otisku“. Pro tuto metodu byl využit TSA s disinhibitorem. TSA je bohaté kultivační médium, které dovoluje růst široké škály mezofilních bakterií. PERSTERIL otištěný agarovou plotnou by v médiu (agaru) mohl sledované bakterie poškodit, a narušit tak jejich kultivaci, proto je v médiu využíván neutralizátor dezinfekce (disinhibitor). Disinhibitor deaktivuje zbytky dezinfekčních a konzervačních přípravků pro obnovu mikroorganismů. Toto médium se v praxi používá pro stanovení počtu kolonií z povrchu po úklidu a dezinfekci (Murray, Rosenthal a Pfaller, 2020).

Pro stanovování kvantitativní mikrobiální kontaminace proběhly dva pokusy. První byl stanovení účinnosti chemické dezinfekce, tedy v našem případě PERSTERILU, a to tak, že byly snímány vzorky před aplikací a po aplikaci prostředku. Druhý pokus hodnotil úbytek mikrobů při aplikaci UVC světla, takže otisky byly snímány před ozářením a po ozáření ploch. Z každé testované plochy (mimo klávesnice PC, myš PC a madlo dveří sálu) byly sejmuty tři otisky a konečný výsledek byl uveden jako průměrná hodnota počtu kolonií. Nádoby obsahující kultivační media byly zavřeny do doby, než s nimi bylo pracováno, a ani poté nebyly ponechány otevřené. Při inokulaci bylo víčko ponecháno otevřené jen nezbytně dlouhou dobu. Experiment se prováděl celkem na 20 plochách operačního sálu. Jednalo se např. o povrchy přístrojového vybavení, pomůcek, úložných prostor nebo nábytku. Byly voleny především povrchy vyznačující se vysokou frekvencí doteku, tedy i vysokou frekvencí kontaktu s kožní mikroflórou lékařského a nelékařského personálu. Tyto plochy jsou významným zdrojem přenosu HAI. Sedmnáct ploch bylo sledováno třemi otisky kontaktních agarů pro získání reprezentativního a statisticky významného výsledku počtu kontaminujících buněk přítomných mikroorganismů. Tři plochy byly sledovány pouze jedním otiskem (vzhledem k jejich velikosti): tlačítko enter klávesnice stolního počítače, počítačová myš a madlo posuvných dveří sálu. Byly testovány povrchy rovnoběžné s UV lampami robota i povrchy kolmé k záření lamp. Délka působení UV světla na jednotlivých stanovištích činila 7 minut.

Kultivace, tedy pěstování mikroorganismů na umělých živných půdách, byla prováděna v laboratoři na živném médiu, které zohledňuje nutriční potřeby mikroorganismů. Živná media musí obsahovat zdroj energie, makroprvky a růstové

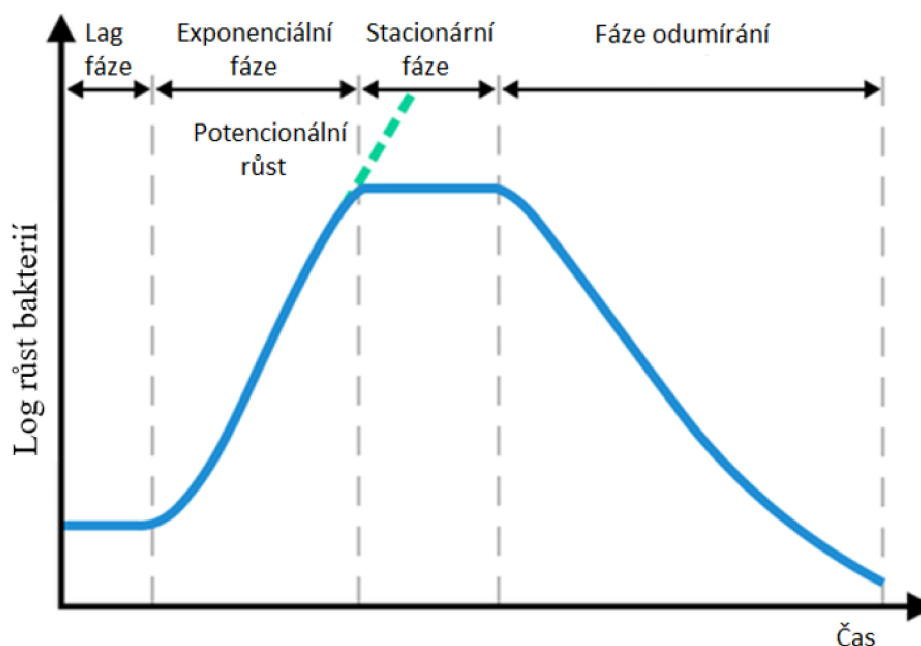
faktory (vitamíny, aminokyseliny). Kultivace probíhala v inkubátoru Q-CELL s teplotní stabilitou  $\pm 0,5$  °C a teplotním rozsahem přístroje 8–40 °C.

Kultivační media lze dělit dle složení na syntetická a komplexní. Chemické složení syntetických prostředí je přesně definováno. Zdrojem uhlíku je zde obvykle glukóza a zdrojem dusíku amonné soli. Komplexní media nejsou chemicky přesně definována a jako zdroj uhlíku a dusíku zde slouží proteiny a peptidy, které jsou dodány ve formě extraktů a hydrolyzátů kaseinu, masa, kvasnic, sójových bobů a jiných přírodních materiálů či částečně proteolyzovaných rostlinných a živočišných proteinů. Většina chemoheterotropních bakterií je rutině kultivována na komplexních médiích.

Dle růstu mikroorganismů lze živná media dělit na univerzální, selektivní a selektivně diagnostická. Univerzální media vyhovují požadavkům na výživu širokého spektra organismů. Tento druh média byl využit ke kvantitativnímu stanovení mikrobiální kontaminace povrchů operačních sálů. Selektivní médium inhibuje růst určitého druhu nebo skupiny mikroorganismů např. Sabouraudův agar, kde je růst bakterií je potlačen nižším pH a je tak zvýhodněn růst kvasinek a plísní. Na selektivně diagnostických médiích roste jen velmi malá skupina organismů, jejichž růst se projeví typickou biochemickou reakcí např. Endův agar, který potlačuje růst grampozitivních bakterií.

Kultivační média lze dále dělit podle konzistence na média tekutá, pevná a polotekutá. Tekutá média slouží např. k množení mikroorganismů, přípravě čistých kultur nebo oživení mikrobiálních kultur. Po inokulaci mikroorganismů a jejich inkubaci se tekutá půda zakalí nebo se biomasa mikroorganismů usadí na dně kultivační nádoby, případně se koncentruje na povrchu média. V tekutém médiu jsou projevy růstu málo charakteristické a více druhů mikroorganismů často není možné rozlišit. Pevná média jsou nejrozšířenějším typem kultivačních médií, která obsahují ztužující složku. V mikrobiologii se pro výrobu tuhých půd využívá nejčastěji želírujících vlastností agaru. Agar je přírodní polysacharid získávaný ze stélek červených mořských řas. Z pevného média můžeme na rozdíl od tekutého zjišťovat počet jednotek tvořících kolonie (CFU). Polotekuté půdy mají krémovitou konzistenci, neboť obsahují nízkou koncentraci ztužujících přísad (Frébortová, 2017)

Misky s agarem byly kultivovány při teplotě 37 °C a počty kolonií byly počítány po 24 hodinách a kvůli pomalu rostoucím bakteriím dále po 48 hodinách. Většina bakterií roste v určitém teplotním rozmezí. Minimální teplota růstu je nejnižší teplota, při které je mikroorganismus ještě schopen růstu. Jednotlivé druhy rostou nejlépe při optimální teplotě růstu. Nejvyšší teplota, při které organismus roste, se nazývá maximální teplota růstu. Prokaryotické organismy jsou podle požadavku na teplotu klasifikovány do pěti skupin. Psychrofilní bakterie, které rostou při teplotách pod 20 až 0 °C nebo i méně. Také psychrotrofní bakterie jsou schopny růstu při velmi nízkých teplotách. Optimální rozmezí je od 20 do 30 °C. Vhodná teplota pro mezofilní bakterie je mezi 25 až 40 °C, pro termofilní mezi 45 až 65 °C. Hypertermofilní bakterie rostou nejlépe při teplotách 80 °C a více. Rozsah preferovaných teplot je geneticky dán a souvisí se stabilitou enzymů a dalších biopolymerů buňky. Růst populace mikroorganismů lze popsat tzv. růstovou křivkou (Obrázek 2). Po inokulaci bakterií do čerstvého živného média se počet buněk téměř nemění, buňky se adaptují na nové prostředí (adaptační neboli lag fáze). Poté se buňky začínají exponenciálně množit (exponenciální neboli logaritmická fáze). Po vyčerpání živin nebo nahromadění toxických produktů buňky přestávají růst a jejich počet se nemění (stacionární fáze). Po určité době buňky začínají exponenciálně odumírat (fáze odumírání) (Rios Pinto, Ferreira a Tasic, 2021).



Obrázek 2 Růstová křivka mikroorganismů (upraveno) (Labster, 2021).

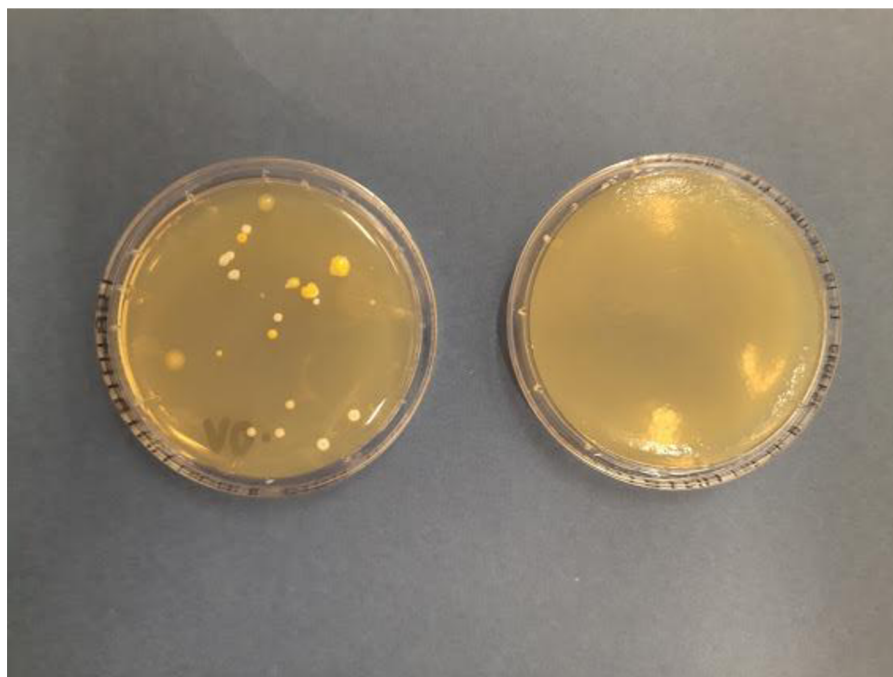
### 3.2.2 Vyhodnocení procentuální účinnosti z počtu CFU

Procentuální účinnost dezinfekce byla vypočítána jako rozdíl počtu CFU na ploše před dezinfekcí a po dezinfekci. Ke stanovení počtu buněk se využívá buď přímé nebo nepřímé metody. Mezi přímé metody řadíme stanovení počtu buněk pomocí mikroskopu, tedy počítání samotných buněk v preparátu ze vzorku bez kultivace. Výhodou je rychlost a stanovení počtu jak živých, tak mrtvých buněk či jejich poměr, např. porovnáním poměru neobarvených živých buněk s počtem mrtvých, které se obarvují.

Nepřímé techniky jsou kultivační kvantitativní metody, které umožňují stanovit počet životaschopných buněk. Kultivací vzorku se zjišťuje počet životaschopných buněk, které jsou schopny vytvořit kolonie. Při vyhodnocování vzorku v této práci byla účinnost vztažena ke snížení počtu CFU/25 cm<sup>2</sup> mikrobiální kontaminace na sledovaném povrchu. Plotnová metoda (kultivační nepřímá metoda) spočívá ve stanovení počtu narostlých kolonií za předpokladu, že každá životaschopná buňka vytváří právě jednu izolovanou kolonii (Murray, Rosenthal a Pfaller, 2020). Kolonie byly počítány ze dna misky a byly označeny popisovačem na sklo tečkou. Ze získaných

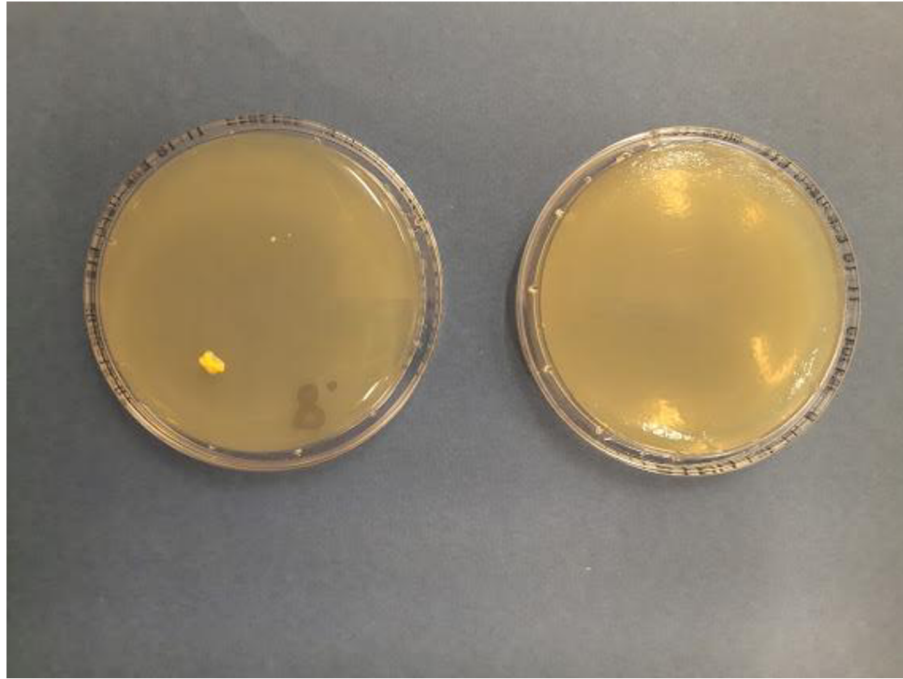
hodnot vzorků odebíraných ze stejných ploch byl vypočítán průměr počtu CFU/25 cm<sup>2</sup>. Při provedení otiskové metody před dezinfekcí a po dezinfekci operačního sálu získáme tedy poměr počtů bakteriálních (popř. kvasinkových) buněk na 25 cm<sup>2</sup> sledovaných ploch. Zpravidla byly provedeny tři otisky z plochy, která to umožňuje svou velikostí. Z hygienicky významných ploch, které jsou ale malé a otisk tři misek neumožňují, byl odebrán otisk pouze jedné misky (víčko nádoby na dezinfekční ubrousky; myš počítače, úchytka dveří...).

Výsledek, který je uveden v tabulce 1 a 2, je získán zprůměrováním tří hodnot (pokud není uvedeno jinak) CFU/25cm<sup>2</sup> před dezinfekcí a po dezinfekci, vypočtením rozdílu těchto dvou hodnot a stanovením procentuálního úbytku bakteriálních/kvasinkových buněk. Průměrný procentuální úbytek počtu CFU/25 cm<sup>2</sup> před chemickou dezinfekcí a po chemické dezinfekci je pro každý testovaný povrch uvedený v tabulce 1. Pro vyhodnocení účinnosti UVC dezinfekce jsou výsledky uvedeny v tabulce 2.



Obrázek 3 TSA po kultivaci otisků ploch (vlevo vzorek před aplikací PERSTERILU, vpravo po aplikaci PERSTERILU) (vlastní obrázek).





Obrázek 4 TSA po kultivaci otisků ploch (vlevo vzorek před aplikací UVC světla, vpravo po aplikaci UVC světla) (vlastní obrázek).

Tabulka 1 Procentuální snížení počtu CFU/25cm<sup>2</sup> před dezinfekcí a po dezinfekci PERSTERILEM (vlastní tabulka).

Sledovaná plocha operačního sálu	Snížení počtu kultivovatelných mezofilních mikroorganismů účinkem chemické dezinfekce na sledované ploše
Podlaha mezi operačním stolem a mobilním stolkem	100 %
Podlaha mezi anesteziologickým přístrojem a operačním stolem	Plocha bez mikrobiální kontaminace již před použitím dezinfekce
Operační stůl	Bez účinku
Pracovní plocha mobilního stolku	33 %
Madla mobilního stolku	75 %
Tlačítka monitoru anesteziologického přístroje	77 %
Počítačová myš (1 kontaktní miska)	100 %
Madla lampy nad operačním stolem (1 kontaktní miska)	Plocha bez mikrobiální kontaminace již před použitím dezinfekce
Fólie klávesnice u monitoru počítače (1 kontaktní miska)	Bez účinku
Stolek anesteziologického přístroje (1 kontaktní miska)	29,2 %
Víko plastového boxu na materiál	12,5 %
Plastové víko boxu na dezinfekční ubrousky (1 kontaktní miska)	100 %
Manžeta operačního stolu	Bez účinku
Šuplíky plastového stolku anesteziologického přístroje	66,7 %
Úchytka dveří operačního sálu (1 kontaktní miska)	35,3 %

Tabulka 2 Procentuální snížení počtu CFU/25cm<sup>2</sup> před použitím a po použití UVC dezinfekce (vlastní tabulka).

Sledovaná plocha operačních sálů (použity 3 kontaktní misky otiskové metody, není-li uvedeno jinak)	Snížení počtu kultivovatelných mikroorganismů (%)
<b>Operační stůl</b>	
• plocha vzdálená 20 cm od zdroje záření	100 %
• plocha vzdálená 30 cm od zdroje záření	100 %
• manžeta operačního stolu (koženka, textilie)	100 %
<b>Madlo lampy nad operačním stolem</b>	90 %
<b>Mobilní odkládací stolek</b>	
• madlo	100 %
• <b>kolmá plocha</b> vzdálená 20 cm od zdroje záření	89 %
• <b>kolmá plocha</b> vzdálená 30 cm od zdroje záření	50 %
<b>Anesteziologický přístroj</b>	
• monitor přístroje v místě tlačítek	100 %
• pracovní plocha odkládacího stolku přístroje	100 %
• madla úložného prostoru	100 %
• stěna úložného boxu	100 %
<b>Stolní počítač</b>	
• tlačítko enter klávesnice (1 kontaktní miska)	100 %
• počítačová myš (1 kontaktní miska)	100 %
• stolek klávesnice (kolmá plocha)	75 %
<b>Plastové úložné boxy</b>	
• víko plastového boxu (kolmá plocha)	81 %
• stěna úložného boxu	100 %
<b>Nástěnná skříňka</b>	
• dvířka skříňky	100 %
• pracovní plocha pod skříňkou	100 %
<b>Dveře operačního sálu</b>	
• lišta dveří	100 %
• madlo dveří (1 kontaktní miska)	97 %
• plastová výplň dveří	Plocha bez mikrobiální kontaminace již před použitím dezinfekce

### 3.2.3 Diagnostika bakteriální kontaminace

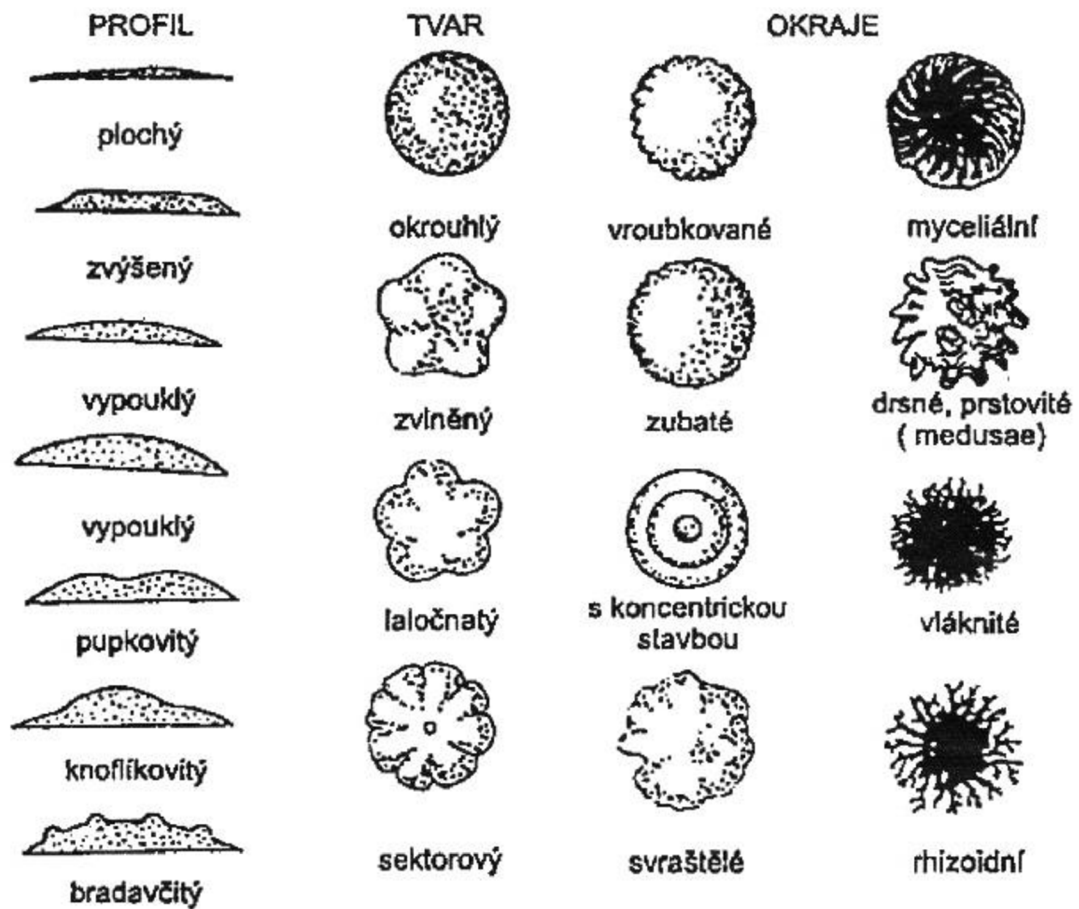
Diagnostika bakteriální kontaminace stanovuje přítomnost oportunních patogenů, které mohou být přítomny na površích nemocničních prostor a jsou významnými původci HAI.

Prvním krokem tohoto experimentu bylo přenesení mikroorganismů z povrchu do živného prostředí, tedy v tomto případě, při kvalitativní diagnostice bakteriální kontaminace, na nabohacující médium. Mikroorganismy, jejichž přítomnost byla zjišťována, se mohou vyskytovat jen ve velmi nízkém počtu, a proto bylo nezbytné nabohacování kultur provést. Očkování bylo provedeno tak, aby během přenosu nedošlo ke kontaminaci z vnějšího prostředí. Při očkování byla využita aseptická technika. Všechna média byla před použitím sterilní. Odběr byl prováděn pomocí stěrů ploch sterilními tampony, které byly následně přeneseny na nabohacující médium. Osoba, která vzorek odebírala, na sobě vždy měla sterilní oděv, sterilní rukavice, respirátor a měla čisté odezinfikované ruce. Po nabohacení byly vzorky aplikovány na diagnostické či selektivně diagnostické půdy. Média, která byla použita ke kultivaci mikroorganismů, byla uzpůsobena ke kultivaci specifického patogenu. Složení živných půd vždy odpovídalo požadavkům daného organismu, jehož přítomnost byla zjišťována na výživu, pH a osmotické podmínky.

Po uplynutí předepsané doby kultivace se dle morfologie kolonií, popř. fluorescence, precipitace média v okolí nárustu odečítají výsledky. Při vyhodnocování kultivovaných vzorků je možné morfologicky identifikovat kultury, a tak zjistit jejich fyziologický stav. Makroskopické hodnocení spočívá v popisu kolonií. Vzhled kolonií je ovlivněn typem živného média, stářím kultury a typem kultivace. Na Petriho miskách lze při správně provedeném odběru pozorovat a hodnotit jednotlivé kolonie (Obrázek 5), a to nejčastěji:

- velikost (průměr),
- tvar (pravidelný, kulatý, oválný, nepravidelně laločnatý, vláknitý, rhizoidní, plazící se),
- profil (vyvýšený, plochý, pupkovitý, miskovitý), okraj (pravidelný, filiformní, laločnatý, okrouhlý), povrch (hladký, lesklý, matný, drsný),
- transparence (průhledná, průsvitná, neprůsvitná),
- barva (bezbarvá, pigmentace).

Další charakteristiky, které se mohou posuzovat, jsou zápach, tvorba mycelia, změny média a konzistence, která se zjišťuje bakteriální kličkou.



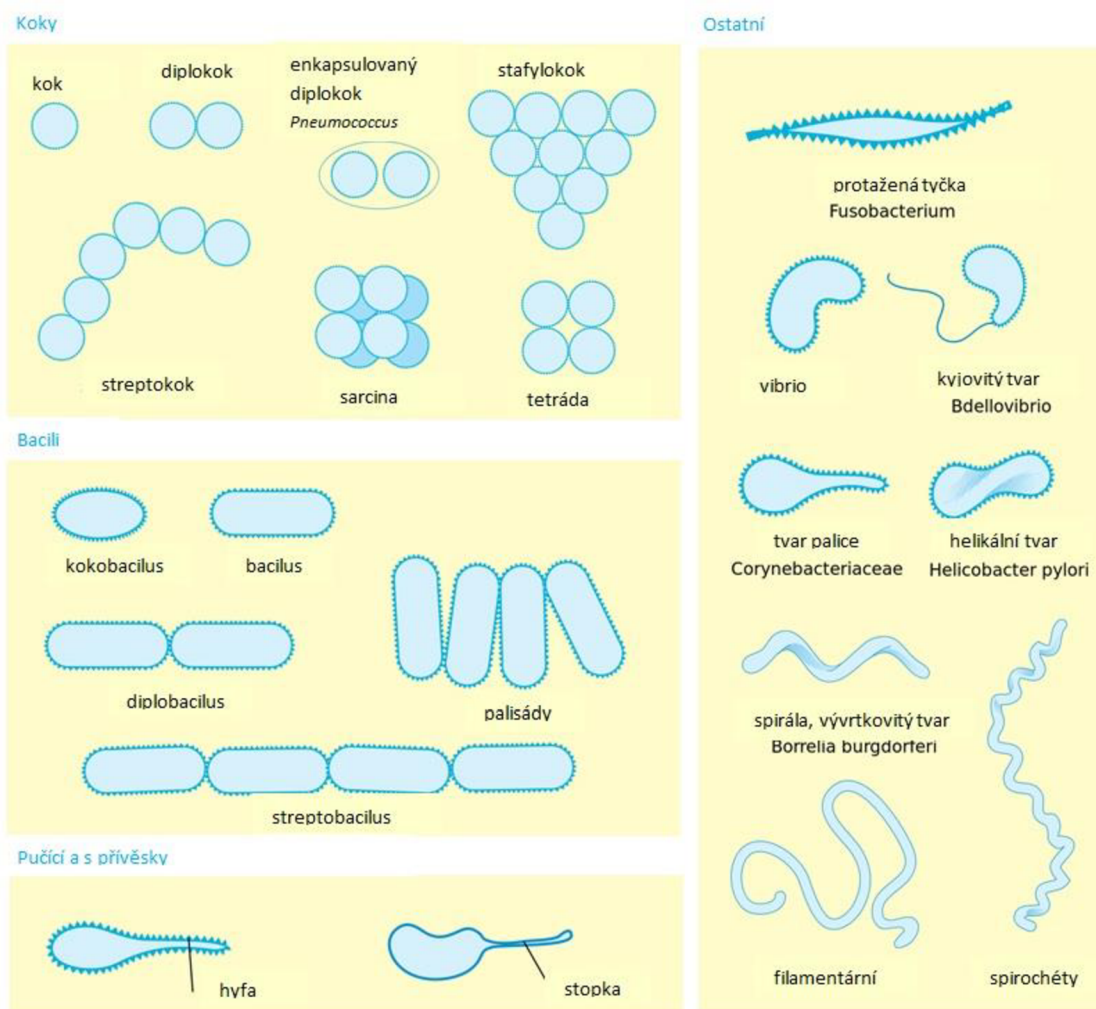
Obrázek 5 Tvary bakteriálních kolonií (Rosypal, 1981).

Mikroskopicky pak lze posuzovat tvar, velikost, uspořádání buněk, přítomnost zvláštních útvarů na buňce nebo viditelný způsob rozmnožování. Preparát lze pozorovat nativní nebo zvýraznit morfologii buňky a její struktury fixací a barvením (např. Gramovo, Ziehl-Nielsenovo barvení). U nativního preparátu (pozorování suspenze) se na podložní sklíčko vždy přikládá krycí sklíčko. Při pozorování plísní, kvasinek či aktinomycet se využívá sklíčkových kultur. U bakterií se rozlišují následující typy buněk dle tvaru:

- koky (sférické, zploštělé, diplokoky, streptokoky, tetrády, sarciny, stafylokoky)
- tyčinky (rovné, zakřivené, větvíci se, palisády, pleomorfní)
- kokobacily
- buňky s pupeny či prostékami

- spirily
- hvězdice
- mycelia

(Prescott, Harley a Klein, 1996).



Obrázek 6 Tvary bakteriálních buněk (Rosypal, 1981).

Pro hodnocení kultur je ve sporných případech možné přiřadit jednoduché biochemické testy (např. test na oxidázu, katalázu) popřípadě kultivaci na krevním agaru pro průkaz hemolýzy nebo mikroskopii. Jednotlivé typy použitých kultur jsou popsány v tabulce 2.

Na plochách operačních sálů byla sledována přítomnost:

- enterobakterií
- MRSA kmenů
- VRE kmenů

- ESBL kmenů
- pseudomonas
- kvasinek
- anaerobních klostridií

Enterobakterie jsou skupina gramnegativních anaerobních bakterií běžně přítomných v lidských střevech. Rod zahrnuje 17 druhů, z nichž významné jsou zejména *E. aerogenes* a *E. cloacae*. Běžně nebývají patogenní, mimo střevo však mohou způsobit např. zánět močových cest, což je jedno z nejčastějších onemocnění typu HAI. Přirozeně jsou rezistentní na řadu antibiotik.

MRSA neboli methicilin rezistentní *Staphylococcus aureus* je označení pro kmeny bakterie, které jsou rezistentní vůči antibiotiku meticylin. Tyto kmeny se rozšířily zejména v nemocnicích kvůli používání širokospektrálních antibiotik. Spadají mezi nejčastější typy HAI. MRSA je původce úporných kožních a systémových infekcí a sepsí. Stala rezistentní i na řadu dalších antibiotik a roce 2022 byly objeveny kmeny VRSA neboli vankomycin rezistentní *Staphylococcus aureus*, který je rezistentní i vůči vankomycinu. V nemocnicích je nutné dodržovat speciální přístup k pacientům pozitivních na tyto infekce a držet je v izolaci.

VRE neboli vankomycin rezistentní enterokoky jsou původci HAI a způsobují zejména průjemovitá onemocnění. Podobně jako u jiných oportunních patogenů, VRE jsou často přítomny ve střevu pacientů bez jakýchkoli příznaků.

ESBL neboli širokospektré beta-laktamázy jsou enzymy produkovány některými bakteriemi, a to především gramnegativními tyčinkami. Mohou působit rezistenci k antibiotikům včetně penicilinu a širokospektrým cefalosporinům třetí generace. Způsobují např. infekce močového ústrojí či pneumonie.

*Pseudomonas* je rod gramnegativních bakterií což je přirozeně činí odolné k antibiotikům jako jsou penicilin a ostatní beta-laktamová antibiotika. Nejnebezpečnějším původcem lidských onemocnění mezi nimi je *Pseudomonas aeruginosa*. Jsou pohyblivé a mají tyčinkový tvar, obvykle jsou aerobní a netvořící spory. Způsobují např. sepsi či respirační onemocnění (Murray, Rosenthal a Pfaller, 2020).

Kvasinky jsou jednobuněčné houbové mikroorganismy, které bývají častou příčinou onemocnění močového traktu a kůže (Barnett, Payne a Yarrow, 2000).

Anaerobní klostridie jsou rod bakterií, pro které je charakteristická tvorba endospor. Pro člověka jsou patogenní především klostridie produkující toxiny. Jen několik málo druhů je schopno tvořit toxiny, které mohou být pro člověka smrtelně nebezpečné. Mezi takové patří například botulotoxin a tetanický toxin. Mezi nejčastější postižení těmito toxiny patří neurotoxikóza, sepsa, nekrotizující infekce měkkých tkání a enterotoxikóza (Murray, Rosenthal a Pfaller, 2020).

Všechny tyto mikroorganismy jsou významnými původci HAI a jejich přítomnost v nemocničních zařízeních by mohla prodloužit hospitalizaci pacienta nebo ho dokonce vážně ohrozit. K prevenci HAI a snížení pracovní zátěže zdravotnického personálu je proto nutná účinná dezinfekce. Je předpokládáno, že žádný z těchto mikroorganismů nebude na površích operačních sálů nalezen, jelikož jeho přítomnost by znamenala vážné hygienické selhání.



Tabulka 3 Vyhodnocení mikrobiální kontaminace specifickými patogeny (vlastní tabulka).

Použitá diagnostická a selektivně diagnostická média	Účel použití média	Plochy, kde byly sledované mikroorganismy prokázány
Trypton Soya Broth USP (TV5002E)	pomnožovací médium	Na žádných plochách operačních sálů nebyla diagnostikována bakteriální kontaminace oportunními patogeny (kultivovaných mezofilních mikroorganismů) po aplikaci UVC světla
Trypton soya AG+ disinhibitor contact (PO5024C)	kvantitativní stanovení mezofilních mikroorganismů na sledovaných plochách operačního sálu; médium pro stanovení počtu kolonií z povrchu po úklidu a dezinfekci	
Violet Red Bile Glucose Agar (ISO) (Contact) (PO5323C)	selektivní médium pro detekci a stanovení počtu <i>Enterobacteriaceae</i> z povrchů	
Brilliance™ VRE Agar (PO1175A)	selektivní chromogenní médium pro presumptivní identifikaci a vzájemné rozlišení vankomycin rezistentních <i>Enterococcus faecium</i> a <i>Enterococcus faecalis</i> přímo z klinických vzorků, za 24 hodin	
Brilliance™ MRSA 2 Agar (PO5310A)	selektivní médium pro screening klinických vzorků na přítomnost meticilin rezistentního <i>Staphylococcus aureus</i> (MRSA)	
Brilliance™ ESBL Agar (PO5302A)	stanovení mikroorganismů produkujících širokospektré beta-laktamázy	
Slanetz Bartley sel. médium (PO5018A)	médium pro detekci enterokoků	
Colombia CNAesc./McConkey 3 agar (PB5224E)	pro selektivní izolaci grampozitivních koků, enterobakterií a <i>Acinetobacter</i> sp.	
<i>Pseudomonas</i> CFC selective agar (PO5132A)	selektivní médium pro izolaci <i>Pseudomonas</i> sp.	
Cetrimide agar (USP, EP) (PO5181A)	stanovení přítomnosti <i>Pseudomonas aeruginosa/fluorescens</i>	
Brilliance <i>Candida</i> /Sabourad GC Agar (PO5258E)	pro současnou izolaci dermatofytů, jiných hub a kvasinek a izolaci a presumptivní identifikaci klinicky důležitých <i>Candida</i> spp.	
Biggy Agar (Nickerson médium) (PO5011A)	médium pro izolaci a presumptivní identifikaci <i>Candida</i> sp.	
Braziers <i>Clostridium difficile</i> selective Agar (HBA) (PB1055A)	médium pro izolaci a presumptivní identifikaci klinických izolátů anaerobních klostridií	
Columbia Agar + Sheep Blood (PB5008A)	pomnožovací médium, průkaz hemolýzy	

### 3.3 Analýza výzkumných dat a vyhodnocení cílů

Počet CFU/25 cm<sup>2</sup> se po chemické dezinfekci PERSTERILEM snížil průměrně o 45,5 % (porovnání je zobrazeno v grafu 1). U 3 z 15 sledovaných kritických ploch nedošlo k žádnému úbytku bakteriální kontaminace (plochy operačního stolu, fólie klávesnice u monitoru počítače a manžeta operačního stolu). Chemická dezinfekce byla tedy v tomto případě zcela neúčinná. U 3 ploch byla dezinfekce PERSTERILEM 100% účinná (povrch podlah mezi operačním stolem a mobilním stolkem, počítačová myš a plastové víko boxu na dezinfekční ubrousky). Nejvýraznější snížení počtu CFU bylo na povrchu počítačové myši. Lze říci, že existují povrchy vhodné k chemické dezinfekci, jsou však i takové, kde i po použití standardizovaných běžně používaných postupů čištění na povrchu zůstává bakteriální znečištění.

Průměrný počet CFU/25 cm<sup>2</sup> byl před použitím UVC robota o 93 % vyšší než před jeho použitím (graf 2). Plochy, kde byla UVC dezinfekce 100% účinná, byly plastové materiály a lamino, které byly rovnoběžné se zářiči (lampami). Byly tedy bez kultivovatelných mikroorganismů. Na plochách kolmých k UV záření lamp robota se počet kultivovatelných mezofilních mikroorganismů na testovaných plochách snižuje v závislosti na vzdálenosti od zdroje. Do půlmetrové vzdálenosti klesá počet mikrobů o 50–91 %. U madel (madlo dveří a madlo lampy operačního stolu) se i přes zakřivení plochy madla prokázalo snížení kultivovatelných mezofilních mikroorganismů o 90 % (madlo lampy UV stolu), 97 % (madlo dveří operačního sálu) a 100 % (madlo mobilního stolku). Vzhledem k dosaženým výsledkům se předpokládá využití účinnosti UV robota v kombinaci s chemickou dezinfekcí; u testovaných ploch předcházející předvýzkum potvrdil vyšší účinnost dezinfekce za pomoci UV záření, než za pomoci samotné dezinfekce PERSTERILEM. Dezinfekce UVC zářením prototypu robota byla 100 % účinná v případě rizikových míst operačního sálu, u nichž dezinfekce PERSTERILEM vykazovala nárůst mikrobů i po sanitaci (manžeta operačního stolu, madlo mobilního stolku, monitor anesteziologického přístroje, madlo úložného boxu anesteziologického přístroje, PC klávesnice, PC myš). Dezinfekce UVC zářením snížila počet kultivovatelných mezofilních mikroorganismů o 97 % a 90 % v případě rizikových míst operačního sálu, kde je diskutabilní dosvit UVC záření. Tyto plochy zároveň vykazovaly nárůst mikrobů i po sanitaci PERSTERILEM (madlo dveří operačního sálu, madlo lampy operačního stolu). Můžeme tak říci, že při zavedení UVC robota

do nemocničních zařízení by se pravděpodobně zlepšila kvalita čistoty prostor a díky tomu se snížilo riziko přenosu HAI.

Pravidelně omývané plochy, které nepřichází do kontaktu s lidskou pokožkou, vykazovaly minimální bakteriální kontaminaci/nárůst před dezinfekcí i po ní. Hygienicky významné plochy operačního sálu, které jsou pravidelně používány personálem a mohou na nich ulpívat bakterie zejména kožní mikroflóry, jsou účinně dezinfikovány v závislosti na tvaru a složení jejich povrchu. Je-li povrchem folie klávesnice počítače (např. se záhyby), folie na monitoru anesteziologického přístroje, plastová pokrývka operačního stolu, manžeta s pórovitým povrchem či s drobnými záhyby, není chemická dezinfekce 100% účinná a na plochách zůstávají bakteriální buňky i po dezinfekci. Kritické povrchy, které byly sledovány, se nemusí vždy dostat přímo do bezprostředního kontaktu s operovaným pacientem či pokožkou operujícího lékaře, ale mohou být významný rezervoár pro přenos HAI či ATB rezistentních patogenů kontaktem s pokožkou či rukavicemi lékařského či nelékařského personálu.

Jak bylo předpokládáno, při vyhodnocování kultivovaných vzorků diagnostických a selektivně diagnostických médií nebyla zjištěna přítomnost sledovaných bakterií, které jsou častými původci HAI, jelikož přítomnost těchto specifických patogenů je striktně sledována a mohla by znamenat vážné ohrožení pacienta i personálu. Je proto vysoce pravděpodobné, že se v prostorech operačního sálu tyto mikroorganismy nevyskytovaly ani před dezinfekcí povrchů. V tomto případě tedy nebyl diagnostikován žádný specifický mikroorganismus rezistentní vůči dezinfekci UVC zářením. Ze znalosti předchozích studií se však dá předpokládat, že existují i takové druhy bakterií, virů a plísní, které jsou schopny přežít i po aplikaci UV světla (Heimbuch a Harnish, 2019).

### **3.4 Vyhodnocení cílů a výzkumných otázek/předpokladů**

Celkově bylo prokázáno zlepšení kvality dezinfekce kritických ploch operačních sálů s častým kontaktem zdravotnického personálu použitím UVC záření namísto standardizovaných postupů, a to průměrně o 93 %. Dezinfekce PERSTERILEM zlepšila sterilitu povrchů o 46 %, což je o 47 % méně, nežli dokázala

dezinfekce UVC zářením. Jako nejvíce kritické povrchy s nejnižším procentem úbytku CFU z hlediska dezinfekce chemickým prostředkem byly především plochy operačního stolu, fólie klávesnice u monitoru počítače a manžeta operačního stolu. U těchto 3 ploch z celkových 15, tedy u 20 % testovaných kritických povrchů, nedošlo k žádnému úbytku kultivovatelných bakterií po použití chemické dezinfekce.

Úbytek mikroorganismů po použití UVC dezinfekce ovlivňovalo především zakřivení plochy, vzdálenost od zdroje záření a dezinfikovaný materiál. Účinnost vztažena na konkrétní oportunní mikroorganismy, které byly kultivovány na diagnostických a selektivně diagnostických agaroch, nelze hodnotit, jelikož po UVC dezinfekci nebyla zjištěna jejich přítomnost a nelze říci, zda byly plochy prosté mikrobů i před aplikací UV světla.

I přes známé omezení UVC dezinfekce bylo prokázáno snížení počtu kultivovatelných mezofilních mikroorganismů, např. u madel (madlo dveří a madlo lampy operačního stolu) se i přes zakřivení plochy prokázalo snížení o 90 % (madlo lampy UV stolu), 97 % (madlo dveří operačního sálu) a 100 % (madlo mobilního stolku). I přes výrazné snížení intenzity se zvyšující se vzdáleností byl počet mikroorganismů do půlmetrové vzdálenosti snížen o 50–91 %. Tyto výsledky dokazují, že využití UVC robota se vyplácí i na zakřivené a kolmé plochy. Po vyhodnocení výsledků účinnosti UVC robota nebyla nalezena plocha, na níž by UVC záření alespoň částečně nesnížilo počet kultivovatelných mezofilních mikroorganismů. Zároveň nebylo zjištěno, že by po použití UVC světla docházelo k degradaci materiálu nebo poškození elektrických přístrojů.

Zdravotnický personál ani pacient by neměl být UVC zářením ohrožen, pokud bude dodržovat bezpečnostní podmínky pro používání dezinfekčního přístroje, jako je nepřítomnost v dezinfikované místnosti, popřípadě ve výjimečných situacích bude používat dostatečné ochranné pomůcky (ochranné krytí pokožky a brýle). Při správném použití by tedy neměl být dezinfekční proces spojen s žádným rizikem. Robot je vždy možné spouštět a vypínat na dálku.

Shrnutí výzkumných cílů a otázek:

- UVC robot prokázal vysokou účinnost při likvidaci širokého spektra kultivovatelných mikroorganismů
- UVC dezinfekce prokázala vyšší účinnost redukce bakteriální kontaminace na kritických plochách, nežli běžný způsob likvidace mikrobů chemickými prostředky
- UVC dezinfekci se vyplatí používat u ploch, které jsou často zvýšeně kontaminované i po důkladné chemické dezinfekci
- I přes známé limity je UVC dezinfekce účinná i na kolmé a nerovné povrchy
- UVC dezinfekce je stále velmi nová metoda, proto je nutné její účinnost nadále sledovat
- Před tímto typem dezinfekce je nutné dostatečně chránit personál nemocnice a kvalitně ho proškolit, aby nedošlo k poranění ozářením
- Je nutná pravidelná kontrola přístroje, aby nedocházelo ke snížení výkonu světelného zdroje nebo jiným závadám

## 4 Diskuze

Hlavní zjištění práce je prokázání vyšší účinnosti při likvidaci mikroorganismů na specifických plochách a materiálech, nežli má chemická dezinfekce. Při srovnání s jinými studiemi jsou často dohledatelné podobné výsledky testování účinnosti. Například studie zabývající se mikrobiologickou kontaminací operačních sálů a kvalitou chemické dezinfekce z roku 2017 se pokoušela zjistit, jak dochází k infekcím souvisejícím s chirurgickým zákrokem (SSI). Cílem této práce bylo posoudit mikrobiologickou kvalitu provozního prostředí a dodržování kontrolních opatření na operačních sálech. Celkem sledovala deset sálů, kde byla zjišťována mikrobiologická kontaminace povrchů po úklidových procedurách v „klidových“ podmínkách i v podmínkách provozních při 10 chirurgických operacích. Byly testovány především kritické povrchy, které se vyznačují zvýšeným dotykem ruky. Tyto plochy byly ošetřeny detergentem a dezinfekčním prostředkem aktivního chloru po dobu působení 5 min. Vzorkování povrchů bylo prováděno dvěma různými způsoby v závislosti na zkoumaném povrchu. Na pravidelných a plochých površích byla zvolena metoda kontaktní destičky s použitím otiskové techniky. K odběru vzorků z nepravidelných povrchů byly použity sterilní tampony. Každý tampon byl poté umístěn do zkumavek s 10 ml transportní kapaliny (Ringerův roztok). Celkem bylo získáno 200 vzorků (kontaktní destičky: 140; výtěry: 60). V této BP bylo k posouzení účinnosti chemické dezinfekce odebráno celkem 33 otisků z 15 ploch. Statistický soubor, který byl vytvořen, je proto nižší. Studie, se kterou je BP diskutována, může poskytnout určitou referenci k výsledným datům, ač byly výsledky získávány za odlišných podmínek. Aby se hodnota CFU/miska považovala za přijatelnou, musela být pod hranicí 15 CFU/miska. Tato kritická hodnota byla překročena u 2,1 % sledovaných povrchů. Nevyhovující povrchy byly stejně tak jako v této BP především plochy s pórovitým povrchem či s drobnými záhyby. V těchto případech nebyla chemická dezinfekce 100% účinná a na plochách zůstávaly bakteriální buňky i po sanitaci. Celkově u 40,5 % bylo CFU 0 a u dalších 56,5 % odpovídalo normám. V této BP měla chemická dezinfekce 100% účinnost na 20 % testovaných povrchů (povrh podlah mezi operačním stolem a mobilní stolkem, počítačová myš a plastové víko boxu na dezinfekční ubrousky). Chemická dezinfekce tedy velice dobře působí především na hladké povrchy. Ani v této práci nedošlo

při diagnostice bakteriální kontaminace k nálezu žádných potenciálně patogenních bakterií nebo plísní.

Tato studie tedy podobně jako náš výzkum dokazuje, že ač jsou současné dezinfekční techniky z hlediska norem dostačující, nejsou dokonalé a objevují se i povrchy, které jsou kritické a vykazují zvýšenou míru mikrobiální kontaminace. Řešením těchto nedostatků by se mohlo stát právě doplnění standardů o UVC dezinfekci (Dallolio et al., 2017).

MDRO nebyly nikdy v průběhu testování zaznamenány, a tak lze rozporovat, zda by je UVC záření dokázalo účinně redukovat. Pokud bychom se chtěli dozvědět, jak by UVC dezinfekce mohla potencionálně ovlivnit přítomnost MDRO, můžeme dohledat články zabývající se přímo vlivem UVC na různé druhy MDRO. Například ve studii z roku 2022, která se zabývala zkoumáním účinnosti UVC dezinfekce v prostorech nemocničních pokojů a přenosem HAI z předchozích obyvatel na nově příchozí pacienty. Během sledovaného období všechny nemocnice běžně používaly dezinfekci povrchů na bázi chlóru. Výsledek byl měřen pro infikování jedním či více MDRO a pro jednotlivé sledované MDRO: MRSA, VRE, karbapenem-rezistentní *Enterobacterales* (CRE), ESBL a *C. difficile*. Byla provedena retrospektivní pozorovací studie, aby byla porovnána pravděpodobnost, že exponovaný pacient získá stejný druh MDRO jako zdroj. Testováno bylo 5 802 pokojů v 6 nemocnicích, kde probíhalo ošetření UVC dezinfekcí. Nebyl zde zjištěn žádný významný rozdíl v počtu jednoho nebo více MDRO přenesených na jiného pacienta. Ve 27 969 pokojích nebyla UVC dezinfekce použita. Celková míra přenosu byla 1,6 % mezi místnostmi, které dostávaly pouze dezinfekci na bázi chlóru, ve srovnání s 2,4 % mezi místnostmi s dezinfekcí UVC jako doplněk k dezinfekci na bázi chlóru. Celková míra přenosu před obdobím a po období, kdy byl přenos sledován, nevykázal žádnou významnou změnu. Výsledky této studie ukazují, že doplňková UVC dezinfekce neposkytuje žádný přínos při snižování přenosu MDRO nad rámec standardní péče. Uvádí se zde však, že tato práce je v rozporu s jinými studiemi, které naznačují ochranný účinek doplňkové UVC dezinfekce, který je spojen s věrohodným biologickým zdůvodněním. Míra přenosu ovšem byla různá pro každý patogen (50Tabulka 4 Míra přenosu pro jednotlivé patogeny (Hodges et al., 2022) (Tabulka 4). Tato analýza neposkytuje podporu pro hypotézu, že použití doplňkového UVC dezinfekce snižuje riziko přenosu patogenů

z pacienta na pacienta nad rámec použití standardního dezinfekčního prostředku na bázi chlóru (Hodges et al., 2022).

Tabulka 4 Míra přenosu pro jednotlivé patogeny (Hodges et al., 2022)

Unadjusted Pathogen Transfer Rate by Cleaning Room Condition

Possible Pathogen Transfer	No.	Standard Cleaning No. Transfers/Total (%)	Standard Cleaning +UV-C No. Transfers/Total (%)	P Value
<i>Clostridioides difficile</i>	2,513	8/1,018 (0.8)	10/1,495 (0.7)	.73
MRSA	13,922	75/12,323 (0.6)	9/1,599 (0.6)	.82
VRE	16,330	286/13,455 (2.1)	96/2,875 (3.3)	< .001
CRE	1,283	1/992 (0.1)	1/291 (0.3)	.40
ESBL	4,869	14/4,055 (0.3)	4/814 (0.5)	.55
Any Pathogen	29,259	382/24,277 (1.6)	118/4,982 (2.4)	< .001

Note. UV-C, ultraviolet-C disinfection; MRSA, methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*; VRE, vancomycin-resistant enterococci; CRE, carbapenem-resistant Enterobacterales; ESBL, extended-spectrum  $\beta$ -lactamase-producing organisms.

P-hodnota je pravděpodobnost, která se využívá k určení, zda jsou výsledky studie statisticky významné (pokud je P-hodnota nižší než 0,05 výsledek je považován za statisticky významný).

Tato práce je tedy jednou z těch, které nepřinesly pozitivní výsledky ohledně testování UVC dezinfekce. Existují však relevantní výzkumy, jež potvrzují přínos ve snížení přenosu těchto mikroorganismů při použití UVC. Například studie z roku 2016, která se zajímá o míru snížení přenosu infekce po použití pulzního xenonového UV světla (PX-UV) v nemocnicích, naopak tvrdí, že použití UV záření jako doplňkové dezinfekce může výrazně přispět ke snížení přenosu HAI. Od listopadu 2012 byl zaveden dezinfekční systém PX-UV jako doplněk k tradičním metodám čištění při vyprazdňování vybraných patientských pokojů. Studie testovala 3 typy MDRO: *C. difficile*, MRSA a VRE. Použitá technologie využívala xenonové výbojky ke generování celospektrálního germicidního světla. Na jednotkách intenzivní péče bylo cílem provést bezdotykovou dezinfekci po standardním čištění před tím, než se na pokoji usadí další pacient. Výsledky této studie naznačují, že dezinfekce prostředí doplněná o PX-UV hraje významnou roli při zmírňování rizika HAI. PX-UV dezinfekce byla implementována na více než 200 patientských pokojích od listopadu 2012 do srpna 2014. V celém zařízení byl zaznamenán pokles o 29 % u všech 3 sledovaných MDRO



( $P = 0,01$ ). Nejvyšší pokles incidentů v celém zařízení byl pozorován u VRE a to z 34 na 15 infekcí ( $P = 0,07$ ) (Vianna et al., 2016).

Na rozdíl od porovnávaných studií byla tato BP limitována z hlediska času, který nám byl v nemocnici na výzkum poskytnut. Výsledky proto nevytváří tak velký statistický soubor a v tomto ohledu se dají rozporovat s výzkumy, které došly k odlišným závěrům. Testován byl také pouze jeden operační sál v jediné nemocnici, proto by se například plochy vyznačující se zvýšeným nálezem bakteriální kontaminace i po použití dezinfekce mohly v odlišném prostředí lišit. Omezení na jeden typ operačního sálu může mít vliv na obecné doporučení pro praxi vzhledem k výsledkům specifickým pouze pro jedno prostředí. Je tedy nutné brát v úvahu, že se tato studie může odlišovat od jiných v závislosti na konkrétních podmínkách, vybavení a množství získaných vzorků.

## 5 Návrh doporučení pro praxi

Operační sály nemocnic mají velmi vysoké nároky na sterilitu prostředí, jelikož při chirurgickém zákroku může dojít ke kontaminaci rány a následnému zhoršenému hojení či celkové infekci. Podle získaných dat bychom proto doporučili zavedení UVC robotů do prostorů operačních sálů v kombinaci se standardizovanými postupy, jelikož bylo prokázáno celkové zlepšení čistoty prostor, a to zvláště na místech, kde nebyla chemická dezinfekce dostatečná. (Hodges et al., 2022).

Na rozdíl od dříve používaných UVC dezinfekčních přístrojů je v současné době záření emitováno pomocí LED, které již neobsahují jedovatou rtuť, proto se tento typ dezinfekce stává bezpečnější a snadněji implementovatelný do nemocničních zařízení (Rodríguez-Chueca et al. 2019). Před zavedením do nemocnic by mělo být samozřejmostí správné proškolení personálu nemocnice, a to nejen toho, který bude s robotem přímo pracovat. Při porušení bezpečnostních podmínek by totiž mohlo dojít k poškození zdraví (např. k popáleninám kůže) (Rodríguez-Chueca et al. 2019). Je tedy nezbytné zajistit, aby byl přístroj používán v souladu s příslušnými předpisy a standardy a aby byl personál správně školen a informován o rizicích a správném použití. Zohlednění těchto faktorů může vést k bezpečnému a účinnému použití UV záření pro dezinfekci sálů. Také je nutná edukace o správném umístění robota – pokud není lampa správně umístěna nebo není správně použita, může být snížena její účinnost. UVC záření může poškozovat některé materiály (např. vysokotlaké akrylové materiály) a proto je v praxi nutné správně vyhodnotit, na který materiál je vhodné záření použít (She et al., 2020).

Při zařazení UVC dezinfekce do standardizovaných dezinfekčních postupů na operačních sálech je nutné zvážit přidání některých ochranných prostředků, tak aby byl personál vždy dostatečně chráněn před rizikem záření a zároveň bylo vždy jasné, že v dané místnosti probíhá tato dezinfekce (např. upozornění u vchodu dezinfikované místnosti). Bylo by tak minimalizováno riziko ozáření pacienta či personálu.

Vzhledem k tomu, že tato technologie je stále velmi nová, je nutné zvážit častější monitoraci a kontrolu kvality čistoty prostor nežli je u běžně používaných zavedených postupů. Také je nutné provádět pravidelný servis a kontrolu UVC robota, aby nedošlo k poklesu výkonu a účinnosti.

## 6 Závěr

Vzhledem k výše uvedeným výsledkům lze konstatovat, že použití UVC má pro dezinfekci operačních sálů velký potenciál a dokáže konkurovat standardním postupům. Dezinfekce UV zářením se ukázala jako slibná metoda díky své účinnosti při inaktivaci širokého spektra patogenů. UVC dezinfekce má oproti tradičním metodám několik výhod, včetně schopnosti rychle inaktivovat patogeny a nízkých nároků na údržbu a vytíženost nemocničního personálu. Jako každá technologie má však i některá rizika, zejména pokud se nepoužívá správně. Je tedy nezbytné zajistit, aby byl přístroj používán v souladu s příslušnými předpisy a standardy a aby byl personál správně školen a informován o rizicích a správném použití. Zohlednění těchto faktorů může vést k bezpečnému a účinnému použití UV záření pro dezinfekce sálů. Omezení UVC záření zahrnuje jeho neschopnost proniknout povrchy a jeho potenciální poškození lidského zdraví.

Celkově se dá využití dezinfekce UV zářením pro operační sály hodnotit kladně, jelikož podle výzkumu přináší mnoho výhod. Jsou s ním však spojena i nezanedbatelná rizika, kterým je nutné věnovat před zaváděním těchto technologií pozornost. Lze říci, že využití UVC pro dezinfekci operačních sálů má potenciál pro snížení přenosu infekcí a zlepšení hygienických podmínek ve zdravotnických zařízeních. Proto by mělo být nadále zkoumáno a podporováno jako součást strategie pro prevenci a kontrolu infekcí. Cíle, které jsem si na začátku práce stanovila, byly úspěšně splněny. Také bylo úspěšně naplněno očekávání pro zadání této práce.

## Seznam použité literatury

ANON. 2020. Chempendix – EM Spectrum [online obrázek]. In: Chempendix [online]. Macmillan, aktualiz. 2020-08-11 [cit. 2023-05-03]. Dostupné z: <https://sites.google.com/site/chempendix/em-spectrum>

BARNETT J., R. PAYNE, D. YARRPW. 2000. *Yeasts characteristics and identification*. Cambridge: Cambridge University Press, ISBN 0-521-57396-3.

BENEŠ, J., J. KYMPLOVÁ a F. VÍTEK. 2015. *Základy fyziky pro lékařské a zdravotnické obory: pro studium i praxi*. Praha: Grada. ISBN 978-80-247-4712-5.

CASINI, Beatrice et al. 2019. Evaluation of an Ultraviolet C (UVC) Light-Emitting Device for Disinfection of High Touch Surfaces in Hospital Critical Areas. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. **16**(19), 3572. DOI 10.3390/ijerph16193572.

DALLOLIO, Laura. et al. 2017. Surveillance of Environmental and Procedural Measures of Infection Control in the Operating Theatre Setting. *Int J Environ Res Public Health*. 15(1):46. doi: 10.3390/ijerph15010046.

ČESKO. 2000. Zákon č. 258 ze dne 14. července 2000 o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů. In: *Sbírka zákonů České republiky*. Částka 74, s. 3622–3663. ISSN 1211-1244.

ČESKO. MINISTERSTVO ZDRAVOTNICTVÍ. 2012. Vyhláška č. 306 ze dne 12. září 2012 o podmínkách předcházení vzniku a šíření infekčních onemocnění a o hygienických požadavcích na provoz zdravotnických zařízení a ústavů sociální péče. In: *Sbírka zákonů České republiky*. Částka 109, s. 3954–3980. ISSN 1211-1244.

DIAB-EL SCHAHAWI, Magda et al. 2021. Ultraviolet disinfection robots to improve hospital cleaning: Real promise or just a gimmick?. *Antimicrobial Resistance & Infection Control*. **10**(1), 33. DOI 10.1186/s13756-020-00878-4.

FRÉBORTOVÁ, Jitka. 2017. *Laboratorní cvičení z mikrobiologie*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. Dostupné také z: [http://www.rustreg.upol.cz/\\_materials/microbiology/skripta\\_Laboratorni-cviceni-z-mi](http://www.rustreg.upol.cz/_materials/microbiology/skripta_Laboratorni-cviceni-z-mi)

krobiologie\_2017.pdf

FÜSZL, Astrid et al. 2021. The use of a UV-C disinfection robot in the routine cleaning process: a field study in an Academic hospital. *Antimicrobial Resistance & Infection Control*. **10**(1), 84. DOI 10.1186/s13756-021-00945-4.

GUETTARI, M., I. GHARBI a S. HAMZA. 2021. UVC disinfection robot. *Environmental Science and Pollution Research*. **28**(30), 40394–40399. DOI 10.1007/s11356-020-11184-2.

HAQUE, Mainul et al., 2020. Strategies to Prevent Healthcare-Associated Infections: A Narrative Overview. *Risk Management and Healthcare Policy*. 13, 1765-1780. ISSN 1179-1594. Dostupné z: doi:10.2147/RMHP.S269315

HEIMBUCH, Brian K. a Delbert A. HARNISH. 2020. Research to Mitigate a Shortage of Respiratory Protection Devices During Public Health Emergencies. *Photochemistry and Photobiology*, 96(3), 557-562. doi: 10.1111/php.13266

HINDS, Laura M. et al. 2021. Effect of ultraviolet light emitting diode treatments on microbial load, phenolic and volatile profile of black peppercorns. *LWT*. **152**, 112133. DOI 10.1016/j.lwt.2021.112133.

HODGES, Jacob et al. 2022. Assessment of the effectiveness of ultraviolet-C disinfection on transmission of hospital-acquired pathogens from prior room occupants. *Antimicrob Steward Healthc Epidemiol*. 7;2(1):e110. doi: 10.1017/ash.2022.254.

JAMUNA, V. et al. 2022. The ZAPPY Disinfection Bot for Modern Healthcare System. *Journal of Sustainable Engineering & Built Environment*. **1**(1), 29–35. ISSN 2821-3726. Dostupné také z: <https://myjms.mohe.gov.my/index.php/jsebe/article/view/19302/11331>

LABSTER. 2021. Bacterial Growth Curve - Labster Theory. Labster | Virtual Labs for Universities and High Schools [online]. [København]: Labster, aktualiz. 2021 10 29 [cit. 2023-05-03]. Dostupné z: <https://theory.labster.com/bacterial-growth-curve/>

MELICHERČÍKOVÁ, Věra. 2015. *Sterilizace a dezinfekce*. 2. vyd. Praha: Galén. ISBN 978-80-7492-139-1.

- MICHÁLKOVÁ, Ladislava. 2014. *Dezinfekce: studijní opora*. Ostrava: Ostravská univerzita. ISBN 978-80-7464-625-6.
- MONEGRO, Alberto F., Vijayadershan MUPPIDI a Hariharan REGUNATH, 2023. *Hospital Acquired Infections*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing. Dostupné z: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK441857>
- MURRAY, P., K. ROSENTHAL a M. PFALLER. 2020. *Medical microbiology E-book*. Elsevier Health Sciences. ISBN 978-0-323-67322-8
- PHILLIPS, Melba a Hellmut FRITZSCHE. 2023. Electromagnetic radiation. *Encyclopedia Britannica* [online]. Chicago: Encyclopædia Britannica, aktualiz. 2023-02-19 [cit. 2023-03-01]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/science/electromagnetic-radiation>
- PINTO L., G. FERREIRA a M. Tasic. 2021. Chapter 1 - Cultivation techniques. s. 1 - 33. DOI 10.1016/B978-0-12-821218-9.00001-3
- PRESCOTT, L., M. Harley J. P., D. A. Klein. 1996. *Microbiology*. WCB, Dubuque. ISBN 0-697-29390-4.
- RAJNOCHOVÁ SVOBODOVÁ, Alena. 2012. *Poškození kůže působením slunečního záření, možnosti ochrany a prevence*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. ISBN 978-80-244-3183-3.
- RODRÍGUEZ-CHUECA, Jorge et al., 2019. Assessment of full-scale tertiary wastewater treatment by UV-C based-AOPs: Removal or persistence of antibiotics and antibiotic resistance genes? *Science of The Total Environment*. 1051–1061. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.10.223
- ROSYPAL. 1981. Tvary bakteriálních kolonií [obrázek v knize]. In: KOPECKÁ, Jana a Gabriela ROTKOVÁ. *Skripta ke cvičení z obecné mikrobiologie, cytologie a morfologie bakterií: multimediální elektronický výukový materiál* [online]. Brno: Masarykova univerzita, 2017. ISBN 978-80-210-8787-3. Dostupné také z: [https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/prif/js17/cviceni\\_mikrobiologie/web/pages/pozorovani\\_mikroorganizmu.html](https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/prif/js17/cviceni_mikrobiologie/web/pages/pozorovani_mikroorganizmu.html)

SACCUCCI, Matteo et al. 2018. Surface Disinfections: Present and Future. *Journal of Nanomaterials*. **2018**, 1–9. DOI 10.1155/2018/8950143. Dostupné také z: <https://www.hindawi.com/journals/jnm/2018/8950143/>

SHE, Rosemary C. et al. 2020. Lightweight UV-C disinfection system. *Biomedical Optics Express*. **11**(8), 4326. DOI 10.1364/BOE.395659.

VALKOVIČOVÁ, J., V. BERNARD a E. STAFFA. 2016. *Základy biofyziky pro obor fyzioterapie*. Brno: Biofyzikální ústav. Dostupné také z: [https://www.med.muni.cz/biofyz/Projekt\\_fyziio/files/skripta\\_fyziio.pdf](https://www.med.muni.cz/biofyz/Projekt_fyziio/files/skripta_fyziio.pdf)

VIANNA et al. 2016. Impact of pulsed xenon ultraviolet light on hospital-acquired infection rates in a community hospital. *Am J Infect Control*. Mar 1;44(3):299-303. doi: 10.1016/j.ajic.2015.10.009.

WOJNAR, Jiří. 2013. *Základy elektrotechniky*. 2. vyd. Brno: Tribun EU. ISBN 978-80-263-0395-4.

WONG, Titus et al. 2016. Postdischarge decontamination of MRSA, VRE, and *Clostridium difficile* isolation rooms using 2 commercially available automated ultraviolet-C-emitting devices. *Am J Infect Control*. DOI 10.1016/j.ajic.2015.10.016.

## Seznam tabulek

Tabulka 1 Procentuální snížení počtu CFU/25cm <sup>2</sup> před dezinfekcí a po dezinfekci PERSTERILEM (vlastní tabulka). .....	36
Tabulka 2 Procentuální snížení počtu CFU/25cm <sup>2</sup> před použitím a po použití UVC dezinfekce (vlastní tabulka).....	37
Tabulka 3 Vyhodnocení mikrobiální kontaminace specifickými patogeny (vlastní tabulka). .....	43
Tabulka 4 Míra přenosu pro jednotlivé patogeny (Hodges et al., 2022) .....	50



## Seznam obrázků

Obrázek 1 Elektromagnetické spektrum (Anon., 2020).....	20
Obrázek 2 Růstová křivka mikroorganismů (upraveno) (Labster, 2021). ....	33
Obrázek 3 TSA po kultivaci otisků ploch (vlevo vzorek před aplikací PERSTERILU, vpravo po aplikaci PERSTERILU) (vlastní obrázek).....	34
Obrázek 4 TSA po kultivaci otisků ploch (vlevo vzorek před aplikací UVC světla, vpravo po aplikaci UVC světla) (vlastní obrázek).....	35
Obrázek 5 Tvary bakteriálních kolonií (Rosypal, 1981).....	39
Obrázek 6 Tvary bakteriálních buněk (Rosypal, 1981). ....	40