

Mobilní robotická platforma pro dezinfekci zdravotnických prostor

Diplomová práce

Studijní program:

N0914P360003 Biomedicínské inženýrství

Autor práce:

Bc. Jaroslav Váša

Vedoucí práce:

doc. Ing. Josef Černožorský, Ph.D.

Ústav mechatroniky a technické informatiky



Mobile robotic platform for disinfection of medical premises

Diploma thesis

Study programme: N0914P360003 Biomedical Engineering
Author: **Bc. Jaroslav Váša**
Supervisor: doc. Ing. Josef Černohorský, Ph.D.





Zadání diplomové práce

Mobilní robotická platforma pro dezinfekci zdravotnických prostor

Jméno a příjmení: **Bc. Jaroslav Váša**
Osobní číslo: D20000039
Studijní program: N0914P360003 Biomedicínské inženýrství
Zadávací katedra: Fakulta zdravotnických studií
Akademický rok: **2021/2022**

Zásady pro vypracování:

Konzultant: Ing. Simona Nevyhoštěná

Cíle práce:

1. Vytvoření návrhu mobilní robotické platformy pro dezinfekci zdravotních prostor.
2. Popsat funkčnost vytvořené platformy.
3. Ověřit mobilitu vytvořené platformy.

Teoretická východiska (včetně výstupu z kvalifikační práce):

V současné době se k dezinfekci ve zdravotnických zařízeních využívá chemická a fyzikální dezinfekce (tepelné záření, UV záření). Chemická dezinfekce vyžaduje velké úsilí personálu, ale má vynikající účinnost. Fyzikální dezinfekce se využívá hlavně u UV-C lamp na sálech, které potřebuje ke své činnosti minimální zásah od personálu, má však omezený prostor působnosti, protože se vzdáleností od zářiče účinnost klesá a v místnostech se nacházejí slepá místa, kam zářič nedosvítí. Již existují mobilní robotické platformy, které tyto problémy řeší, jsou však velké, kvůli tomu je problém používání v menších místnostech, jako jsou operační sály a podobně a pořízení takovéto platformy je pro zdravotnická zařízení drahé.

Výstupem práce bude mobilní robotická platforma, která bude dezinfikovat pomocí UV-C.

Výzkumné předpoklady / výzkumné otázky:

- 1) Předpokládáme, že navržená robotická platforma zvýší účinnost dezinfekce zdravotnických prostor.
- 2) Předpokládáme, že robotická platforma bude díky svým vlastnostem dále rozšiřována.

Metoda:

Kvalitativní.

Technika práce, vyhodnocení dat:

Mobilita navržené platformy bude ověřena v modelech zdravotnického zařízení. Výsledky z ověřování budou zpracovány a uvedeny v práci.

Místo a čas realizace výzkumu:

Místo: Technická univerzita v Liberci, Fakulta zdravotnických studií.

Čas výzkumu: červen 2021-květen 2022

Vzorek:

Mobilita navržené robotické platformy bude ověřena na modelu zdravotnického prostředí (5-10 modelových prostředí)

Rozsah práce:

Rozsah diplomové práce činí 70–90 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:
Jazyk práce:

tištěná/elektronická
Čeština



Seznam odborné literatury:

- VIK, Michal a Martina VIKOVÁ. 2020. *Dezinfekce povrchů pomocí UV-C záření a pandemie covid-19. Světlo: časopis pro světelnou techniku a osvětlování*. 2020, 23(3), 40-43. ISSN 1212-0812.
- SELECKÝ, Matúš. 2016. *Arduino: uživatelská příručka*. Přeložil Martin HERODEK. Brno: Computer Press. ISBN 978-80-251-4840-2.
- NAVRÁTIL, Leoš. 2017. *Vnitřní lékařství pro nelékařské zdravotnické obory*. 2., zcela přepracované a doplněné vydání. Praha: Grada Publishing. ISBN 978-80-271-0210-5.
- 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.
- IHNÁT, Peter. 2017. *Základní chirurgické techniky a dovednosti*. Praha: Grada Publishing. ISBN 978-80-271-0334-8.
- JEDLIČKOVÁ, J., T. SVOBODA a J. WICHSOVÁ. 2021. *Perioperační zásady v kostce*. Praha: Grada Publishing. ISBN 978-80-271-1727-7.
- DRNKOVÁ, Barbora. 2019. *Mikrobiologie, imunologie, epidemiologie a hygiena: pro zdravotnické obory*. Praha: Grada Publishing. Sestra (Grada). ISBN 978-80-271-0693-6.
- PETROVIČ, Martin. 2017. *Návrh modulu lokálního plánování trasy pro mobilní robot*. Brno. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství.
- ROSINA, J., J. VRÁNOVÁ a H. KOLÁŘOVÁ. 2021. *Biofyzika: pro zdravotnické a biomedicínské obory*. 2., doplněné vydání. Praha: Grada Publishing. ISBN 978-80-271-2526-5.
- KAPOUNOVÁ, Gabriela. 2020. *Ošetřovatelství v intenzivní péči*. 2., aktualizované a doplněné vydání. Praha: Grada Publishing. Sestra (Grada). ISBN 978-80-271-0130-6.
- SYED R., Rizvi. 2019. *Microcontroller programming: An introduction*. New York: CRC Press. ISBN 978-1-4398-5077-0.

Vedoucí práce:

doc. Ing. Josef Černožorský, Ph.D.
Ústav mechatroniky a technické informatiky

Datum zadání práce:

30. listopadu 2021

Předpokládaný termín odevzdání:

29. července 2022

L.S.

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

Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci jsem vypracoval samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Jsem si vědom toho, že na mou diplomovou 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 diplomové práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu 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 diplomová 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 vědom následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

9. května 2022

Bc. Jaroslav Váša

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu práce doc. Ing. Josefovi Černoorskému, Ph.D., za jeho neocenitelnou pomoc, rady a odborné vedení při tvorbě této diplomové práce. Dále patří mé poděkování Ing. Miroslavu Novákovi, Ph.D., za poskytnutí kódu, který sloužil jako základ pro vypracování praktické části. Rád bych také poděkoval Ing. Ekaterině Nyrobtsevě, za pomoc při testování platformy. Mé další poděkování patří Mgr. Martě Zizienové, za pomoc s citacemi.

Anotace v českém jazyce

Autor:	Jaroslav Váša
Instituce:	Technická univerzita v Liberci, Fakulta zdravotnických studií
Název práce:	Mobilní robotická platforma pro dezinfekci zdravotnických prostor
Vedoucí práce:	doc. Ing. Josef Černohorský, Ph.D.
Počet stran:	83
Počet příloh:	1
Rok obhajoby:	2022
Anotace:	Tato diplomová práce shrnuje současné poznání robotických dezinfekčních platforem skrze analýzu odborných článků. Dále seznamuje čtenáře s jednotlivými částmi těchto platforem. Tyto znalosti mohou pomoci čtenáři při výběru komerčního dezinfekčního robota či konstrukci vlastního. Poslední část se věnuje návrhu mobilní dezinfekční platformy pro zdravotnické prostory s využitím znalostí z předchozích částí.
Klíčová slova:	Robotická platforma, Dezinfekce, Arduino, Zdravotnické prostory

Annotation

Author: Jaroslav Váša

Institution: Technical university of Liberec, Faculty of Health Studies

Title: Mobile robotic platform for disinfection of medical premises

Supervisor: doc. Ing. Josef Černohorský, Ph.D.

Pages: 83

Apendix: 1

Year: 2022

Annotation: This diploma thesis summarizes the current knowledge of robotic disinfection platforms through the analysis of professional and scientific articles. It also introduces readers to the various parts of these platforms. This knowledge can help the reader in choosing a commercial disinfection robot or their new own design. The last part deals with the design of a mobile disinfection platform for medical areas using the knowledge from the previous parts.

Keywords: Robotic platform, Disinfection, Arduino, Medical premises

Obsah

Seznam použitých zkratk	11
1. Úvod	12
2. Teoretická část	13
1.1 Dezinfekce	13
1.1.1 Metody dezinfekce	13
1.2 Sterilizace	19
1.2.1 Fyzikální sterilizace	20
1.2.2 Chemická sterilizace	23
3. Praktická část	24
1.3 Úvod do problematiky	24
1.3.1 Zahraníční výzkumy v oblasti dezinfekčních robotů	25
1.3.2 Současnost a budoucnost dezinfekčních robotů	34
1.4 Komponenty servisních robotických systémů	35
1.4.1 Motorický subsystém	35
1.4.2 Výstupní subsystém	42
1.4.3 Senzorický subsystém	48
1.4.4 Řídící subsystém	49
1.4.5 Napájení robota	53
1.5 Návrh mobilní robotické platformy pro dezinfekci zdravotnických prostor	55
1.5.1 Návrh mobilní robotické platformy pomocí modelu diferenciálního podvozku	55
1.5.2 Základní konstrukce a napájení robota	56
1.5.3 Motorický subsystém navržené platformy	59
1.5.4 Řídící subsystém navržené platformy	62
1.6 Ověření mobility platformy	71
4. Diskuze	72
5. Doporučení pro praxi	73
6. Závěr	74
Seznam použité literatury	75
Seznam příloh	83

Seznam použitých zkratk

AC – Střídavý proud

Apod. – A podobně

Atd. – A tak dále

BMS – Battery management systemMPa-

DC – Stejnoseměrný proud

DNA – Deoxyribonukleová kyselina

Gy – Gray

RNA – Ribonukleová kyselina

ROS – Robotický operační systém

UV – ultrafialové záření

1. Úvod

V současné době se k dezinfekci ve zdravotnických zařízeních využívá chemická a fyzikální dezinfekce (tepelné záření, UV záření). Chemická dezinfekce vyžaduje velké úsilí personálu, ale má vynikající účinnost. Fyzikální dezinfekce je často využívána hlavně u UV-C svítidel na výkonových nebo operačních sálech, které potřebují ke své činnosti minimální zásah od personálu, bohužel dezinfekční účinek v místech vzdálených od svítidla nemusí být dostačující, protože se vzdáleností od zářiče účinnost klesá a v místnostech se nacházejí slepá místa, kam zářič nedosvítí. V současné době se začaly na trhu vyskytovat mobilní robotické platformy, které se snaží nedostatky pouhých UV svítidel řešit. Práce se snaží ukázat jak výhody, tak nevýhody tohoto způsobu dezinfekce zdravotnických prostor. Kromě tohoto popisu současných řešení a trendů v této problematice přichází práce také se samotným návrhem robotické platformy pro účely dezinfekce zdravotních prostor. Práce je dělena do dvou hlavních částí, přesněji do části teoretické a praktické.

Teoretická část čtenáři přiblíží současné způsoby dezinfekce a sterilizace využívané ve zdravotnických zařízeních. V této části jsou popsány jak metody fyzikální, tak i chemické a fyzikálně-chemické dezinfekce a sterilizace. Popis zahrnuje výhody, nevýhody a běžně využívané postupy.

Praktická část je již přímo zaměřena na mobilní dezinfekční robotické platformy. Začátkem praktické části je úvod do problematiky, který shrnuje současné poznatky robotických dezinfekčních platforem skrze analýzu odborných článků. Po přiblížení této problematiky se praktická část přesouvá k popisu jednotlivých komponent těchto platforem. Tyto popisy slouží k osvojení základních principů a důležitých součástí mobilních dezinfekčních platforem, které lze dále využít, ať už při výběru komerčního robota či při samotné konstrukci vlastní platformy. Poslední částí je návrh dezinfekční robotické platformy, kde jsou využity znalosti z předchozích kapitol. Navrhnutá dezinfekční platforma bude nakonec otestována z hlediska manipulovatelnosti a mobility. V závěru jsou shrnuty a zhodnoceny výsledky práce.

2. Teoretická část

V jednotlivých kapitolách teoretické části jsou popsány dezinfekční metody, od fyzikálních přes chemické až po fyzikálně-chemické. Po přiblížení metod a postupů dezinfekce jsou zbylé části věnovány metodám a postupům využívaným v oblasti sterilizace.

1.1 Dezinfekce

Termín dezinfekce souvisí s ničením mikroorganismů v určitém prostoru. Pokud jde o dezinfekci, ničíme pouze mikroorganismy, které jsou choroboplodné. Pokud v určitém prostoru zničíme všechny mikroorganismy, označujeme prostor za sterilní, tedy nedošlo k dezinfekci, ale přímo k sterilizaci. (Navrátil et al., 2017)

Dezinfekce je základní prevence proti nozokomiálním nákazám, tedy proti nákazám, které u pacienta vzniknou z důvodu jeho hospitalizace. Pokud zdravotnický prostor, pomůcky a pacient nebudou správně vydezinfikovány či sterilizovány, hrozí nákaza pacienta nozokomiální nákazou. Nejvíce náchylní k nozokomiálním nemocem jsou pacienti se sníženou imunitou, pacienti na jednotkách intenzivní péče a na resuscitačních jednotkách, protože mají většinou zavedeno více invazivních vstupů, jako jsou katetry apod. Ty se mohou stát vstupem pro patogeny, pokud nejsou prostředí, rána a využitě předměty správně vydezinfikovány. (Veverková, Kozáková a Dolejší, 2019)

1.1.1 Metody dezinfekce

V této kapitole představíme různé metody, jak dosáhnout dezinfekce. Tyto metody fungují na základě různých principů, proto je třeba při volení metod myslet na to, kde bude metoda využita. Při dezinfekci či sterilizaci prostředí je třeba zvolit jinou metodu než při sterilizaci chirurgických nástrojů a podobně.

Obecně dělíme dezinfekční metody do tří skupin – skupina fyzikální, fyzikálně-chemické a chemické dezinfekce. Všechny skupiny mají za cíl dosáhnout zničení patogenních zárodků a tím ochránit všechny vnímavé jedince, kteří by se mohli v daném prostoru či s daným nástrojem setkat. (Kelnarová et al., eds., 2009)

Fyzikální metody

Podle vyhlášky č. 306/2012 sb., která se zaměřuje na předcházení vzniku a šíření infekčních onemocnění a hygienické požadavky na provoz zdravotnických zařízení a ústavů sociální péče, zařazujeme do fyzikálních metod metody, které by se daly rozdělit takto: teplotní metody, mechanické metody a ultrafialové záření. Teplotní metody zahrnují žihání, které se používá v laboratořích, var za atmosférického tlaku (30 minut) nebo v přetlakových nádobách (20 minut), pasterizaci a spalování. Kromě vysokoteplotních metod máme i metody nízkoteplotní, které se uskutečňují ve specializovaných přístrojích a musí se provádět podle návodu výrobce. Mechanická metoda je například filtrace. (Česko. Ministerstvo zdravotnictví, 2012). Metoda UV je detailněji popsána níže. U každé metody, která využívá určitý přístroj, je třeba řídit se pokyny výrobce.

Ultrafialové záření (UV)

Ultrafialové záření, zkráceně UV, označuje elektromagnetické vlnění o vlnových délkách 380–100 nanometrů. To znamená, že na elektromagnetickém spektru se nachází mezi viditelným světlem a rentgenovým zářením. Samotné UV lze ještě rozdělit do tří skupin, jde o skupiny označované jako UV-A, UV-B a UV-C. Pokud jde o jednotlivé rozmezí těchto skupin jsou následující: UV-A se pohybuje v rozmezí vlnových délek 320–380 nm. Pro UV-B je vyhrazeno rozmezí 280–320 nm. Poslední skupina, UV-C, se pohybuje mezi 280–100 nm. Pro tuto práci je nejdůležitější skupina UV-C, protože díky svým krátkým vlnovým délkám působí ve svém okolí germicidně. (Beneš, Kyplová a Vítek, 2015)

Účinky ultrafialového záření na člověka

Lidské tělo je do určité míry neustále vystavováno UV záření, protože největším přírodním zářičem ultrafialového záření je Slunce. Je však nutno podotknout, že záření, které se nám dostává od Slunce, tlumí naše atmosféra, jinak by sluneční záření poškozovalo lidský organismus. Jak moc UV záření ze Slunce dopadne na zem, záleží i na dalších faktorech, jako je roční období, denní doba a nadmořská výška. Jaké účinky na lidské tělo bude záření mít, záleží na několika faktorech, jako jsou dávka a tvrdost záření (jaká je vlnová délka záření). (Rosina, Vránová a Kolářová, 2021)

UV záření má negativní i pozitivní účinky na lidský organismus. Začneme těmi negativními. Díky své vlnové délce dokáže UV záření organismus značně poškodit. Jedná se hlavně o poškození kůže a očí, protože UV záření nemá schopnost pronikat do hloubky organismu jako více krátkovlnné záření, kterým je například rentgenové nebo gama záření. Na kůži se expozice UV záření projevuje jejím začervenaním, které odborně označujeme jako erytém. Tento symptom se obvykle objevuje během několika hodin. Po expozici se spustí obranný mechanismus kůže projevující se tvořením melaninu v pigmentových buňkách, který dále brání pronikání do záření do hlubších vrstev kůže. Na místech, kde došlo k expozici, tedy dochází ke změně pigmentace. Při delší expozici se v postižených místech tvoří až edémy a puchýře. Pokud dochází k chronickému vystavení kůže záření, kůže začne vysychat a vede k předčasnému stárnutí. Chronické vystavení může také způsobit až maligní melanom, tedy rakovinu kůže. Toto onemocnění v České republice postihne přibližně 1 500 lidí a z těchto lidí 300 onemocnění nepřežije, proto je důležité při očekávané expozici, jako je dlouhodobý pobyt na slunci, využívat ochranných krémů a tím onemocnění předcházet. Pokud jde o poškození očí UV zářením, symptomy jsou následující. Po expozici mohou oči reagovat během několika hodin zánětem spojivek a rohovky. Při krátkém působení tyto příznaky vymizí bez následků. Pokud je expozice dlouhodobá, může způsobit katarakt, tedy šedý zákal. Proto je důležité při očekávané expozici využít ochranné brýle s vhodným UV filtrem a tím předcházet možnému poškození oka. (Rosina, Vránová a Kolářová, 2021)

Jak je již výše uvedeno, UV záření může mít i pozitivní vliv na lidský organismus. Hlavním přínosem ultrafialového záření pro lidský organismus je přeměna provitaminů přijímaných potravou na vitamín D, který se následně ukládá do kůže, jater, mozku a kostí. Vitamín D je klíčový pro metabolismus a vstřebávání vápníku. Díky těmto kvalitám se ultrafialové záření využívá k léčbě křivice, která je způsobena právě nedostatkem vitamínu D. Další pozitivní využití je v léčbě některých onemocnění kůže, ran, které se špatně hojí, či vředů. Při těchto ošetření je třeba dbát na tvrdost záření, protože záření o velmi nízkých vlnových délkách by mohlo spíše uškodit. Například UV záření, které spadá do skupiny C, má hlavně germicidní účinek, který je způsoben změnou DNA mikroorganismů, což by pro lidský organismus nemělo blahý dopad. (Rosina, Vránová a Kolářová, 2021) To neznamená, že jej nelze využít v jiných oblastech zdravotnictví. O využití a mechanismu germicidních světelných zdrojů (záření UV-C) bude napsáno více v dalších kapitolách.

UV-C jako dezinfekce

UV záření není v rámci metod dezinfekce žádnou novinkou. Ve zdravotnictví se již řadu let využívá germicidních svítidel, která dosahují dezinfekčního účinku právě UV zářením. Nejčastěji se tato svítidla používají na operačních sálech, kde se pouštějí za nepřítomnosti personálu. Personál by se totiž neměl dostat do styku s UV zářením, aby nedošlo k ohrožení zdraví, jak je popsáno výše. Jak je možné, že UV záření je schopné dezinfikovat prostor do určité vzdálenosti, popisují následující odstavce.

Mechanismus, na kterém UV záření působí dezinfekčně, lze rozdělit do dvou skupin. První mechanismus je přímý účinek na nukleové kyseliny DNA nebo RNA bakterií a virů. Tento účinek je způsoben absorpcí energie ze záření právě v DNA a RNA. Po absorpci dochází k poškození těchto nukleových kyselin, a pokud organismus nedisponuje opravnými enzymy, které mohou poškozenou část nukleové kyseliny opravit, je usmrčen. Pokud má organismus opravné enzymy, musíme zvolit dostatečně dlouhou dobu expozice, aby organismus zahynul. Absorpce UV záření v nukleových kyselinách přísluší pouze skupinám UV-B a UV-C. Je tedy patrné, že záleží na vlnové délce záření. (Vik a Viková, 2020)

Druhým mechanismem poškození nukleových kyselin je účinek nepřímý. Organismus tedy neumírá přímo zářením, ale toxické peroxidy či ozón, které jsou jím vytvořeny. (Vik a Viková, 2020)

Fyzikálně-chemické metody

Jak již název napovídá, fyzikálně-chemické metody jsou spojení jak fyzikálních, tak i chemických postupů. Ve zdravotnictví k těmto metodám využíváme například paroformaldehydovou komoru, která účinně dezinfikuje textilie, umělou hmotu, kůži a kožešiny. Tato dezinfekce probíhá při teplotách 45–75 °C. Do této skupiny lze zahrnout dezinfekci, která probíhá v pracích, mycích či parních přístrojích. Zde používáme vodu či páru o 60 °C, ke které se přidává chemická dezinfekce. Doba a teplota se může lišit podle výrobce dezinfekce. (Kelnarová et al., eds., 2009)

Chemická dezinfekce

Chemický způsob dezinfekce je ve zdravotnictví tím nejpoužívanějším. K chemické dezinfekci užíváme dezinfekční přípravky podle návodu výrobce. Jaký dezinfekční přípravek se pro dezinfekci využije, závisí na více parametrech, mezi které patří například způsob použití, stabilita roztoků, toxicita prostředku, dávkování, cena prostředku, specifikace účinnosti prostředku a podobně (Kelarová, 2009). Způsob použití rozřazujeme do následujících kategorií: dezinfekce povrchů, dezinfekce nástrojů, dezinfekce rukou a některé speciální dezinfekce. Například dezinfekce na povrchy by mohly poškodit pokožku rukou, proto se na ruce užívá jiných dezinfekcí. Pokud víme, jaký požadujeme způsob použití, je třeba také znát spektrum účinnosti prostředku. Ne všechny prostředky budou fungovat na všechny mikroorganismy, které chceme v rámci dezinfekce zničit. Podle spektra účinnosti vybíráme, zda jsou prostředky bakteriocidní, virucidní, fungicidní, tuberculocidní či sporucidní. Pokud využijeme pouze bakteriocidní přípravek, hrozí nákaza virem a podobně, proto je třeba zvolit prostředek se správným spektrem účinnosti k dezinfikovanému prostředí a situaci. Další věc, kterou je třeba zvolit, je účinná látka. Ve zdravotnictví se používají jodové a chlorové sloučeniny, aldehydy, deriváty fenolu, alkoholy, sloučeniny peroxidu, kvarterní aminové sloučeniny, aminy, tenzidy, chemické povrchově aktivní sloučeniny, hydroxidy a organické kyseliny. (Schneiderová, 2014) Každá účinná látka má místo v určitém způsobu použití, specifikace účinnosti a tak dále.

Podle vyhlášky č. 306/2012 sb. se k chemické dezinfekci využívá pouze oznámených přípravků, které spadají do zdravotnických prostředků, nebo přípravky, které již byly registrovány jako léčiva pro použití ve zdravotnictví. Podle stejné vyhlášky je třeba při chemické dezinfekci dodržovat následující pravidla. Pro každou směnu se připravuje dezinfekční roztok rozpuštěním dezinfekčního přípravku ve vodě, pokud je třeba více dezinfekce, tak i během směny. Dezinfekční přípravky na delší čas než 8 až 12 hodin, co směna trvá, se mohou použít pro dvoustupňovou dezinfekci a vyšší stupně dezinfekce, vždy však v souladu s návodem od výrobce. Při přípravě roztoků předpokládáme, že přípravky jsou 100%. Dávkovač, ve kterém je dezinfekční přípravek umístěn, je třeba po spotřebování přípravku mechanicky umýt a doplnit. Dávkovač musí být označen datem doplnění i datem expirace přípravku. Pokud je předmět či povrch kontaminován biologickým materiálem, používáme virucidních přípravků. Dezinfekční přípravky

střídáme podle aktivních látek, aby nedocházelo ke vzniku selekce či rezistence mikroorganismů k využívané dezinfekci. Pokud předměty či plocha po dezinfekci přichází do kontaktu s potravinami, musí být opláchnuty pitnou vodou. V neposlední řadě je zásadní během dezinfekce využívat příslušných ochranných pomůcek a dodržovat bezpečnost práce. Vyhláška také zdůrazňuje důležitost seznámení personálu s první pomocí v případě úrazu při práci s dezinfekcí. Poslední zásada při chemické dezinfekci je kontrola. Nejméně jednou za tři měsíce musí být dezinfekční a mycí proces zkontrolován a ověřena jeho účinnost. K určení účinnosti se využívá fyzikálních, chemických a biologických indikátorů. (Česko. Ministerstvo zdravotnictví, 2012)

Vyšší stupeň dezinfekce

Vyšší stupeň dezinfekce je speciální metoda dezinfekce pro určité zdravotnické prostředky. Přesněji se jedná o nedigestivní endoskopy, protože vícestupňová dezinfekce je určena pro zdravotnické prostředky používané k výkonům a vyšetření tělních dutin, které nejsou mikrobiálně osídleny. Tyto endoskopy nemohou být vydezinfikovány běžnými metodami. Než začneme s vyšším stupněm dezinfekce, zdravotnický prostředek řádně očistíme a osušíme. Pokud je zdravotnický prostředek kontaminován biologickým materiálem, použijeme ještě dezinfekční přípravek s virucidním účinkem. Následně se suchý zdravotnický prostředek vloží do roztoku určeného pro vyšší dezinfekci tak, aby všechny jeho části, včetně dutin, byly ponořené. Roztoky určené pro vyšší dezinfekci jsou přípravky s širokým spektrem účinnosti. Jejich účinnost musí vždy zahrnovat sporucidní a tuberkulocidní účinnost. Zdravotnické prostředky ošetřené vyšším stupněm dezinfekce je nutné opláchnout sterilní vodou a následně do 8 hodin použít. Během těchto 8 hodin jsou vydezinfikované zdravotní prostředky uloženy ve speciálních skříních v označených a uzavřených kazetách, kryté sterilní rouškou. Pokud je zdravotnický prostředek ošetřen vyšším stupněm dezinfekce, musí být zaznamenán ve speciálním deníku. (Dingová Šliková, Vrabelová a Lidická, 2018)

Dvoustupňová dezinfekce

Kromě klasické dezinfekce a vyššího stupně dezinfekce rozlišujeme ještě dvoustupňovou dezinfekci. Tato metoda se používá na zdravotnické prostředky užívané k vyšetření či výkonům v částech těla, ve kterých se fyziologicky nachází mikroflóra. Mezi tyto

zdravotní prostředky řadíme digestivní endoskopy, flexibilní i rigidní, a prostředky, které nelze sterilizovat. První stupeň dezinfekce se skládá z ošetření virucidním dezinfekčním přípravkem, mechanické očisty a ponoření do dezinfekčního přípravku disponujícího širokým spektrem účinnosti. Akce v prvním stupni dezinfekce se provádějí přesně v pořadí, ve kterém jsou výše popsány. V druhém stupni se zdravotnický prostředek ponoří do přípravku určeného pro druhý stupeň dezinfekce. Tento přípravek by měl být baktericidní, virucidní a fungicidní. Po ošetření druhostupňovým přípravkem se zdravotnický prostředek musí ještě opláchnout pitnou či čištěnou vodou. Takto vydezinfikované zdravotní prostředky ukládáme shodně se zdravotními prostředky vydezinfikovanými vyšším stupněm dezinfekce, jak je popsáno výše. Stejně jako u vyššího stupně je nutné zdravotnické prostředky dezinfikované tímto způsobem uvést do speciálního deníku. (Dingová Šliková, Vrabelová a Lidická, 2018)

1.2 Sterilizace

Sterilizace je v dnešní době neodmyslitelnou součástí zdravotnictví. Stejně jako dezinfekce patří k preventivním opatřením proti šíření nález, které se mohou během zdravotní péče vyskytnout. Jak již bylo nastíněno v kapitole dezinfekce, sterilizace je proces, při kterém dochází k usmrcení všech mikroorganismů a jejich spor, nevratné inaktivaci všech virů a zneškodnění červů a vajíček, která mají ve zdravotnictví význam. Ve zdravotnictví musí být sterilizovány všechny zdravotní prostředky, které v rámci výkonů či vyšetření porušují celistvost pokožky či sliznice. Celý proces můžeme rozdělit do tří částí – předsterilizační příprava, samotná sterilizace a uložení sterilizovaných předmětů. Kromě těchto tří částí můžeme do procesu také zařadit kontrolu sterilizace. (Kapounová, 2020)

Předsterilizační příprava zahrnuje umytí a dekontaminaci nástrojů a pomůcek. Mytí a dekontaminace se provádí ručně nebo přístrojově a zahrnuje mechanické očištění a dezinfekci virucidním přípravkem. Po důkladné dekontaminaci se nástroje a pomůcky oplachují pitnou vodou a suší. Suché nástroje a pomůcky se následně zabalí do vhodného sterilizačního obalu podle zvoleného postupu sterilizace. Postupy sterilizace stejně jako v dezinfekci dělíme na fyzikální a chemické postupy, popřípadě i kombinované. (Kapounová, 2020)

1.2.1 Fyzikální sterilizace

Nejčastější typ fyzikální sterilizace je tepelná. Tepelnou sterilizaci lze rozdělit do dvou skupin podle toho, jaké teplo je užíváno. Do sterilizace vlhkým teplem se řadí sterilizace pomocí varu nebo sterilizace v autoklávu, kde využíváme nasycených par. Pokud jde o takzvané suché teplo, lze ho využít ke sterilizaci v horkovzdušném sterilizátoru či při klasickém vypalování užívaném v bakteriologických laboratořích. Teplo však není jediná fyzikální možnost, jak vysterilizovat nástroje, pomůcky či určitý prostor. Do fyzikální sterilizace řadíme též sterilizace pomocí ionizujícího záření či filtrace. Ultrazvuk má do jisté míry také sterilizační schopnost, ale v praxi je výsledek příliš nejistý, a proto se nevyužívá. (Rosina, Vránová a Kolářová, 2021)

Sterilizace pomocí vlhkého tepla

Sterilizace pomocí vlhkého tepla je jeden z nejčastějších typů sterilizace velké části nástrojů. Tento způsob je jedním z nejdokonalejších způsobů sterilizace, který se v současné době využívá. Přístroj, který se k tomuto typu sterilizace využívá, se nazývá autokláv. Autokláv se skládá z několika podstatných částí. Základem je nádoba, do níž se umísťují nástroje, které chceme vysterilizovat. Protože v autoklávu dosahujeme sterilizace pomocí vodní páry o teplotě kolem 120 °C a při přetlaku 0,2 MPa, je důležité nádobu opatřit regulačními a informačními prvky. Aby byl uživatel autoklávu informován o stavu procesu, je autokláv vybaven manometrem, vodoznakem a teploměrem. Mezi regulační prvky řadíme přetlakový ventil, který slouží jako pojistka, a různé regulační kohouty. (Beneš, Jiráček a Vítek, 2015) Samozřejmě nesmíme zapomenout na vyvíječ páry, pokud autokláv není připojen na centrální zdroj, který páru dodává. Sterilizace v autoklávu trvá 20–30 minut při teplotě a přetlaku uvedených výše. Autokláv se využívá například k sterilizaci obvazů, prádla z operačního sálu, kovových nástrojů, materiálů z pryže, a dokonce i k sterilizaci některých roztoků. (Kopecká a Rotková, 2017) Příklad autoklávu lze vidět na obrázku č. 1.



Obrázek 1 Autokláv (Mocom, 2018)

Sterilizace pomocí suchého tepla

Sterilizace pomocí suchého tepla je dobrý způsob sterilizace, ne však tak účinný jako výše popsané teplo vlhké, které využívá k sterilizaci horkou páru pod zvýšeným tlakem. Jelikož suché prostředí má nižší koeficient vodivosti, je třeba sterilizaci provádět delší dobu a za vyšších teplot. Do metod využívajících suchého tepla řadíme otevřený oheň a horkovzdušný sterilizátor. Otevřený oheň využíváme v praxi hlavně v laboratořích při sterilizaci bakteriologických kliček nebo při likvidování kontaminovaných obvazových materiálů a podobně. Jak je již výše zmíněno, druhá možnost sterilizace pomocí suchého tepla je horkovzdušný sterilizátor. Horkovzdušné sterilizátory sterilizují pomocí horkého cirkulujícího vzduchu. Pro sterilizaci je nutné vzduch ohřát na teplotu 160 °C při trvání 60 minut nebo na teplotu 180 °C při trvání 20 minut. Byť je sterilizace pomocí vlhkého tepla účinnější, i tak si horkovzdušný sterilizátor našel využití při sterilizaci skla, porcelánu, kovů atd. (Kopecká a Rotková, 2017) Na obrázku č. 2 je vyobrazen suchý sterilizátor. Můžeme si všimnout podobnosti se zařízeními na sterilizaci, ať už suchým či vlhkým teplem, protože se využívají pro sterilizaci stejných nástrojů.



Obrázek 2 Horkovzdušný sterilizátor (Memert, 2022)

Sterilizace ionizujícím zářením

Ionizující záření jsou taková záření, která jsou schopna díky svojí energii oddělit elektron od atomu. Oddělení elektronu od atomu se nazývá ionizace, odtud dostala skupina záření, které je tohoto jevu schopna, svůj název. K sterilizaci pomocí ionizace se využívá například záření UV, které má největší účinnost v rámci sterilizace, v okolí vlnové délky 254 nm. Jde tedy o UV záření skupiny C. (Rosina, Vránová a Kolářová, 2021) UV záření je více popsáno v předchozích kapitolách.

UV-C není jediné ionizující záření, které se používá k sterilizaci. Ve zdravotnictví k sterilizaci využíváme proudy rychlých elektronů. Tento způsob se osvědčil k sterilizaci některých léčiv, obvazů, jednoúčelových souprav, ale také u kostních štěpů. Ukázalo se, že kostní štěpy, které byly sterilizovány touto metodou, se velmi dobře ujaly u příjemce. (Rosina, Vránová a Kolářová, 2021)

Další možností sterilizace kromě UV-C a proudy rychlých elektronů je gama záření. Využívá se gama záření z ^{60}Co a sterilizační dávka je mezinárodně stanovena na 27 KGy. Nevýhoda tohoto záření je, že stanovená dávka nestačí na viry a při navýšení dávky opakovaným ozářením se poškozuje materiál. Je tedy pravidlo, že pokud materiál přijde do styku s krví, už se znovu nesterilizuje pomocí gama záření. (Rosina, Vránová a Kolářová, 2021)

Sterilizace filtrací

Filtrace se často využívá během sterilizace tekutin, pokud nelze využít jinou metodu sterilizace. Sterilizace filtrací je v podstatě sterilizace mechanickou překážkou, proto je důležité zvolit filtr, který dokáže mechanicky zabránit procházení mikroorganismů za filtr. Například viry jsou schopny díky své malé velikosti projít většinou filtrů určených pro zadržení bakterií, protože bakterie jsou podstatně větší než viry. Filtry mají různé velikosti pórů a jsou vyrobeny z různých materiálů. Samotné filtry se často dají využít opakovaně, je však nutné před každým použitím filtry vysterilizovat. K sterilizaci filtrů se většinou využívá autoklávů. Před uložením do autoklávu je třeba je vložit do speciálních kovových nádob. (Kopecká a Rotková, 2021)

1.2.2 Chemická sterilizace

Chemická sterilizace se používá u materiálů, u kterých nelze využít fyzikálních metod zmíněných výše. V praxi se využívá hlavně formaldehydová a etylenoxidová sterilizace, popřípadě lze do chemické sterilizace zahrnout i sterilizaci v roztocích, která spadá do vyššího stupně dezinfekce. Protože formaldehyd i etylenoxid se do značné míry absorbují do sterilizovaného materiálu, musíme po použití této metody provést odvětrání. (Jedličková, Svoboda a Wichsová, 2021) Obě výše zmíněné látky mají speciální podmínky, za kterých sterilizace probíhá. V případě formaldehydu jde o působení formaldehydu ve směsi vodní páry v podtlaku 10–20 kPa při 60–80 °C. Pokud nejsme schopni tyto podmínky dodržet 15 minut v případě teploty 60 °C nebo 20 minut v případě 80 °C, nebude sterilizace dostačující. Sterilizace etylenoxidem potřebuje mnohem delší časový úsek, konkrétně 180 minut, a to při teplotě 55 °C a při tlaku 650 kPa. Tento způsob sterilizace je ideální pro všechny materiály, které by mohlo vysoké teplo poškodit. Jedná se například o gumu, plasty, přístroje s optikou a podobně. (Kapounová, 2020)

3. Praktická část

1.3 Úvod do problematiky

Následující kapitoly přibližují současné poznání, které se týká robotů zaměřených na dezinfekci zdravotnických prostor. Kromě popsání problematiky jsou uvedeny příklady zahraničních článků, které dokazují, jaké výhody a nevýhody dezinfekční roboti využívající UV-C záření mají. Jde hlavně o řešení vytvořená zahraničními univerzitami, pokud jde o komerční řešení, lze dohledat mnoho firem, které se věnují právě servisním robotům s dezinfekční nadstavbou, či přímo speciálně vyvinutým dezinfekčním robotům.

Dezinfekce je neodmyslitelnou součástí prevence v medicíně – to, že se bez dezinfekce ve zdravotnictví neobejdeme, se jenom potvrdilo během globální pandemie onemocnění COVID-19. To mělo za následek vývoj nových technologií, které by mohly být k dezinfekci prostor využívány a tím snížily riziko nákazy ve zdravotnickém či jiném prostředí. V této vlně nových technologií se začali objevovat dezinfekční roboti, kteří využívají k dezinfekci UV-C záření. Jedni z prvních se objevili v Číně u společností UVD Robots ApS, Lumalier, RMiRob. Tito roboti jsou propagováni jako jednoduché, automatizované a účinné řešení. Přesnější detaily však u výrobců nelze dohledat. Tyto společnosti ale nebyly jediné, které se rozhodly pro vývoj dezinfekčních UV-C robotů. Všechna vytvořená řešení mají zdroj UV záření o vlnových délkách v oblasti 254 nm. U těchto vlnových délek je prokázán baktericidní, virucidní, sporucidní a fungicidní efekt. Pro jednotlivé skupiny patogenů je třeba různá doba expozice. Hlavním cílem je vytvořit mobilní platformu, která se bude schopna orientovat v prostoru a bude do svého okolí vyzařovat UV-C záření, které bude dezinfikovat povrchy. Problém této bezdotykové dezinfekce je, že nedochází k mechanickému očištění povrchů. Na povrchu tedy zůstává prach či biologický materiál, který může obsahovat patogeny. To bohužel není jediná limitace této metody dezinfekce. Druhý problém je stínění. Efektivita UV-C záření klesá se čtvercem vzdáleností od zdroje, a pokud se dostane mezi zdroj a dezinfikovaný povrch překážka, je efekt dezinfekce nižší. Tento problém nastává, pokud robot není schopen správné navigace nebo není schopen reagovat na změnu prostředí. Je tedy snaha, aby byl robot schopen zdroj záření nasměrovat a tím došlo k dostatečné expozici všech míst, která chceme dezinfikovat. Toho dosáhneme správnou navigací robota a plánováním jeho trajektorie, zároveň ale musí mít schopnost reagovat na změny

prostředí. Poslední problém, se kterým se v praxi zdravotníci u UV-C robotů setkávají, je způsoben nedostatečnou integrací těchto systémů do zaběhnutých pracovních postupů, což může mít za následek zpomalení provozu nemocnice či větší vytíženost personálu. Pokud je však nemocnice připravena na zavedení dezinfekčního robota, který bude dostatečně autonomní, může personálu značně ulehčit a je vhodným posledním krokem, po manuální dezinfekci, který zlepší celkovou ochranu proti možné nákaze v nemocničním prostředí. Jelikož UV-C po sobě v prostředí nenechává škodlivá rezidua, je prostor po dezinfekci bezpečný. Během dezinfekce je však nutné vyhnout se kontaktu se zářením, aby nedošlo k ohrožení personálu či pacientů. Ideální dezinfekční robot by rozpoznal, který pokoj je bez pacienta a je třeba ho vydezinfikovat, a sám by do pokoje dojel a vydezinfikoval ho. Takto ideální systém by však potřeboval i upravené dveře, které by robotovi poskytly přístup do pokoje. Všechny údaje o dezinfekci by si uložil pro případnou kontrolu. Mezi těmito údaji by například bylo, jaký pokoj dezinfikoval, doba expozice na místech pokoje a podobně. V současné době jsou schopni roboti efektivně přispět k účinné dezinfekci v prostorách, pro které byli navrženi, zcela autonomní v rámci více pokojů či ambulancí nejsou. Vždy je třeba dopravit robota do místnosti, kterou chceme dezinfikovat. Lze tedy říci, že dezinfekční UV-C roboti jsou vhodným doplňkem klasické dezinfekce, je však třeba vyřešit výše zmíněné technologické limity, aby byli schopni nahradit klasické metody dezinfekce zdravotnických prostor a nebyli pouze doplňkem. (Diab-El Schahawi et al., 2021)

Níže jsou uvedena jednotlivá řešení, která byla v tuto chvíli vyvinuta.

1.3.1 Zahraniční výzkumy v oblasti dezinfekčních robotů

Příklady studií níže popisují vývoj UV-C robotů i jejich testování a přibližují problematiku. Z příkladů je patrné, které stěžejní body je třeba podstoupit během vývoje a na jaké překážky lze narazit.

Automated Ultraviolet C Light Mobile Robot for Room Sterilization and Disinfection

Stejně jako mnoho dalších, akademičtí pracovníci z Indonésie reagovali na globální pandemii COVID-19 vytvořením automatizovaného robota pro sterilizace a dezinfekci,

který využívá UV-C záření. Výsledek práce byl ověřen ve třech částech. V první části se autoři zaměřili na měření intenzity UV-C záření a dávky, které byl materiál vystaven. V druhé části byl systém předběžně testován na mikroorganismech. V poslední části byla ověřena mobilita a schopnost navigace systému. (Rusdinar, 2021)

Vytvořený robot se skládá ze dvou základních částí – z mobilní platformy zajišťující dopravu zdroje emitujícího UV-C záření do prostoru, který je třeba vydezinfikovat, a ze samotného zdroje UV-C záření. (Rusdinar et al., 2021a)

Robot se pohybuje pomocí nezávisle na sobě řízených kol, která jsou připojena na kartáčové DC motory. Samotný pohyb kol řídí mikrokontroler, který se rozhoduje na základě dat přijímaných z kamery a magnetických senzorů. Systém nabízí dvě možnosti ovládání. První je využití dálkového ovládání a připojené kamery. Druhý, více automatický způsob je založen na následování magnetické linie předem připravené personálem. Díky takto předem připravené linii, kterou robot poté následuje, se vždy dostane tam, kam chceme. Aby robot věděl, kde se nachází, jsou okolo základní linie připraveny magnetické body, které robot snímá a podle jejich vzoru rozpozná, kde se nachází. (Rusdinar et al., 2021a)

Výše zmíněný mobilní systém slouží k přepravě UV-C světelného systému. UV-C světelný systém je vytvořen z 6 výbojových světelných zdrojů o zdánlivém výkonu 900 VA. Tento systém je napájen ventilem řízenou olovenou baterií A 54 AH. Díky této baterii je tento systém schopen svítit 3–4 h. Na obrázku č.3 lze vidět, jakou intenzitu a do jaké vzdálenosti je schopen systém generovat. Systém však kvůli svým rozměrům není schopen pokrýt všechna místa okolo sebe, protože tvoří takzvaná slepá místa. Jak velká tyto místa jsou, ukazují obrázky č.4 a č.5 (Rusdinar et al., 2021a)

Results of the UVC lamp test

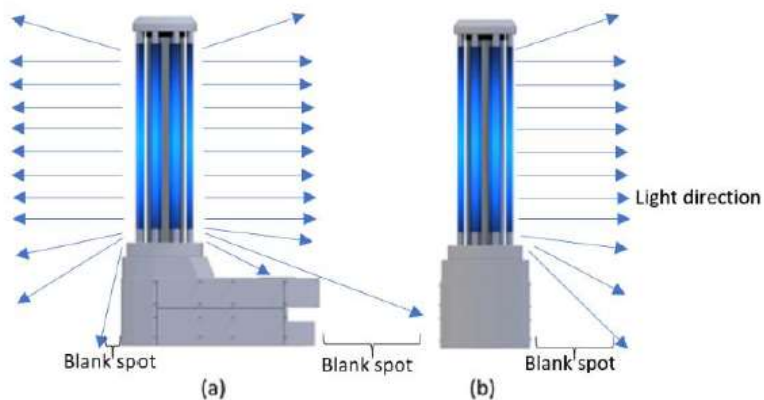
Position	Distance	Intensity
I	100 cm	0.291 mW/cm ²
	200 cm	0.144 mW/cm ²
	300 cm	0.071 mW/cm ²
II	100 cm	0.037 mW/cm ²
	200 cm	0.010 mW/cm ²
	300 cm	0.005 mW/cm ²

Obrázek 3 Výsledky testu UV-C svítidel (Rusdinar, 2021b)

Blank spot areas

Side	Distance
Front	17 cm
Left/right	19 cm
Back	6 cm

Obrázek 4 Rozměry slepých míst (Rusdinar, 2021b)



Obrázek 5 Ilustrace slepých bodů robota (Rusdinar, 2021c)

Účinnost výše popsané platformy byla otestována ve třech krocích. Systém sterilizoval místnost po dobu 10 minut pomocí 6 světelných zdrojů o výkonu 36 W. Účinnost byla ověřena pomocí pasivních a aktivních metod. Pasivní metoda využila Petriho misky o průměru 90 mm, která obsahovala zhruba 25 ml agaru a byla ponechána v místnosti 15 minut před a po sterilizaci místnosti vytvořeným robotem. Aktivní metoda využila

odběrového zařízení pro ovzduší (MAS-100VF – Merck). Vstup do odběrového zařízení měl parametry 300 x 0,6 mm, skrz který procházel tok vzduchu 100 L/min. Výsledný vzorek byl 1000 L, který se zachytával na Petriho misku o průměru 90 mm, obsahující zhruba 25 ml nutričního agaru. Takto zvolená metodika byla využita ve třech typech místností – v obyčejné veřejné místnosti, v místnosti s pozitivním tlakem 10–15 kPa, která představovala operační místnost, a v místnosti s negativní tlakem, která představovala izolační místnost s tlaky –15 kPa až –20 KPa. Z výsledků na obrázku č. 6 je zcela patrné, že vytvořený dezinfekční robot pomohl značně snížit počet bakterií v prostředí. K dosažení ještě lepších výsledků je však třeba lépe určit vlnovou délku, kterou bude robot využívat. (Rusdinar et al., 2021a)

Pro částečnou inaktivaci bakterii by měl systém svítit na dezinfikovaný materiál 2,3 sekundy ze vzdálenosti 1 metr. V případě zničení virů pod detekovatelnou mez je třeba zvýšit dobu expozice, pro viry v mokřém prostředí na 11,7 sekundy a v případě virů v suchém prostředí dokonce na 26,3 sekundy. Doba expozice nutná ke zničení mikrobů se zvyšuje s rostoucí vzdáleností. (Rusdinar et al., 2021a)

Public room	Distance estimation (m)	Colony number			
		Before	Unit	After	Unit
Control		0	CFU	0	CFU
1	1	7	CFU	4	CFU
2	1	12	CFU	3	CFU
3	2	6	CFU	3	CFU
4	2	8	CFU	2	CFU
	Average	8.25	CFU	3	CFU
Active		836	CFU/m ³	179	CFU/m ³
Positive- pressure room	Distance estimation (m)	Colony number			
		Before	Unit	After	Unit
Control		0	CFU	0	CFU
1	1.25	3	CFU	0	CFU
2	1	3	CFU	1	CFU
3	1	9	CFU	3	CFU
4	1.5	6	CFU	0	CFU
	Average	5.25	CFU	1	CFU
Active		110	CFU/m ³	78	CFU/m ³
Negative- pressure room	Distance estimation (meter)	Colony number			
		Before	Unit	After	Unit
Control		0	CFU	0	CFU
1	1	5	CFU	1	CFU
2	1.5	3	CFU	1	CFU
Passive	3	4	CFU	1	CFU
4	1	1	CFU	1	CFU
	Average	3.25	CFU	1	CFU
Active		118	CFU/m ³	83	CFU/m ³

Obrázek 6 Výsledky testů robota (Rusdinar, 2021d)

The use of a UV-C disinfection robot in the routine cleaning process: a field study in an Academic hospital

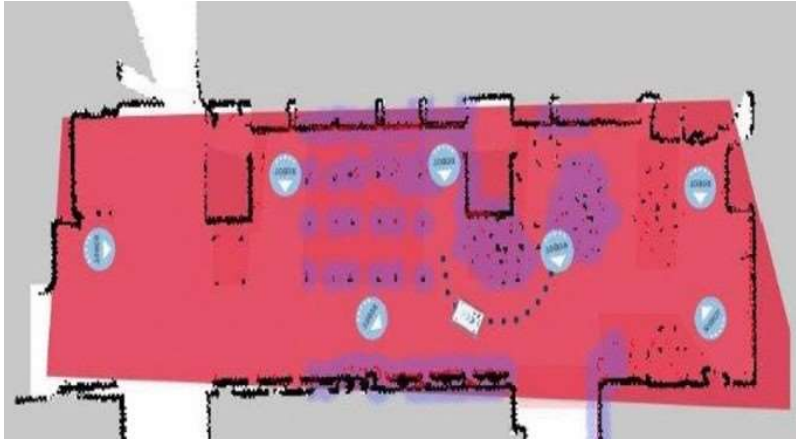
Tato studie byla zaměřena na ověření účinnosti UV-C robota UVD-R od společnosti Clean Room Solutions. Tento robot byl autory označen jako nejvíce pokročilý dezinfekční UV-C robot v době psaní této studie. Robot je stavbou velmi podobný předešlému příkladu, skládá se ze světelného a pohybového systému. Světelný systém je složen z osmi výbojových světelných zdrojů, které vyzařují UV-C záření o vlnové délce 254 nm. Tento systém je schopný doručit dávku $2,7 \text{ mj/cm}^3$ ze vzdálenosti 1 m od dezinfikovaného povrchu. Jako u všech UV-C zářičů, i zde bude doručená dávka klesat se vzdáleností, a proto je třeba využít pohybového systému, který dopraví zářiče k dezinfikovanému povrchu. Pohybový systém je zcela odlišný od předchozího příkladu. Pro úspěšný pohyb je třeba nejdříve zmapovat dezinfikované prostředí. Mapování provádí personál, který musí všechny překážky, nábytek a podobně označit do vytvořené mapy. S nábytkem a překážkami se následně nesmí hýbat, aby během dezinfikování nedošlo ke kolizi. Robot je vybaven senzory sledujícími pohyb, aby neozářil příchozí personál, který by mohl ohrozit. Jako doplněk automatizace disponuje robot i lidarem a byl by schopen do jisté míry reagovat na prostředí. Obrázek č. 7 ukazuje celého robota. Lze si všimnout, že robot je velmi podobný předchozímu příkladu. (Füszl et al., 2021b)



Obrázek 7 UVD Robot® (Clean Room Solutions) (Füszl et al., 2021c)

Ověřování účinnosti probíhalo mezi 23. červencem a 2. srpnem. Byl vybrány dvě kliniky, ve kterých se posuzovala účinnost robota v čekárnách, přesněji v čekárnách ORL a onkologie. Každá z čekáren měla plochu 137 m^2 . Jedna z klinik měla zajištěné čištění a dezinfekce od specializované firmy a druhá klinika si tento proces zajišťovala sama. Za

normálních okolností jsou výše zmíněné čekárny dezinfikovány jednou denně za použití dezinfekčních prostředků na bázi alkoholu nebo aktivního kyslíku. Nastavení robota včetně vytvoření mapy nábytku vytvořil tým firmy, která robota poskytla. Kromě mapy samotné byly označeny body, kde byla nutná delší expozice (v tomto případě byla doba delší expozice 3 minuty). Na obrázku č. 8 můžeme vidět, jak taková mapa vypadala. Červená barva ukazuje místa, která byla ozářena UV-C zářením po normální dobu expozice, a modré body jsou místa, kde bylo ozařováno 3 minuty. (Füszl et al., 2021b)



Obrázek 8 Area map pre-programmed into the UV-C robot in the ENT outpatient clinic. The blue dots indicate where the robot had to stop for 3 min during the disinfection cycle. The red color indicates which area was covered by the mapping procedure and exposed to UV-C light. (Füszl et al., 2021a)

Během určování účinnosti systému probíhalo odebírání vzorků třikrát denně: před klasickým čištěním a dezinfekcí, po klasickém čištění a dezinfekci a po dezinfekci prostředí robotem. Pro určení účinnosti byly povrchy rozděleny do tří skupin. První skupina označovala povrchy s nízkou mikrobiální zátěží (0–3 CFU/24 cm²). Druhá skupina označovala povrchy se střední mikrobiální zátěží (4–50 CFU/24 cm²). Třetí skupina označovala povrchy s vysokou mikrobiální zátěží (více než 50 CFU/24 cm²). Největší kontaminace byla nalezena na područkách u židlí. (Füszl et al., 2021b)

Výsledky studie jednoznačně dokazují, že robot zvýšil účinnost dezinfekce. Po běžné dezinfekci bylo odstraněno 50 % CFU. Při přidání dezinfekce robotem vzrostlo procento odstraněných CFU na 96,9 %. Ve studii se však kladl důklad na bakterii *Candida auris*, u které se robot ukázal jako nedostatečně efektivní ve stacionární fázi. (Füszl et al., 2021b)

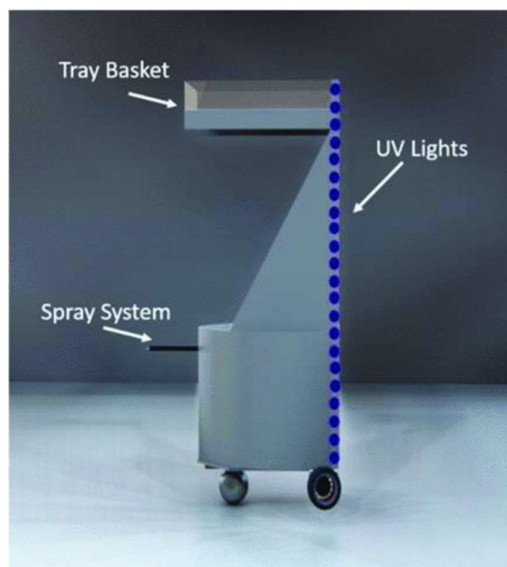
Autoři nebyli spokojeni s náročností přípravného procesu pro využití robota (vytvoření mapy a nastavení robota). Dále autoři uvádí, že je třeba hlubšího zkoumání doby expozice a vlnových délek, které bude možné využít pro úspěšnější dezinfekci i více rezistentních bakterií (jako je například *Candida auris*). Díky porovnání výsledků před využitím a po využití robota autoři uznávají přínos této technologie a tvrdí, že je to vhodný doplněk k již zavedeným postupům dezinfekce. Do budoucna doporučují se zaměřit na zlepšení autonomie robota, aby bylo možné ho lépe zapojit do denního života nemocnice. (Füszl et al., 2021b)

Design and Development of Assistive Robotic System for Covid-19

Íránští akademici též vyvinuli v reakci na globální pandemii robotický systém pro dezinfekci zdravotnických prostor. V několika ohledech se však vydali jinou cestou než výše zmíněná řešení. Zmíněný robotický systém pojmenovali ARC-19. Tento robot nedezinfikuje pouze pomocí UV-C záření, ale také pomocí trysky s dezinfekčním prostředkem, který vypouští do okolí. Jako bonus k dezinfekci prostředí připravili robota i k bezkontaktnímu doručení léků od zdravotnického personálu k pacientovi. (Ahmed et al., 2020a)

Tento systém nabízí možnost ovládání personálem pomocí aplikace, poloautomatický systém a zcela automatický systém. Na přední straně robota jsou umístěny UV-C zářiče, které dezinfikují hlavně bakterie a viry rozptýlené ve vzduchu. Zadní část robota je určena pro systém, který je schopen dezinfikovat podlahu do vzdálenosti 0,9 metrů v šířce 0,45 metrů. Nádoba, která zásobuje systém dezinfekčním prostředkem, má objem 5 litrů. Poslední část je košík, který slouží pro doručení léků pacientovi bez kontaktu se zdravotnickým personálem. Pohyb zajišťují tři kola, která ovládá mikrokontroler na základě dat z mobilní aplikace, GPS a senzorů sledujících objekty. Celý systém je napájen 12V baterií, která je schopna udržet systém v chodu po dobu 2–3 hodin. Jak celý systém vypadá, ukazuje obrázek č. 9. Podle autorů je systém schopen pracovat plně samostatně, dezinfikovat dvěma druhy dezinfekčních technologií a lze jej využít pro bezkontaktní

doručení léků. Doporučují kromě zdravotnického prostředí využít systém i v dalších veřejných prostorech. (Ahmed et al., 2020a)

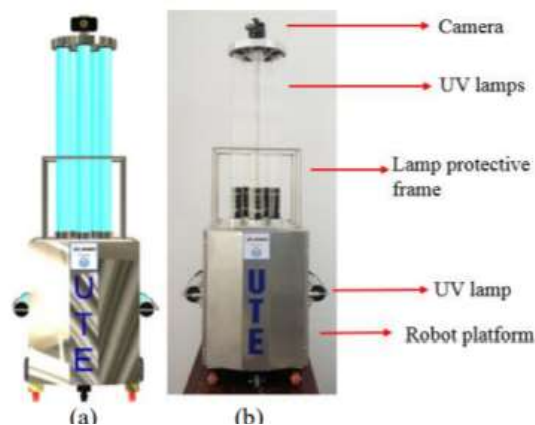


Obrázek 9 Robotický systém ARC 19
(Ahmed et al., 2020b)

Tento systém nabízí další možnosti robotického využití při ochraně zdravotnického personálu a více dezinfekčních technologií. Data o účinnosti tohoto systému však v článku chybí, protože byl primárně zaměřen na design a vývoj systému. (Ahmed et al., 2020a)

An Ultraviolet C Light-Emitting Robot Design For Disinfection In The Operating Room

Také vědci z Vietnamu z univerzity v Danangu se rozhodli vytvořit dezinfekčního robota. Opět jde o platformu nesoucí výbojové světelné zdroje, přesněji jde o 5 světelných zdrojů o výkonu 100 W na vrcholu platformy a o 2 světelné zdroje o výkonech 30 W na stranách platformy. Tento systém osvětluje celé své okolí, a aby nedošlo k ozáření personálu, je vybaven kamerou. Robot je řízený personálem přes dálkové ovládání. Systém je napájen lithiovou baterií 12V-100Ah a zvládne bez přerušení pracovat 2–2,5 hodiny. To podle autorů stačí na vydezinfikování 10 místností. Počítají s místností o velikosti 20 m², která by systému měla zabrat okolo 15 minut. Jak zmiňovaný systém vypadá, je vyobrazeno na obrázku č. 10.



Obrázek 10 An Ultraviolet C Light-Emitting Robot Design for Disinfection in the Operating Room (Phan et al., 2022b)

Autoři uvádějí 99% účinnost u nejčastějších potencionálních patogenů, které se objevují na operačních sálech. Mezi testovanými bakteriemi byly například *Staphylococcus epidermis*, grampozitivní bakterie a *Dermatophytes*. V tomto článku byl popsán systém, který měl nižší náklady než již komerčně dostupná řešení se stejnou účinností. Největší chyba systému je, že nezvládá pracovat sám a musí být ručně řízen pomocí dálkového ovládání. (Phan et al., 2022a)

A Cost Effective UV Robot for Disinfecting Hospital and Factory Spaces for Covid-19 and Other Communicable Diseases

Předchozí příklady byly zaměřeny hlavně na vývoj či ověření účinnosti robotických platform. Akademický tým z Bangladéše se zaměřil také na vývoj s tím rozdílem, že cílem bylo vytvořit platformu co nejlevněji. Robot byl složen z pojezdné části se všemi nutnými motory, senzory a kamerou, aby byl robot schopen fungovat semiautonomně. Díky kameře a senzorum byl robot schopen reagovat na člověka, kterého by mohl svou přítomností ohrozit. Robot byl však hlavně připraven na ovládání operátorem přes wi-fi. Na výše zmíněné pojezdné platformě jsou připojené 3 UV-C výbojky, které se starají o dezinfekci. Takto vytvořený robot v roce 2021 stál pouhých 2595 Kč a při využívání robota 4–5 hodin denně se očekává, že náklady nepřekročí 10 Kč na den. Ověření vytvořeného robota bylo provedeno v modulových podmínkách, kde se měřila intenzita vyzářeného UV-C světla. Autoři přiznávají, že pro lepší ověření by bylo třeba otestovat robota na koloniích bakterií, na to však tato studie neměla dostatek prostředků. (Saad a Razzak, 2021)

Srovnání dezinfekčních robotů

V příloze se nachází tabulka, která nabízí srovnání výše zmíněných a některých komerčně dostupných dezinfekčních robotů. Bohužel ne všichni výrobci uvádí veřejně všechny parametry, proto je u parametrů, které nebyly dohledány, napsáno písmeno x. Ve zdrojích jsou uvedeny odkazy na jednotlivé roboty zmíněné v tabulce.

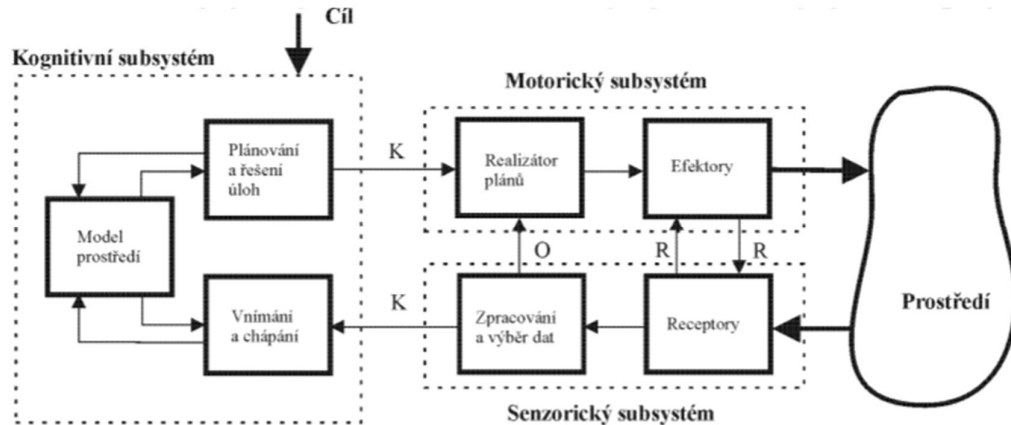
1.3.2 Současnost a budoucnost dezinfekčních robotů

V současné době se na českém trhu nevyskytuje žádný výrobce specializovaný na dezinfekční roboty. Lze však objednat dezinfekční roboty vyrobené v zahraničí. Větší dezinfekční roboti, kteří byli popsáni v předešlých kapitolách, se v Čechách ještě normálně nevyužívají. Například Fakultní nemocnice u svaté Anny v Brně měla ke konci roku 2020 zapůjčeného robota od společnosti UVD Robots, kterou na českém trhu zastupuje společnost Reamedix. Byť si personál přístroj pochvaloval, o jeho koupi za 1,3 milionu korun nemocnice neuvažovala. (Vrlák, 2020)

Taková je situace v České republice, ale ve světě je o něco optimističtější. V dnešní době se většina komerčních i akademických řešení skládá z pojízdné platformy, která posouvá systém světel po prostředí a tím vystavuje většinu míst UV-C záření starajícím se o dezinfekci. Systém se většinou skládá z různého počtu výbojových světelných zdrojů, je však možné i využít LED zdrojů. Důležité je zvolit dostatečné množství zdrojů o správné vlnové délce, abychom zvládli osvětlit všechna místa, která chceme dezinfikovat. Všechny studie, které jsou v současné době k dispozici, se shodují, že dezinfekční UV-C roboti mají velké místo v budoucnosti. Je však třeba nejdříve vyřešit několik problémů, které jsou zmíněny výše, než bude možno tyto systémy zapojit do běžné praxe. Mezi tyto problémy patří stínění, nedostatečná samostatnost robotů a špatné plánování tras (nedostatečné osvětlení některých míst). Zmíněné studie také poukázaly na fakt, že je třeba zjistit nejúčinnější vlnové délky a nutnou dobu expozice pro ideální dezinfekci, protože účinnost vlnových délek a tím i nutná doba expozice je pro různé mikroorganismy odlišná. I přes tyto problémy je dokázáno, že pokud se dezinfekční UV-C robot využije jako doplněk klasické dezinfekce, zvyšuje účinnost dezinfekce místnosti a tím snižuje riziko nákazy z prostředí.

1.4 Komponenty servisních robotických systémů

Tato kapitola se zaměřuje na přiblížení důležitých komponent servisních robotických systémů, specificky jde o přiblížení servisních robotických robotů, kteří jsou zaměřeni na dezinfekci prostředí. Robot je mechatronický systém, který se skládá z vícera subsystémů. Tato kapitola popíše jednotlivé subsystémy a popíše jejich komponenty. O jaké subsystémy se jedná a jaký mají vůči sobě vztah, popisuje obrázek č. 11.



Obrázek 11 Blokové schéma řídicího systému obecného robota (Šolc F., Žalud L.: Robotika, FEKT VUT Brno 2002)

1.4.1 Motorický subsystém

Motorický subsystém přímo ovlivňuje prostředí, ve kterém se vyskytuje. V našem případě jde o motory robota, kterými se robot pohybuje v prostředí, a svítidla, která prostředí, v němž se robot pohybuje, dezinfikují. Tato kapitola se proto zabývá pohybovým systémem a výstupním subsystémem. Pohybový systém přiblíží využitelné motory a převody mezi motory, které jsou v problematice servisních robotických systémů použitelné. Výstupní subsystém pak popíše možná svítidla, která se dají využít při dezinfekci prostředí.

Pohybový subsystém

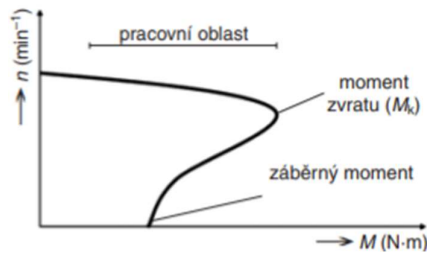
Pohybový subsystém v sobě zahrnuje zejména pohonný řetězec, tedy motor, převodovku a řemenový převod, ale i rám robota. V podstatě jde o všechny komponenty robota, které pohybují celým robotem nebo jeho částmi.

Elektrické motory

Díky motorům jsme schopni platformu rozpohybovat a pomocí senzorů uvnitř motoru můžeme mít i dobrou představu, o kolik a jakým směrem jsme se posunuli. Co se týče problematiky mobilních dezinfekčních robotických platforem určených do zdravotnických zařízení, uvažujeme pouze motory elektrické. Pouze elektrické motory proto, že oproti spalovacím jsou tišší a jednodušší na údržbu. Pro personál je mnohem jednodušší robota připojit do zásuvky a nechat nabít než stále doplňovat palivo. V této kapitole budou přiblíženy nejrozšířenější elektromotory včetně jejich základních znalostí. Mezi zásadní parametry motorů patří otáčky motoru a točivý moment motoru. Otáčky vyjadřují rychlost otáčení motoru a točivý moment vyjadřuje sílu, která působí na konec hřídele. Tyto dva parametry se dávají do závislosti, která vyjadřuje momentovou charakteristiku motoru, přesněji závislost momentu na otáčkách motoru.

Asynchronní motory

Asynchronní motory patří mezi nejrozšířenější elektromotory. Jde o motory, které využívají k provozu střídavé napětí a dosahují výkonů od jednotek až po desítky kilowattů. Asynchronní motory mají dobrou životnost. Otáčky, které jsme schopni vyvinout uvnitř asynchronního motoru, záleží na rychlosti otáčení magnetického pole statoru. Jde nám tedy o frekvenci a počet pólů motoru. Na obrázku č. 12 lze vidět obecnou momentovou charakteristiku asynchronního motoru. Z obrázku je patrné, že během zvyšování zátěže v pracovní oblasti se snižují otáčky a blížíme se k bodu zvratu. Bod zvratu označuje moment, kdy se začne motor zastavovat. V záběrném momentu už stojí úplně. V tento moment se velmi zvětší proud v motoru, ale moment je malý. Tento problém lze částečně řešit připojením na odporovou klec, která zmenší proud a tím i tepelnou zátěž na motor, který by se mohl teplotou poškodit. Jak již bylo výše zmíněno, u tohoto motoru jsou otáčky závislé na frekvenci, kterou motor napájíme. Proto se k těmto motorům přidávají frekvenční měniče. (Šimon, 2011a)



Obrázek 12 Momentová charakteristika asynchronního motoru (Šimon, 2011b)

Komutátorové motory

Hlavní rozdíl mezi komutátorovým motorem a asynchronním je typ napětí, kterým je napájen. Na rozdíl od asynchronních, napájených střídavým napětím, jsou komutátorové napájeny stejnosměrným napětím. Tento motor se skládá z permanentních magnetů na statoru a z cívek na rotoru, které se přepínají a tím vytvářejí točivé magnetické pole. Název komutátorový vychází ze stavby tohoto motoru, kde je využitý komutátor, který je tvořen vzájemně izolovanými lamelami. Ty se dotýkají tak, aby při rotaci přepínaly na cívky, které motorem otáčí. Místo dotyku je spojeno kartáči, proto se často komutátorovým motorům říká kartáčové. Komutátorové motory mají několik možností provedení, například motor komutátorový sériový, derivační, s cizím buzením a buzený permanentními magnety. (Šimon, 2011a)

Bezkomutátorové motory (BLDC)

Bezkomutátorové motory, pro které se často používá označení BLDC (brushless direct current) nebo též označení ECDC, tedy elektronicky komutované stejnosměrné motory, jsou motory velmi podobné komutátorovým, protože využívají stejnosměrného napětí a do jisté míry mají podobný princip. Není zde však mechanické spojení pomocí kartáčů, proto se často označují jako bezkartáčové. Rotor je sestaven z permanentního magnetu a stator je složen z cívek. Ty jsou napájeny před a za permanentními magnety s polaritou tak, aby permanentní magnety byly odpuzovány a přitahovány ve směru rotace. Spouštění cívek řídí Halův senzor magnetického pole. Protože zde není mechanické spojení, jsou tyto motory tiché, lehké a mají dlouhou životnost. Díky těmto vlastnostem jsou hojně využívány. (Šimon, 2011a)

BLDC krokové motory

Krokové motory jsou zásadním motorem v robotice, protože dělí jedno otočení na určitý počet kroků. Díky tomu víme s určitou přesností, v jaké poloze se motor nachází, a můžeme s ním pohnout o námi zvolený počet kroků. Stavba je stejná jako klasické BLDC motory s tím rozdílem, že rotor z permanentního magnetu je sestaven jako ozubené kolo. (Šimon, 2011a)

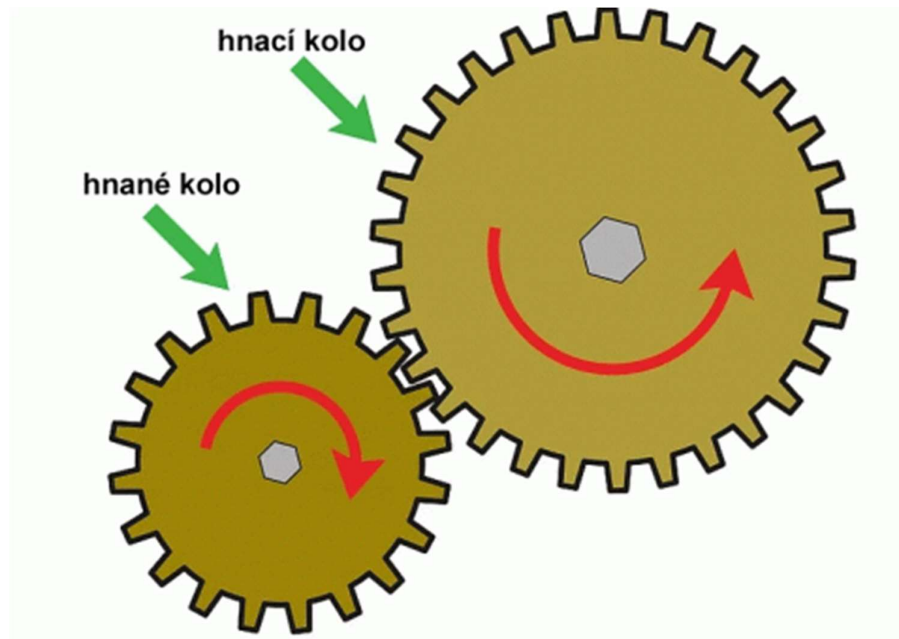
Převodovka

Převodovky obecně slouží k přenosu a transformaci výkonu mezi pracovní částí a motorem. Pracovní část jsou v rámci mobilních platforem kola. Transformovat můžeme mezi různými druhy pohybu, například mezi translačním a rotačním pohybem. Obecně měníme sílu, rychlost, moment nebo úhlovou rychlost. Převody těchto parametrů mohou být v různých poměrech, o tom rozhoduje převodový poměr dané převodovky. Užívání převodovek je zásadní při využití motorů s vyšší úhlovou rychlostí, než jaká je doporučená pro pracovní část. Díky možnosti využití těchto motorů, které jsou menší a levnější při zachování stejného výkonu, můžeme také snížit náklady naší robotické platformy. Mezi základní skupiny mechanických převodovek se řadí ozubené, řemenové a řetězové převody. (Pešík, 2015a)

Ozubené převody

Ozubené převody jsou nejpoužívanějšími převody v průmyslové praxi. Do této pozice se dostaly díky svým vlastnostem, mezi něž patří například schopnost přenášení vysokých otáček, dobrá únosnost, přesnost a mimo jiné i životnost. O tom, jak bude pohyb transformován, rozhoduje, jak jsou k sobě natočeny osy hřídelí. Z tohoto hlediska rozdělujeme ozubené převody na rovnoběžné, různoběžné a mimoběžné. O tom, jaký bude převodový poměr, rozhodují i úhlové rychlosti a otáčky hřídelí. Tento poměr je díky definované tvarové vazbě konstantní a je popsán v Rovnici 1, kde i je převodový poměr, ω je úhlová rychlost a n jsou otáčky hřídelí. (Pešík, 2015a) Ukázka ozubeného převodu viz obrázek č. 13.

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad \text{Rovnice 1}$$

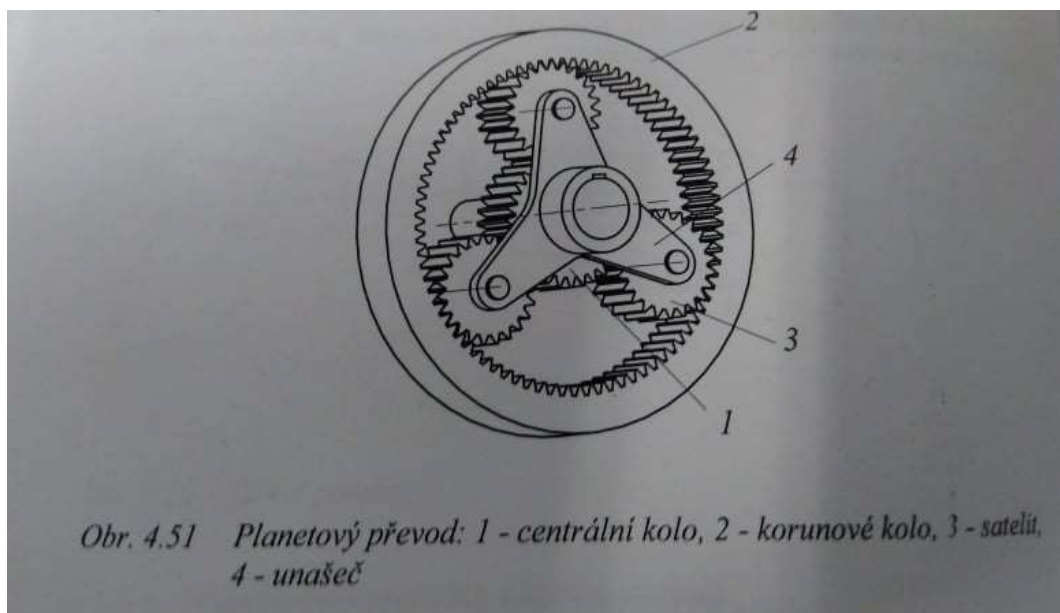


Obrázek 13 Mechanický převod tvořený ozubenými koly (Králová, 2007)

Planetová převodovka

K pochopení ozubených převodů posloužil minulý odstavec. Tento odstavec slouží k porozumění jedné z možností ozubených převodů, protože právě planetová převodovka byla využita v návrhu robotické platformy v dalších kapitolách.

Ve většině ozubených převodů vykonává každé kolo jeden rotační pohyb. To však u planetární převodovky neplatí. Zde je alespoň jedno z ozubených kol donuceno ke dvěma rotačním pohybům současně. Toto ozubené kolo označujeme jako satelit a netočí se pouze okolo své osy, ale také okolo osy unašeče, na který naléhá. Hlavní výhody planetové převodovky jsou možnost dosažení větších převodových poměrů a tichý chod. Principálně je však složitější než ostatní ozubené převody, a proto je náročnější nejen na výrobu, ale i montáž. (Pešík, 2015a) Pro lepší pochopení konstrukce této převodovky je na obrázku č. 14 převodovka vyobrazena včetně popisu jednotlivých částí.

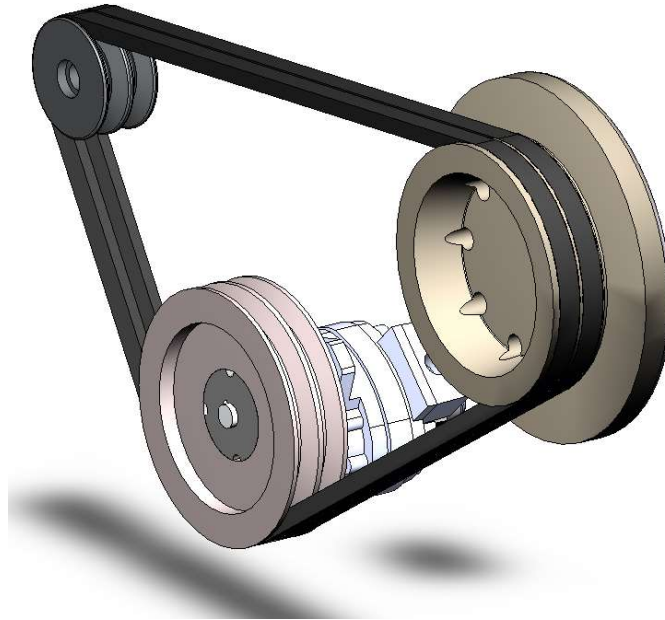


Obrázek 14 Planetová převodovka (Pešík, 2015b)

Řemenové převody

Řemenové převody jsou druhý způsob, jak přenášet a během toho i transformovat výkon mezi motorem a pracovní částí. Zda však není převod způsoben zapadáním ozubených kol do sebe, ale spojením kol o stejné či různé velikosti řemenem, který přenáší energii z jednoho kola na druhé. Řemenové převody mají mnoho výhod, ať už jde o samotný chod, který je tichý a klidný, nebo o nízké výrobní i provozní náklady. Hlavní výhodou je však v samotném převodu výkonu, který je vysoce účinný a umožňuje převádět na více hřídelí jedním řemenem. Při využití oboustranného řemene lze dokonce hnát hřídele, které nemají stejný smysl otáček. Poslední výhodou, kterou je třeba při využití řemene zmínit, je možnost přenášet energii přes řemen na delší vzdálenosti a zároveň se díky pružnosti řemene do určité míry vyhnout momentovým nárazům. Řemenové převody mají však i mnoho nevýhod. Jsou například velmi citlivé na provozní podmínky, tedy mají větší nároky na ideální provozní teplotu, znečištění a podobně. Oproti ozubeným převodům jsou o hodně větší a k samotným řemenovým převodům se často musí ještě přidat zařízení, které řemen napíná. Řemenové převody mají dva základní druhy. (Pešík, 2015a)

Prvním druhem jsou řemenové převody s třecí vazbou. Zde se řemen na hřídelích drží a přenáší energii pouze třecí silou, která mezi těmito dvěma součástkami vzniká. Tento fakt je zásadní, protože kvůli němu může kolísat převodový poměr. (Pešík, 2015a)



Obrázek 15 Převod klínovými řemeny (Wikimedia Commons contributors, 2005)

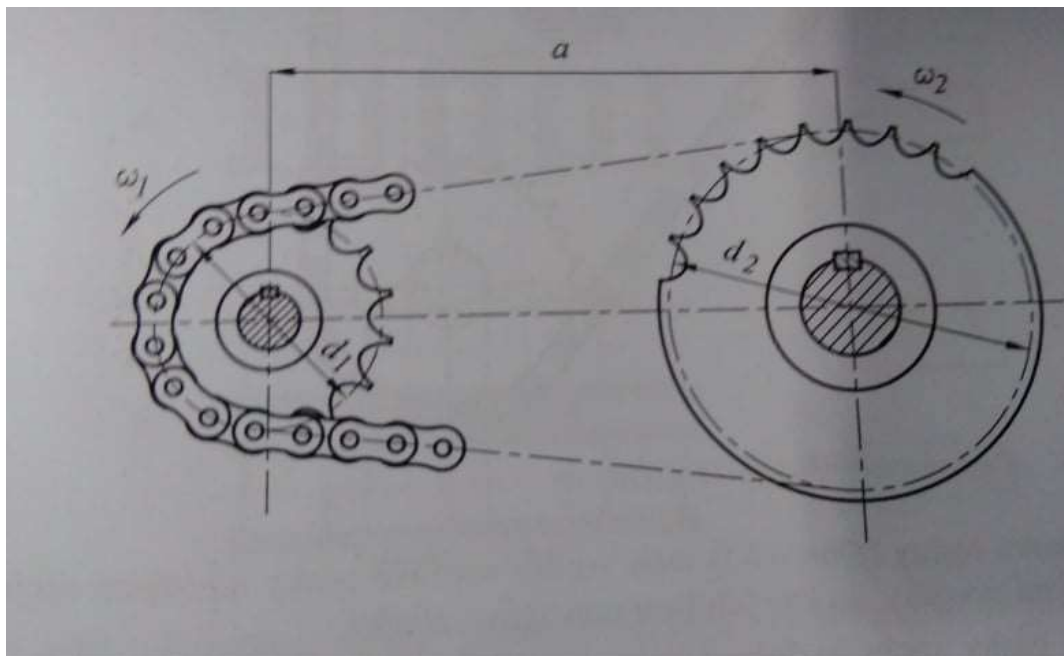
Druhým jsou řemenové převody s tvarovou vazbou. Zde je řemen, který převádí energii, tvarován stejně jako tvarovaná kola hřídelí, na která usedá. Díky tomuto spojení představuje to nejlepší z ozubených i řemenových převodů, tedy tichý a nenákladný chod s konstantním převodním poměrem. (Pešík, 2015a) Příklady převodů řemenových převodů viz obrázky č. 15 a č. 16.



Obrázek 16 Plochý řemen GTI 100 900 x 15 Chiorino (Annon, 2022b)

Řetězové převody

Řetězové převody se na první pohled zdají velmi podobné převodům řemenovým s tvarovou vazbou. Řetěz však není řemen a má tedy i jiné parametry. Řetězové převody přenáší výkon vazbou utvářenou řetězem – ten díky svému tvaru zapadá do kol, která spojuje. Díky této tvarové vazbě je převodový poměr jasně definován, ale nemusí být vždy úplně konstantní. (Pešík, 2015a) Ukázka řetězového převodu na obrázku č. 17.



Obrázek 17 Řetězový převod (Pešík, 2015c)

1.4.2 Výstupní subsystém

Zdroje UV-C záření

Když už máme jak s robotem pohybovat, je důležité zvolit, čím budeme dezinfikovat. Většina dezinfekčních robotů využívá UV-C záření, které je ideální k dezinfekci vzduchu a do jisté míry i k dezinfekci povrchů. V předchozích kapitolách již bylo popsáno, jakým principem k dezinfekci dochází, ale zkráceně jde o dezinfekci pomocí ionizujícího záření, které dokáže poničit DNA či RNA patogenů natolik, že organismus zahyne. Protože UV-

-C má na živé organismy takovýto efekt, je třeba vyhnout se ozáření lidí, kteří by se mohli v okolí robota vyskytovat. Zdrojů, které dosahují vlnových délek UV-C, je více a v následujících kapitolách budou popsány ty nejvíce využívané pro dezinfekci. K dezinfekci se používá několik umělých zdrojů UV-C záření. Mezi tyto zdroje patří nízkotlaké rtuťové výbojky, střednětlaké rtuťové výbojky, xenonové světelné zdroje, excimerové světelné zdroje a LED emitující UV-C.

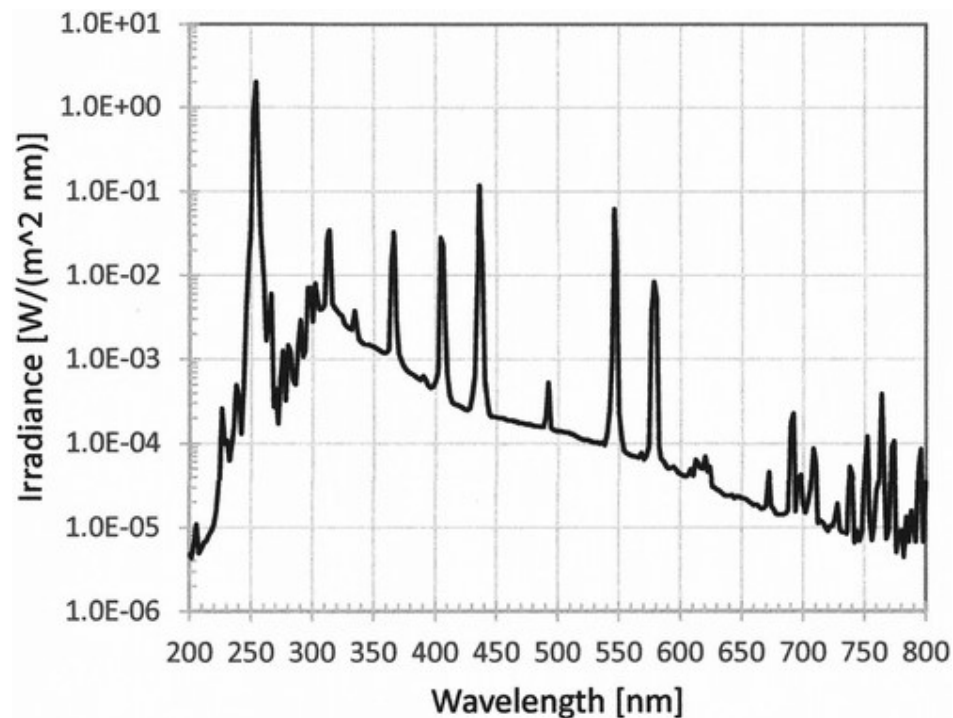
Nízkotlaké rtuťové výbojky

Ze tří výše zmíněných zdrojů jsou nízkotlaké rtuťové výbojky v současnosti nejlepší možností, alespoň co se týče efektivity generování UV-C záření. Tyto výbojky jsou velmi podobné fluorescentním světelným zdrojům, které se využívají pro normální osvětlení. Tato podobnost vychází jak z podobných požadavků na výkon a elektrické předřadníky, které řídí přívod elektrické energie do osvětlovacího zařízení, tak i podobné velikosti, jako mají běžné výbojky. Velký rozdíl je ve vrstvách, které zadržují UV-C záření uvnitř výbojky. U klasických zářivek se využívá fosforu. U nízkotlakových rtuťových výbojek se využívá speciálního skla, umožňujícího až 80% průnik UV záření o vlnových délkách 253,7 nm, které spadá do kategorie UV-C, a je tedy schopno dezinfikovat prostor, kterým záření prochází. Samotné záření vzniká z elektrického oblouku v plném rtuťovém prostředí. (Bergman, 2021a)

Jak moc efektivní výbojka bude, určuje několik parametrů. Efektivita výbojky se bude zvyšovat při delších výbojích. To je zapříčiněno větším množstvím atomů rtuti v metastabilní energetické hladině, které zapříčiňují vznik záření. Za toto zvýšení množství excitovaných atomů může zvýšení teploty. Ideální provozní teplota je u nízkotlaké rtuťové výbojky zhruba 40 °C, ale je důležité podotknout, že tato teplota záleží na tlaku plnění ve výbojce. V tomto bodě je počet atomů rtuti nejideálnější, po překročení této hranice dochází k rychlejšímu odpařování rtuťové kapaliny a v trubici exponenciálně roste počet Hg atomů. Kvůli tomuto jevu dochází k vyšší absorpci vzniklých fotonů ostatními atomy rtuti a efektivita opět klesá. Pokud po překročení ideální teploty pokračujeme v zahřívání, jde o střednětlaké rtuťové výbojky, které budou popsány níže. (Bergman, 2021a)

Jak bylo výše zmíněno, díky speciálnímu sklu, ze kterého je výbojka vyrobena, prochází 80 % vytvořené energie o vlnových délkách 254 nm. Výbojka však nevytváří pouze fotony této vlnové délky, ale také fotony o ostatních vlnových délkách. Pokud bychom se

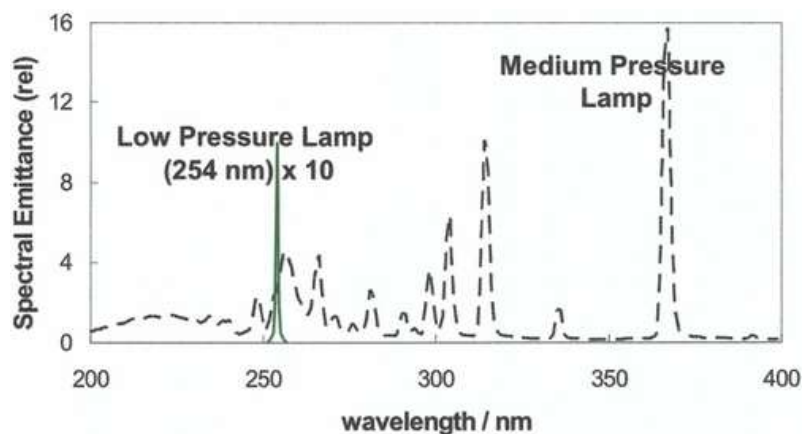
podívali na celkovou elektrickou energii přiváděnou do výbojky, pouze 45 % této energie se využije na tvorbu požadovaných vlnových délek využívaných k dezinfekci. Příklad spektra vyzařovaných vlnových délek lze vidět na obrázku č. 18. (Bergman, 2021a)



Obrázek 18 UV and visible irradiance spectrum for a germicidal low-pressure Hg lamp (G30T8); the radiance is plotted logarithmically (Bergman, 2021b)

Střednětlaké rtuťové výbojky

Střednětlaké rtuťové výbojky jsou trubice různých velikostí vyrobené z křemičitého skla. Střednětlaké výbojky dosáhneme zahříváním nízkotlaké výbojky za ideální teplotní bod. Tyto výbojky jsou nejčastěji užívány u dezinfekce vody. Co se UV-C záření týče, jsou méně účinné než výše popsané nízkotlaké rtuťové výbojky. Na obrázku č. 19 níže lze vidět srovnání obou druhů výbojek. (Bergman, 2021a)



Obrázek 19 Comparison of low-pressure mercury lamp) and a typical medium-pressure mercury lamp (Bergman, 2021c)

Xenonové světelné zdroje

Xenonové světelné zdroje se dělí na trvale pracující výbojky s dlouhým či krátkým elektrickým obloukem a pulzující xenonové světelné zdroje. Xenonové světelné zdroje jsou schopné generovat podstatné množství UV záření. O tom, kolik záření a na jakých vlnových délkách se bude v okolí výbojky nacházet, rozhoduje luminofor v obalu výbojky. Pro vytváření ozonu se jako luminofor využívá čisté křemenné sklo, ale pro jiná využití se křemenné sklo obohacuje různými složkami, aby se zabránilo procházení vlnových délek pod 200 nm. Z výše popsaných druhů xenonových světelných zdrojů se k sterilizaci využívá hlavně trvale pracující výbojky s dlouhým elektrickým obloukem. Ty jsou totiž při plnění tlakem okolo jedné atmosféry velmi podobné střednětlakým rtuťovým výbojkám. (Bergman, 2021a)

Excimerové světelné zdroje

Excimerové světelné zdroje jsou kvazimonochromatické zdroje, tedy jsou schopné vyzařovat záření v určitém intervalu vlnových délek. V případě excimerových výbojek jde o vlnové délky v UV oblasti. O tom, o jaké vlnové délky půjde, rozhoduje plyn, kterým jsou výbojky plněny. Princip excimerových světelných zdrojů je následující. V plynu vytvoříme výboj, který má za následek vytvoření dimerních molekul. Tyto molekuly jsou spojení neutrálních a excitovaných atomů. Po rozvolnění tohoto spojení vznikají dva neutrální atomy a foton o vlnových délkách závislých na spojení atomů, ze kterého vznikl. Excimerové světelné zdroje jsou stejně jako všechny předchozí možnosti

UV zdrojů prodávány jako tubulární řešení, avšak excimerové lze také koupit jako panely. Oproti nízkotlakým rtuťovým výbojkám jsou excimerové světelné zdroje velmi málo používány, ale díky svým vlastnostem se velmi pravděpodobně začnou užívat více a více. (Bergman, 2021a)

Pro dezinfekci je ideální krypton-chloridový světelný zdroj, který vyzařuje záření o vlnové délce 222 nm. Tato vlnová délka je v rámci dezinfekce velmi účinná a zároveň způsobuje menší poškození lidských tkání než 253,7 nm, které vyzařuje rtuťová výbojka. Tyto vlastnosti krypton-chloridového světelného zdroje jej předurčily k dezinfikování veřejných prostor, kde hrozí ozáření lidského organismu. (Bergman, 2021a)

UV-C LEDs

Jakou vlnovou délku záření LED generují, je závislé na výrobci. Co se týče UV, mnoho výrobců se pohybuje u vrchní hranice UV-C, tedy 260–280 nm. Někteří výrobci jsou však schopni dosáhnout ideálních 255 nm – tyto LED jsou ověřeny pro dezinfekci jak ovzduší, tak i povrchů. Je důležité podotknout, že většina současných germicidních světelných zdrojů využívá UV-C LED v rozmezí 265–270 nm. Je snaha vytvářet takové LED, které by měly vlnové délky 255 nm, nebo dokonce nižší, v současné době se však pohybujeme maximálně v rozmezí 255–260 nm. Jako každé zařízení, i UV-C LED nabízí jak výhody, tak i nevýhody oproti jiným zdrojům UV záření. (Bergman, 2021a) Na obrázku č. 20 je vyobrazena UV-C LED.

Při porovnání s nízkotlakými rtuťovými světelnými zdroji mají stejnou, nebo dokonce lepší životnost, zhruba 10 000 h. LED je mnohem lépe směrovatelný zdroj než nízkotlaké světelné zdroje, proto se hodí při konstrukci zařízení, která by u nízkotlakých světelných zdrojů vyžadovala více čoček a reflektorů k fokusaci paprsku. Jedním z takovýchto zařízení, která z těchto důvodů začala častěji využívat LED místo nízkotlakých světelných zdrojů, je systém dezinfekce vzduchu v horní části místnosti, kde nám jde o dezinfekci vzduchu pouze v této horní části bez rizika vystavení lidí ozáření. (Bergman, 2021a)

U LED se uvádí vrchol vlnových délek u spektra s určitou šířkou popisující, kolik záření bude vyzářeno z okolních vlnových délek. To může být velká nevýhoda, protože při nejčastější vrcholné vlnové délce 270 nm se může část vlnové délky přelévat do UV-B spektra, které není pro dezinfekční účely ideální. Další problém týkající se vlnové délky

je potřeba udržet ji na požadovaném vrcholu. Výrobci většinou očekávají posun vrcholné vlnové délky až o 5 nm, což může být zásadní pro dezinfekci, když se pohybujeme u horní hranice UV-C. Z těchto důvodů je velká snaha navrhovat UV-C LED tak, aby vrcholná vlnová délka byla alespoň 260–265 nm. Konstrukce UV-C LED však není jediný problém. Další problém je samotný provoz UV-C LED, protože při zvýšení teploty LED se posouvá vyzařované spektrum. Při konstrukci zařízení využívajícího UV-C LED je tedy zásadní zvládnout chlazení zařízení, aby mohla být dezinfekce dostatečně efektivní. (Bergman, 2021a)

Z výše popsaných vlastností se může zdát, že LED nemají reálně takové využití. To však není pravda, protože výše zmíněné nevýhody vyvažuje množství výhod. Pomocí LED jsme schopni tvarovat záření a upravovat jeho intenzitu. Do jednoho zařízení můžeme prolehčí ovládání přidat i LED. Další výhodou je rychlost odpovědi na ovládající proud, která je v rámci mikrosekund. Díky této rychlé odezvě je možné mít LED v pulzujícím režimu. K těmto výhodám patří i rychlost spuštění, které je prakticky okamžité, a stejně tak není třeba žádné ochlazování. (Bergman, 2021a)



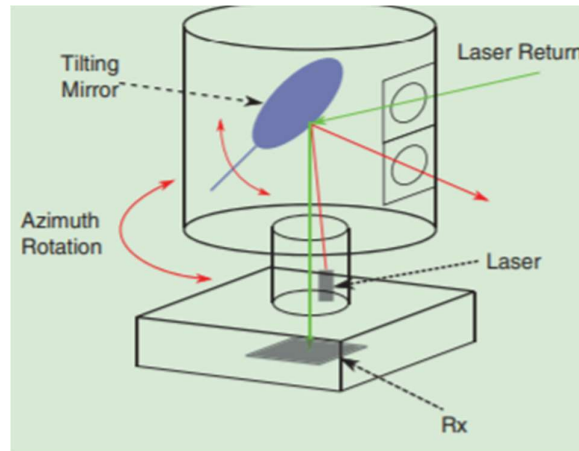
Obrázek 20 UVC LED (Anon,2021)

1.4.3 Senzorický subsystém

Předchozími subsystémy jsme schopni prostředí okolo robota určitým způsobem ovlivňovat. To nám však pro správné řízení robota nestačí. Potřebujeme ještě získávat informace o prostředí, abychom se během řízení dokázali správně rozhodnout o dalším působení robota. K získávání informací o prostředí nám slouží senzorický subsystém. Pro servisní robotické systémy je možné využít mnoho senzorů podle složitosti aplikace. Hojně používané jsou například ultrazvukové dálkoměry, lidar, detektory pohybu a podobně. Pro náš návrh, který se nachází v dalších částech této práce, jsme zvolili jako hlavní senzor lidar. Proto je také popsán v této kapitole, která přiblíží jeho fungování a využití.

Lidar

Lidar je jedním z nejpoužívanějších senzorů pro mapování prostředí. V dnešní době tento senzor mimo jiné využívají autonomní automobily či chytré telefony. Je hojně využíván hlavně pro svou rychlost, přesnost a rozlišení snímaného prostředí. Lidar je zkratka, která přesně popisuje, čeho je toto zařízení schopné. Light detection and ranging, zkráceně LIDAR, znamená v překladu světelná detekce a měření vzdálenosti. Díky tomuto zařízení jsme tedy schopni určit bod v prostředí, od kterého je odrazeno zařízením vyslané světlo, a pomocí znalosti rychlosti vysílaného světla dopočítat, v jaké vzdálenosti se bod nachází. Pokud tedy vyšleme světlo opakovaně pod různými úhly, dostaneme takzvaný oblak bodů, který nám přesně popisuje prostředí v okolí lidarů. K tomu je třeba mít zařízení, které fokusované světlo vysílá, a snímač, který bude zaznamenávat světlo odražené od překážek. Kromě těchto dvou esenciálních věcí se často využívá ještě zrcadlo, které se točí, a u některých zařízení dokonce naklání. Toto zrcadlo je důležité k odrazení paprsku generovaného v zařízení do co nejvíce bodů. Pokud tedy budeme mít generátor světla nad zrcadlem, které je schopno se točit i naklánět, budeme schopni určit polohu velkého množství bodů ve 3D prostoru v okolí lidarů, a tedy i v okolí našeho robota. Obrázek č. 21 znázorňuje tento princip.



Obrázek 21 Schéma lidarů (Li a Ibanez-Guzman, 2020)

1.4.4 Řídící subsystém

Když je robot hardwarově sestaven, je třeba mu též dodat softwarové vybavení, které bude robota řídit od nejjednodušších povelů až po složitější operace, jako je mapování prostředí a tvoření trasy. Tato kapitola se zaměřuje na softwarové vybavení využívané u navrhovaného robota. Kromě přiblížení algoritmů, kódů a využívaných operačních systémů jsou zde také popsány procesory, na kterých jsou dané kódy při provozu robota spuštěny.

Mikrokontrolery a jednodeskové počítače

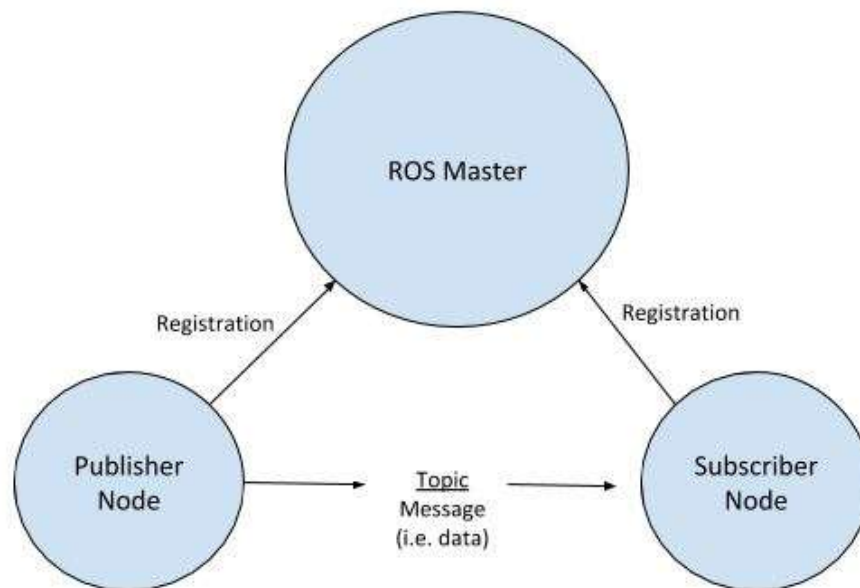
Mikrokontrolery a jednodeskové počítače jsou jedním z řešení, jak v robotice zjišťovat z hardwaru informace a zároveň ho i ovládat. Jde tedy o čipy, které řídí různé procesy, od jednodušších, v případě mikrokontrolerů, po složitější, v případě jednodeskových počítačů.

ROS

ROS je zkratka pro robotický operační systém, ale nejde o operační systém v klasickém smyslu slova. ROS je totiž souhrn knihoven a nástrojů využívaných k ovládní a získávání informací z robotů nebo z nejrůznějších senzorů, které se v robotice využívají. ROS je open source software, který umožní každému využít kód ROSu pro komunikaci s robotem a jeho částmi. Díky open source licenci si každý může i jednotlivé

knihovny upravit pro svou vlastní aplikaci, což je jedna z největších výhod ROSu. Další výhodou je připravenost pro využití na vícero platformách, jako jsou například Windows, Linux i macOS, ale nejde jen o softwarové platformy, protože ROS je díky množství knihoven připraven i pro sériovou komunikaci s různými hardwary, jako je Arduino či Raspberry Pi. Pokud by výše zmíněné výhody někoho nepřesvědčily, ušetření času při využití již napsaných knihoven a možnost řešení problémů s dobře funkční komunitou na fórech přesvědčí už snad každého. (Open Robotics, 2021)

Jakým způsobem se s ROSem tedy pracuje? Princip je jednoduchý a v tomto odstavci bude základ ROSu vysvětlen tak, aby každý pochopil základ tohoto systému. ROS pracuje na základě uzlů (Nodes) a témat (Topics). V uzlech se provádí výpočty a nejrůznější operace, které jsou následně posílány pomocí témat do dalších uzlů či přímo na server, na němž je celý ROS spuštěný. Témata tedy spojují uzly pomocí zasílání informací prostřednictvím zpráv. Uzly mohou odebírat témata, ze kterých přijímají informace z ostatních uzlů, nebo mohou do témat publikovat informace, které chtějí sdílet s ostatními uzly. Pro lepší pochopení je na obrázku č. 22 vidět celý proces dvou uzlů, které spolu komunikují na serveru přes téma.



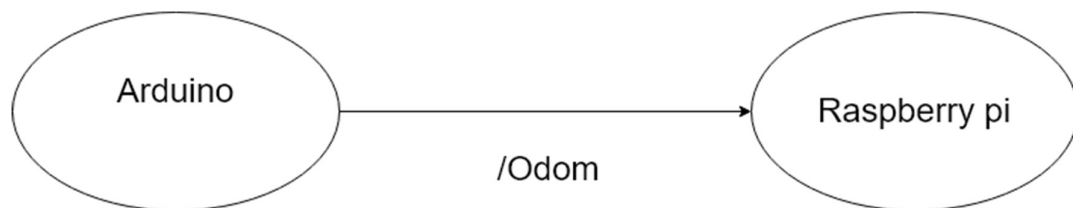
Obrázek 22 Základní schéma ROS (Sears-Collins, 2022)

Využití ROS uzly

Tato práce je primárně navržena pro seznámení čtenáře s robotickými dezinfekčními platformami a s určitými možnostmi konstrukce takovéto platformy. Sekundárně přibližuje ovládání pohybu platformy pomocí logické jednotky a motoru. Jak je z vyšších kapitol patrné, jako logické jednotky byly využity platformy Arduino a Raspberry Pi. Arduino se stará o ovládání motorů a zasílání informací do Raspberry Pi, které se stará o skladování a využívání informací o pozici robota pro plánování trasy a následně zasílá příkazy Arduino o změně jízdy. Je tedy třeba využít dvě témata na zasílání – téma pro odometrii, který poběží na Arduinu a bude zasílat informace do Raspberry o pozici, a téma pro zasílání příkazů do Arduina o změně směru. Ještě je třeba zmínit, že ROS jako takový je spuštěn na Raspberry Pi, které se tedy chová i jako server monitorující jednotlivé uzly a témata.

/Odom

Jak je v předchozím odstavci zmíněno, tento uzel je využit k zasílání vypočítaných informací o pozici robota. Zasíláme informace o pozici na ose X, na ose Y a o úhlu natočení. K tomu, abychom tyto informace správně spravovali, využíváme knihovnu tf.h, přesněji funkci transform. Abychom mohli tyto informace úspěšně publikovat na vytvořené téma a tím předali podstatné proměnné Raspberry Pi, využíváme knihovnu Odometry.h. Obrázek č. 23 ukazuje komunikaci Arduina přes /Odom.

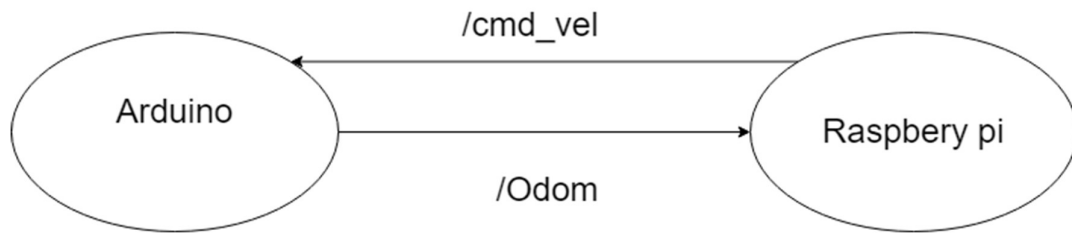


Obrázek 23 Schéma komunikace /Odom (Author, 2022)

/cmd_vel

Díky tématu /Odom již máme informace o pozici robota a můžeme se rozhodnout, kam ho nyní chceme přesunout. Raspberry Pi tedy zašle příkaz přes téma /cmd_vel, do jakého směru má robot akcelarovat. Například může jít o příkaz ke změně pozice X, který si

Arduino vezme a pošle impulzy do motoru tak, aby se pozice X změnila. Obrázek č. 24 popisuje ROS komunikaci mezi logickými jednotkami Arduino a Raspberry Pi.



Obrázek 24 Komunikace Arduina s Raspberry Pi (Author, 2022)

Mapování prostředí

Mapování prostředí a následné plánování trasy je podstatnou součástí autonomních pojízdných robotických platforem. Při procesu mapování prostředí jsou důležité dvě části tohoto procesu. První částí je snímání dat z okolního prostředí, k čemuž se používají nejrůznější senzory, od jednodušších, jako jsou dálkoměry, po složitější, jako je lidar. Jaké senzory či kombinaci sensorů využijeme, záleží na aplikaci. Rozhodujeme se podle složitosti implementace a nároků na přesnost získaných dat. Tato část spadá do sensorického subsystému a je detailněji popsána v kapitole Sensorický subsystém. Druhou důležitou částí je interpretace dat. Zde opět záleží, s jak přesnými daty potřebujeme pracovat. K dopočítání hodnot a interpretaci dat včetně grafického zobrazení využíváme různých algoritmů. Mezi nejznámější patří například SLAM algoritmus, který se hojně využívá u autonomních mobilních robotických platforem.

SLAM algoritmy

Zkratka SLAM znamená simultánní lokalizace a mapování prostředí. Jde tedy o algoritmy, které v reálném čase kromě mapování prostředí také zapisují polohu robota vůči prostředí. U většiny mobilních robotů, kteří mají senzory dovolující mapování prostředí, je tento algoritmus využit. Mezi tyto senzory patří například lidar, který je schopen naskenovat dostatečné množství bodů prostředí pro nakreslení dostatečně detailní mapy. Je více SLAM algoritmů, které lze pro tyto účely využít. Pro naše účely jsme opět vybrali ROS balíčky, které nám dovolí simultánní lokalizaci a mapování prostředí. ROS nabízí například Hector SLAM algoritmus, ke kterému je třeba pouze lidar a nemusíme zasílat údaje o odometrii. Pokud chceme přesnější lokalizaci, můžeme využít

ROS gmapping algoritmus, který využívá i dat z odometrie robota pro přesnější lokalizaci. Výběr algoritmu využitého pro tuto práci a krátký popis jeho fungování je blíže rozebrán v dalších kapitolách.

1.4.5 Napájení robota

Jelikož tato práce je zaměřena primárně na mobilní robotické platformy, bude se tato kapitola zabývat bateriemi a BMS. Díky těmto dvěma prvkům může robotická platforma po určitou dobu plnit svou práci bez připojení k elektrické síti. Protože robot nemusí být neustále připojen k elektrické síti, zvyšuje svoji mobilitu a prostor, v němž může bez přerušení konat práci, ke které byl navržen. Jaká baterie bude v robotovi využita, záleží na konstruktérovi, který si musí promyslet, zda bude baterie stačit pro napájení všech částí robota a po jak dlouhou dobu. Zároveň musí přemýšlet nad velikostí baterie a nosností robotické platformy, na niž bude nakonec baterie připevněna.

Galvanické články

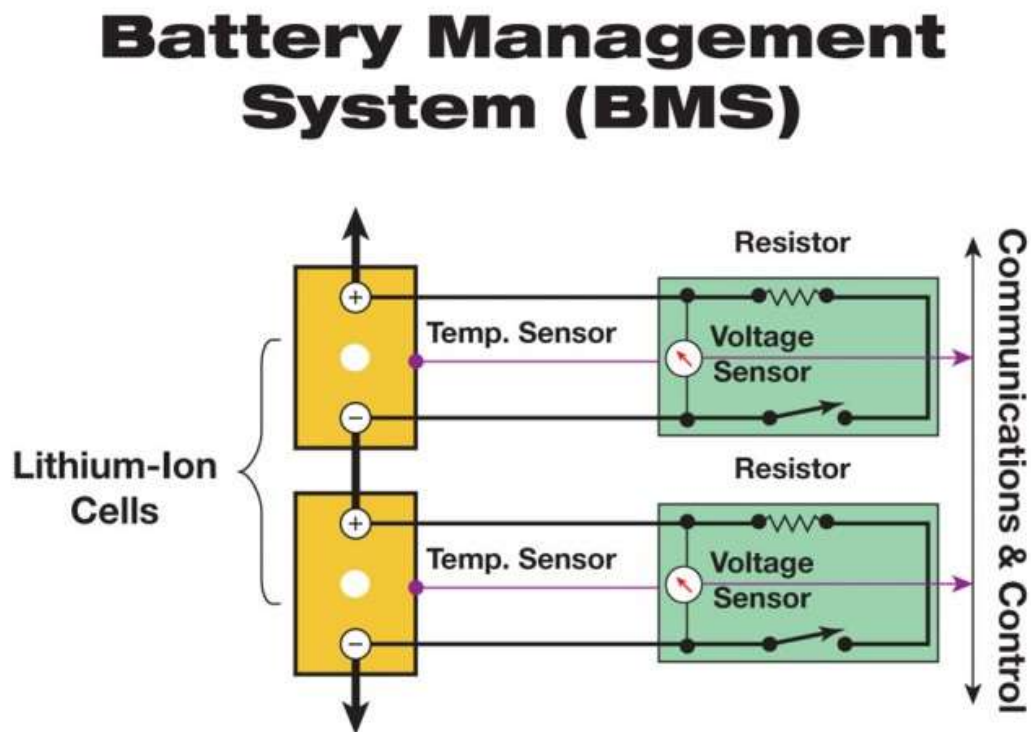
Galvanický článek je zdroj elektrického potenciálu, který je v něm generován pomocí chemických reakcí. Rozlišujeme dva základní druhy galvanických článků, články primární a články sekundární, kterým se také říká akumulátory. Primární články nelze dobíjet a energie, kterou z nich lze získat, je dána výrobou dle zvolených elektrod a elektrolytu. Sekundární články na rozdíl od primárních lze nabíjet. Nabíjecí proces začíná po připojení na vnější elektrický zdroj, který má větší napětí, než je napětí elektromotorické u dané baterie. Kolikrát lze nabití a vybití opakovat, záleží na konkrétním typu článku a způsobu jeho provozování. (Jelínek, 2021a)

Příklady sekundárních článků

Tabulka v příloze ukazuje příklady sekundárních článků s důležitými poznámkami ohledně bezpečnosti, napájení a podobně. Tato tabulka byla též převzata od pana doktora Jelínka.

BMS

BMS je zkratka pro battery management system. Jak již název napovídá, jde o zařízení, které řídí provoz baterie. BMS využíváme hlavně v případě sekundárních článků, protože ty mají určité provozní podmínky pro ideální životnost a efektivitu. Právě BMS se stará, aby tyto podmínky byly dodrženy. To však není jediná náplň práce tohoto řídicího systému. BMS se totiž využívá i pro získávání informací o stavu baterie jako takové. Příklad základních informací, které BMS získává a zároveň může posílat do dalších řídicích jednotek, je například proud, napětí či teplota baterie. BMS je schopná tyto informace zasílat jak o celé baterii, tak i o jednotlivých článkách. Kromě těchto základních senzorů je třeba vybavit BMS i technikou, která zajistí bezpečný a ideální provoz samotné BMS. Jde hlavně o stykače, galvanické oddělení, ochranu proti elektromagnetickému rušení a podobně. Jak již bylo výše nastíněno, všechny získané informace by měla být BMS schopna poslat do master modulu, slave modulu nebo do ostatních řídicích jednotek zařízení, které BMS využívá. (Lelie et al., 2018) Schéma BMS lze vidět na obrázku č. 25.



Obrázek 25 Příklad jednoduché BMS (Anon, 2022c)

1.5 Návrh mobilní robotické platformy pro dezinfekci zdravotnických prostor

Předchozí kapitoly popisovaly jednotlivé důležité části mobilních dezinfekčních platforem. V této kapitole využijeme těchto znalostí a vytvoříme návrh jedné z mnoha možností, jak takového robota sestrojít. Výstavba této kapitoly je podobná stavbě samotné platformy, tedy začneme popsáním využitého hardwaru, přesněji od spodní konstrukce a motorů přes světla až po senzory, a poté se přesuneme k základnímu softwaru, který je třeba pro rozpočítání této platformy.

1.5.1 Návrh mobilní robotické platformy pomocí modelu diferenciálního podvozku

Než přejdeme k vytvořenému návrhu mobilní robotické platformy pro dezinfekci zdravotnických platforem, popíšeme zde původní plán, který z několika důvodů nebylo možné provést. Původní plán bylo jako pojízdnou platformu pro nesení světel využít iRobot Create, přesněji šlo o původní model Create, který je vyobrazen na obrázku č. 26. V současné době je však k dispozici i model Create 2. Jde o pojízdnou platformu, které vypadá jako klasický robotický vysavač a má i podobné vlastnosti, ale byla firmou uvolněna pro vývojové práce. Protože není třeba obcházet již nainstalovaný software, jako u jiných robotických vysavačů, je tato platforma ideální pro robotické nadšence tvořící vlastní projekty. Pomocí několika pinů lze pohyb platformy jednoduše ovládat zasíláním specifických bitů, které jsou popsány v manuálu platformy. Díky výše zmíněným vlastnostem byla tato platforma zvolena jako původní pojízdný systém. Plán byl ovládat pojezd pomocí Arduina na základě informací od Raspberry Pi, stejně jako u návrhu, který je výsledkem této práce. Od tohoto pojízdného systému jsme však byli nuceni odstoupit, protože tato platforma měla pro naše účely velkou nevýhodu. Pro zvolený světelný zdroj, který byl vytvořen pro dezinfikování, je třeba jiných napětí, než je platforma schopna generovat, proto jsme museli přidat vlastní baterii a BMS. Kvůli těmto komponentům nebyla nosnost této platformy dostačující. Z tohoto důvodu jsme se rozhodli využít jiné platformy, která tuto podmínku splňuje. Zvolená platforma je popsána v dalších kapitolách.



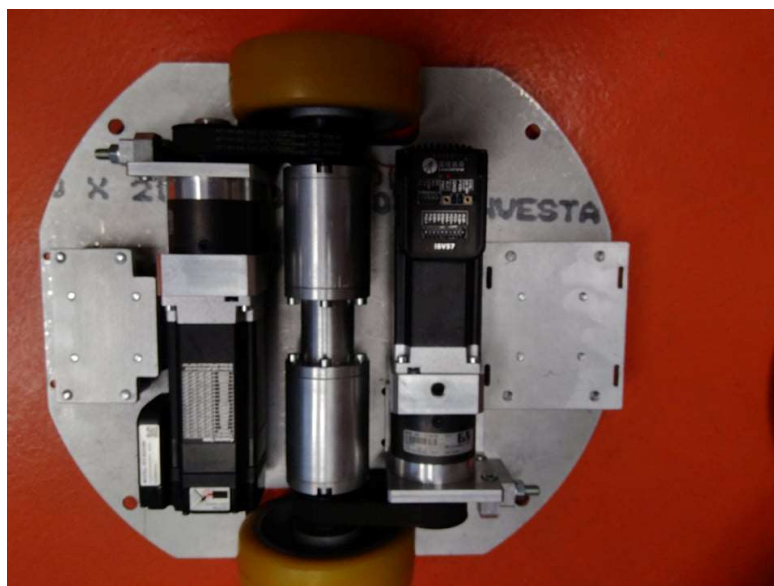
Obrázek 26 iRobot Create (Mataric, Koenig a Feil-Seifer, 2007)

1.5.2 Základní konstrukce a napájení robota

Tato kapitola popisuje, jakou základní nosnou konstrukci bude robot mít a jakým způsobem bude napájen.

Nosná konstrukce

Na obrázku č. 27 níže můžeme vidět nosnou konstrukci včetně motorů, která veze zbytek všech komponent. Ty budou popsány níže. Tato platforma byla původně vytvořena pro přesun určitých komponent v průmyslových zařízeních, ale díky svým vlastnostem se skvěle hodí i pro naše využití, tedy pro převoz dezinfekčního UV zařízení. Platforma disponuje dvěma hlavními koly o průměru 12,5 cm, která jsou připojena k motorům, a kovovou deskou. Kovová deska má na délku 42 cm a na šířku 37 cm. Pod kovovou deskou je na každé straně ještě jedno malé kolečko, které udržuje desku v rovnováze. Není zde však žádné připojení k motorům.



Obrázek 27 Mobilní robotická platforma pohledem shora (Autor, 2022)

Baterie navrhnuté platformy

Nyní již máme základní nosnou konstrukci, včetně kol a motorů, které budou posouvat robota po zvolených prostorách. Motor je však třeba napájet elektrickou energií, aby byl schopen vykonávat pohyb, který převedeme do pohybu platformy. Proto je třeba zvolit vhodnou baterii, co se výkonu a výdrže týče. Nesmíme zapomenout, že baterie bude muset zvládnout nejen dodávání dostatku energie do motorů, ale i do našeho dezinfekčního zařízení, které bude popsáno níže. Protože chceme platformu samozřejmě využívat opakovaně, zvolili jsme sekundární články, které můžeme dobíjet, a díky tomu i opakovaně využívat. Při stavbě baterie bylo využito deset sekundárních lithium-iontových článků BAK 18650. Jeden sekundární článek BAK 18650 (obrázek č. 28) disponuje nominální kapacitou 3350 mAh a nominálním napětím 3,6 V. 10 článků je zapojeno sériově a 4 paralelně. Tímto pospojením článků vznikla baterie s kapacitou 14 Ah a nominálním napětím 36 V. Tyto parametry jsou pro potřeby světel a motorů dostačující.



Obrázek 28 Baterie BAK18650 (Anon, 2022a)

Battery management systém využitý v návrhu platformy

Důvod a využití battery management systému již byly vysvětleny v kapitole Napájení robota. Velmi zjednodušeně řečeno se jedná o systém, který nám hlídá informace o baterii a zajišťuje její bezpečný a plynulý provoz udržováním podmínek co nejbližších provozním ideálům dané baterie. Pro náš návrh jsme zvolili BMS od společnosti LLT Power. Tato BMS byla zvolena pro své parametry, které jsou vhodné pro námi zvolené baterie, tedy pro lithium-iontové. Další velkou výhodou je možnost komunikace z BMS přes bluetooth, což personálu dovoluje pomocí aplikace kontrolovat stav baterie, například během běžné bezpečnostně-technické kontroly. Na obrázku č. 29 lze vidět zvolenou BMS včetně ukázky aplikace, která obsahuje základní informace, jako jsou odebíraný proud a teplota baterie. Na obrázku jsou též pro představu rozměry BMS.



Obrázek 29 LLT POWER BMS UVC LED (ANON, 2015)

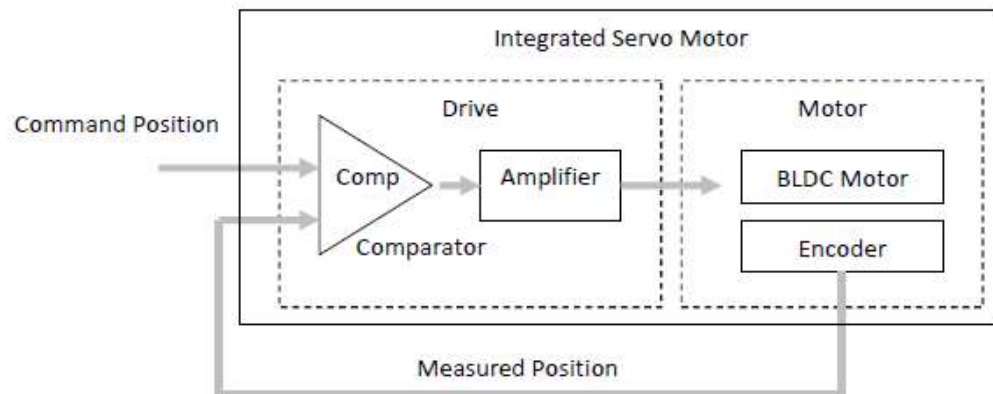
1.5.3 Motorický subsystém navržené platformy

Jakou roli má motorický subsystém u servisních robotických systémů, již bylo popsáno v předchozích kapitolách. Tato kapitola shrnuje jejich poznatky a uvádí je v praxi. Tato kapitola je zaměřena na využití komponenty pohybového i výstupního subsystému. Jinými slovy jsou zde popsány využití motory, převody a dezinfekční systém.

Leadshine integrovaný BLDC servomotor (iSV-B23180)

V našem návrhu mobilní robotické platformy jsme využili dva BLDC servomotory, které budou zodpovědné za mechanický pohyb platformy po zdravotnických prostorách. Tyto motory jsou ještě spojeny vícestupňovou planetovou převodovkou. Díky využití dvou kol napojených na dva různé servomotory budeme schopni platformu otáčet a posouvat přesně tam, kam bude zrovna potřeba. Níže je popsáno fungování a ideální parametry zvoleného motoru. (Leadshine, 2022a)

Jde o bezkartáčový servomotor poháněný stejnosměrným proudem, který obsahuje PPR (pulse per revolution) enkodér. Celý integrovaný servomotor funguje následovně. Do komparátoru přichází informace příkazu a informace z enkodéru. Výsledná hodnota je zvětšena zesilovačem a poslána do BLDC motoru, který vykoná pohyb. Tento pohyb je zaznamenán enkodérem a získaná informace je zaslána zpět do komparátoru, kde se porovnává s uživatelem zasláným příkazem. Pro lepší představu je celé schéma tohoto systému zobrazeno na obrázku č. 30. (Leadshine, 2022a)



Obrázek 30 Schéma integrovaného motoru Leadshine (Leadshine, 2022b)

Motor se dokáže pohybovat s vysokou přesností, proto je ideální pro aplikace, jako jsou laserové řezače, CNC obráběče nebo robotické platformy, u kterých vyžadujeme vysokou přesnost pohybu. (Leadshine, 2022a)

Elektrická specifikace

Pro operování s motorem je třeba vstupní napětí, které se u tohoto modelu pohybuje od 20 do 50 V stejnosměrného proudu. Typicky se však používá 36 V. Proud protékající motorem by neměl přesahovat 6 A, aby nedošlo k jeho poškození. Jelikož tento motor obsahuje PPR enkodér, řešíme též, jaké pulzy a jak rychle můžeme do enkodéru posílat. V případě tohoto motoru můžeme dosahovat frekvencí pulzů 200 kHz nebo 500 kHz podle toho, jak je motor předem konfigurovaný. Konfigurace se provádí v softwaru. Výška pulzů může být nulová nebo 24 V. Je však nutné podotknout, že nejčastěji

využívaná výška pulzu je 5 V. Izolace tohoto zařízení je minimálně 100 M Ω . (Leadshine, 2022a)

Specifikace motoru

Vybraný model motoru má 1,54 kilogramu a jmenovitý výkon dosahuje 180 W. Tento čistý výkon garantuje výrobce při dodržení popsanych okolních podmínek. Jmenovitý točivý moment dosahuje 0,6 NM, při jmenovitém momentu lze motor rozběhnout do 3000 otáček za minutu. 3000 RPM však není maximální počet otáček za minutu, kterého lze dosáhnout. Vyšší otáčky určuje maximální moment otáčení. Pokud jde o maximální moment motoru, ten je až 1,5 NM. Při tomto točivém momentu je možné dosáhnout až 4000 otáček za minutu. Jak již bylo řečeno, abychom mohli dosáhnout správné funkce motoru a hodnot, které jsou zde uvedeny, je třeba do motoru dodat jmenovité napětí 36 V stejnosměrného proudu. (Leadshine, 2022a)

Ideální okolní podmínky pro motor

Pokud chceme, aby motor správně fungoval a zvládl dosáhnout na specifikace uvedené výrobcem, musíme dbát na prostředí, ve kterém s motorem operujeme. Podmínky, ve kterých byl motor testován a v nichž tedy výrobce může zaručit jeho správnou funkci, jsou následující. Teplota okolí by neměla přesahovat 40 °C, ale neměla by být nižší než 30 °C. Provozní teplota, tedy teplota, které může dosáhnout chladič, je maximálně 70 °C. Tyto hodnoty se týkají teplot při práci motoru. Pokud motor jen skladujeme, můžeme udržet teplotu okolí v rozmezí -20 °C až 65 °C, aniž by se motor poškodil. Relativní vlhkost by se měla pohybovat mezi 40 % až 90 %. Při nedodržení těchto podmínek výrobce nezaručuje ideální fungování motoru a specifikace se mohou lišit od výše popsanych hodnot. (Leadshine, 2022a)

Dezinfekční systém

Jak již bylo mnohokrát zmíněno, jako dezinfekční systém pro naši platformu bylo vybráno UV-C zařízení. Jaké máme možnosti světelných zdrojů dosahujících UV-C záření, bylo popsáno v kapitole výše, která se zabývala UV-C zdroji. V návrhu vytvořeném pro

tuto práci jsme zvolili UV-C LED zdroje. Pro účely této platformy bylo vytvořeno svítidlo, které vyhovuje našim požadavkům.

Jako UV-C LED zdroj byl zvolen PB2D-1CLA-TC od společnosti ProLight Opto. Tento zdroj byl zvolen hlavně pro svoji cenu a vysokou svítivost, která je pro účely platformy dostačující. Tato dioda dosahuje vlnové délky 265 nm, spadá tedy do kategorie UV-C a bude schopna dezinfikovat osvětlené prostředí. Celé světlo bude skládáno modulárně z bloků o velikosti 5 cm. Díky této modularitě bude možné řetězit bloky podle potřeb zdravotnického zařízení. Aby nedošlo k přetížení svítidla, lze světlo zřetězit maximálně do délky 3 m. Osazení diodami odpovídá hustotě 8 čipů na 10 cm. Protože světla dosahují výkonu 5,5 W na 10 cm pásy, je třeba přidat profil. Profil nám pomůže světla uchládit, ale sníží vyzařovací úhel, který je u zvolených diod podle výrobce 120°. Musíme tedy počítat s tím, že konečný vyzařovací úhel bude menší. Pro námi zvolenou diodu jsme zvolili budič AL8862FF-7 od společnosti Diodes Incorporated. Díky tomuto budiči budeme schopni využít baterii do jejího plného potenciálu. K řízení byl navržen fakultou mechatroniky vlastní plošný spoj. K svítidlu přísluší konektor a kabel, který odpovídá požadavkům platformy a svítidla. Jde konektor a kabel typu M8.

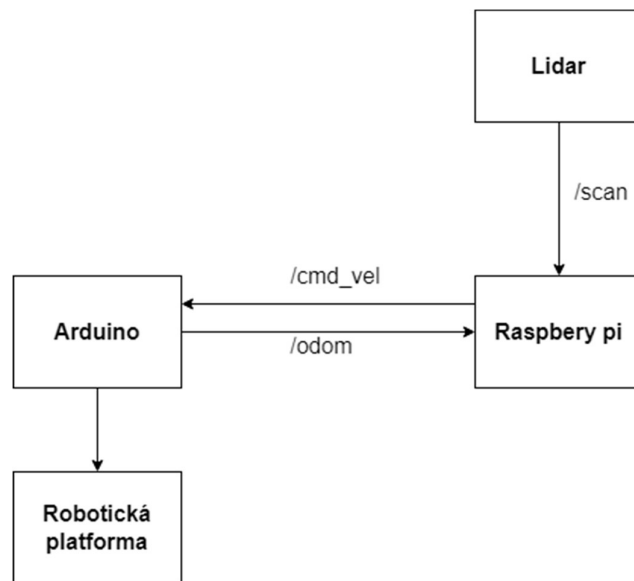
1.5.4 Řídící subsystém navržené platformy

Tato kapitola využívá vědomosti nabyté v kapitole Komponenty servisních robotických systémů a využívá je k návrhu řídicího subsystému mobilní dezinfekční robotické platformy. Přiblíží využití řídicí jednotky, jejich komunikaci a důležité části kódu, které jsou třeba pro ovládání pohybu robota.

Řídící jednotky

V tuto chvíli máme většinu platformy hotovou, ale ještě je třeba jí dodat schopnost se rozhodovat a reagovat. K tomu musíme všechen hardware, co byl výše popsán, ovládat. K ovládání využíváme procesory, které na základě informací přicházejících z hardwaru rozhodnou o dalším kroku platformy. V našem návrhu jsme se rozhodli využít dva procesory. Prvním procesorem je Arduino DUE, které se stará o pohyb motorů tím, že generuje step signály rozhodující o rychlosti a směru jízdy. Zbytek práce je přenechán výkonnějšímu procesoru Raspberry Pi. Zbytkem práce se rozumí ovládání světla,

mapování prostředí a rozhodování o směru a rychlosti jízdy. Logika rozhodování je tedy následující. Raspberry Pi zašle příkaz/scan do lidar, který zmapuje prostředí a zašle data zpět do Raspberry. Tyto informace jsou v Raspberry zpracovány a na základě těchto informací je rozhodnuto o směru a rychlosti jízdy. Toto rozhodnutí je pomocí sériové komunikace zasláno do Arduino DUE, které podle tohoto příkazu od Raspberry začne generovat signál do jednotlivých motorů, a tím se platforma posune tam, kam chceme. Arduino ještě zašle zpět do Raspberry informace o pohybu, abychom měli přesné záznamy o posunech v námi mapovaném prostředí. Na obrázku č. 31 je vyobrazena výše zmíněná komunikace včetně komunikačních protokolů, které procesory využívají. Celá sériová komunikace je prováděna pomocí ROSu. Informace o ROSu byly zmíněny v kapitole ROS.



Obrázek 31 Schéma řídicích jednotek (Author, 2022)

Arduino DUE

Arduino DUE je 32bitová deska, která vychází z ARM architektury. Disponuje 54 digitálními piny, které lze využít jak pro input, tak pro output. Kromě digitálních pinů nabízí DUE deska také 12 analogových inputů, 2 DAC převodníky a 2 CAN sběrnice. Díky dostatku analogových inputů a digitálních pinů je Arduino ideální pro řízení většího množství hardwaru, který je třeba při ovládání robotické platformy. Do Arduino DUE lze nahrát skript o velikosti 32256 bytů. To se může zdát jako dostatečná velikost, my se však

rozhodli využít Arduino pouze na jednodušší řízení, aby byl dostatek prostoru pro možné vylepšování. Proto byly složitější operace přenechány Raspberry Pi, jak je popsáno níže.

Raspberry Pi

V této práci byly Raspberry Pi přenechány složitější operace. Jde hlavně o mapování prostředí a navigování ve vytvořené mapě. Důvod pro tuto volbu je jednoduchý – Raspberry Pi je oproti 32bitové desce Arduino DUE mnohem výkonnější. Jedná se o jednodeskový počítač, který je schopný na svém procesoru spustit a operovat s operačním systémem Linux. Díky této skutečnosti můžeme na Raspberry Pi bez problémů využívat systému ROS, který velmi usnadňuje a zlepšuje komunikace s jednotlivými částmi robota, jak již bylo popsáno výše.

Důležité části kódu

Tato práce se kromě přiblížení problematiky mobilních dezinfekčních platforem ve zdravotnických prostorách snaží soustředit na samotnou mobilitu platformy, proto se tato kapitola snaží vysvětlit, jak lze pomocí Arduina ovládat námi zvolené motory, a tím i mobilitu celé platformy. Kód byl postaven na základech kódu pro jinou servisní platformu a byl poskytnut doktorem Miroslavem Novákem z Ústavu mechatroniky na Technické univerzitě v Liberci. Původní kód byl upraven, aby jej bylo možné využít pro námi zvolený hardware. Kromě této úpravy byl přidán kód pro ovládání pomocí Raspberry Pi přes rozhraní ROS. Celý kód bude v příloze této práce. V příloženém kódu je velké množství zakomentovaných částí, které lze využít při potenciálním rozšiřování platformy.

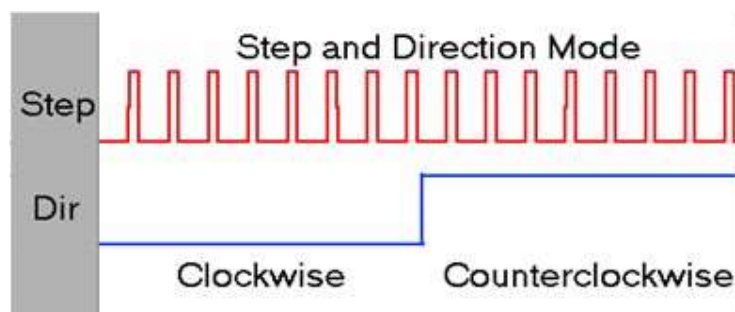
Ovládání motoru

Námi zvolený motor je ovládán pomocí step impulsů a dir impulsů. Frekvence step impulsů nám určuje počet otáček za vteřinu podle toho, jaké má motor nastavení. Náš motor umožňuje nastavení otáčení motoru od 400 do 40 000 pulzů na jedno otočení. Motor se nastavuje podle požadavků na přesnost a možností procesoru generovat impulsy. Všechná možná nastavení motoru se provádí pomocí 4 pinů. Jednotlivé rozdělení pinů lze vidět na obrázku č. 32. Kromě step impulsů určujících rychlost je

důležité také určit dir impulz. Dir impulz nabývá logických binárních hodnot a určuje směr otáčení. Obrázek 33 dobře ukazuje, jak se ovládá motor pomocí step a dir pulzů.

Pulses/Rev	S1	S2	S3	S4
Software Configured (Default 400)	On	On	On	On
800	Off	On	On	On
1600	On	Off	On	On
3200	Off	Off	On	On
6400	On	On	Off	On
12800	Off	On	Off	On
25600	On	Off	Off	On
51200	Off	Off	Off	On
1000	On	On	On	Off
2000	Off	On	On	Off
4000	On	Off	On	Off
5000	Off	Off	On	Off
8000	On	On	Off	Off
10000	Off	On	Off	Off
20000	On	Off	Off	Off
40000	Off	Off	Off	Off

Obrázek 32 Tabulka možnosti nastavení Pulses/Rev (Leadshine, 2022c)



Obrázek 33 Vizualizace step a dir pulzů (Anon, 2022d)

Softwarové řešení ovládání motoru

V odstavci výše bylo vysvětleno, jaké pulzy potřebujeme pro ovládání motoru. Tyto pulzy je třeba generovat logickou jednotkou, která nám dovolí rozhodnout o frekvenci step pulzů, tedy rychlosti otáčení motoru, a hodnotě dir pulzu podle námi zvoleného směru otáčení. V našem případě jsme zvolili jako logickou jednotku desku Arduino, ale je možné zvolit jakoukoliv podobnou desku, která má v sobě zabudovaný časovač.

Zvolená deska Arduino DUE má v sobě více časovačů, které se dají ovládat softwarově pomocí knihovny DueTimer. Tato knihovna nabízí devět časovačů, nám však stačí využít

pouze dva, protože námi navržený robot má jen dva motory. Každý motor nezávisle na druhém ovládá jedno z kol platformy. Zvolili jsme Timer4 pro ovládání levého kola a Timer5 pro ovládání pravého kola. Tyto časovače budou generovat pulzy paralelně s během hlavního kódu, který rozhoduje o jejich frekvenci generování.

Kromě časovačů generujících step pulzy, které nám definují rychlost, je třeba rozhodovat o směru pomocí dir pulzu. Dir pulz stačí měnit pouze při změně směru, proto nemusíme volit žádný časovač, který by generoval pulzy paralelně při běhu hlavního programu, a můžeme pouze měnit hodnotu na jednom pinu z LOW na HIGH či naopak. Na obrázku č. 34 je vyobrazena funkce, která byla vytvořena pro ovládání pravého motoru. Ovládání levého motoru je stejné, až na využitý časovač. Funkce přijme jako input námi zvolenou hodnotu, která rozhoduje o frekvenci generovaného pulzu. Na základě znaménka námi zvolené hodnoty se přepíše dir pin motoru na LOW v případě kladného nebo na HIGH v případě záporného. Funkce si hlídá předchozí hodnoty a omezuje velikost akcelerace, aby bylo dosaženo plynulého provozu.

```
void updateMotorSpeed_P(float data)
{
    //omez akceleraci // deceleraci // reverzaci
    if (((data >= 0) && (cas_P_oldData >= 0)) || ((data < 0) && (cas_P_oldData <= 0))) { //stará a nová rychlost stejné znaménko
        if (abs(data) - abs(cas_P_oldData) > updateMotorAccelerationLimit) //omez nárůst rychlosti
            data = cas_P_oldData + updateMotorAccelerationLimit * ((data >= 0) - (data < 0)); //sign(cas_P_oldData) = *((cas_P_oldData>0)-(cas_P_oldData<0))
        if (abs(data) - abs(cas_P_oldData) < -updateMotorDecelerationLimit) //omez pokles rychlosti
            data = cas_P_oldData - updateMotorDecelerationLimit * ((data >= 0) - (data < 0));
    }
    else {
        if (abs(data - cas_P_oldData) > updateMotorReversationLimit) //omez změnu rychlosti
            data = cas_P_oldData - updateMotorReversationLimit * ((cas_P_oldData >= 0) - (cas_P_oldData < 0));
    }
    cas_P_oldData = data; //uschovej hodnotu pro další krok

    if (data > 0) {
        digitalWrite(pinMotor_P_DIR, LOW); //Dir
    }
    else {
        digitalWrite(pinMotor_P_DIR, HIGH); //DIR
    }

    if (data == 0) {
        liveData.cas_P = 999;
        Timer5.stop();
    }
    else {
        liveData.cas_P = constrain(updateMotorSpeedConstant / abs(data), motorMaximalSpeed, motorMinimalSpeed);
        Timer5.start(liveData.cas_P); //změň časovou konstantu timeru a spusť ho - začne generovat signál STEP
    }
}
```

Obrázek 34 Funkce pro ovládání pravého motoru (Autor, 2022)

Navržená platforma má dvě možnosti ovládání. První možností je ovládání pomocí ovladače na dálkové ovládání. Toto ovládání bylo přidáno, aby mohl personál robota převézt, kam potřebuje, a nemusel ho namáhavě přenášet. Během pohybu při dezinfikování je naopak přítomnost personálu nežádoucí kvůli zdravotním rizikům. Proto byla pro dezinfikování přidána funkce automatického pojezdu. Automatický pojezd řídí Raspberry Pi, které pomocí ROSu zasílá hodnoty, jimiž Arduino řídí motory. Jakým

způsobem spolu Raspberry Pi a Arduino komunikují, bylo již vysvětleno v předchozích kapitolách. Pro lepší představu je na obrázku č. 35 zobrazen kód pro otáčení vlevo a jízdu vpřed. Hodnoty Linear a Angular dostává Arduino od Raspberry Pi, které rozhoduje o směru jízdy přes ROS. Pokud je Linear větší než nula a Angular je nule rovno, jedná se o lineární jízdu vpřed. Funkce zašle do funkce generující pulzy kladné hodnoty pro oba motory. Jízda vzad je obdobná, ale Linear je menší než nula a do funkce generující pulzy jsou zaslány negativní hodnoty. Naopak pokud bude Linear nula a Angular bude větší než nula, jedná se jen o rotaci robota a začneme generovat pulzy pouze do pravého motoru. Jízda vpravo se liší jen ve znaménku proměnné Angular a spuštěný motor bude levý. Proměnná rychlost je při automatické jízdě konstantní nezávisle na příkazech od Raspberry Pi a lze ji jednoduše změnit pomocí vytvořené proměnné s názvem rychlost. K tomuto rozhodnutí jsme došli ze dvou důvodů. První důvod je, že pro účinnou dezinfekci je třeba čas, a proto je žádoucí, aby se během dezinfekce robot pohyboval velmi pomalu či vůbec. Druhým důvodem je bezpečnost personálu, která by mohla být při vysoké rychlosti robota ohrožena. Díky napevno stanoveným hodnotám jsou oba problémy vyřešeny i při poruše v rozhodujícím procesoru Raspberry Pi.

```

//***** TOČENÍ VLEVO *****
else if (Linear==0 && Angular<0) {
    liveData.driveState = 0b00001100;
    str_msg.data = "točení vlevo";
    chatter.publish( &str_msg );

    liveData.driveState |= 0b10000000;

    updateMotorSpeed_P(rychlost);
}

//***** Jízda vpřed *****
else if (Linear>0 && Angular==0) {

    liveData.driveState = 0b0001;
    str_msg.data = "Jízda vpřed ";
    chatter.publish( &str_msg );

    updateMotorSpeed_L(rychlost);
    updateMotorSpeed_P(rychlost);
}

```

Obrázek 35 Logika automatické jízdy (Autor, 2022)

Softwarová komunikace Raspberry Pi a Arduina

Principiálně a schematicky byla komunikace Raspberry s Arduinem již popsána v kapitolách týkajících se řídicích jednotek a ROSu. Tato kapitola se tedy soustředí pouze na to, jak tuto komunikaci navázat pomocí kódu v Arduinu. Než budeme komunikaci navazovat, musíme v Raspberry využít ROS pro vytvoření jakéhosi serveru, se kterým bude Arduino komunikovat. Abychom na Arduinu vůbec mohli využívat ROS funkce a námi zvolené uzly, musíme nejdříve nahrát několik knihoven. O které knihovny se jedná, ukazuje obrázek č. 36. Tyto knihovny jsou dostačující jak pro odometrii, tak i pro přijímání příkazů od Raspberry Pi a zaslání případných chybových zpráv či jiných informací.

```
#include <ros.h>
#include <tf/transform_broadcaster.h>
#include <nav_msgs/Odometry.h>
#include <time.h>
#include <tf/tf.h>
#include "geometry_msgs/Twist.h"
#include <std_msgs/String.h>
```

Obrázek 36 Využití ROS knihovny (Autor, 2022)

Následující část kódu inicializuje uzly a to, jak budou hodnoty zasílány a přijímány. Jaké publishers, subscribers a broadcasters byly využity, je patrné z obrázku č. 37.

```
char log_msg [250];
ros::NodeHandle nh; //ROS handle
std_msgs::String str_msg;

ros::Publisher chatter("chatter", &str_msg);

geometry_msgs::TransformStamped t;
tf::TransformBroadcaster broadcaster;

float Linear;
float Angular;

void motor_cmd(const geometry_msgs::Twist& vel)
{
    Linear = vel.linear.x * 100;
    Angular = vel.angular.z* 100;
}

ros::Subscriber<geometry_msgs::Twist> sub("cmd_vel" , motor_cmd);

char base_link[] = "/base_link";
char odom[] = "/odom";
```

Obrázek 37 Inicializace ROSu (Autor, 2022)

Kromě původní inicializace musíme ještě vytvořit využívané uzly v setupu. Protože inicializace byla již provedena výše, jde pouze o pár řádků. O jaké řádky přesně jde, ukazuje obrázek č. 38

```
//příprava publisher a subscribera cmd_vel
nh.initNode();
nh.advertise(chatter);
broadcaster.init(nh);
nh.subscribe(sub);
```

Obrázek 38 ROS setup (Autor, 2022)

Po výše zmíněných přípravách už můžeme přijímat zprávy od Raspberry Pi a zároveň na konci každého loopu zaslat odometrické informace do Raspberry. Kód potřebný k zaslání odometrických informací je na obrázku č. 39.

```
////////////////////////////////////ROS Loop publish////////////////////////////////////

t.header.frame_id = odom;
t.child_frame_id = base_link;

//přepočet na radiány
theta=liveData.ODO_angle*0.0174532925;

t.transform.translation.x =liveData.ODO_X;
t.transform.translation.y = liveData.ODO_Y;
t.transform.rotation = tf::createQuaternionFromYaw(theta);

t.header.stamp = nh.now();

broadcaster.sendTransform(t);
nh.spinOnce();

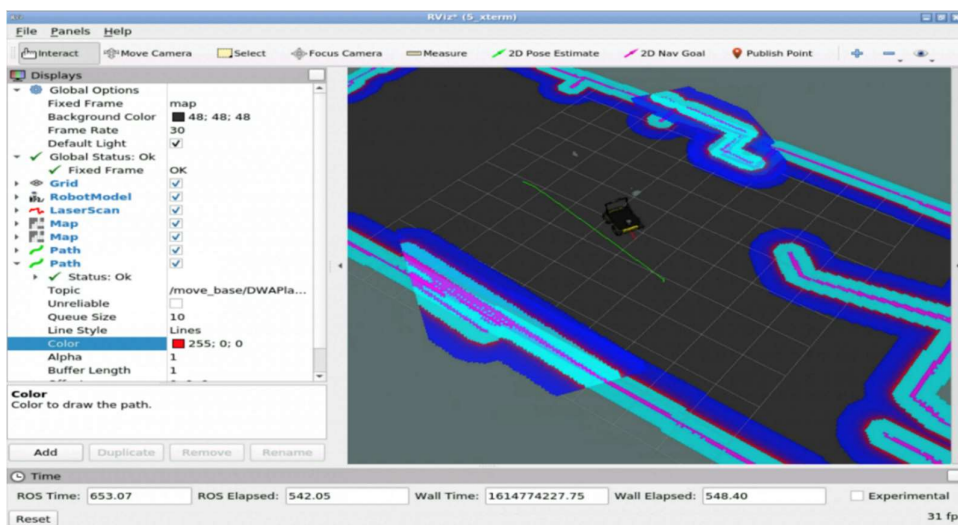
delay(10);
```

Obrázek 39 ROS publish (Autor, 2022)

Výše zmíněné části kódu byly praktické příklady využití ROS knihoven pro naše potřeby. ROS má velké množství knihoven, které jsou využitelné různými způsoby pro nepřeberné množství projektů. Ke knihovnám také náleží příklady, ze kterých je patrné, jak se knihovny využívají. Proto je při vlastní aplikaci lepší využít těchto příkladů než výše uvedených částí kódu.

Mapování a navigace

Jak již bylo v kapitole o mapování prostředí nastíněno, pro návrh mobilní robotické platformy k dezinfekci zdravotních prostor jsme zvolili ROS SLAM balíček, který nám dovolí využít data z lidarů a tím zmapuje okolní prostředí a zlokalizuje robota. Začneme tedy tím, že naskenujeme prostředí pomocí lidarů a vytvoříme tak mapu. Použijeme gmapping, aby byla mapa celistvá, a ne jenom velké množství bodů. Gmapping nám mezery mezi body vyplní a vzniknou nám tak celistvé překážky. Nyní máme mapu hotovou a musíme pouze vytvořit trasu, kterou bude robot následovat. S plánováním pohybu nám pomáhají `move_base` nody od ROSu. Pro základní trasu využíváme globální mapovač, který na základě mapy vypočítá trasu tak, aby nedošlo ke kolizi s překážkou. Tento výpočet je prováděn před pohybem robota, proto nebere v potaz údaje ze senzorů robota. Kromě globálního plánovače využíváme také plánovač lokální. Lokální plánovač bere trasu z globálního plánovače a rozdělí ji do menších úseků. Na základě vypočítaných menších úseků zasílá příkazy o změně směru či rychlosti, pokud to robot povoluje. Jelikož globální plánovač nesleduje data ze senzorů robota, musí lokální plánovač, který je sleduje, také měnit trasu při přidání překážek, které v původní trase nebyly. Po dosažení kýžené pozice zasíláme do topic `move_base/goal` další pozici, do které chceme provést posun robota. Příkazy o posunu zasíláme spíše po menších úsecích nežli celou trasu najednou. Pro lepší představu ukazuje obrázek č. 40 mapování prostředí včetně lokalizace robota a jeho lokálního a globálního plánu.



Obrázek 40 Lokální plán (červeně) a globální plán (zeleně) (Autor,2022)

1.6 Ověření mobility platformy

Po návrhu platformy nezbývá nic jiného než otestovat mobilitu platformy. Navržená platforma je uzpůsobena podmínkám zdravotních zařízení. Byl tedy zvolen materiál kol umožňující pohyb po typických podlahových materiálech, které se ve zdravotnických zařízeních vyskytují, ať už jde o dlaždice, lino či koberce. U kol nehrozí velký podkluz, protože platforma má dostatečnou váhu a dobrý materiál kol. Pokud k nějakému podkluzu dojde, je řešen softwarově a sensoricky, aby nedošlo k přerušení provozu či ohrožení personálu. Bylo přidáno dálkové ovládání, které usnadní přesun platformy, protože jsme nechtěli, aby byl personál při přesunu platformy do místností, které je třeba dezinfikovat, zbytečně namáhán. Zde můžeme konstatovat, že ovládání pomocí ovladače funguje bez problémů a platforma je tedy mobilní. Chceme ale také, aby platforma byla autonomní. Zde však narážíme na legislativní požadavky autonomních platform v prostředí s lidským personálem. Robot by musel být vybaven bezpečnostními komponentami (LIDAR) s dostatečným pokrytím okolního prostoru a bezpečnostním relé (či bezpečnostním PLC), které by vypínalo jak osvětlovače, tak napájení pohonů. K zapnutí by po bezpečnostní události docházelo pomocí tlačítka modré barvy a spuštění osvětlovačů by probíhalo s časovým zpožděním a s přechozím tónovým varováním. Při experimentálním ověření ale předpokládáme autonomní provoz v prostorách bez lidské obsluhy, respektive bez přítomnosti laiků. Jaké řídicí jednotky se na automatické jízdě podílejí a jakým způsobem spolu komunikují, již bylo popsáno výše. U automatické jízdy můžeme též konstatovat splnění cíle ověření mobility. Platforma reaguje na příkazy přicházející z Raspberry Pi, které je zodpovědné o rozhodování o trase a dalším vývoji jízdy. Platforma správně reaguje na přijímané příkazy a je schopna pohybu vpřed, vzad, otáčení vlevo i vpravo. Tímto testováním byl splněn vytyčený cíl práce: ověření mobility navržené platformy.

4. Diskuze

V průběhu této práce byly představeny jak argumenty pro využívání mobilních dezinfekčních platforem, tak argumenty proti. Jako velký argument pro využívání je prokazatelné zlepšení dezinfekce zdravotnických prostor. Je to však stále jen nadstavba, která bez dosud využívaných metod nebude dostatečně účinná. Čas personálu tedy neušetří, a pokud nebude fungování zdravotnického zařízení připraveno na využití robotické dezinfekční platformy, může být dokonce využití takovéto platformy kontraproduktivní. I když jsou platformy, které jsou v dnešní době zdravotnickým zařízením nabízeny, technologicky na výši, je zde stále prostor pro zlepšování. Ať už jde o zlepšení automatizace, vyřešení potencionálního stínění či čištění pevných nečistot. Po vyřešení těchto problémů by se mohly mobilní dezinfekční platformy stát běžnou součástí zdravotnických zařízení. V tuto chvíli se vzhledem k ceně a potencionálním problémům vyplatí zakoupení platformy pouze zdravotnickým zařízením, která chtějí posunout dezinfekci svých prostor na další úroveň nebo chtějí získat zkušenosti s využitím mobilních robotických systémů.

Navržená platforma prošla ověřením nižší mobility úspěšně. V tuto chvíli je třeba doplnit mapování a tvorbu trasy, kterou bude robot následovat. To je již úkol pro navazující projekty, které tento problém budou řešit pomocí balíčků nabízených ROS. Také se nabízí celkové otestování návrhu, který byl předložen v této práci – zjistit účinnost dezinfekce světla a celkovou účinnost platformy na snížení patogenních kolonií ve zdravotnických prostorách.

5. Doporučení pro praxi

Na základě poznatků o mobilních dezinfekčních platformách pro zdravotnická zařízení, které byly shrnuty v této práci, můžeme pořízení této platformy zdravotnickým zařízením doporučit, ovšem až po důkladné kalkulaci návratnosti nákladů a za předpokladu, že je zdravotnické zařízení schopno přizpůsobit denní provoz využití těchto platforem. Zahraniční výzkumy dokazují, že tato zařízení jsou vhodná například pro dezinfekci čekáren ve zdravotnických zařízeních. Také jsou vhodná při boji s epidemiemi, stejně jako během pandemie COVID-19, kdy se tyto robotické platformy začaly hojně využívat v zahraničí a byly také více vyvíjeny. Kromě čekáren jsou mobilní dezinfekční platformy ideální pro dezinfekci pokojů po odchodu pacienta. Potencionálně je lze použít i v ordinacích či operačních sálech. Zde je však nutné si správně změřit, jestli bude platforma schopna projetí všech částí místnosti, nebo zda je místnost v určitých místech moc úzká pro pohyb platformy, která může být rozměry pro tuto místnost nevyhovující. V místnosti, která je dezinfikována, nesmí být žádná živá osoba, aby nedošlo k poškození zdraví. Proto je dobré využívat tento způsob dezinfekce v prostorách, kde se aspoň určitý čas, který je nutný k dezinfikování, nemusí žádné osoby pohybovat.

6. Závěr

Tato diplomová práce se věnovala problematice mobilních dezinfekčních platforem pro dezinfekci zdravotnických prostor. Práce měla tři cíle. Prvním cílem bylo vytvoření návrhu mobilní robotické platformy pro dezinfekci zdravotních prostor. Druhým cílem bylo popsat funkčnost vytvořené platformy. Tyto dva cíle byly splněny v praktické části, kde byly popsány jak možnosti komponent, tak komponenty, které byly využity k návrhu, včetně důvodů jejich využití. Posledním cílem bylo ověřit mobilitu vytvořené platformy. Pro tyto účely byl sestaven základ platformy, který byl následně ověřen v oblasti mobility. Toto ověření proběhlo úspěšně a možnosti mobility platformy byly popsány v kapitole Ověření mobility navržené robotické platformy. Tím byl splněn poslední vytyčený cíl této práce.

Nad rámec cílů práce je přítomna edukativní složka, které slouží jako úvod do problematiky mobilních dezinfekčních platforem, a práce tak může být využita i managementem zdravotnického zařízení k pochopení problematiky nasazení mobilních servisních systémů do zdravotnického zařízení. Tento úvod obsahuje analýzu zahraničních článků, které ukazují jak výhody, tak nevýhody současných platforem. Další částí tohoto úvodu je popis nejdůležitějších komponent, které jsou třeba při výběru či konstrukci platformy. Pokud zdravotnické zařízení zvažuje nákup mobilní dezinfekční platformy, bude tato práce dobrým výchozím bodem při sestavování technické specifikace a výběru platformy.

Seznam použité literatury

AHMED, Syed Faiz et al. 2020a. Design and Development of Assistive Robotic System for Covid-19. In: *2020 IEEE 7th International Conference on Engineering Technologies and Applied Sciences (ICETAS)*. Kuala Lumpur: IEEE, s. 1–4. DOI 10.1109/ICETAS51660.2020.9484278. Dostupné také z: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9484278/>

AHMED, Syed Faiz et al. 2020b. [Robotický systém ARC 19] [obrázek]. In: Design and Development of Assistive Robotic System for Covid-19. *2020 IEEE 7th International Conference on Engineering Technologies and Applied Sciences (ICETAS)*. Kuala Lumpur: IEEE, s. 2. DOI 10.1109/ICETAS51660.2020.9484278. Dostupné také z: https://ieeexplore.ieee.org/mediastore_new/IEEE/content/media/9484159/9484162/9484278/ahmed1-p4-ahmed-large.gif

ANON. 2015. [LLT POWER BMS] [online obrázek]. In: *LLT POWER ELECTRONIC* [online]. ShenZhen City: SHEN ZHEN LI LU TONG ELECTONIC TECHNOLOGY, [cit. 2022-04-12]. Dostupné z: <https://www.lithiumbatterypcb.com/product/6s-7s-8s-9s-10s-li-ion-or-lifepo4-battery-smart-bms-with-20a-30a-40a-50a-60a-constant-discharge-current-with-rs485-and-uart-communication-function/>

ANON. 2021. Inolux IN-C35PUDDU1 UVC LED [online obrázek]. In: IN-C35PUDDU1 UVC LED - Inolux | Mouser. *Distributor Elektronických Součástek - Mouser Česká Republika* [online]. Brno: Mouser Electronics, [cit. 2022-04-12]. Dostupné z: <https://cz.mouser.com/new/inolux/inolux-in-c35puddu1-uvc-led/>

ANON. 2022a. BAK 18650 3350mAh 6.5A Battery (N18650CP) [online obrázek]. In: *18650 Battery Store - Lithium Ion Batteries, Chargers and Accessories* [online]. Atlanta: 18650BatteryStore.com, [cit. 2022-04-12]. Dostupné z: <https://www.18650batterystore.com/products/bak-n18650cp>

ANON. 2022b. Plochý řemen GTI 100 900 x 15 Chiorino [online obrázek]. In: *PIKRON.cz - váš dodavatel řemenových pohonů a těsnění* [online]. Ústí nad Labem: Pikron, [cit. 2022-05-08]. Dostupné z: <https://www.pikron.cz/e-shop/ploche-remeny/ploche-remeny/plochy-remeny-chiorino-gti-100---900x-15-id->

33903.html?gclid=CjwKCAjw682TBhATEiwA9cr135yMGIB2HdCH5KytaY0gh3YfJp
cFS5xLZvArqfyPBTok-C12RmxKKRoCTKoQAvD_BwE

ANON. 2022c. [Příklad jednoduché BMS] [online obrázek]. In: *Kola Author, GT, elektrokola Haibike, winora, lehká kola Woom* [online]. Praha: Tomáš Fiala VELOFIALA, [cit. 2022-04-12]. Dostupné z: <https://www.velofiala.cz/n/bms-battery-management-system>

ANON. 2022d. [Vizualizace step a dir pulzů] [online obrázek]. In: *Ni forums* [online]. Austin, Texas: NATIONAL INSTRUMENTS CORP, [cit. 2022-05-22]. Dostupné z: <https://forums.ni.com/t5/Motion-Control-and-Motor-Drives/What-function-do-Dir-CCW-Step-CW-have/td-p/438371>

BENEŠ, J., D. JIRÁK a F. VÍTEK. 2015. *Základy lékařské fyziky*. 4. vyd. Praha: Karolinum. ISBN 978-80-246-2645-1.

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.

BERGMAN, Rolf S. 2021a. Germicidal UV Sources and Systems†. *Photochemistry and Photobiology*. 97(3), 466–470. DOI 10.1111/php.13387. Dostupné také z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/php.13387>

BERGMAN, Rolf S. 2021b. UV and visible irradiance spectrum for a germicidal low-pressure Hg lamp (G30T8); the radiance is plotted logarithmically. In: *Photochemistry and Photobiology*. 97(3), s. 468. DOI 10.1111/php.13387. Dostupné také z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/php.13387>

BERGMAN, Rolf S. 2021c. Comparison of low-pressure mercury lamp) and a typical medium-pressure mercury lamp. In: *Photochemistry and Photobiology*. 97(3), s. 469. DOI 10.1111/php.13387. Dostupné také z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/php.13387>

BLUEBOTICS a ENGMOTION. 2022. *BlueBotics_mini_UVC_Disinfection_Robot_EN*. St Sulpice: BlueBotics. Zveřejnil BlueBotics. Dostupné také z: https://bluebotics.com/wp-content/uploads/2021/01/BlueBotics_mini_UVC_Disinfection_Robot_EN.pdf

ČESKO. MINISTERSTVO ZDRAVOTNICTVÍ. 2012. Vyhláška č. 306/2012 Sb. 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. 3954–3984. ISSN 1211-1244. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-306#p8>

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. Dostupné také z: <https://aricjournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13756-020-00878-4>

DINGOVÁ ŠLIKOVÁ, M., L. VRABELOVÁ a L. LIDICKÁ. 2018. *Základy ošetrovatelství a ošetrovatelských postupů pro zdravotnické záchranáře*. Praha: Grada. ISBN 978-80-271-0717-9.

FÜSZL, Astrid et al. 2021a. Area map pre-programmed into the UV-C robot in the ENT outpatient clinic [obrázek]. In: 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), 3. DOI 10.1186/s13756-021-00945-4. Dostupné také z: <https://aricjournal.biomedcentral.com/track/pdf/10.1186/s13756-021-00945-4.pdf>

FÜSZL, Astrid et al. 2021b. 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. Dostupné také z: <https://aricjournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13756-021-00945-4>

FÜSZL, Astrid et al. 2021c. UVD Robot® (Clean Room Solutions) [obrázek]. In: 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), 3. DOI 10.1186/s13756-021-00945-4. Dostupné také z: <https://aricjournal.biomedcentral.com/track/pdf/10.1186/s13756-021-00945-4.pdf>

IBEN ROBOT. 2021. UV disinfection robot_iBen M10(UV disinfection)_iBen Robot_Hospital Robot_Sterilization Robot_AI solution supplier. *iBen Robot_Service Robot_Disinfection Robot_Reception Robot_AI solution supplier* [online]. Beijing: iBen Robot, [cit. 2022-01-05]. Dostupné z: <https://www.ibenrobot.com/en/Home/product/huiixiao.html?gclid=CjwKCAiAtdGN>

BhAmEiwAWxGcUsF45rr19Ah-uTW4tT_wLAEPSqIUXIZ2-
IQ_WDSeaUutQkqIKXCYDhoCW-oQAvD_BwE

JEDLIČKOVÁ, J., T. SVOBODA a J. WICHSOVÁ. 2021. *Perioperační zásady v kostce*. Praha: Grada. ISBN 978-80-271-1727-7.

JELÍNEK, Jiří. 2021a. *Napájení přístrojů (akumulátory, opakování)* [přednáška]. Liberec: Technická univerzita v Liberci, Fakulta zdravotnických studií, 24. 2. 2021.

JELÍNEK, Jiří. 2021b. Tabulka sekundárních galvanických článků [tabulka z přednášky]. In: *Napájení přístrojů (akumulátory, opakování)* [přednáška]. Liberec: Technická univerzita v Liberci, Fakulta zdravotnických studií, 24. 2. 2021.

KAPOUNOVÁ, Gabriela. 2020. *Ošetřovatelství v intenzivní péči*. 2. vyd. Praha: Grada. ISBN 978-80-271-0130-6.

KELNAROVÁ, Jarmila et al., eds. 2009. *Ošetřovatelství pro zdravotnické asistenty*. 1. ročník. Praha: Grada. ISBN 978-80-247-2830-8.

KOPECKÁ, Jana a Gabriela ROTKOVÁ. 2017. Fyzikální a chemické prostředky kontroly růstu mikroorganismů. *Informační systém* [online]. Brno: Fakulta informatiky Masarykovy univerzity, [cit. 2022-04-18]. Dostupné z: https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/prif/js17/cviceni_mikrobiologie/web/pages/kontrola_rustu_mikroorganizmu.html

KRÁLOVÁ, Magda. 2007. Mechanický převod tvořený ozubenými koly [online obrázek]. In: *Věda a technika v pozadí Rozbij sklenici | Eduportál Techmania*. Eduportál | Eduportál Techmania [online]. Plzeň: Techmania Science Center, [cit. 2022-04-12]. Dostupné z: <https://edu.techmania.cz/cs/veda-v-pozadi/2154>

LEADSHINE. 2022a. *Hardware Installation Manual Integrated BLDC Servo Motor Version*. Shenzhen: Leadshine. Zveřejnil Leadshine U.S.A. Dostupné také z: <http://www.leadshineusa.com/UploadFile/Down/iSV-x23xxxhm.pdf>

LEADSHINE. 2022b. Schéma integrovaného motoru Leadshine [obrázek v manuálu] In: *Hardware Installation Manual Integrated BLDC Servo Motor Version*. Shenzhen: Leadshine. Zveřejnil Leadshine U.S.A., s.1. Dostupné také z: <http://www.leadshineusa.com/UploadFile/Down/iSV-x23xxxhm.pdf>

LEADSHINE. 2022c. Tabulka možnosti nastavení Pulses/Rev [obrázek v manuálu] In: *Hardware Installation Manual Integrated BLDC Servo Motor Version*. Shenzhen: Leadshine. Zveřejnil Leadshine U.S.A., s.l. Dostupné také z: <http://www.leadshineusa.com/UploadFile/Down/iSV-x23xxxhm.pdf>

LELIE, Markus et al. 2018. Battery Management System Hardware Concepts: An Overview. *Applied Sciences*. **8**(4), 534. DOI 10.3390/app8040534. Dostupné také z: <http://www.mdpi.com/2076-3417/8/4/534>

LI, You a Javier IBANEZ-GUZMAN. 2020. The principle of mechanical spinning lidar [obrázek]. In: Lidar for Autonomous Driving: The Principles, Challenges, and Trends for Automotive Lidar and Perception Systems. *IEEE Signal Processing Magazine*. **37**(4), s. 55. DOI 10.1109/MSP.2020.2973615. Dostupné také z: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9127855&tag=1>

MATARIC, M. J., N. P. KOENIG a D. FEIL-SEIFER. 2007. iRobot Create programmable robot [online obrázek]. In: Materials for Enabling Hands-On Robotics and STEM Education. *AAAI spring symposium: Semantic scientific knowledge integration*. S. 100. Dostupné také z: https://www.researchgate.net/figure/iRobot-Create-programmable-robot_fig2_221250968

MEMMERT. 2022. Horkovzdušný sterilizátor Memmert SF55 [online obrázek]. In: *Zdravotnická prodejna RSt* [online]. Tábor: RSt market, [cit. 2022-04-12]. Dostupné z: https://www.zdravotnickaprodejna.cz/inshop/catalogue/products/thumbs/csm_SF55_Open_shadow_1d8c0eb87a.jpg?timestamp=20210325100416

MOCOM. 2018. Autokláv Mocom B Futura 221 [online obrázek]. In: Autokláv Mocom B Futura 221 – ELMED Autoklávy, sterilizace a další. *ELMED Autoklávy, sterilizace a další - Vybavení pro zubní ordinace* [online]. Lípa u Zlína: Elmed, [cit. 2022-04-12]. Dostupné z: <https://elmed.cz/wp-content/uploads/2018/03/future2.jpg>

NAVRÁTIL, Leoš et al. 2017. *Vnitřní lékařství pro nelékařské zdravotnické obory*. 2. vyd. Praha: Grada. ISBN 978-80-271-0210-5.

OPEN ROBOTICS. 2021. ROS: Why ROS? *ROS: Home* [online]. Mountain View: Open Robotics, [cit. 2022-04-18]. Dostupné z: <https://www.ros.org/blog/why-ros/>

PEŠÍK, Lubomír. 2015a. *Části strojů: stručný přehled. 2. díl. 5. vyd.* Liberec: Technická univerzita v Liberci. ISBN 978-80-7494-184-9.

PEŠÍK, Lubomír. 2015b. Planetová převodovka [obrázek v knize]. In: PEŠÍK, Lubomír. 2015. *Části strojů: stručný přehled. 2. díl. 5. vyd.* Liberec: Technická univerzita v Liberci, s. 144. ISBN 978-80-7494-184-9.

PEŠÍK, Lubomír. 2015c. Řetězový převod [obrázek v knize]. In: PEŠÍK, Lubomír. 2015. *Části strojů: stručný přehled. 2. díl. 5. vyd.* Liberec: Technická univerzita v Liberci, s. 187. ISBN 978-80-7494-184-9.

PHAN, Nguyen Duy Minh et al. 2022a. An Ultraviolet C Light-Emitting Robot Design for Disinfection in the Operating Room. In: AB. NASIR, Ahmad Fakhri et al., eds. *Recent Trends in Mechatronics Towards Industry 4.0*. Singapore: Springer, s. 185–196. DOI 10.1007/978-981-33-4597-3_18. Dostupné také z: https://link.springer.com/10.1007/978-981-33-4597-3_18

PHAN, Nguyen Duy Minh et al. 2022b. a. The design of UV Robot in PTC Creo. b. The fabricated UV Robot [obrázek]. In: An Ultraviolet C Light-Emitting Robot Design for Disinfection in the Operating Room. AB. NASIR, A. F. et al., eds. *Recent Trends in Mechatronics Towards Industry 4.0*. Singapore: Springer, s. 4. DOI 10.1007/978-981-33-4597-3_18. Dostupné také z: https://link.springer.com/10.1007/978-981-33-4597-3_18

ROSINA, J., J. VRÁNOVÁ a H. KOLÁŘOVÁ. 2021. *Biofyzika: pro zdravotnické a biomedicínské obory. 2. vyd.* Praha: Grada. ISBN 978-80-271-2526-5.

RUSDINAR, Angga et al. 2021a. Automated Ultraviolet C Light Mobile Robot for Room Sterilization and Disinfection. *International Journal of Technology*. **12**(4), 854–864. DOI 10.14716/ijtech.v12i4.4817. Dostupné také z: <https://doi.org/10.14716/ijtech.v12i4.4817>

RUSDINAR, Angga et al. 2021b. Blank spot areas [tabulka]. In: Automated Ultraviolet C Light Mobile Robot for Room Sterilization and Disinfection. *International Journal of Technology*. **12**(4), 860. DOI 10.14716/ijtech.v12i4.4817. Dostupné také z: <https://doi.org/10.14716/ijtech.v12i4.4817>

RUSDINAR, Angga et al. 2021c. Illustration of the blank spot area [obrázek]. In: Automated Ultraviolet C Light Mobile Robot for Room Sterilization and Disinfection.

International Journal of Technology. **12**(4), 860. DOI 10.14716/ijtech.v12i4.4817.
Dostupné také z: <https://doi.org/10.14716/ijtech.v12i4.4817>

RUSDINAR, Angga et al. 2021d. Preliminary test results [tabulka]. In: Automated Ultraviolet C Light Mobile Robot for Room Sterilization and Disinfection. *International Journal of Technology*. **12**(4), 861. DOI 10.14716/ijtech.v12i4.4817. Dostupné také z: <https://doi.org/10.14716/ijtech.v12i4.4817>

RUSDINAR, Angga et al. 2021e. Results of the UVC lamp test [tabulka]. In: Automated Ultraviolet C Light Mobile Robot for Room Sterilization and Disinfection. *International Journal of Technology*. **12**(4), 860. DOI 10.14716/ijtech.v12i4.4817. Dostupné také z: <https://doi.org/10.14716/ijtech.v12i4.4817>

SAAD, Md. Mushfiqur Rahman a Md. Abdur RAZZAK. 2021. A Cost Effective UV Robot for Disinfecting Hospital and Factory Spaces for Covid-19 and Other Communicable Diseases. In: *2021 IEEE World AI IoT Congress (AIIoT): 2021 IEEE World AI IoT Congress (AIIoT)*. Seattle: IEEE, s. 0373–0378. DOI 10.1109/AIIoT52608.2021.9454191. Dostupné také z: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9454191/>

SEARS-COLLINS, Addison. 2022. [Základní ROS schéma] [online obrázek]. In: *Create a Hello World Project in ROS – Automatic Addison. Automatic Addison - Build the Future* [online]. Atlanta: Automatic Addison, [cit. 2022-04-12]. Dostupné z: <https://automaticaddison.com/create-a-hello-world-project-in-ros/>

SCHNEIDEROVÁ, Michaela. 2014. *Perioperační péče*. Praha: Grada. ISBN 978-80-247-4414-8.

ŠIMON, Josef. 2011a. Jak se dělá elektromotor. *Elektro*. **19**(2), 36–43. ISSN 1210-0889. Dostupné také z: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/42921.pdf>

ŠIMON, Josef. 2011b. Momentová charakteristika asynchronního motoru [online obrázek]. In: Jak se dělá elektromotor. *Elektro*. **19**(2), s. 36. ISSN 1210-0889. Dostupné také z: <http://admin.podnety.cz/pictures/20120523112220-jak-se-dela-elektromotor-vinuti-kotva-komutator-stator-pdf.pdf>

UVC SOLUTIONS. 2022. SteriPro. *SteriPro* [online]. Ljubljana: UVC Solutions, [cit. 2022-01-05]. Dostupné z: <https://www.uvc-solutions.com>

VAUDEL, Cedric. 2022. CONNOR UVC Disinfection Robot. *RobotLAB Group - Robotics Solution Integrator* [online]. San Francisco: RobotLAB, [cit. 2022-01-05]. Dostupné z: <https://www.robotlab.com/store/connor-uvc-disinfection-robot>

VEVERKOVÁ, E., E. KOZÁKOVÁ a L. DOLEJŠÍ. 2019. *Ošetrovatelské postupy pro zdravotnické záchranáře I*. Praha: Grada. ISBN 978-80-247-2747-9.

VIK, Michal a Martina VIKOVÁ. 2020. Dezinfekce povrchů pomocí UV-C záření a pandemie covid-19. *Světlo*. **23**(3), 40–43. ISSN 1212-0812. Dostupné také z: <http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/casopis/tema/dezinfekce-povrchu-pomoci-uv-c-zareni-a-pandemie-covid-19--17029>

VRLÁK, Marek. 2020. V brněnské nemocnici testují dezinfekčního robota. „Úklid“ operačního sálu zvládne za čtvrt hodiny. *ČT24 — Nejdůvěryhodnější zpravodajský web v ČR — Česká televize* [online]. Praha: Česká televize, [cit. 2022-05-08]. Dostupné z: <https://ct24.ceskatelevize.cz/regiony/3229356-v-brnenske-nemocnici-testuji-dezinfekcniho-robotu-uklid-operacniho-salu-zvladne-za>

WIKIMEDIA COMMONS CONTRIBUTORS. 2005. File:Keilriemen-V-Belt.png [online obrázek]. In: *Wikimedia Commons* [online]. San Francisco: Wikimedia Commons, the free media repository, aktualiz. 2020-09-25 [cit. 2022-04-12]. Dostupné z: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Keilriemen-V-Belt.png&oldid=470302907>

ZHENGZHOU RBT I-TECH. 2020. Multifunctional UV Disinfection Robot - Industrial robot automation research and development manufacturer. *Industrial robot automation research and development manufacturer* [online]. Zhengzhou City: Zhengzhou RBT I-Tech, [cit. 2022-01-05]. Dostupné z: https://www.rbt-automation.com/multifunctional-uv-disinfection-robot.html?gclid=CjwKCAiAtdGNBhAmEiwAWxGcUm1A4jnjz3vZ5UTdhEbtXw6wAp9E8UbMZLcmBhNVRxqUbY6fvAZTRxoC5F4QAvD_Bwe

Seznam příloh

Příloha A: CD ROM

- Elektronická podoba práce
- Srovnání dezinfekčních robotů
- Tabulka sekundárních galvanických článků
- Kod_pro_ovladani_mobilni_platformy