



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMATIZACE A INFORMATIKY

INSTITUTE OF AUTOMATION AND COMPUTER SCIENCE

Skener 2D kódů kryozkumavek

Cryo Tubes 2D Codes Scanner

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

František Anděl

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. Radomil Matoušek, Ph.D.

BRNO 2024

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav automatizace a informatiky
Student:	František Anděl
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Aplikovaná informatika a řízení
Vedoucí práce:	prof. Ing. Radomil Matoušek, Ph.D.
Akademický rok:	2023/24

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Skener 2D kódů kryozkumavek

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Pro dlouhodobé uložení vzorků tělních tekutin a tkání se využívají hluboce zmrazené kryozkumavky, například systém SBS/ANSI. Často jsou opatřeny malými, na běžných čtečkách nečitelnými, 2D kódy. Dodávané specializované skenery jsou z různých důvodů dostupné za poměrně vysoké částky. Je tedy jasná motivace pro pokus o řešení s menší cenou ovšem při zachování spolehlivosti.

Cíle bakalářské práce:

Rešerše systémů kryozkumavek (SBS/ANSI), jejich rozměrů, variant a kódů.

Rešerše stávajících řešení skenování a jejich cenové relace.

Rešerše vhodnosti:

- opatření proti zamlžování
- elektromechanických prvků a převodů
- optických senzorů (1D a 2D CCD, využití zrcadel)
- HW/SW platform (mikrokontrolery nebo jednodeskové počítače) Návrh mechanické konstrukce a výroba prototypu pomocí 3D tisku. Testování funkčnosti řešení pro sbírání obrazu kódů v dostatečné kvalitě.

Návrh řešení pro přenos obrazu nebo přímo přečtených kódů do počítače.

Seznam doporučené literatury:

JAQUITH, Kevin. The Origin Of Microplate Standards. Wellplate.com [online]. 2014 [cit. 2022-10-10]. Dostupné z: <https://www.wellplate.com/the-origin-of-microplate-standards/>

PECINOVSKÝ, Rudolf. Python: kompletní příručka jazyka pro verzi 3.10. Praha: Grada Publishing, 2021. Knihovna programátora (Grada). ISBN 978-80-271-3442-7.

STŘÍTESKÝ, Ondřej, Josef PRŮŠA a Martin BACH. [online]. 1. Praha: Prusa Research, 2019 [cit. 2022-10-10]. Dostupné z: https://www.prusa3d.com/cs/stranka/zaklady-3d-tisku-s-josefem-prusou_490/

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2023/24

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Radomil Matoušek

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D. děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem a konstrukcí prototypu skeneru 2D kódů umístěných na dně kryozkumavek, které jsou uloženy v kryogenním stojanu formátu SBS (Society for Biomolecular Sciences). Teoretická část pojednává o konstrukci a využití kryozkumavek, jejich skladovacích systémech a způsobech značení. Dále popisuje stávající způsoby skenování, řešení proti zamlžování, používané optické senzory, elektromechanické prvky a převody, mikrokontrolery a jednodeskové počítače. Praktická část je věnována návrhu mechanické konstrukce a výrobě prototypu pomocí 3D tisku, testování funkčnosti řešení pro sbírání obrazu kódů v dostatečné kvalitě a návrhem řešení pro přenos obrazu kódů do počítače.

ABSTRACT

This bachelor's thesis concerns the design and construction of a prototype two-dimensional code scanner placed at the bottom of cryotubes, which are stored in a cryogenic rack in the SBS (Society for Biomolecular Sciences) format. The theoretical section discusses the design and use of cryotubes, storage systems, and marking methods. It also describes the existing scanning methods, anti-fogging solutions, optical sensors, electromechanical elements and gears, microcontrollers, and single-board computers. The practical part of this thesis is devoted to the design of the mechanical structure and production of a prototype using 3D printing. This is followed by testing the functionality of the solution for collecting code images of sufficient quality and designing a solution for transferring the code image to the computer.

KLÍČOVÁ SLOVA

kryozkumavka, skener, 2D kód, formát SBS, mikrokontroler

KEYWORDS

cryotube, scanner, 2D code, SBS format, microcontroller



2024

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ANDĚL, František. *Skener 2D kódů kryozkumavek* [online]. Brno, 2024 [cit. 2024-05-16]. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/154031>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automatizace a informatiky. Vedoucí práce Radomil Matoušek.

PODĚKOVÁNÍ

V první řadě bych chtěl poděkovat panu Ondřeji Nytrovi za odborné rady v oblasti elektroniky a poskytnutí prostoru pro konstrukci skeneru. Zároveň bych chtěl poděkovat konzultantovi panu Ing. Ladislavu Dobrovskému za rady a velmi rychlou zpětnou vazbu při tvorbě bakalářské práce a panu prof. Ing. Radomilu Matouškovi za její vedení. A také bych rád poděkoval své rodině a přátelům za veškerou pomoc a podporu.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, vypracoval jsem ji samostatně pod vedením vedoucího práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury.

Jako autor uvedené práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následku porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestně právních důsledků.

V Brně dne 20. 5. 2024

.....

František Anděl

OBSAH

1	ÚVOD.....	15
2	KRYOZKUMAVKY A JEJICH SKLADOVACÍ SYSTÉMY.....	17
2.1	Biobankování a Kryoprezervace.....	17
2.2	Definice kryozkumavek a jejich využití.....	17
2.3	Konstrukce kryozkumavek.....	17
2.3.1	Způsoby uzavírání kryozkumavek.....	18
2.3.2	Tvar dna kryozkumavek.....	18
2.4	Skladovací systémy kryozkumavek.....	18
2.4.1	Kryogenní krabice (cryobox).....	19
2.4.2	Stojany (rack).....	19
	Formáty kryogenních stojanů a krabic.....	20
2.4.3	Držák na kryozkumavky.....	20
2.5	Značení kryozkumavek a jejich skladovacích systémů.....	21
2.5.1	Ruční popis.....	21
2.5.2	Barevné značení (Color code).....	21
2.5.3	Identifikace 1D a 2D kódy.....	22
2.6	Příklady systémů kryozkumavek a kryogenních boxů/stojanů.....	23
3	SKENERY KÓDŮ KRYOZKUMAVEK.....	27
3.1	Typy skenerů kryozkumavek.....	27
3.1.1	Skenery kryogenních krabic a stojanů.....	27
3.1.2	Skenery pro jednu kryozkumavku.....	28
3.2	Opatření proti zamlžení.....	28
3.2.1	Odstranění ledu na kryozkumavkách.....	29
3.2.2	Mlžení skla skeneru.....	29
3.3	Optické senzory skenerů.....	29
3.3.1	1D a 2D kódy.....	29
3.3.2	Optické senzory CCD, CMOS.....	30
3.3.3	Využití zrcadel.....	31
3.4	Elektromechanické prvky a převody skenerů.....	32
3.5	Mikrokontrolery a jednodeskové počítače.....	33
3.5.1	Mikrokontrolery.....	34
3.5.2	Jednodeskové počítače.....	35
4	NÁVRH A KONSTRUKCE SKENERU 2D KÓDU Z KRYOGENNÍCH SBS STOJANŮ.....	37
4.1	Popis funkce skeneru.....	37
4.2	3D tisk.....	37
4.3	Kamera.....	37

4.3.1	Osvětlení čtené plochy	38
4.4	Pouzdro.....	39
4.4.1	Spodní část	40
4.4.2	Plášť.....	40
4.4.3	Vrchní část.....	41
4.4.4	Spojovací materiál.....	42
4.5	Pohyb kamery.....	42
4.5.1	Kulisový mechanismus	42
4.5.2	Vodící tyče	43
4.5.3	Ložiska	43
4.5.4	Pojízdný vozík.....	44
4.5.5	Servomotor	45
4.5.6	Výškové odsazení a upevnění servomotoru	45
4.5.7	Rameno servomotoru	46
4.5.8	Soustava	46
4.6	Řídící jednotka	46
4.6.1	Raspberry Pi Zero W.....	46
4.6.2	Raspberry Pi Pico W	47
4.6.3	Waveshare RP2040 Zero.....	47
4.7	Řízení skeneru	48
4.7.1	Ovládání servomotoru a osvětlení.....	48
4.7.2	Elektrický obvod mikrokontroleru	49
4.7.3	Sériová komunikace	50
4.7.4	Ovládání kamery	51
4.8	Software	51
4.8.1	Programování mikrokontroleru	51
4.8.2	Program v osobním počítači.....	54
4.9	Výsledky skenování	57
4.9.1	Chod skeneru.....	57
4.9.2	Pořízení snímků kódů z kryozkumavek	58
4.9.3	Testování čitelnosti	59
4.9.4	Cena skeneru	59
5	ZÁVĚR.....	61
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	63
	SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK.....	69
	SEZNAM PŘÍLOH.....	71

1 ÚVOD

V biologickém a medicínském výzkumu se pro dlouhodobé uchování vzorků využívají kryozkumavky. Tyto zkumavky jsou navrženy tak, aby ustály extrémně nízké teploty dosahujících až -196°C , což je teplota kapalného dusíku. Při této teplotě dochází ke stabilitě a k zachování integrity vzorků vlivem úplného zastavení biochemických procesů uvnitř vzorku. Tyto kryozkumavky jsou kromě jiných identifikačních prvků často opatřeny malými 2D kódy, které jsou nezbytné pro efektivní organizaci a sledování vzorků, zejména, když se manipuluje s větším počtem kryozkumavek. Vzhledem k tomu, že 2D kódy jsou malé, na běžných skenerech jsou často nečitelné. V praxi se pro čtení těchto 2D kódů využívá specializovaných skenerů, které je dokáží rychle a přesně skenovat a dekodovat. Tyto kódy umístěné na dně kryozkumavek jsou uloženy v kryogenním stojanu formátu SBS (Society for Biomolecular Sciences). Důsledkem vyspělosti a účinnosti těchto skenerů je jejich cena pro mnoho laboratoří velmi vysoká.

Cílem této práce je vyvinout funkční prototyp skeneru 2D kódů z kryozkumavek v kryogenních stojanech SBS formátu, který by umožnil pořízení čitelných snímků těchto kódů za nízkou cenu.

Teoretická část této práce se zabývá principy fungování kryozkumavek, jejich skladovacími systémy a metodami značení vzorků. Dále shrnuje stávající metody skenování kryozkumavek, opatření proti zamlžování. Také popisuje různé typy optických senzorů, elektromechanických prvků a převodů, mikrokontrolerů a jednodeskových počítačů.

Praktická část práce je věnována návrhu prototypu skeneru a jeho výrobě pomocí technologie 3D tisku. Skener využívá mechanické prvky a mechanismy, elektronické součásti jako mikrokontroler, servomotor, LED pásek a další. Součástí praktické části je testování funkčnosti skenovacího mechanismu a zajištění dostatečné kvality obrazu skenovaných 2D kódů a také řešení pro přenos pořízených snímků 2D kódů do počítače pro další zpracování.

2 KRYOZKUMAVKY A JEJICH SKLADOVACÍ SYSTÉMY

2.1 Biobankování a Kryoprezervace

Biobankování je sbírka velkého množství různých lidských biologických materiálů na jednom místě v tzv. biobance pro výzkum zdraví a nemocí člověka a jeho genomické a genetické informace nebo tzv. genealogické záznamy, zahrnující historii rodového původu člověka. Mezi metody uchovávání vzorků patří kryoprezervace. [1]

Kryoprezervace je metoda dlouhodobého uchovávání a skladování biologických vzorků jako jsou tkáně, buňky a další při extrémně nízkých teplotách. Tato metoda spočívá v zamrazení vzorků na teploty v rozmezí od $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ pomocí kapalně nebo plynné fáze dusíku nebo pevné fáze oxidu uhličitého. Biologické vzorky, které se z velké části skládají z vody se mohou poškodit vlivem snižování teploty a tím vzniku ledových krystalů uvnitř vzorku (osmotický stres). Pro snížení efektu osmotického stresu se v metodě kryoprezervace používají tzv. kryoprotektanty (CPA). Díky této metodě je možné biologické materiály skladovat po dobu desítek let pro budoucí použití. [2]

2.2 Definice kryozkumavek a jejich využití

Kryozkumavka je speciální typ nádoby používaná v technologii kryoprezervace, která je určena k dlouhodobému uchovávání vzorků lidských, zvířecích i rostlinných biologických materiálů při extrémně nízkých teplotách od $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ [3].

Kryozkumavky se také využívají jako skladovací prostředek k biobankování, nebo pro rozbor nemocí a jejich příčin (epidemiologie) či v transfuzní medicíně, kdy se před samotným darováním skladuje malé množství krve určené pro potřebné testování. Další jejich využití nalezneme například v genetice, kde se používají pro uchovávání chemických látek a genomů (DNA, RNA) [4].

2.3 Konstrukce kryozkumavek

Zkumavky musí z konstrukčního a materiálového hlediska spolehlivě fungovat v náročných podmínkách při nízkých teplotách. Jako materiál je nejčastěji volen polypropylen, protože je odolný vůči teplotám tekutého dusíku ($-196\text{ }^{\circ}\text{C}$) a styku s chemikáliemi. Také splňuje požadavky na pevnost a průhlednost, čímž zajišťuje možnost vizuální kontroly vzorku [3, 5].

Pro snížení nebezpečí kontaminace vzorku je víčko zkumavky pojištěno závitovým uzavíráním či pomocí tzv. push cap víčka, které může být doplněno silikonovým těsněním, v některých případech i zámkovým mechanismem víčka [5, 6].

Kryozkumavky se vyrábějí v různých objemech a tvarech dna podle oblasti použití s přidruženou stupnicí pro snadné měření objemu.

2.3.1 Způsoby uzavírání kryozkumavek

Volba provedení uzávěru závisí na způsobu použití a uložení jednotlivých kryozkumavek. V případě použití LN2 (liquid nitrogen) jako chladícího média je vhodnější zvolit závitové uzavírání, aby nedošlo k nežádoucímu otevření vlivem změny teplot.

Uzavírání rozlišujeme na:

1. Vnitřní závitování – je šetrnější k prostoru z důvodu umístění závitu na vnitřním průměru kryozkumavky.
2. Vnější závitování – závit je umístěn na vnějším průměru kryozkumavky, čímž je docíleno velkého odstupek víčka od vnitřního obsahu, a tím se snižuje riziko kontaminace.

V dalších případech je možné uzavírání pomocí tzv. Push cap víčka, které je aplikováno pomocí vtlačení do těla kryozkumavek. Jeho výhodou je rychlost aplikace, ale nevýhodou je obtížnost odebrání víčka [5, 21].



Obrázek 1 Provedení závitování kryozkumavek převzato z [42]

2.3.2 Tvar dna kryozkumavek

Tvar dna má vliv na jejich praktické využití. Můžeme rozlišovat kryozkumavky například s tvarem U, který maximalizuje objem. Kónický tvar slouží k úplnému vyprázdnění. Pro jednodušší manipulaci mohou být také dna samostatně stojící ploché a také hvězdicové, které při použití kompatibilního stojanu zamezují rotaci a tím umožňují jednoruční otevírání víčka [5, 7, 8].

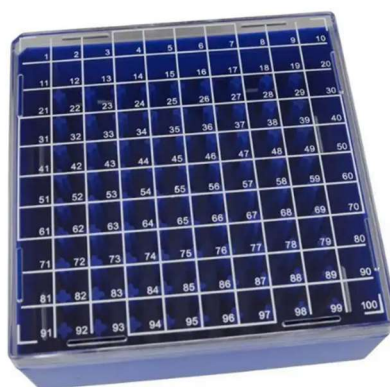
2.4 Skladovací systémy kryozkumavek

Skladování kryozkumavek je disciplína zabývající se organizací a ochranou většího počtu kryozkumavek na jednom místě. Mezi základní typy můžeme zařadit systémy jako jsou kryoboxy, kryoracky a držáky kryozkumavek, které se poté ukládají

do mrazícího zařízení o teplotě - 80 °C nebo do Dewarových nádob a kryogenních mrazících zařízení, které dosahují teploty až -196 °C.

2.4.1 Kryogenní krabice (cryobox)

Kryogenní krabice slouží k uchovávání obvykle nejvyššího počtu kryozkumavek (až 169 kusů). Jsou vyráběny z materiálu jako je lepenka či polykarbonát. Výhodou lepenky je cenová dostupnost s možností použití vodoodpudivé látky. Polykarbonát, který je stejně jako lepenka odolný teplotám až -196 °C se navíc vyznačuje lepší životností. Některé kryogenní krabice jsou také opatřeny očíslovanou mřížkou na uzavíracím víku, která podstatně zjednodušuje identifikaci jednotlivých kryozkumavek [9].



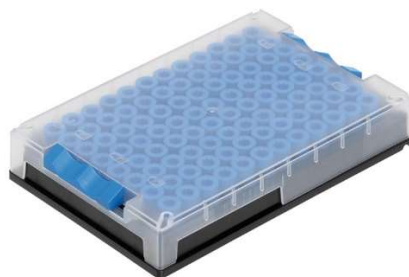
Obrázek 2 Kryogenní krabice s očíslovanou mřížkou a formátem 100 převzato z [43]

2.4.2 Stojany (rack)

Stojany rozlišujeme na dva druhy, a to manipulační a kryogenní.

Stojany manipulační slouží především k usnadnění manipulace s kryozkumavkami. Jsou kompatibilní s kryozkumavkami s hvězdicovým dnem a umožňují pohodlné odšroubování jednou rukou [8].

Stojany kryogenní splňují stejnou funkci jako kryogenní krabice, navíc však disponují otevřeným dnem, které významně zjednodušuje čtení 2D kódů z kryozkumavek. Co se týče materiálů, pro oba typy se nejčastěji používá polykarbonát [11, 12].

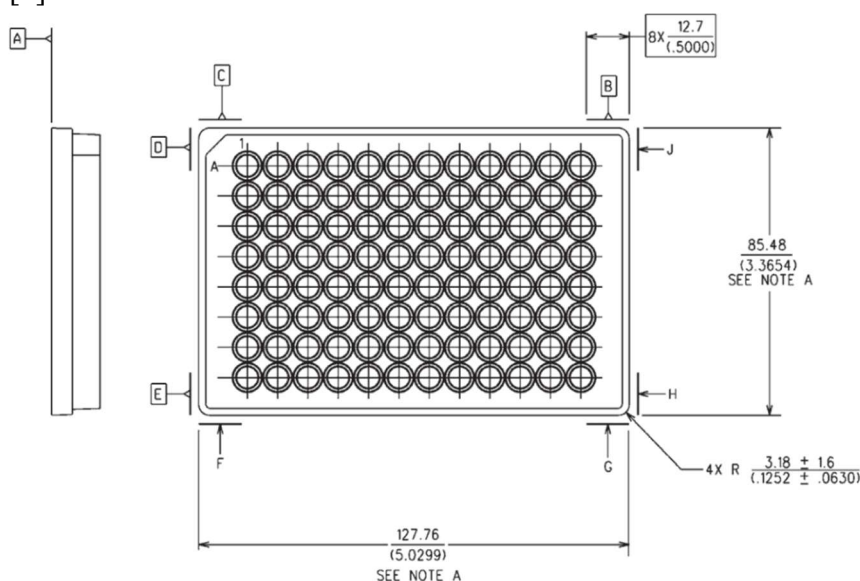


Obrázek 3 Kryogenní stojan ClearLine® 2D tubes převzato z [44]

Formáty kryogenních stojanů a krabic

Pro kompatibilitu s automatickými systémy a čtecími zařízeními, někteří výrobci dodržují základní rozměry podstavy skladovacích systémů. Kryogenní stojany formátu SBS (nyní Society for Laboratory Automation and Screening SLAS) dodržují délku a šířku podstavy v souladu s normou ANSI SLAS 1-2004 (R2012): Footprint Dimensions, která je původně určena pro mikrodestičky [11, 12, 13].

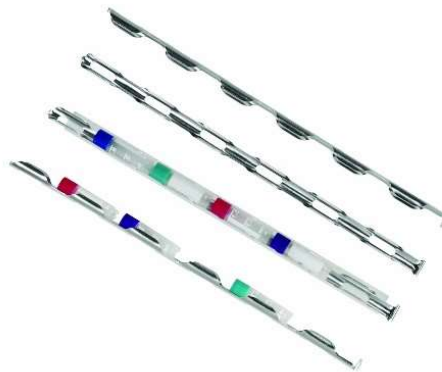
U kryogenních krabic není sice dohoda na základě přesné normy, ale je často dodržováno jamkové rozložení 9x9 nebo 10x10 jinak také označováno jako 81/100. A také je většinou dodržován základní rozměr podstavy, který se pohybuje okolo 133x133 mm [9].



Obrázek 4 SBS/ANSI Footprint dimensions převzato z [13]

2.4.3 Držák na kryozkumavky

Jedná se o speciální typ skladovacího systému, který je určen pro nižší počet kryozkumavek. Vyrábí se z hliníku pro svoji lehkost a odolnost a uchovává se v obalech z PVC nebo lepenky, které chrání kryozkumavky před mechanickým poškozením. Tento držák je vhodný pro přímé skladování do mrazícího zařízení i do LN2 [14].



Obrázek 5 Držák pro 6 kryozkumavek objemu až 2ml převzato z [45]

2.5 Značení kryozkumavek a jejich skladovacích systémů

Organizace a přehlednost jsou klíčové vlastnosti pro jednoduchost uchovávání vzorků v kryozkumavkách. Volba způsobu označení je dána množstvím kryozkumavek, zvoleným skladovacím systémem či preferencí laboratoře. Z velké části se může vyskytovat několik způsobů označení. Mezi ně patří barevné značení víček a zacvakávacích vložek, ruční popis, 1D, 2D kódy a jejich kombinace [15].

2.5.1 Ruční popis

Označení je vhodné pro menší počet kryozkumavek. Nevýhodou ručního popsání fixem při extrémně nízkých teplotách je možnost rozmazání textu a také jeho nečitelnost. Pro tento případ existují speciální popisovače (cryo marker) např. Thermo Scientific™ Cryo Marker Pen Set s odolností až -200 °C [15,16].



Obrázek 6 Thermo Scientific™ Cryo Marker Pen Set převzato z [16]

2.5.2 Barevné značení (Color code)

Barevné značení kryozkumavek je jednoduchá, velmi rozšířená forma identifikace. Dosahuje se jí pomocí různobarevných víček nebo zacvakávacích vložek. Jejich výhodou je kompatibilita bez ohledu na způsob uzavírání [15].



Obrázek 7 Zacvakávací barevné označení kryozkumavek převzato z [46]

2.5.3 Identifikace 1D a 2D kódy

Tento typ identifikace společně s databází poskytuje spoustu výhod v podobě přesnosti, rychlosti a efektivitě identifikace. Při použití nalepovacích etiket se musí dbát na vhodná adheziva, odolná vůči kryogenním teplotám, aby nedocházelo k jejich porušení (odlepení) a tím k neidentifikovatelnosti vzorků. Kromě kryozkumavek, jsou někdy značené také jednotlivé skladovací systémy, čímž se ještě zvýší identifikovatelnost jednotlivých vzorků [12, 15].



Obrázek 8 Označení čárovým a 2D kódem převzato z [47]



Obrázek 9 Označení kryogenního stojanu čárovým kódem převzato z [48]

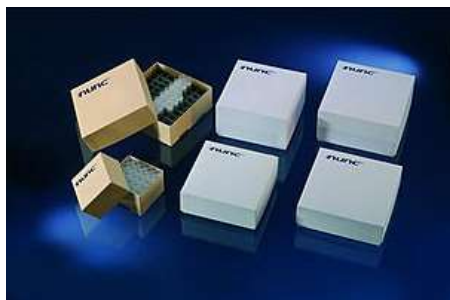
2.6 Příklady systémů kryozkumavek a kryogenních boxů/stojanů

Thermo Scientific™ Nunc™ Biobanking and Cell Culture system

Systém Nunc™ byl vytvořen pro skladování biologických materiálů. Tento systém nabízí kryozkumavky Nunc™ s vnějším nebo vnitřním závitováním s objemem od 0,5ml do 4,5ml. S možností provedení kryozkumavek samostatně stojících plochých nebo s hvězdicovým dnem, které zamezuje rotaci při manipulaci. Mezi skladovací systémy kompatibilní s kryozkumavkami Nunc™ jsou zahrnuty plastové a lepenkové kryogenní krabice s kapacitou od 25 do 169 jamek i kryogenní stojany formátu SBS o 48 jamkách [9].



Obrázek 10 Nunc™ kryozkumavky převzato z [10]



Obrázek 11 Nunc™ kryogenní krabice převzato z [10]

LVL technologies a jejich systém SAFE®

Systém SAFE® má uplatnění ve skladování vzorků biologických materiálů a různých sloučenin, v epidemiologických studiích, v transfúzní medicíně a při práci s DNA/RNA. Kryogenní stojany SAFE® jsou pro kompatibilitu s automatickými stroji a čtecími zařízeními vyráběny ve formátu SBS ve variantách o 96/48/24 jamkách. Tyto stojany kromě čárového kódu na boční straně obsahují také 2D kód na straně spodní, který umožňuje identifikaci stojanu a kryozkumavek zároveň. Stojany SAFE® jsou opatřeny zamykacím systémem víka, který zabraňuje neúmyslnému otevření při manipulaci či skladování. Kryozkumavky z prvotřídního polypropylenu se vyrábějí ve variantách XT (vnější závitování) a IT (vnitřní závitování).

- XT varianta slouží pro skladování většího množství vzorků v kryozkumavce.
- IT varianta využívá speciální technologie těsnění pomocí vstřikováním stlačovacího TPE (Termo plastický elastomer) kroužku do závitu, který výrazně zlepšuje těsnící vlastnosti.

Díky systému SBS můžeme při zachování základních rozměrů stojanu využít velký rozsah objemů kryozkumavek a to od 0.2ml do 8ml [12].



Obrázek 12 SAFE® 96 SBS kryogenní stojan převzato z [48]



Obrázek 13 SAFE® LI 1000 - 2D kryozkumavka převzato z [48]

Micronic's Sample Preservation & Storage Solutions

Společnost Micronic se zabývá vývojem laboratorních pomůcek zaměřených na dlouhodobé skladování a uchovávání vzorků. Jejich skladovací systémy jsou založeny na kryogenních stojanech formátu SBS se zamykacím systémem o 138/96/48/24 jamkách. Kryogenní zkumavky jsou dostupné v objemech od 0.3ml do 6ml s vnějším nebo vnitřním závitováním a také v push cap verzi [17].



Obrázek 14 Micronic Micronic 96-3 Rack stojan formátu SBS převzato z [49]



Obrázek 15 Micronic 0.75ml Tubes Internal Thread kryozkumavky převzato z [50]

3 SKENERY KÓDŮ KRYOZKUMAVEK

Při skenování 1D a 2D kódů, je potřeba zařízení schopné k jejich přečtení. Jako čtecí zařízení je možné použít běžnou ruční čtečku bar kódů, ale také komplexní čtecí zařízení, které umožňuje sejmutí kódů z vícero kryozkumavek současně.

3.1 Typy skenerů kryozkumavek

3.1.1 Skenery kryogenních krabic a stojanů

Skenery z nejdražší cenové kategorie umožňují rychle a přesně snímat a dekódovat 2D kódy z vícero kryozkumavek uložených v kryogenních stojanech či krabicích současně. Existují nejen skenery pouze pro kryogenní krabice nebo stojany, ale i takové, které umožňují v jednom skeneru snímat obojí (DP5 Cube Rack Reader společnosti Ziath jehož cenová relace je £8,399) [62][18].

Pro maximální komfort se skenování čárových kódů umístěných na krabici nebo stojanu provádí připojením doplňujícího kamerového modulu určeného výhradně pro tuto práci. Například Micronic Side Barcode Reader D500 (jehož cenová relace je CA\$2,352.00 [63]). Tuto činnost lze také provést za pomoci ruční barcode čtečky [19].



Obrázek 16 DP5 Cube Rack Reader převzato z [50]



Obrázek 17 Micronic Side Barcode Reader převzato z [51]

3.1.2 Skenery pro jednu kryozkumavku

Skener po připojení k počítači skrz USB dokáže nejen skenovat a dekodovat 1D i 2D kódy kryozkumavek, ale také všech ostatních zkumavek (dokud vyhovují průměrem těla zkumavky pro čtení 2D kódů), které disponují těmito identifikačními prostředky (Argos Technologies SampleScan Plus Cryotube Barcode Scanner, jehož cenová relace je \$5,406.00) [20].

Mobilní a rychlé skenování 2D kódů jednotlivých zkumavek prostřednictvím Bluetooth je možné například s produktem AlteRead™ Pendant Single Tube 2D & 1D Barcode Reader For Scanning 2D Barcoded Cryovial Tubes (jehož cenová relace je \$2,125.00) [21].



Obrázek 18 Argos Technologies SampleScan Plus Cryotube Barcode Scanner převzato z [20]



Obrázek 19 AlteRead™ Pendant Single Tube 2D & 1D Barcode Reader For Scanning 2D Barcoded Cryovial Tubes převzato z [21]

3.2 Opatření proti zamlžení

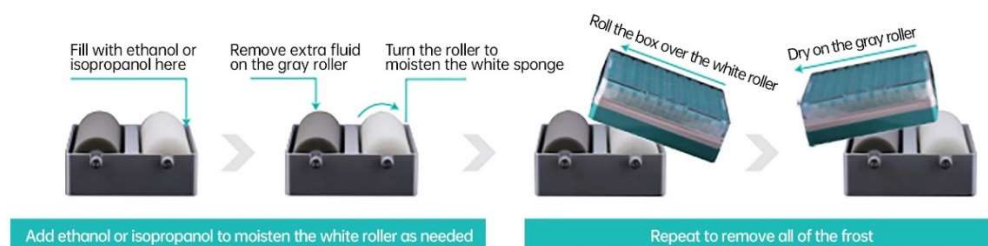
V případě, kdy je potřebné skenovat kryogenní boxy nebo stojany hned po vytažení z mrazících zařízení, je čtení kódů z kryozkumavek náročné. Důvodem může být vznik ledové vrstvy na čtecí ploše skladovacího systému nebo kondenzace vody na skle skeneru vlivem nízké teploty boxu/stojanu čímž jsou veškeré kódy nečitelné [22].

Řešením takové problematiky je zavedení určitých opatření proti zamlžování.

3.2.1 Odstranění ledu na kryozkumavkách

Položením čerstvě odebrané kryogenní krabice/stojanu na houbičku či utěrku nasáklou alkoholem je možné rychle a efektivně odstranit veškerý led na kryozkumavkách [22].

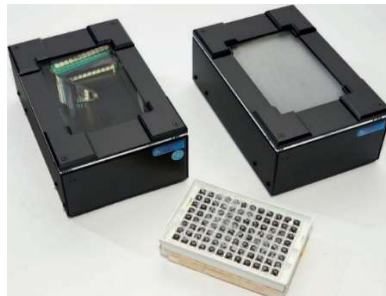
Mezi další řešení lze zahrnout rozmrazovací zařízení společnosti NEST, založené na dvou rotačních válčích, přičemž jeden je nasáklý ethanolem nebo isopropanolem a druhý slouží k odstranění přebytečné kapaliny [23].



Obrázek 20 NEST rozmrazovací zařízení převzato z [23]

3.2.2 Mlžení skla skeneru

Předejít mlžení je možné pomocí nahříváním nebo přívodem vzduchu na sklo skeneru. V případě zacházení se vzorky citlivými na teplotu, lze využít vodoodpudivých nátěrů [22].



Obrázek 21 Vznik ledu na čerstvě vytažených stojanech a mlžení skeneru převzato z [22]

3.3 Optické senzory skenerů

Za pořízení obrazu (v tomto případě kódu z kryozkumavek) zodpovídají optické senzory. Ty mohou být CCD a CMOS. Ačkoliv plní stejnou činnost, každá z variant má určité výhody a nevýhody a jiný princip funkce.

3.3.1 1D a 2D kódy

Jednodimenzionální (1D) neboli lineární kód je způsob označení založený na uspořádání různě širokých paralelních čar a mezer, čímž tvoří soustavu nesoucí data snímaná horizontálně. Struktura daného kódu je rozdělena na start znaky udávající počátek informace, datové znaky nesoucí informace a stop znaky udávající konec informace.

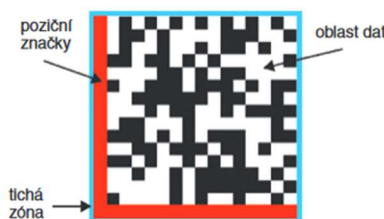
Plocha před a za kódem se nazývá tichá zóna, která slouží jako ochrana před okolním rušením. 1D kódy mohou být také vybaveny znakem kontrolního součtu pro kontrolu správného dekódování. Přesná šířka čar je dána modulem, což je násobek nejmenšího dílku. [24]

Dvoudimenzionální (2D) neboli maticové kódy jsou identifikátory, nesoucí data ve dvou směrech (horizontálně i vertikálně). Struktura nejčastěji čtvercových 2D kódů obsahuje poziční značky určené k identifikaci, o jaký kód se jedná, jakou má velikost a prostorovou orientaci. 2D kódy stejně jako 1D kódy disponují tichou zónou se stejným účelem [24, 25].

Nejčastěji se v prostředí kryoprezervace používají 1D kódy o potřebné velikosti nebo 2D kódy typu Data Matrix, popřípadě oba kódy v páru.



Obrázek 22 1D kód převzato z [24]



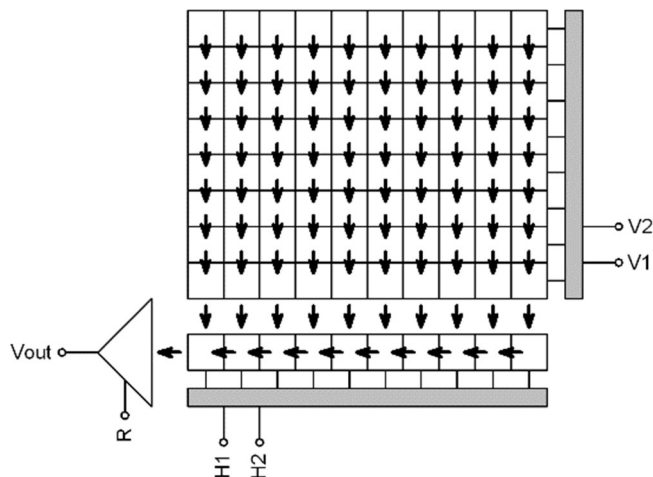
Obrázek 23 2D kód typu Data Matrix převzato z [24]

3.3.2 Optické senzory CCD, CMOS

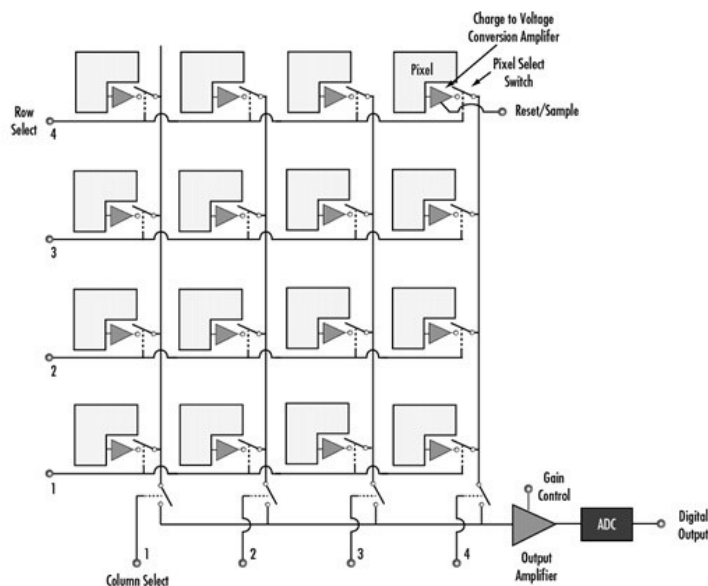
Jedná se o obrazové senzory, elektronické součástky, které převádějí světelné informace na elektrický náboj pro digitální zpracování obrazu. I když tyto senzory mají stejný cíl, cesta k jeho dosažení je v obou případech odlišná.

Senzor Charged-Coupled Device (CCD) využívá maticového uspořádání křemíkových fotodiód, které pracují na principu posuvného registru. Světlo dopadající na fotodiody vytváří elektrický náboj uvězněný v mřížce tvořené negativně nabitými horizontálními a vertikálními odpuzujícími válci. Místo, na kterém je držen náboj se nazývá potenciální studna, která tvoří obrazový bod (pixel). Elektrický náboj z každého obrazového bodu se poté posouvá do čtecího registru ve směru šipek (viz obr.25) a z něj do výstupního zesilovače, kde je převeden na napětí [26, 27].

Senzor Complementary Metal-Oxide Semiconductor (CMOS) pracuje na principu, kde každému pixelu přísluší vlastní tranzistor MOSFET. Světlo dopadající na fotodiodu vytváří elektrický náboj, který se shromažďuje v kapacitě. Tranzistor poté zesiluje náboj a převádí ho na napětí, které se ukládá do výstupního registru, kde se napětí čte ze všech pixelů současně [28].



Obrázek 24 Schéma funkce CCD senzoru převzato z [53]



Obrázek 25 Schéma funkce CMOS senzoru převzato z [54]

Senzory CCD vynikají lepší světelnou citlivostí a obrazem s nízkým šumem za cenu vyšší pořizovací ceny. Senzory CMOS nejsou natolik světelně citlivé, ale za to jsou levnější s nižší spotřebou energie a s vyšší procesovou rychlostí.

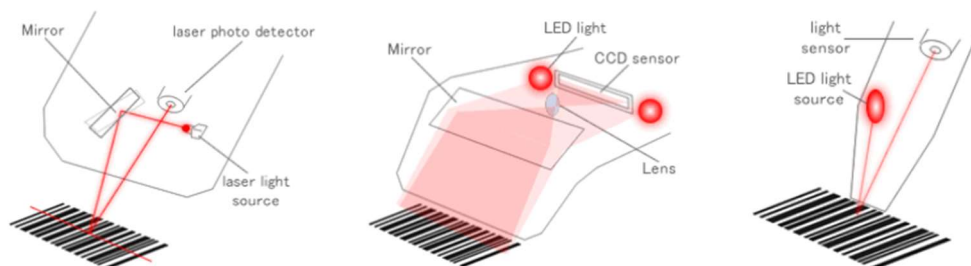
3.3.3 Využití zrcadel

Největší uplatnění zrcadel se nachází ve čtečkách čárových kódů, kde je potřeba, aby světlo ze zdroje (LED, Laser) osvětlilo čtecí plochu v tomto případě čtený kód. Mezi tři způsoby čtení se řadí metody využití CCD, Laser a Pen.

Metoda CCD využívá osvětlení prostřednictvím LED, které je dopraveno na kód prostřednictvím stále natočeného zrcadla. Světlo je poté zpětně odraženo do CCD optického senzoru.

Metoda Laser osvětluje kód pomocí paprsku laseru, který je odražen otočným zrcadlem. Díky rotaci zrcadla laser pokryje veškerou čtecí plochu.

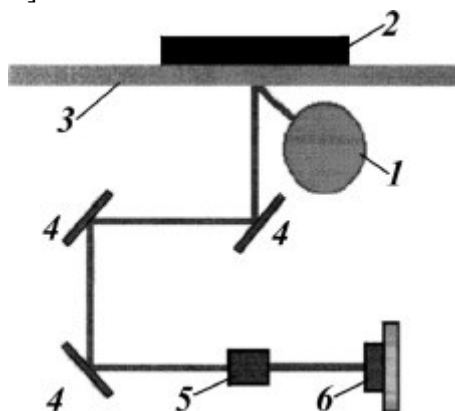
Metoda Pen zrcadlo nepoužívá. Pracuje na bázi LED osvětlení a fotodiody umístěné vedle sebe tak, aby se světlo odrazilo vždy do senzoru [29].



Obrázek 26 a) CCD metoda (vlevo) převzato z [29], b) Laser metoda převzato z [27], c) Pen metoda (vpravo) převzato z [29]

Princip funkce skenerů 2D kódů kryozkumavek se nejlépe podobá stolnímu (flatbed) skeneru u kterého použití zrcadel není potřebné z důvodu specifického uspořádání pohyblivé skenovací hlavy, která obsahuje optický senzor a osvětlení a dochází k přímému odrazu světla do senzoru.

Ovšem použití zrcadel není vyloučené (viz Obr. 27). Takové uspořádání využívá systém zrcadel, kdy pohybem světelného zdroje je světlo dopadající na čtecí plochu dopraveno do CCD senzoru [30].



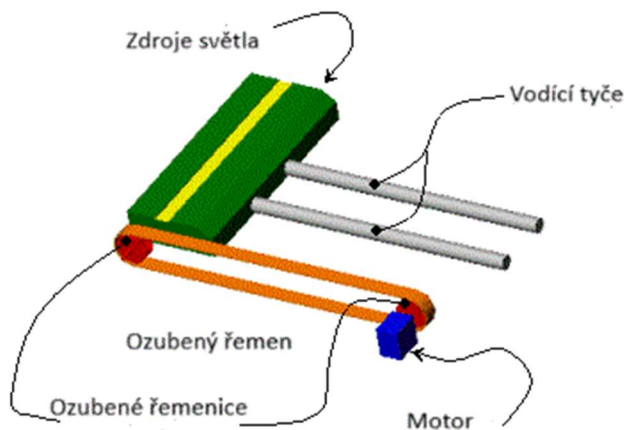
Obrázek 27 CCD skener: 1 – zdroj světla, 2 – skenovaný objekt, 3 – skleněná plocha, 4 – zrcadla, 5 – čočka, 6 – CCD senzor převzato z [30]

3.4 Elektromechanické prvky a převody skenerů

Mezi nejčastější možnosti patří rotační pohyb, převod rotačního pohybu na lineární a stacionární.

Skenery s převodem rotačního pohybu na lineární (stolní skenery) využívají jako zdroj rotačního pohybu krokový motor. Motor, který se jako standardní DC motor neotáčí pouze kontinuálně, ale umožňuje natočení o předem stanovený úhel tzv. krok, který vyjadřuje nejmenší úhel pootočení, kdy je motor ve stabilní klidové poloze. Velikost jednoho kroku se liší od typu motoru, například krokový motor NEMA17 - 33 mm, 42HD2037-01 uvádí jeden krok jako 1.8 stupňů, což je 200 kroků na celou otáčku [31, 32].

Pohyb skenovací hlavy nebo zdroje světla je docílen převedením rotace na posuv pomocí ozubeného řemenu a řemenic.



Obrázek 28 Pohybový mechanismus digitálního skeneru přeloženo a převzato z [55]

Motory, které v běžném skeneru nenalezneme, ale v některých případech se také využívají, jsou servomotory nebo bezkartáčové stejnosměrné motory (Brushless Direct Current BLDC motory), které se kombinují s krokovými motory. Jejich uplatnění nalezneme zejména v lékařské technice (Xray, MRI skenery a CT skenery) [34, 35] i v technologii 3D skenování za účelem rozkmitání dálkoměrného svazku paprsků [36]. Funkce servomotorů jsou omezené podle daného typu. Kontinuální servomotor umožňuje kontinuální rotaci, ale nedisponuje schopností zastavit na specifickém úhlu. Servomotory poziční tuto funkci mají [33]. BLDC motory umožňují pouze kontinuální rotaci.

Způsoby přesného nastavení úhlu/kroku u servomotorů a krokových motorů je rozdílný. Pohyb servomotorů je dán dle šířky PWM (Pulse Width Modulation) signálu (analogový servomotor) nebo dle vysokofrekvenčních napěťových pulsů (digitální servomotor). Krokové motory se otáčejí přivedením napětí na jednotlivé cívky. [33]

3.5 Mikrokontrolery a jednodeskové počítače

Mikrokontrolery MCU (Microcontroller Unit) a jednodeskové počítače SBCs (single board computers) jsou důležité komponenty v široké škále elektronických zařízení. Jejich jednoznačnou výhodou je využití v zapouzdřených tzv. embedded systémech díky své velikosti, ceně a rozmanitosti vlastností. Mezi nejznámější výrobce

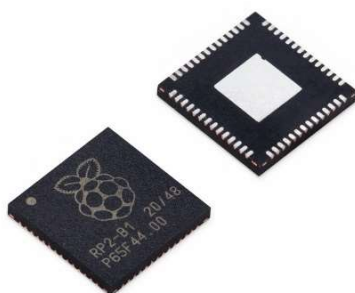
těchto zařízení pro embedded systémy jsou Raspberry Pi Ltd, Michrochip Technology, a další.

3.5.1 Mikrokontrolery

Jedná se integrovaný obvod rozšířený o uživatelskou paměť pro ukládání programů, operační paměti RAM a sadou programovatelných vstupů a výstupů (PIO), umožňující interakci mezi I/O zařízeními. Jsou vhodné zejména pro vykonávání neustále se opakujících a automatických činností. Oproti SBCs programování neprobíhá na mikrokontroleru, ale musí se napsat nejprve v osobním počítači a poté nahrát do paměti mikrokontroleru, který program spouští [36].

Příklady mikrokontrolerů

- RP2040 – Mikrokontroler společnosti Raspberry Pi Ltd, který se vyznačuje svou nízkou cenou a vysokým výkonem. Obsahuje celkově 56 pinů z toho 30 jsou programovatelné GPIO (General Purpose Input/Output) piny, které umožňují připojení I/O zařízení, sériovou komunikaci (UART, SPI a I2C), vysílání PWM signálu a další. Tento mikrokontroler je kompatibilní s programovacími jazyky jako C/C++ nebo v prostředí MicroPython a také jej nalezneme například v rozšířených vývojářských platformách série Raspberry Pi Pico [37].
- ATmega 328P – Vysokovýkonný a úsporný mikrokontroler společnosti Atmel nyní Microchip Technology založený na modifikované Harvardské architektuře s 8bitovým RISC procesorem, obsahuje 32 pinů z toho 23 jsou programovatelné vstupy a výstupy. Dále obsahuje sériové rozhraní (SPI a USART, I2C), A/D převodníky atd. Tento mikrokontroler lze programovat využitím jazyku C++ nebo v prostředí Arduino IDE a nalezneme jej například ve vývojářské platformě Arduino Uno Rev3 [38].



Obrázek 29 Mikrokontroler RP2040 převzato z [56]



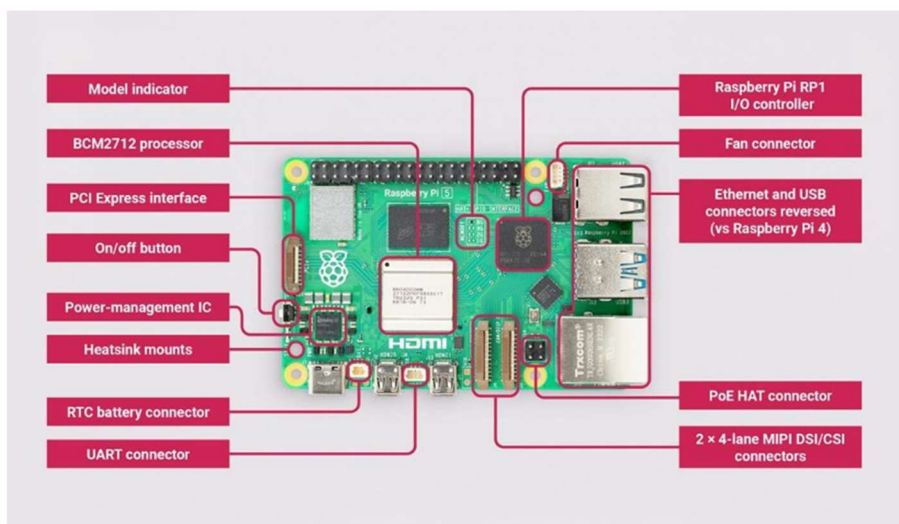
Obrázek 30 Mikrokontroler ATmega 328P převzato z [57]

3.5.2 Jednodeskové počítače

Jednodeskové počítače jsou založeny na systému, kdy veškeré komponenty (mikroprocesor, operační paměť RAM, slot pro microSD kartu, která slouží jako celkové uložení) zajišťující běh počítače se nachází na jedné desce.

Nacházejí se zde USB/microUSB porty a grafický výstup pro připojení vstupních a výstupních periférií jako klávesnice, myš, monitor a další, případně lze využít služeb SSH nebo VNC pro vytvoření tzv. headless setup, kdy se aktivuje vzdálený přístup z jiného počítače. Pro připojení k internetu některé desky nabízí Ethernet port nebo Wi-Fi [39].

Jednodeskové počítače například ze série Raspberry Pi dokážou také plnit funkci mikrokontroleru díky své sérii pinů (např. GPIO, UART, SPI, I2C, PWM) zabudovaných na desce.



Obrázek 31 Jednodeskový počítač Raspberry Pi 5 převzato z [58]

4 NÁVRH A KONSTRUKCE SKENERU 2D KÓDU Z KRYOGENNÍCH SBS STOJANŮ

Tato část bakalářské práce je zaměřena na vývoj prototypu skeneru určeného pro snímání 2D kódů typu Data Matrix ze dna kryozkumavek uložených v kryogenním stojanu SAFE® 96 SBS společnosti LVL Technologies. Hlavním cílem je navrhnout a zkonstruovat nízkonákladový skener, který pořídí fotografie kódů s dostatečnou kvalitou pro následnou evidenci vzorků v databázi před jejich uložením do mrazících zařízení.

4.1 Popis funkce skeneru

Skener využívá kulisový mechanismus pro převod rotačního pohybu servomotoru na lineární pohyb "posuvného vozíku". Posuvný vozík obsahuje dvě lineární kuličková ložiska pro snadný pohyb po vodících tyčích a nese kameru pro pořízení fotografií daných kódů, které jsou osvětleny LED páskem. Za přesné polohování servomotoru a ovládání osvětlení zodpovídá mikrokontroler.

Kamera a mikrokontroler jsou propojeny s USB hubem, který umožňuje jejich komunikaci s osobním počítačem. Počítač posílá instrukce pro mikrokontroler a zpracovává snímky z kamery.

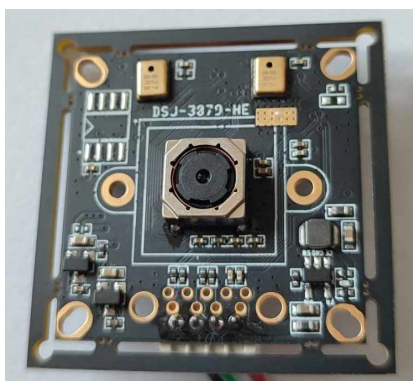
4.2 3D tisk

Pro modelování součásti vyrobené 3D tiskem byl zvolen software Autodesk Fusion 360, který je uživatelsky přívětivý a umožňuje snadné navrhování modelů, jež se automaticky aktualizují při změně parametrů. Ačkoliv se jedná o placený software, díky studentské licenci poskytnuté školou bylo možné Autodesk Fusion 360 ke studijním účelům použít.

Veškeré komponenty byly vytisknuty na 3D tiskárně Original Prusa MK4 a materiál pro tisk byl použit filament Silk PLA+ 1.75 mm 1 kg.

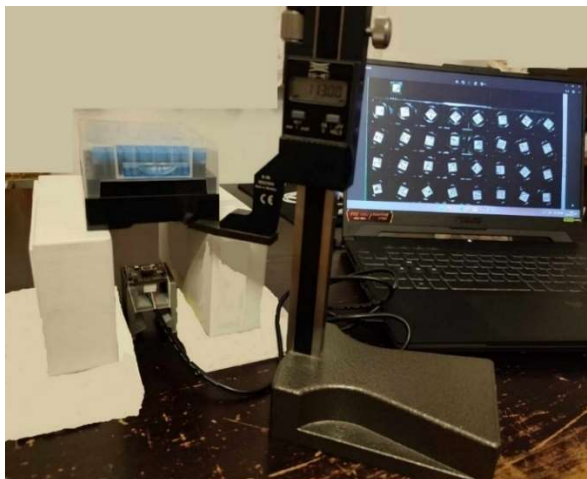
4.3 Kamera

Pro pořízení snímků 2D kódů z kryozkumavek byla zvolena USB kamera DFROBOT FIT0729, která obsahuje osmi megapixelový Sony IMX179 CMOS optický senzor. Tento poměrně levný modul s kamerou byl již úspěšně použit v úloze počítačového vidění v projektu openTube2 řešeném na Ústavu automatizace a informatiky [39].



Obrázek 32 USB kamera DFROBOT FIT0729

Pro použití kamery ve skeneru bylo nutné změřit vzdálenost kamery od kryozkumavek, aby kamera snímala šířku celé řady kryozkumavek. Měření bylo provedeno pomocí výškoměru a výsledek měření byl 66 mm (celková výška 113 mm – 47 mm výška prototypu posuvného vozíku).



Obrázek 33 Proces měření ideální vzdálenosti kamery od kryozkumavek

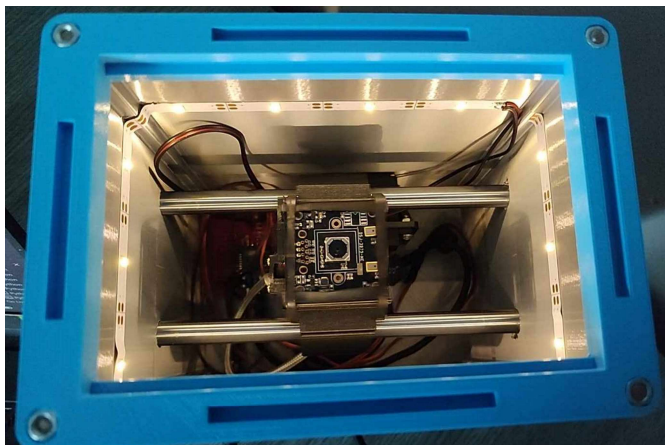
4.3.1 Osvětlení čtené plochy

K pořízení kvalitní fotografie bylo nutné důkladně plochu osvětlit. Při volbě typu a způsobu osvětlení se mohou vyskytnout problémy jako:

- Příliš vysoký jas světla – velké množství světla způsobuje oslepení kamery a tím nečitelnost 2D kódů.
- Malý osvětlený prostor – osvětlení malého rozsahu může způsobit nízké nasvětlení krajních kódů a tím se sníží kvalita pořízené fotografie.
- Okolní světlo – světlo jiných zdrojů dopadající na povrch kryogenního stojanu má vliv na kvalitu pořízené fotografie.

Při testování byla použita svítidla z mobilního telefonu, která s dostatečnou manipulací dokázala důkladně osvětlit čtecí plochu pro přečtení všech kódů. V samotném skeneru bylo testováno osvětlení pomocí jedné LED diody, která vytvořila velmi silné bodové světlo osvětlující malý prostor a oslepila kameru. Jako nejvhodnější způsob

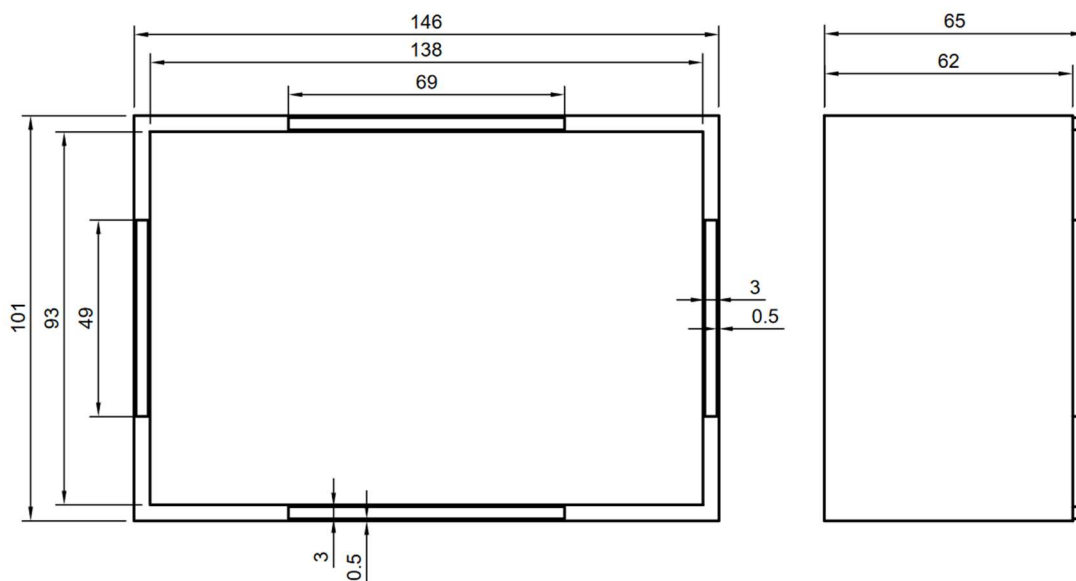
osvětlení bylo použítí LED pásku nalepeného po vnitřním obvodu čtvrtého segmentu pláště.



Obrázek 34 Ukázka funkce a umístění led pásku ve skeneru

Kryt kryogenního stojanu

Za účelem odstranění okolního světla byl navržen kryt, který je nasazen na vrchní část skeneru po umístění kryogenního stojanu a tím je zamezeno vstupu okolního světla do skeneru.



Obrázek 35 Rozměry krytu kryogenního stojanu

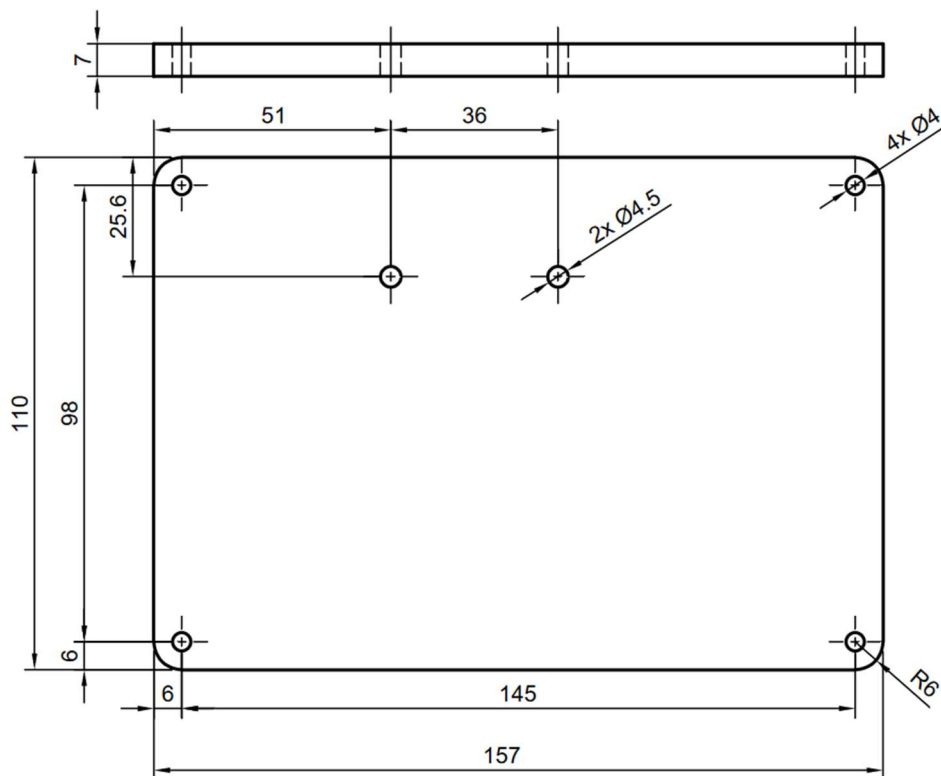
4.4 Pouzdro

Celkovou konstrukci pouzdra je možné rozčlenit do třech částí a to:

- Spodní část
- Plášť
- Vrchní část

4.4.1 Spodní část

Tvoří podstavu skeneru a musí mít vhodné rozměry. Ty jsou dány rozměrem podstavu kryogenního SBS stojanu, šířkou stěn pláště a dostatečným prostorem pro umístění dalších komponentů. Spodní část obsahuje šest otvorů, přičemž čtyři boční otvory průměru 4 mm jsou určeny pro průchod spojovacího materiálu. A zbylé dva otvory průměru 4,5 mm slouží pro upevnění prvku pro výškové odsazení servomotoru.



Obrázek 36 Rozměry spodní části pouzdra

4.4.2 Plášť

Plášť obaluje celý systém a zároveň výškově vymezuje vrchní část od spodní. Jeho rozměry jsou dány polohou servomotoru a poloměrem jeho ramene. Dále polohou pojízdného vozíku a potřebnou vzdáleností kamerového modulu od kryozkumavek. Plášť také disponuje čtyřmi otvory pro průchod spojovacího materiálu. Zvolené rozměry pro plášť vycházejí z délky a šířky spodní části skeneru, celková výška je 180 mm a tloušťka stěn 5 mm. Plášť je rozdělen na pět segmentů, a to o výškách 3 x 45 mm, 1 x 38 mm a 1 x 7 mm.

Ochranné sklo

Z důvodu rizika propadnutí kryogenního stojanu a dalších nečistot do skeneru bylo nutné do sestavy zahrnout ochranné sklo, které bylo ručně řezané z tabule skla o tloušťce 3 mm na požadovaný rozměr (rozměr podstavy kryogenního stojanu) pomocí řezáku skla.



Obrázek 39 Řezání skla skeneru

4.4.4 Spojovací materiál

Pro spojení všech dílů pouzdra byly použity čtyři závitové tyče M4 o délce 200 mm, které mají na jednom konci našroubovány a utaženy dvě matice proti sobě nahrazující hlavu šroubu. Závitové tyče byly nasunuty skrze všechny příslušné otvory pouzdra, které bylo sestaveno v daném pořadí výšek: spodní díl 8 mm, plášť 45 mm, plášť 7 mm, plášť s vodíčovými tyčemi 45 mm, plášť 45 mm, plášť 38 mm. Poté byly závitové tyče našroubovány do zapuštěných matic vrchní části pouzdra (ačkoliv výška dílů je zřetelná, je vhodné si je očíslovat).

Prvek pro výškové odsazení a upevnění servomotoru byl připevněn dvěma šrouby M4 jak k servomotoru, tak ke spodnímu dílu.

Další šroub M4 s maticí byl umístěn v ramenu servomotoru a posouvá se v příslušném otvoru pojízdného vozíku.

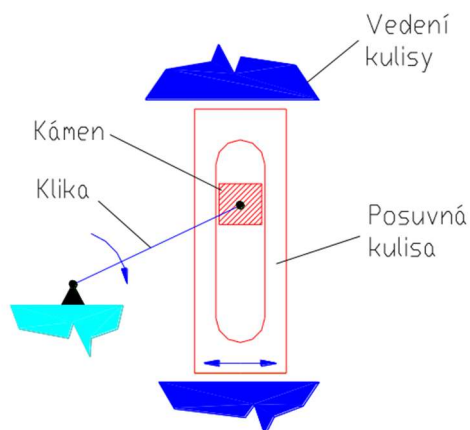
4.5 Pohyb kamery

K pořízení snímků všech 2D kódů z kryozkumavek musí kamera připevněná na pojízdném vozíku urazit vzdálenost vymezenou vnitřním rozměrem pláště. Pohyb pojízdného vozíku byl docílen odvalováním kuliček lineárních kuličkových ložisek po vodících tyčích. Tento posuvný pohyb vzniká převodem rotace servomotoru na pohyb lineární.

4.5.1 Kulisový mechanismus

Kulisový mechanismus s posuvnou kulisou je mechanismus, který převádí rotační pohyb na pohyb lineární a opačně. Skládá se z klíky (rameno servomotoru), posuvné kulisy (pojízdný vozík) a kamene (šroub). Vlivem rotace vytvořené servomotorem šroub koná

pohyb po kružnici jejíž poloměr je určen délkou ramene servomotoru. Posuvný pohyb pojízdného vozíku je dán pohybem šroubu v drážce pojízdného vozíku.



Obrázek 40 Kulisový mechanismus s posuvnou kulisou převzato z [41]

4.5.2 Vodící tyče

Stabilitu a vedení posuvného vozíku zajišťují dvě vodící tyče. Zvolena byla vodící tyč ocelová, chromovaná o průměru 10 mm. Která byla dělena tak, aby vznikly dva kusy o délce 150 mm. Vodící tyče byly poté vloženy do otvorů navrtaných v 45 mm segmentu pláště (viz. obrázek 37).



Obrázek 41 Dělení vodící tyče na požadovanou délku

4.5.3 Ložiska

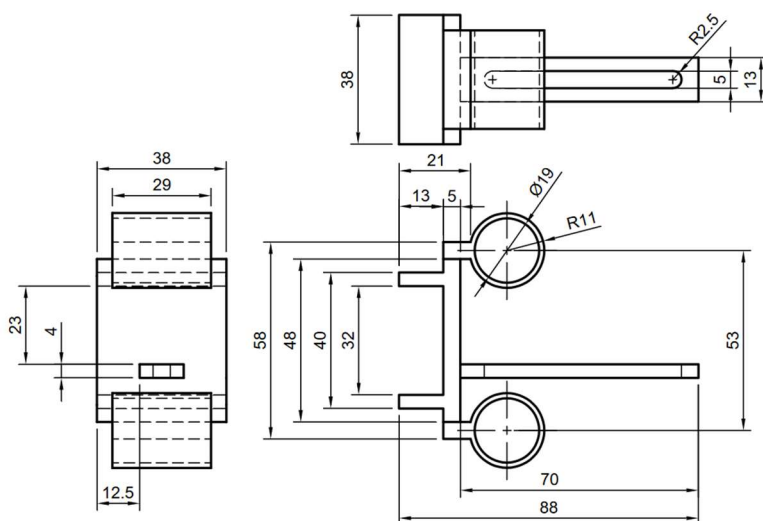
Ložiska jsou kompatibilní se zvolenou vodící tyčí a zlepšují kluzné vlastnosti snížením tření mezi vodící tyčí a posuvným vozíkem a také snižují záběr servomotoru. Pro vodící tyč o průměru 10 mm byly zvoleny lineární kuličková ložiska uzavřená LM10UU s vnitřním průměrem 10 mm, vnějším průměrem 19 mm a délkou 29 mm.



Obrázek 42 Lineární kuličková ložiska uzavřená LM10U převzato z [59]

4.5.4 Pojízdny vozík

Součástí konající posuvný pohyb, na němž je umístěná kamera, která je upevněna pomocí pryžových kroužků. První prototyp pojízdného vozíku, jehož vedení bylo také vyrobeno pomocí 3D tisku selhal. Důvodem bylo vysoké tření, které kladlo vysoké nároky na výkon servomotoru. Druhý model je již stávající, který využívá vodících tyčí a lineárních kuličkových ložisek.



Obrázek 43 Rozměry pojízdného vozíku



Obrázek 44 Pojízdny vozík s umístěnými kuličkovými ložisky

4.5.5 Servomotor

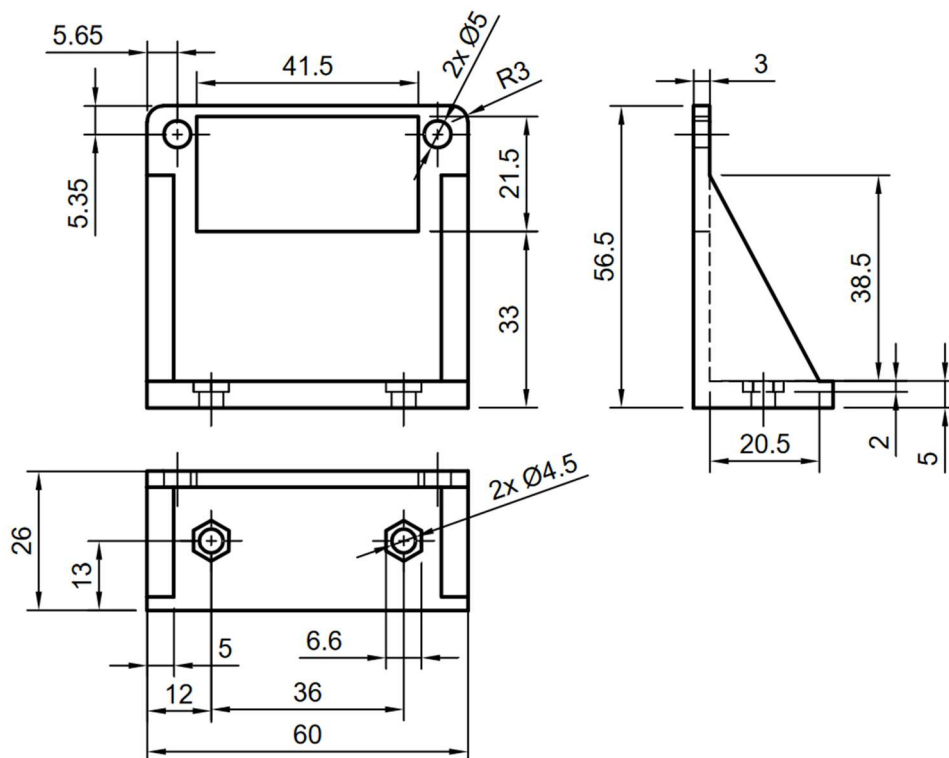
Jako servomotor byl zvolen Tower Pro MG995, jehož funkcí je vytvářet rotační pohyb, který je následně přenesen šroubem umístěným v ramenu servomotoru na pojízdný vozík. Jedná se o servomotor poziční s rozsahem 0 až 180 stupňů. Přesná pozice je dána pomocí PWM signálu, přičemž 90 stupňům odpovídá šířka řídicího pulsu 1 až 2 milisekundy a 180 stupňům 0.5 až 2.5 milisekundy.



Obrázek 45 Servomotor Tower Pro MG995

4.5.6 Výškové odsazení a upevnění servomotoru

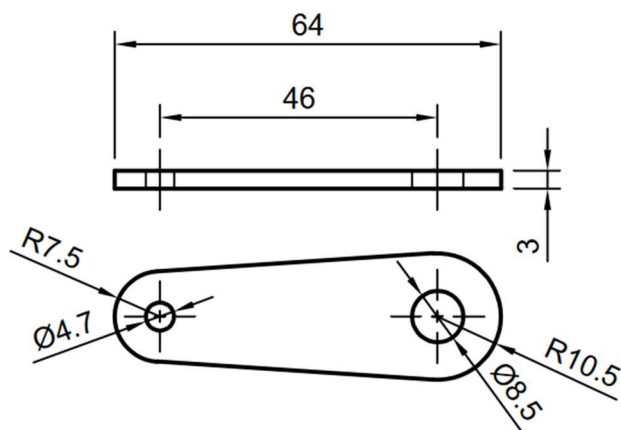
Z důvodu mikrokontroleru, USB hubu a dalších zařízení umístěných ve skeneru byl vyvinut prvek pro upevnění a odsazení servomotoru. Výška odsazení servomotoru od spodní části byla zvolena na 33 mm.



Obrázek 46 Rozměry součásti pro výškové odsazení a upevnění servomotoru

4.5.7 Rameno servomotoru

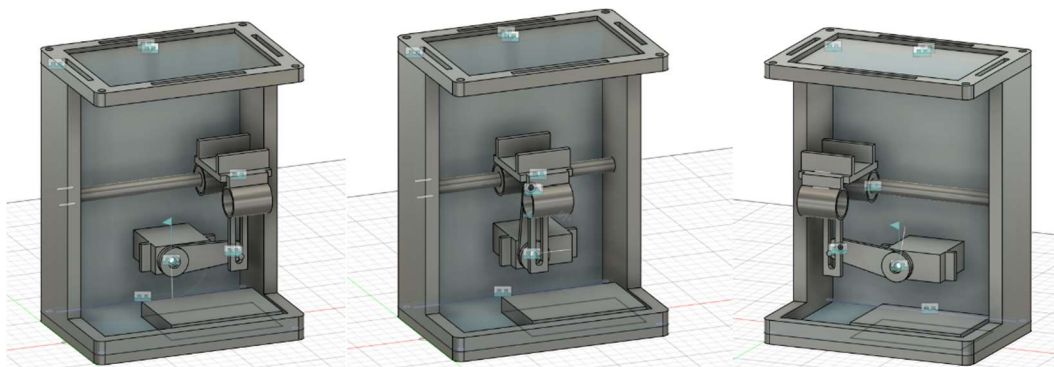
Vzdálenost uražená pojízdným vozíkem byla dána poloměrem ramene servomotoru. Rameno bylo k servomotoru připevněno využitím kruhové páky, která byla součástí servomotoru a byla nacvaknuta v otvoru průměru 8,5. Tato kruhová páka má již vnitřní ozubení kompatibilní se servomotorem. Otvor průměru 4,7 slouží pro šroub, který se posouvá v příslušném otvoru v pojízdném vozíku.



Obrázek 47 Rozměry ramene servomotoru

4.5.8 Soustava

Obrázek slouží pro názornou představu pohybu soustavy složené z pohybových prvků.



Obrázek 48 Vizualizace pohybu skeneru

4.6 Řídící jednotka

Řízení i ovládání osvětlení a servomotoru bylo docíleno pomocí řídicí jednotky. Tato jednotka může být buď jednodeskový počítač s GPIO piny nebo mikrokontroler.

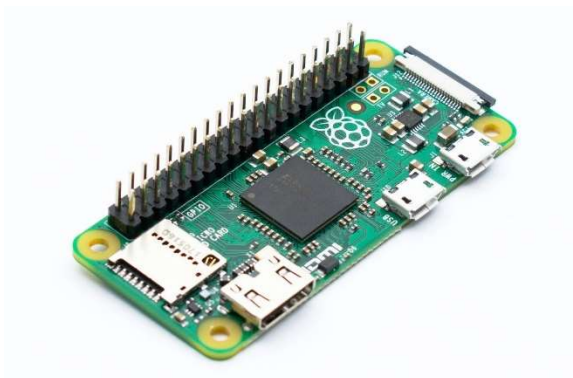
4.6.1 Raspberry Pi Zero W

Tento jednodeskový počítač společnosti Raspberry Pi Ltd. se nabízel jako možnost z důvodu nejlevnějšího a nejmenšího jednodeskového počítače společnosti Raspberry Pi

Ltd. Díky GPIO pinům, které umožňují generaci PWM signálu, dokáže tento SBC spolehlivě zastávat několik funkcí:

- polohovat servomotor a ovládat osvětlení
- ovládat USB kameru připojenou do USB hubu, který je zapojen skrze redukci z USB na microUSB do Raspberry Pi Zero.

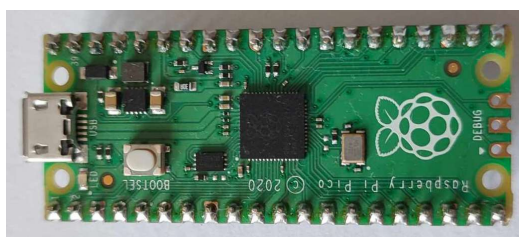
Zásadní nevýhodou je způsob ovládání. Existují dvě metody způsobu ovládání, a to připojením periférií (klávesnici, myš a monitor) jako u stolních počítačů nebo využitím služeb SSH a VNC pro vzdálený přístup k osobnímu počítači, které jsou v případě Raspberry Pi Zero vázány na síť Wi-Fi. U metody vzdáleného přístupu může nastat, že se SBC k dané síti nepřipojí a je nutno jej restartovat odpojením z napájení, což může vést k poškození microSD karty.



Obrázek 49 Raspberry Pi Zero W převzato z [60]

4.6.2 Raspberry Pi Pico W

Malá a levná deska, která pro řízení využívá mikrokontroler Raspberry Pi RP2040 a dokáže také generovat PWM signál, spolehlivě polohovat servomotor a ovládat osvětlení využitím programovatelných GPIO pinů, ale neumožňuje ovládání USB kamery.



Obrázek 50 Raspberry Pi Pico W

4.6.3 Waveshare RP2040 Zero

Jedná se o ještě menší a cenově dostupnější desku než Raspberry Pi Pico, která je také založená na čipu RP2040 vyvinutém společností Raspberry Pi. Svým způsobem má veškeré důležité funkce pro tuto práci stejné jako Raspberry Pi Pico a je navíc doplněna o konektor USB-C.

Vzhledem k obtížnosti zaručení správného chodu jednodeskového počítače Raspberry Pi Zero, při využití vzdáleného přístupu nebo nutnosti připojení periférií,

4.7.2 Elektrický obvod mikrokontroleru

Pro elektrický obvod byly využity tyto komponenty:

- nepájivé pole – 17 řadové mini
- mikrokontroler – Waveshare RP2040 Zero
- servomotor – Tower Pro MG9951
 - napětí $U = 4.7$ až 7.2 V
 - proud I
 - klidový – 10 mA
 - bez zatížení – 170 mA
 - přídržný – 1.2 A
- rezistory – 1x 10k 1x 100k
- tranzistor – NPN
- LED pásek
- propojovací vodiče
- napájecí zdroj
 - napětí $U = 5$ V
 - proud $I = 1000$ mA

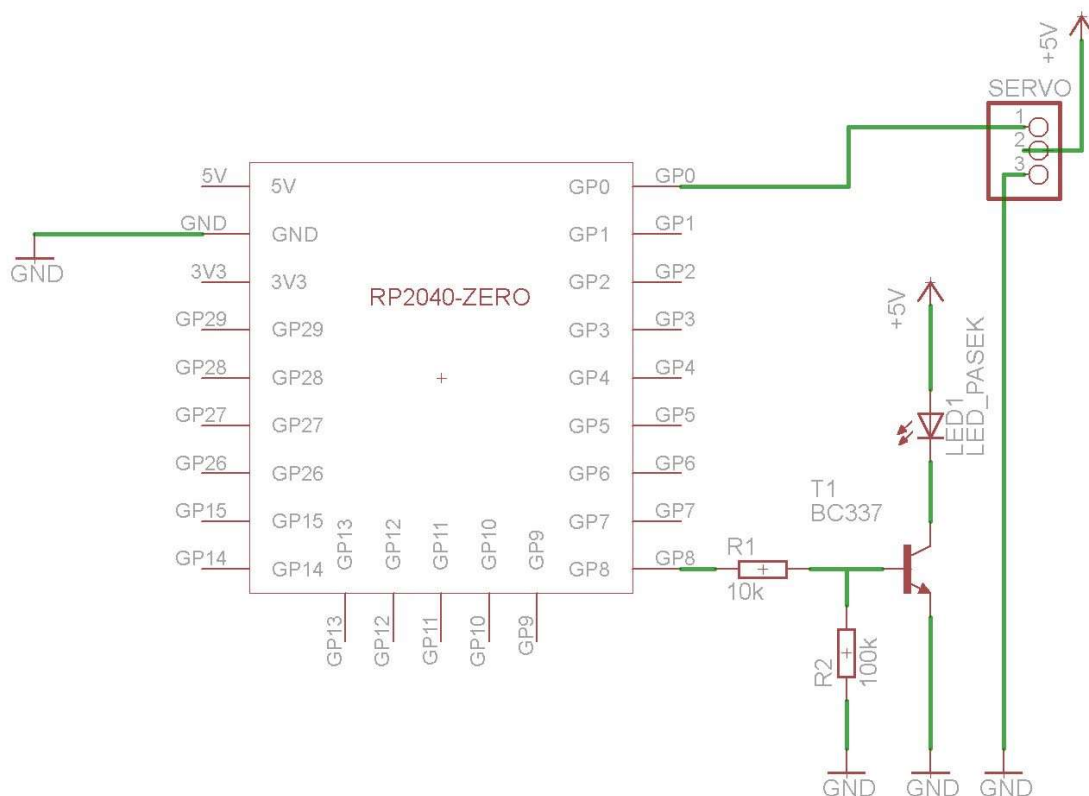
Popis zapojení

Mini nepájivé pole obsahuje celkově 170 upevňovacích bodů rozčleněných do 17 řad, které jsou značeny číselně, přičemž každé řadě náleží 10 upevňovacích bodů, jež jsou běžně značeny abecedně a navzájem propojeny po pěti upevňovacích bodech (A až E a F až J). Mikrokontroler s osazenými headery v řadách od pinu GP0 do GP8 a od pinu 5 V až GP14 byl usazen do nepájivého pole čipem nahoru.

Vodiče servomotoru jsou členěny barevně a zapojeny tímto způsobem:

- oranžový vodič je určen pro PWM řízení a zapojen na pin GP0,
- červený vodič je napájecí a připojen do řady, kde je také kladný vodič zdroje
- hnědý vodič slouží pro uzemnění a je zapojen na pin GND, který je sdílen mezi všemi ostatními zařízeními.

LED pásek byl připojen kladným pólem přímo ke společnému zdroji 5 V. Záporný pól je řízen pomocí tranzistoru, který slouží jako výkonový spínač. Báze tranzistoru je přes rezistor 10k ohm spínána pinem GP8 tzn. když je pin GP8 v logické úrovni 1, tranzistor se zapne a proud prochází LED páskem, čímž se rozsvítí. Naopak, když je pin GP8 v logické úrovni 0, tranzistor se vypne a proud LED páskem neprochází, čímž se zhasne. Pro zajištění vypnutého stavu tranzistoru byl mezi bází a emitorem vřazen rezistor 100k ohm.



Obrázek 52 Schéma elektrického obvodu mikrokontroleru

4.7.3 Sériová komunikace

Sériová komunikace slouží k tomu, aby bylo možné posílat příkazy z osobního počítače do mikrokontroleru, který by na základě těchto dat ovládal servomotor a osvětlení v reálném čase.

Z nabízených sériových komunikací jako je SPI, I2C a UART se jako nejvhodnější jevil UART, a to z důvodu množství zařízení, které mezi sebou sériově komunikují, což v případě tohoto skeneru jsou dvě. Při řešení této problematiky se zjistilo, že po připojení mikrokontroleru do USB hubu nebo osobního počítače byl mikrokontroler registrován jako sériové zařízení USB. Díky této vlastnosti bylo možné pro skener vyloučit veškeré sériové komunikační kanály pro které by bylo nutné dokoupit modul. Na místo nich bylo možné jako sériový komunikační kanál použít již vestavěný USB-C port.

Komplikací nastávající u této metody bylo, že tento komunikační kanál také slouží pro režim programování a ukládání programu do úložiště mikrokontroleru. To znamená, že nelze po této sériové lince posílat data, pokud tuto linku využívá jiný software (Thonny nebo VScode).

Řešením tohoto problému je vlastnost mikrokontroleru automaticky po zapnutí spouštět program pod názvem main, například main.py. Tím je sériová linka uvolněna pro přenos.

4.7.4 Ovládání kamery

USB kamera zapojena do USB hubu je ovládána z osobního počítače.

4.8 Software

Cílem softwaru skeneru je, aby po spuštění programu v osobním počítači pořídil snímky všech kódů z kryozkumavek v dostatečné kvalitě k jejich přečtení. Tohoto výsledku lze dosáhnout pomocí dvou programů. Hlavní program umístěný v osobním počítači ovládá kameru a posílá data po sériové lince do mikrokontroleru. Program v mikrokontroleru tyto data zpracovává a podle zadaného příkazu řídí servomotor a osvětlení.

4.8.1 Programování mikrokontroleru

Program byl vytvořen v jazyce MicroPython v prostředí Thonny.

Imports

Veškeré knihovny a moduly nutné pro správný chod programu. Knihovna *select* poskytuje efektivní způsob řízení vstupu a výstupu, aniž by došlo k zablokování programu v případě, kdy program musí reagovat na události z různých zdrojů současně. Knihovna *sys* umožňuje komunikaci se systémem a manipulaci se vstupy a výstupy pro komunikaci se sériovou linkou. Moduly *Pin* a *PWM* z knihovny *machine* slouží pro ovládání a nastavení GP pinů a jejich řízení PWM signálem.

```
import select
import sys
from machine import Pin
from machine import PWM
```

Nastavení pinů pro servomotor a LED pásek

Mikrokontroler RP2040 Zero má dostupných 30 pinů s možností ovládání PWM signálem, přičemž každý tento pin má přiřazen svůj PWM kanál (viz. Tab.1). Kanály se stejným číslem generují stejnou frekvenci, proto z důvodu jiné frekvence pro servomotor (50 Hz) a LED pásek (1000 Hz) bylo nutné je připojit na kanál s odlišným číslem.

GPIO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
PWM kanál	0A	0B	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B	5A	5B	6A	6B	7A	7B
GPIO	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29		
PWM kanál	0A	0B	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B	5A	5B	6A	6B		

Tabulka 1 PWM kanály přiřazené jednotlivým GPIO [37]

Ovládání PWM signálem je v jazyce MicroPython dáno pomocí *pwm.duty_u16(value)* tzn. nastavení střídavého poměru šířky impulzů na 16 bitů, tedy *value*, česky přeloženo jako hodnota a může nabývat pouze od 0 do 65535.

Pro daný servomotor hodnota 2600 a hodnota 7000 reprezentují hranice od 0 až do 180 stupňů. V případě použití jiného servomotoru se hodnoty mohou lišit. Zadáním nižší/vyšší hodnoty může dojít k přetížení servomotoru.

LED pásek využívá PWM signál pro řízení jasu pomocí stejného příkazu, přičemž hodnota 0 značí vypnuto a hodnota 65535 je maximální jas. Při testování jasu se ideální hodnota pohybovala od 18000 do 19500. Hodnota PWM pro jas LED pásku byla nastavena na 19500.

```
# NASTAVENI PINU PRO SERVO A LED PASEK

servoGPIO = 0 # NASTAVENI PINU PRO SERVO
# MINIMALNI HODNOTA ROZSAHU POLOHY SERVOMOTORU
servoDutyMin = 2600
# MAXIMALNI HODNOTA ROZSAHU POLOHY SERVOMOTORU
servoDutyMax = 7000
# START POZICE SERVOMOTORU PRI PRIPOJENI DO NTB
servoDutyStart = 4550

ledGPIO = 8 # NASTAVENI PINU PRO LED PASEK
ledDutyMin = 0 # MINIMALNI HODNOTA INTENZITY SVETLA
ledDutyMax = 65535 # MAXIMALNI HODNOTA INTENZITY SVETLA
ledDutyStart = 0 # START INTENZITA
```

Hodnota pozice servomotoru a jasu LED pásku je uložena v parametrech: *pozice* = hodnota servomotoru a *jas* = hodnota jasu LED pásku, přičemž poslední hodnota se pokaždé při spuštění programu přepíše na původní hodnotu. Dále následuje přiřazení servomotoru a LED pásku na dané piny (pro servomotor GP0 a pro LED pásek GP8). U servomotoru je důležité nastavit správnou frekvenci vysílání PWM signálu, ta je u zvoleného typu servomotoru specifikována dle výrobce na 50 Hz. U LED pásku lze s frekvencí experimentovat. Nastavení vhodné frekvence LED pásku může vést ke sníženému rušení senzoru kamery. Frekvence LED pásku byla zvolena 1000 Hz.

```
# NASTAVENI RP2040 ZERO

poll_obj = select.poll()
poll_obj.register(sys.stdin, select.POLLIN)

# VOLANI DO START POZICE PO SPUSTENI PROGRAMU
pozice=servoDutyStart
# VOLANI DO START INTENZITY PO SPUSTENI PROGRAMU
jas=ledDutyStart

# NASTAVENI PINU SERVA PRO PWM CONTROL
servo = PWM(Pin(servoGPIO))
servo.freq(50) # NASTAVENI PWM FREKVENCE PRO SERVO

# NASTAVENI PINU LED PASKU PRO PWM CONTROL
led1 = PWM(Pin(ledGPIO))
led1.freq(1000) # NASTAVENI PWM FREKVENCE PRO LED PASEK
```

Definování funkcí

Pro pohyb servomotoru a nastavení jasu osvětlení slouží dvě funkce a to: *PosunServeml()*, která omezuje rozsah hodnoty pozice v *servo1.duty_u16(pozice)*, aby nedošlo k přetížení servomotoru a také otáčí ramenem servomotoru.

Funkce *NastavLED1()* pracuje na stejném principu, ale místo otáčení se mění jas světla.

```
# DEFINOVANI FUNKCI

def PosunServeml(*args):
    # POKUD JE HODNOTA PWM PRO SERVO V DOVOLENEM ROZSAHU
    if (pozice<=servo1DutyMax and pozice>=servo1DutyMin):
        servo1.duty_u16(pozice) # POSUN SERVEM
    else:
        print("zadana hodnota pozice je mimo povoleny"
"rozsah("+str(servo1DutyMin)+"-"+str(servo1DutyMax)+") ")

    return

def NastavLED1(*args):
    # POKUD JE INTENZITA LED PASKU V DOVOLENEM ROZSAHU
    if (jas<=led1DutyMax and jas>=led1DutyMin):
        led1.duty_u16(jas) # NASTAV INTENZITU
    else:
        print("zadana hodnota jas je mimo povoleny"
"rozsah("+str(led1DutyMin)+"-"+str(led1DutyMax)+") ")
```

Hlavní script

While cyklus umožňuje neustálé čekání mikrokontroleru na vstupní data poslané osobním počítačem po sériové lince, které volají definované funkce.

Volba hodnot pozice a jasu je uskutečněna dle příkazů ve tvaru počátečního písmena "l" pro LED pásek nebo "s" pro servomotor a zvolenou hodnotou. Například nastavení jasu světla na hodnotu 19000 je provedeno pomocí příkazu *l19000* a otočení servomotoru na pozici 7000 je provedeno pomocí příkazu *s7000*. V případě, že se žádná informace na vstupu nezaznamenává, nebo hodnota neodpovídá rozsahu, cyklus dále pokračuje v čekání.


```

# HLAVNI SCRIPT

PosunServem1() # POSUN SERVEM NA POZICI START
NastavLED1() # NASTAV INTENZITU NA START HODNOTU

while True:
    # CAS PRO ODPOSLOUCHAVANI Z SERIAL
    poll_results = poll_obj.poll(1)
    if poll_results:
        # CTENI PRIKAZU Z SERIAL
        data = sys.stdin.readline().strip()
        # ZPETNA VAZBA NA POSLANY PRIKAZ
        sys.stdout.write("received data: " + data + "\r")
        print ("L"+str(jas)+", S"+str(pozice))
        vstup=data # ZPRACOVANI VSTUPU Z SERIAL
        levaStrana=(vstup[:1])
        pravaStrana =(vstup[1:])
# POKUD PRIKAZ ZACINA PISMENEM "s" JE TO PRIKAZ PRO SERVO
        if (levaStrana=="s"):
            pozice=int(pravaStrana)
            PosunServem1()
# POKUD PRIKAZ ZACINA PISMENEM "l" JE TO PRIKAZ PRO LED PASEK
        if (levaStrana=="l"):
            jas=int(pravaStrana)
            NastavLED1()

    else:
        continue # KDYZ NIC NEPRICHAZI TAK STALE POSLOUCHEJ

```

4.8.2 Program v osobním počítači

Program byl vytvořen v jazyce Python v prostředí VScode.

Imports

Veškeré knihovny a moduly nutné pro správný chod programu. Knihovna `pySerial` (`import serial`) obsahuje prostředky pro sériovou komunikaci mezi osobním počítačem a mikrokontrolerem. Knihovna `OpenCV` (`import cv2`) umožňuje ovládání USB kamery. Funkce `time` umožňuje zakomponovat časové prodlevy důležité pro synchronizaci mezi kamerou, LED páskem a servomotorem. Modul `datetime` umožňuje sejmutí času pořizování snímků.

```

import serial
import cv2
from time import sleep
from datetime import datetime

```

Definování funkcí

Funkce `posli_prikaz()` pro poslání dat otevírá zvolenou sériovou linku USB, které byl osobním počítačem přiřazen název COM8. Dle použitého počítače či systému se přiřazený název může lišit např. `/dev/ACM0` nebo `/dev/ttyUSB0`. Dále nastavuje modulační rychlost na 9600 bit/s, která může být rozdílná podle dané sériové linky.

Funkce `nastav_kameru()` slouží pro nastavení parametrů důležitých pro odstranění okolních vlivů a zvýraznění čtených kódů. Funkce `porid_fotografii()` pořizuje snímky kódů, a pokud snímek nemá žádný název, tak jej ukládá podle datumu a času pořízení ve formátu "fotografie_YYYY_MM_DD_HH_SS".

```
# DEFINOVANI FUNKCI

def posli_prikaz(data): # FUNKCE POSILANI DAT NA SERIAL
    ser = serial.Serial('COM8', 9600) # PRISLUSNY SERIAL PORT
    ser.write(data.encode()) # ODESLANI DAT
    ser.close() # ZAVRENI SERIOVE LINKY
    print("Odesláno:", data)

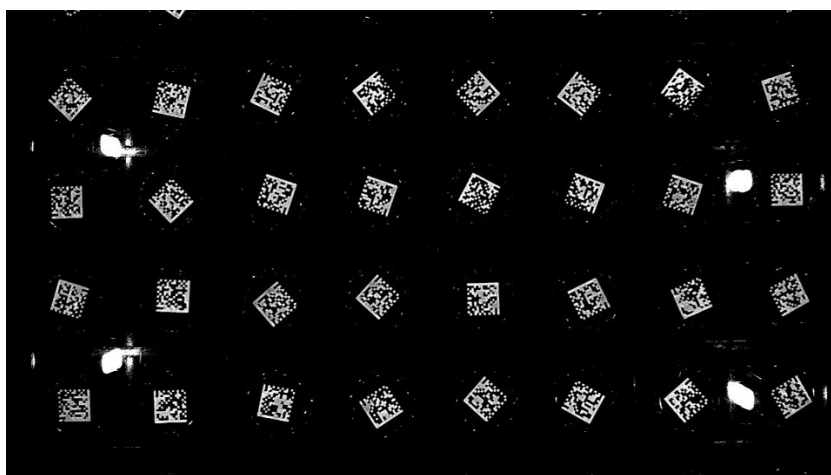
def nastav_kameru(): # FUNKCE PRO KONFIGURACE KAMERY
    # NASTAVENI VOLBY EXTERNI KAMERY
    camera = cv2.VideoCapture(1)
    camera.set(cv2.CAP_PROP_AUTOFOCUS, 1) # NASTAVENI ZAOSTRENI
    camera.set(cv2.CAP_PROP_BRIGHTNESS, -64) # NASTAVENI JASU
    # NASTAVENI KONTRASTU
    camera.set(cv2.CAP_PROP_CONTRAST, 100)
    # NASTAVENI OSTROSTI
    camera.set(cv2.CAP_PROP_SHARPNESS, 100)
    camera.set(cv2.CAP_PROP_SATURATION, 0) # NASTAVENI SYTOSTI
    # NASTAVENI SIRKY FOTOGRAFIE
    camera.set(cv2.CAP_PROP_FRAME_WIDTH, 1920)
    # NASTAVENI VYSKY FOTOGRAFIE
    camera.set(cv2.CAP_PROP_FRAME_HEIGHT, 1080)
    return camera

# FUNKCE PRO PORIZENI FOTOGRAFIE
def porid_fotografii(camera, filename=None):
    if filename is None:
        now = datetime.now()
        # DATUM A CAS
        timestamp = now.strftime("%Y-%m-%d_%H-%M-%S")
        # NAZEV FOTOGRAFIE
        filename = f"fotografie_{timestamp}.jpg"

    ret, frame = camera.read() # VYFOT
    if ret:
        cv2.imwrite(filename, frame)
        # TEXTOVY VYSTUP
        print("Fotografie byla uložena jako:", filename)
        return filename
    else:
        print("Chyba při pořizování fotografie")
        return None
```



Obrázek 53 Snímek 2D kódů pořízený skenerem před úpravou



Obrázek 54 Snímek 2D kódů pořízený skenerem po úpravě pomocí funkce `nastav_kameru()`

Hlavní Script

Script je založen na sekvenci volání funkcí z programu, posílání dat po sériové lince a časových prodlevách, jejichž výsledkem je pořízení snímků 2D kódů z každé kryozkumavky umístěné v kryogenním stojanu.

```
# HLAVNI SCRIPT

camera = nastav_kameru() # PRIPRAV KAMERU

# Pozice 1
posli_prikaz("l19500\n")
kalibracni_foto = porid_fotografii(camera, "kalibrace.jpg")
sleep(1) # CAS PRO ZPRACOVANI
posli_prikaz("s7000\n") # POSUN SE NA POZICI 1
sleep(2) # PRIPRAVA PRED FOCENIM
porid_fotografii(camera) # VYFOT
sleep(1) # CAS PRO ZPRACOVANI
```

```
# POZICE 2
posli_prikaz("s4550\n")
sleep(2)
porid_fotografii(camera)
sleep(1)

# POZICE 3
posli_prikaz("s2600\n")
sleep(2)
porid_fotografii(camera)
sleep(1)

# NAVRAT NA START
posli_prikaz("s4550\n")
posli_prikaz("10\n") # VYPNI SVETLO

# VYPNI KAMERU
camera.release()
```

4.9 Výsledky skenování

Po složení a testování skeneru bylo ověřeno, že 2D kódy na dně kryozkumavek umístěných v kryogenních stojanech jsou po pořízení snímku skenerem čitelné.

4.9.1 Chod skeneru

Po zapojení veškerých komponentů a složení skeneru byl skener připojen k osobnímu počítači a napájen ze zdroje. Po zapnutí programu, skener nevykazoval žádné poruchy chodu a odpovídal na poslané příkazy dle očekávání. Konstrukce skeneru odpovídala návrhu.



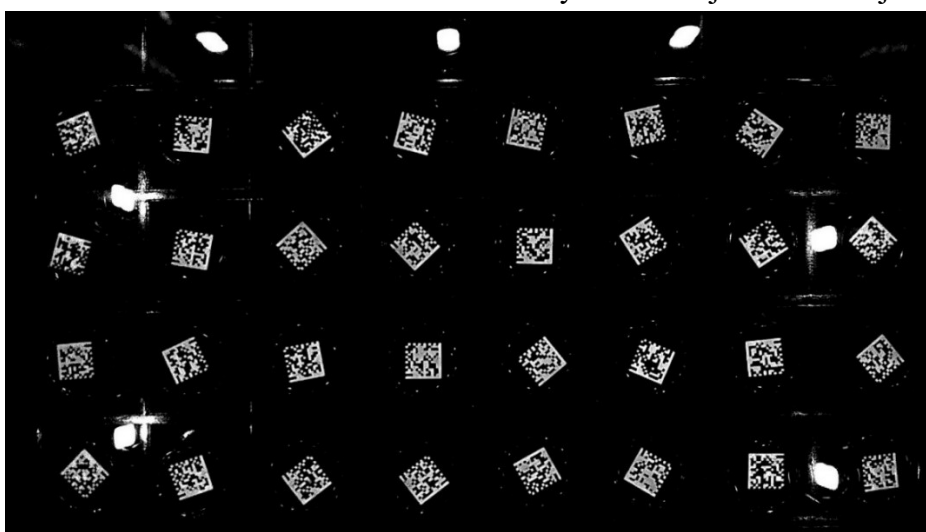
Obrázek 55 Prototyp skeneru 2D kódů kryozkumavek

4.9.2 Pořízení snímků kódů z kryozkumavek

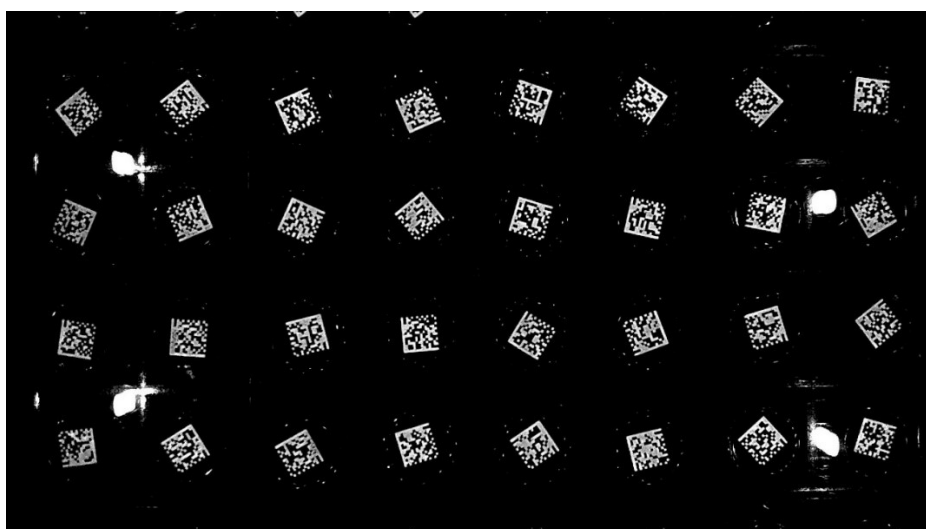
Při testování jasu LED pásku bylo zjištěno, že snímání 2D kódů bylo úspěšnější s nižším jasnem LED pásku než s vyšším, přestože se fotografie jeví na pohled kvalitnější.

Ochranné sklo vytvořilo komplikace při snímání kódů, kvůli silným odrazům jednotlivých LED diod zpět do kamery. Vlivem parametrů, které byly nastaveny v programu osobního počítače bylo dosaženo potlačení odrazů LED diod z ochranného skla, zvýraznění jednotlivých kódů a tím i došlo ke zlepšení čitelnosti.

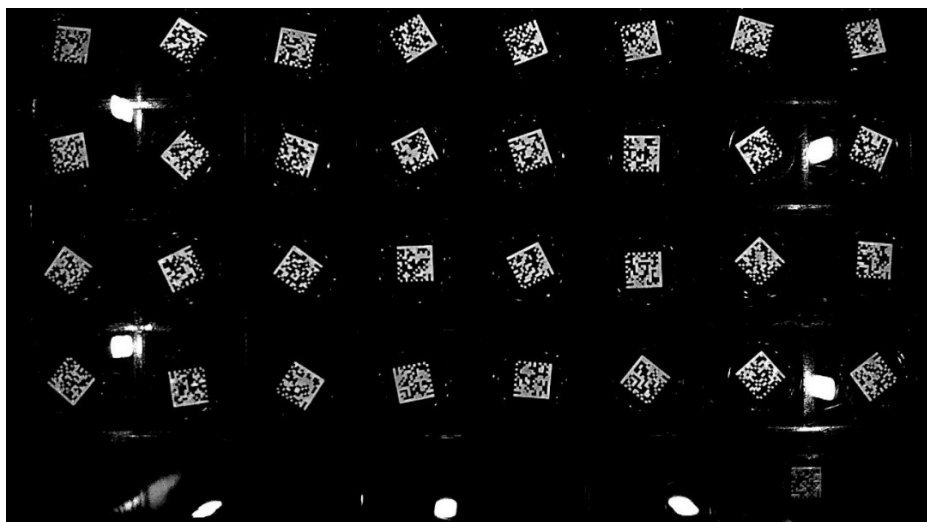
Ačkoliv USB kamera DFROBOT FIT0729 dokázala s úpravami pořídit čitelné snímky všech kódů z kryozkumavek, bylo v průběhu vytváření programu zjištěno, že nelze nastavit manuální zaostření. Tato funkce by umožnila ještě kvalitnější snímky.



Obrázek 56 Snímek kódů z kryozkumavek pořízený skenerem 1/3



Obrázek 57 Snímek kódů z kryozkumavek pořízený skenerem 2/3



Obrázek 58 Snímek kódů z kryozkumavek pořízený skenerem 3/3

4.9.3 Testování čitelnosti

Čitelnost pořízených 2D kódů byla testována pomocí nainstalované mobilní aplikace (čtečka QR a čárových kódů vytvořená společností TeaCapps), která je určená pro čtení 1D a 2D kódů. Tento test byl proveden na všech kódech z pořízených snímků, včetně nejmenšího, určeného pro kryogenní stojan. Tímto testem prošly všechny kódy úspěšně.

Testování bylo provedeno několikrát, a to v různém uspořádání kryozkumavek, a všechny kódy byly čitelné.

4.9.4 Cena skeneru

Celková cena skeneru zahrnuje ceny 3D tisku, mechanických součástí a spojovacího materiálu a elektronických součástí.

3D tisk	
položka	cena [kč]
rameno servomotoru	–
plášť	–
spodní část	–
vrchní část	–
kryt	–
odsazení servomotoru	–
filament Silk PLA + průměr 1,75 mm 1 kg	489

Tabulka 2 Cena materiálu 3D tisku

Mechanické součásti a spojovací materiál			
položka	model	množství	cena za kus [kč]
šroub	M4 - 16	5	1,3
matice	M4	13	0,2
podožka M4	M4	6	0,2
závitová tyč	M4 - 1000	1	36
vodící tyč	D10 - 300	1	89
lineární kuličkové ložisko	LM10UU	2	31

Tabulka 3 Cena mechanických součástí a spojovacího materiálu

Elektronické součásti		
položka	model	cena [kč]
servomotor	Tower Pro MG995 180	200
mikrokontroler	Waveshare RP2040 Zero	170
led pásek	Family Decor 5 V warm white 14 dílů	150
USB hub	AXAGON HUE-P1A ROUND Hub USB-A	240
USB kamera	DFROBOT FIT0729	922
USBA na USBC kabel	zakázková výroba	80
USBA na 4P-2.0mm kabel	zakázková výroba	150
napájecí konektor s vodiči 2.1 x 5.5 mm	2.1 mm na panel	11
napájecí zdroj 5 AV 1 A s konektorem 2.1 x 5.5 mm	-	150
nepájivé pole	ZY - 170 170p červené	15
drátky	sada propojovacích vodičů Dupont 40 pin	27
trazistor NPN	BC 337	1,5
rezistor	10k ohm 1/4 W	1
rezistor	100k ohm 1/4 W	1

Tabulka 4 Cena elektronických součástí

Součet	
Položky	cena [kč]
cena 3D tisku	489
cena mechanických součástí	187
cena spojovacího materiálu	10,3
cena elektronických komponentů	2118,5
celková cena	2804,8

Tabulka 5 Součet všech částí a celková cena

5 ZÁVĚR

Výsledkem této práce bylo úspěšně navrhnout a zkonstruovat funkční prototyp skeneru 2D kódů z kryozkumavek uložených v kryogenních stojanech formátu SBS. Tento prototyp umožňuje pořízení čitelných snímků těchto kódů za nízké náklady.

Teoretická část podala ucelený přehled, který se zabýval fungováním kryozkumavek, jejich skladovacími systémy a metodami značení vzorků, a také tato část poskytla přehled o stávajících technologiích pro skenování kryozkumavek a opatření proti zamlžování. Dále byly popsány různé typy optických senzorů, elektromechanických prvků, převodů, mikrokontrolerů a jednodeskových počítačů.

V praktické části byl navržen a zkonstruován skener za pomoci technologie 3D tisku, která poskytla flexibilitu v designu. Dále byl použit mikrokontroler, který dokázal dle příkazů z osobního počítače úspěšně polohovat servomotor na danou pozici a nastavit požadovaný jas led pásku. Sloučením elektromechanických a mechanický prvků byl docílen požadovaný posuv kamery. Po celkovém sestavení skeneru a vyladění parametrů servomotoru, LED pásku a kamery byly snímky 2D kódů ze dna kryozkumavek pořízeny v dostatečné kvalitě pro jejich přečtení.

Funkčnost návrhu softwarového řešení pro přenos obrazu kódů do počítače byla úspěšně otestována. Prokázalo se, že navržený skener dokázal pořídit snímky 2D kódů s požadovanou kvalitou.

Výhledově je možné se zabývat dalším vývojem skeneru, a to zejména optimalizací designu, integrací s existujícími laboratorními systémy a rozšířením jeho funkcionality o další možnosti zpracování nasnímaných dat.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] HAINAUT, Pierre et al. (ed.), 2017. *Biobanking of Human Biospecimens: Principles and Practice*. 1st ed. 2017. Cham: Springer International Publishing: Imprint: Springer. ISBN 9783319551203.
- [2] NHMRC (NATIONAL HEALTH AND MEDICAL RESEARCH COUNCIL). *Biobanks Information Paper* [online]. NHMRC, 2010 [cit. 2024-05-15]. ISBN 186495630. Dostupné z: <https://www.nhmrc.gov.au/about-us/publications/biobanks-information-paper>
- [3] All You Need to Know about Cryovials, 2022. *Biofargo* [online]. Dostupné z: <https://biofargo.com/blogs/news/all-you-need-to-know-about-cryovials> [cit. 2024-05-16].
- [4] SAFE® areas of application – LVL technologies, [online]. Dostupné z: <https://www.lvl-technologies.com/en/sample-storage/safe-2d-tubes-engl/safe-areas-of-application> [cit. 2024-05-16].
- [5] How to Choose the Right Cryogenic Storage Vial for your Laboratory, 2022 *Sterilab Services Pathology Solutions* [online]. Dostupné z: <https://www.sterilab.co.uk/news/how-to-choose-the-right-cryogenic-storage-vial-for-your-laboratory> [cit. 2024-05-16].
- [6] MAGENTECH. Cryotubes with Internal / External Thread Screw Caps. [online]. Dostupné z: <https://www.diagnocine.com/Product/Cryotubes-with-Internal-External-Thread-Screw-Caps/72233> [cit. 2024-05-19].
- [7] 5mL Polypropylene Screw Cap External Thread Self-Standing Star Base Cryovial, Sterile, RNase/DNase Free, 5 Packs of 100 Vials, 500/CS, *Stellar Scientific* [online]. Dostupné z: <https://www.stellarscientific.com/5ml-polypropylene-screw-cap-external-thread-self-standing-star-base-cryovial-sterile-rnase-dnase-free-5-packs-of-100-vials-500-cs/> [cit. 2024-05-16].
- [8] Stojan pro 40 ks kryozkumavek o průměru 12,5 mm, uzamykací systém na dně každé pozice, PP, Barva: Červená, Rozměry [mm]: 220 x 100 x 30, Balení [ks]: 5, k produktu: Zkumavka kryoskopická s vnějším závitem, PP. In: VERKON. *Verkon.cz* [online]. [cit. 2024-05-19]. Dostupné z: <https://www.verkon.cz/zkumavka-kryoskopicka-s-vnejsim-zavitem-pp/v-33448/>
- [9] Thermo Scientific Nunc and Nalgene Cryoware Products. In: SCIENTIFIC LABORATORY SUPPLIES LTD. *Scientificlabs.co.uk* [online]. [cit. 2024-05-19]. Dostupné z: https://us.vwr.com/assetsvc/asset/en_US/id/7978799/contents/thermo-scientific-nunc-and-nalgene-cryoware-products
- [10] Single Hand Cryo Holder Rack, PC, *Abdos Life Science* [online]. Dostupné z: <https://www.abdoslifesciences.com/product/single-hand-cryo-holder-rack-pp/> [cit. 2024-05-16].
- [11] Secure sample storage. In: THERMO FISHER SCIENTIFIC. *Thermofisher.com* [online]. [cit. 2024-05-19]. Dostupné z: https://assets.thermofisher.com/TFS-Assets/LCD/brochures/2017_2D_StorageBrchure_6.26_Updated%20Final.pdf

- [12] SAFE® 2D Barcoded Tubes – LVL technologies, [online]. Dostupné z: <https://www.lvl-technologies.com/en/sample-storage/safe-2d-tubes-engl> [cit. 2024-05-16].
- [13] ANSI SLAS 1-2004 - Footprint Dimensions for Microplates. In: SOCIETY FOR LABORATORY AUTOMATION AND SCREENING. *Slas.org* [online]. [cit. 2024-05-19]. Dostupné z: https://www.slas.org/SLAS/assets/File/public/standards/ANSI_SLAS_1-2004_FootprintDimensions.pdf
- [14] Nalgene® CryoCane™ Holders, Aluminum, Thermo Scientific, *VWR* [online]. Dostupné z: <https://us.vwr.com/store/product/4561196/nalgene-cryocanetm-holders-aluminum-thermo-scientific> [cit. 2024-05-16].
- [15] RUSTY.REDFUNNEL, 2023. Labeling Frozen Tubes and Cryovials. *TubeWriter 400* [online]. 5 duben 2023. Dostupné z: <https://tubewriter.com/labeling-frozen-tubes-and-cryovials/> [cit. 2024-05-16].
- [16] Cryo Marker Pen Set, [online]. Dostupné z: <https://www.thermofisher.com/order/catalog/product/4000221> [cit. 2024-05-16].
- [17] Complete Sample storage solutions by Micronic, *Micronic* [online]. Dostupné z: <https://micronic.com/products/> [cit. 2024-05-16]
- [18] Ziath DP5 Cube Rack Reader | Azenta Life Sciences, [online]. Dostupné z: <https://www.azenta.com/products/ziath-dp5-cube-rack-reader> [cit. 2024-05-19].
- [19] Micronic Side Barcode Readers for 1D barcode scanning, *Micronic* [online]. Dostupné z: <https://micronic.com/product/micronic-side-barcode-readers/> [cit. 2024-05-16].
- [20] Argos Technologies SampleScan Plus Cryotube Barcode Scanner. In: COLE-PARMER. *Coleparmer.com* [online]. [cit. 2024-05-19]. Dostupné z: <https://www.coleparmer.com/i/argos-technologies-samplescan-plus-cryotube-barcode-scanner/0439604>
- [21] AlteRead Pendant Single Tube 2D & 1D Barcode Reader For Scanning 2D Barcoded Cryovial Tubes, *Stellar Scientific* [online]. Dostupné z: <https://www.stellarscientific.com/alteread-pendant-single-tube-2d-1d-barcode-reader-for-scanning-2d-barcoded-cryovial-tubes/> [cit. 2024-05-16].
- [22] Getting the most from 2D coded tubes in the laboratory. In: ZIATH. *Ziath.com* [online]. [cit. 2024-05-19]. Dostupné z: https://ziath.com/images/pdf/Ziath_E_book_2_Getting_more_from_bar_coded_tubes.pdf

- [23] NEST LTD, [HTTP://WWW.BOOOMING.COM](http://www.booming.com), Jiangsu Bomin Network Technology Co. Your Smart Sample Management Butler is Now Available. [online]. Dostupné z: <https://www.nestscientificusa.com/news/detail/570238029533286400> [cit. 2024-05-16].
- [24] *Moderní čárové kódy* [online]. 2012 [cit. 2024-05-19]. Dostupné z: https://automa.cz/Aton/FileRepository/pdf_articles/9585.pdf
- [25] Čárové a 2D kódy – Leonardo technology s.r.o. - Automatizace průmyslového značení, [online]. Dostupné z: <https://www.lt.cz/e-learning/carove-kody-2d-kody-a-rfid/carove-a-2d-kody> [cit. 2024-05-16].
- [26] Úvod do techniky CCD čipů, [online]. Dostupné z: <https://www.gxccd.com/art?id=303&lang=405> [cit. 2024-05-16].
- [27] CCD vs. CMOS – srovnání senzorů, *W-Technika* [online]. Dostupné z: <https://www.w-technika.cz/ccd-vs-cmos-srovnani-senzoru/> [cit. 2024-05-16].
- [28] Digital Imaging in Optical Microscopy – Introduction to CMOS Image Sensors | Olympus LS, [online]. Dostupné z: <https://www.olympus-lifescience.com/en/microscope-resource/primer/digitalimaging/cmosimagesensors/> [cit. 2024-05-16].
- [29] Mechanism of barcode scanning | Technical Information of automatic identification | DENSO WAVE, [online]. Dostupné z: <https://www.denso-wave.com/en/adcd/fundamental/barcode/scan/index.html> [cit. 2024-05-16].
- [30] ZHELEZNYAK, A. G. a SIDOROV, V. G., 2015. Flatbed scanner as an instrument for physical studies. *St. Petersburg Polytechnical University Journal: Physics and Mathematics*. Vol. 1, č. 2, s. 134–141. DOI 10.1016/j.spjpm.2015.04.001.
- [31] TANG, Johann. The Choice Between Servo Motors and Stepper Motors. [online]. Dostupné z: <https://blog.orientalmotor.com/the-choice-between-servo-motors-and-stepper-motors> [cit. 2024-05-17].
- [32] R.O, CzechProject spol s. Krokový motor NEMA17 33mm 42HD2037-01 | dratek.cz. dratek.cz [online]. Dostupné z: <https://dratek.cz/arduino/48391-krokovy-motor-nema17-33mm-42hd2037-01.html> [cit. 2024-05-16].
- [33] Servo Motor Fundamentals | ISL Products, <https://islproducts.com/> [online]. Dostupné z: <https://islproducts.com/design-note/servo-motor-fundamentals/> [cit. 2024-05-16].
- [34] Yakotec Servo Drive & Motors Used in Medical Equipment., [online]. Dostupné z: <https://www.linkedin.com/pulse/yakotec-servo-drive-motors-used-medical-equipment-dattatray-zhodage> [cit. 2024-05-16].
- [35] Přednášky z Laserového skenování. In: KŘEMEN, Tomáš. ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE. <https://www.cvut.cz/> [online]. [cit. 2024-05-16]. Dostupné z: <https://k154.fsv.cvut.cz/~kremen/LSK.html>
- [36] GUDINO, Miguel. Introduction to Microcontrollers. In: *Arrow.com* [online]. 26 February 2018n. 1., 26 February 2018 [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.arrow.com/en/research-and-events/articles/engineering-basics-what-is-a-microcontroller>

- [37] RP2040 Datasheet: A microcontroller by Raspberry Pi. In: RASPBERRY PI. *Raspberrypi.com* [online]. [cit. 2024-05-19]. Dostupné z: <https://datasheets.raspberrypi.com/rp2040/rp2040-datasheet.pdf>
- [38] ATmega328P: 8-bit AVR Microcontroller with 32K Bytes In-System Programmable Flash DATASHEET. In: MICROCHIP. *Microchip.com* [online]. [cit. 2024-05-19]. Dostupné z: https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P_Datasheet.pdf
- [39] A Guide to Single Board Computers | RS, [online]. Dostupné z: <https://uk.rs-online.com/web/content/discovery/ideas-and-advice/single-board-computers-guide> [cit. 2024-05-16].
- [40] Projekt – openTube2: robotizované pracoviště pro manipulaci se vzorky COVID-19 – VUT, [online]. Dostupné z: <https://www.vut.cz/vav/projekty/detail/32533> [cit. 2024-05-17].
- [41] Kulisový mechanismus. In: STŘEDNÍ ŠKOLA PRŮMYSLOVÁ A UMĚLECKÁ, OPAVA, PŘÍSPĚVKOVÁ ORGANIZACE. *Sspu-opava.cz* [online]. [cit. 2024-05-19]. Dostupné z: https://www.sspu-opava.cz/static/UserFiles/File/_sablony/SPS_III/VY_32_INOVACE_C-08-16.pdf
- [42] Cryotube, LLG, PP, sterile, ext. thread, with foot, 1.2 ml, 2 x 50 pcs. - Buch & Holm A/S, [online]. Dostupné z: <https://www.buch-holm.com/products/tubes/cryotube-llg-pp-sterile-ext-thread-with-foot-1-2-m-9401160> [cit. 2024-05-19].
- [43] Cryovial Storage Box (1.0–2.0ml) 100 Position PN:120041, [online]. Dostupné z: <https://www.boekelsci.com/cryovial-storage-box-1-0-2-0ml-100-position-pn-120041.html> [cit. 2024-05-19].
- [44] 2D-Kryoröhrchen / Transferröhrchen ClearLine® - Lagerung ClearLine® - Lagerung – Screening – Labormaterial, [online]. Dostupné z: <https://www.kisker-biotech.com/product/0E-23-07> [cit. 2024-05-19].
- [45] Cryogenic Vial Canses | SciMart, [online]. Dostupné z: <https://www.scimart.com/product/detail/5-Place-Aluminum-Cane-pack-of-12-HS23205/> [cit. 2024-05-19].
- [46] VWR® 2D Barcoded External Thread Cryovials, 2 ml, *VWR* [online]. Dostupné z: <https://us.vwr.com/store/product/21279665/vwr-2d-barcoded-external-thread-cryovials-2-ml> [cit. 2024-05-19].
- [47] 1/2D Barcode Bottom Barcode Cryogenic Vials Cryovial PP Material, *Made-in-China.com* [online]. Dostupné z: <https://biologixplastics.en.made-in-china.com/product/oOMGhQZVEPkg/China-1-2D-Barcode-Bottom-Barcode-Cryogenic-Vials-Cryovial-PP-Material.html> [cit. 2024-05-19].
- [48] SAFE® 96 IT – LVL technologies, [online]. Dostupné z: <https://www.lvl-technologies.com/en/sample-storage/safe-2d-tubes-engl/safe-96-it-2D> [cit. 2024-05-19].

- [49] Micronic 96-3 Rack for 0.80ml and 1.10ml Sample Tubes, *Micronic* [online]. Dostupné z: <https://micronic.com/product/micronic-96-3-rack/> [cit. 2024-05-19].
- [50] Micronic 0.75ml Tubes Internal Thread, *Micronic* [online]. Dostupné z: <https://micronic.com/product/0-75ml-tubes-internal-thread/> [cit. 2024-05-19].
- [51] Ziath DP5 Cube Rack Reader | Azenta Life Sciences, [online]. Dostupné z: <https://www.azenta.com/products/ziath-dp5-cube-rack-reader> [cit. 2024-05-19].
- [52] Micronic Side Barcode Reader, *NBS Scientific BE* [online]. Dostupné z: <https://nbsscientific.be/product/micronic-side-barcode-reader/> [cit. 2024-05-19].
- [53] Principy a málo známé vlastnosti CCD snímačů obrazu | Automatizace.HW.cz, [online]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/clanek/2006041001> [cit. 2024-05-19].
- [54] AGARWAL, Tarun, 2022. CMOS Sensor: Working, Types, Differences & Its Applications. *ElProCus – Electronic Projects for Engineering Students* [online]. 7 března 2022. Dostupné z: <https://www.elprocus.com/cmos-sensor/> [cit. 2024-05-19].
- [55] 2.972 How a Scanner Works, [online]. Dostupné z: <https://web.mit.edu/2.972/www/reports/scanner/scanner.html> [cit. 2024-05-19].
- [56] Raspberry Pi RP2040 - RPishop.cz, [online]. Dostupné z: <https://rpishop.cz/raspberry-pi-rp2040/3669-raspberry-pi-rp2040.html> [cit. 2024-05-19].
- [57] ATMEGA328P. In: MICROCHIP. *Microchip.com* [online]. [cit. 2024-05-21]. Dostupné z: <https://www.microchip.com/en-us/product/atmega328p>
- [58] 8GB Raspberry Pi 5 Single Board Computer Boosted CPU and Graphics Performance for 4K Display, [online]. Dostupné z: <https://www.dfrobot.com/product-2750.html> [cit. 2024-05-19].
- [59] R.O, CzechProject spol s. LM10UU Lineární kuličkové pouzdro – uzavřené | dratek.cz. *dratek.cz* [online]. Dostupné z: <https://dratek.cz/arduino/7772-linearni-kulikove-lozisko-lm10uu.html> [cit. 2024-05-19].
- [60] Raspberry Pi Zero H - RPishop.cz, [online]. Dostupné z: <https://rpishop.cz/raspberry-pi-zero/684-raspberry-pi-zero-gpio-header.html> [cit. 2024-05-19].
- [61] RP2040-Zero – Waveshare Wiki, [online]. Dostupné z: <https://www.waveshare.com/wiki/RP2040-Zero> [cit. 2024-05-19].
- [62] Ziath DP5 Cube Barcode Scanners DP5-C-STD-80, [online]. Dostupné z: <https://www.wolflabs.co.uk/laboratory-products/barcode-scanners/10464483> [cit. 2024-05-19].
- [63] Micronic | MJS BioLynx, [online]. Dostupné z: <https://biolynx.ca/products/MSMP35240> [cit. 2024-05-19].
- [64] Cole-Parmer Argos Technologies SampleScan Plus Cryotube Barcode Scanner, [online]. Dostupné z: <https://www.fishersci.com/shop/products/cryotube-scanner-small-2d/501960598> [cit. 2024-05-19].

SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK

Seznam obrázků

Obrázek 1 Provedení závitování kryozkumavek převzato z [42]	18
Obrázek 2 Kryogenní krabice s očíslovanou mřížkou a formátem 100 převzato z [43]	19
Obrázek 3 Kryogenní stojan ClearLine® 2D tubes převzato z [44].....	20
Obrázek 4 SBS/ANSI Footprint dimensions převzato z [13]	20
Obrázek 5 Držák pro 6 kryozkumavek objemu až 2ml převzato z [45]	21
Obrázek 6 Thermo Scientific™ Cryo Marker Pen Set převzato z [16].....	21
Obrázek 7 Zacvakávací barevné označení kryozkumavek převzato z [46].....	22
Obrázek 8 Označení čárovým a 2D kódem převzato z [47]	22
Obrázek 9 Označení kryogenního stojanu čárovým kódem převzato z [48].....	22
Obrázek 10 Nunc™ kryozkumavky převzato z [10]	23
Obrázek 11 Nunc™ kryogenní krabice převzato z [10]	23
Obrázek 12 SAFE® 96 SBS kryogenní stojan převzato z [48].....	24
Obrázek 13 SAFE® LI 1000 - 2D kryozkumavka převzato z [48]	24
Obrázek 14 Micronic Micronic 96-3 Rack stojan formátu SBS převzato z [49]	24
Obrázek 15 Micronic 0.75ml Tubes Internal Thread kryozkumavky převzato z [50] ..	25
Obrázek 16 DP5 Cube Rack Reader převzato z [50].....	27
Obrázek 17 Micronic Side Barcode Reader převzato z [51]	27
Obrázek 18 Argos Technologies SampleScan Plus Cryotube Barcode Scanner převzato z [20].....	28
Obrázek 19 AlteRead™ Pendant Single Tube 2D & 1D Barcode Reader For Scanning 2D Barcoded Cryovial Tubes převzato z [21]	28
Obrázek 20 NEST rozmrazovací zařízení převzato z [23]	29
Obrázek 21 Vznik ledu na čerstvě vytažených stojanech a mlžení skeneru převzato z [22].....	29
Obrázek 22 1D kód převzato z [24].....	30
Obrázek 23 2D kód typu Data Matrix převzato z [24]	30
Obrázek 24 Schéma funkce CCD senzoru převzato z [53]	31
Obrázek 25 Schéma funkce CMOS senzoru převzato z [54]	31
Obrázek 26 a) CCD metoda (vlevo) převzato z [29], b) Laser metoda převzato z [27], c) Pen metoda (vpravo) převzato z [29].....	32
Obrázek 27 CCD skener: 1 – zdroj světla, 2 – skenovaný objekt, 3 – skleněná plocha, 4 – zrcadla, 5 – čočka, 6 – CCD senzor převzato z [30].....	32
Obrázek 28 Pohybový mechanismus digitálního skeneru přeloženo a převzato z [55]	33
Obrázek 29 Mikrokontroler RP2040 převzato z [56]	34
Obrázek 30 Mikrokontroler ATmega 328P převzato z [57].....	35
Obrázek 31 Jednodeskový počítač Raspberry Pi 5 převzato z [58].....	35
Obrázek 32 USB kamera DFROBOT FIT0729.....	38
Obrázek 33 Proces měření ideální vzdálenosti kamery od kryozkumavek	38
Obrázek 34 Ukázka funkce a umístění led pásku ve skeneru.....	39

Obrázek 35 Rozměry krytu kryogenního stojanu	39
Obrázek 36 Rozměry spodní části pouzdra.....	40
Obrázek 37 Rozměry segmentu 45 mm s průchozími otvory pro vodící tyče.....	41
Obrázek 38 Rozměry vrchní části pouzdra	41
Obrázek 39 Řezání skla skeneru	42
Obrázek 40 Kulisový mechanismus s posuvnou kulisou převzato z [41].....	43
Obrázek 41 Dělení vodící tyče na požadovanou délku	43
Obrázek 42 Lineární kuličková ložiska uzavřená LM10U převzato z [59]	44
Obrázek 43 Rozměry pojízdného vozíku	44
Obrázek 44 Pojízdný vozík s umístěnými kuličkovými ložisky	44
Obrázek 45 Servomotor Tower Pro MG995	45
Obrázek 46 Rozměry součásti pro výškové odsazení a upevnění servomotoru	45
Obrázek 47 Rozměry ramene servomotoru.....	46
Obrázek 48 Vizualizace pohybu skeneru	46
Obrázek 49 Raspberry Pi Zero W převzato z [60]	47
Obrázek 50 Raspberry Pi Pico W.....	47
Obrázek 51 Waveshare RP2040 Zero pinout převzato z [61].....	48
Obrázek 52 Schéma elektrického obvodu mikrokontroleru.....	50
Obrázek 53 Snímek 2D kódů pořízený skenerem před úpravou.....	56
Obrázek 54 Snímek 2D kódů pořízený skenerem po úpravě pomocí funkce nastav_kameru()	56
Obrázek 55 Prototyp skeneru 2D kódů kryozkumavek	57
Obrázek 56 Snímek kódů z kryozkumavek pořízený skenerem 1/3	58
Obrázek 57 Snímek kódů z kryozkumavek pořízený skenerem 2/3	58
Obrázek 58 Snímek kódů z kryozkumavek pořízený skenerem 3/3	59

Seznam tabulek

Tabulka 1 Pwm kanály přiřazené jednotlivým GPIO [37].....	51
Tabulka 2 Cena materiálu 3D tisku.....	59
Tabulka 3 Cena mechanických součástí a spojovacího materiálu	60
Tabulka 4 Cena elektronických součástí	60
Tabulka 5 Součet všech částí a celková cena	60

SEZNAM PŘÍLOH

Modely pro 3D tisk

vrchni_cast.stl

spodni_cast.stl

pojizdny_vozik.stl

kryt.stl

odsazeni_servomotoru.stl

rameno_servomotoru.stl

plast_segment_7mm.stl

plast_segment_38mm.stl

plast_segment_45mm.stl

Programy

program_osobni_pocitac.py

main.py