



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV MECHANIKY TĚLES, MECHATRONIKY A BIOMECHANIKY

INSTITUTE OF SOLID MECHANICS, MECHATRONICS AND BIOMECHANICS

## METODY DETEKCE ZMĚNY POLOHY REHABILITUJÍCÍ OSOBY - REŠERŠE

REVIEW OF METHODS DETECTING THE CHANGE OF HUMAN POSTURE DURING REHABILITATION

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jozef Krakovský

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Jiří Krejsa, Ph.D.

BRNO 2018

## Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky  
Student: **Jozef Krakovský**  
Studijní program: Aplikované vědy v inženýrství  
Studijní obor: Mechatronika  
Vedoucí práce: **doc. Ing. Jiří Krejsa, Ph.D.**  
Akademický rok: 2017/18

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:

### **Metody detekce změny polohy rehabilitující osoby - rešerše**

#### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Při rehabilitaci osoby využívající aktivní loketní ortézu může dojít k nežádoucí změně polohy rehabilitující osoby. Cílem práce je vytvořit rešeršní přehled metod, které jsou schopné takovou změnu detekovat. Souhrn metod musí zahrnovat informace o finanční, hardwarové a výpočetní náročnosti, dosažitelné robustnosti a přesnosti detekce.

#### **Cíle bakalářské práce:**

1. Uvedte přehled metod umožňujících detekovat změnu polohy rehabilitující osoby
2. Zhodnoťte metody z hlediska hardwarových a výpočetních nároků
3. Odhadněte dosažitelnou robustnost a přesnost detekce

#### **Seznam doporučené literatury:**

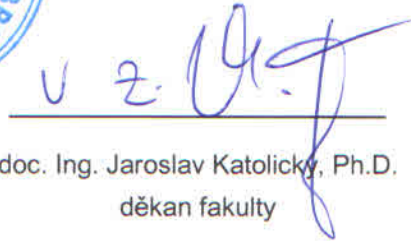
WANG, L., HU, W., TAN, T.: Recent developments in human motion analysis, Pattern recognition, 2003, Elsevier

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18.

V Brně, dne 26. 10. 2017



prof. Ing. Jindřich Petruška, CSc.  
ředitel ústavu



doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## **Abstrakt**

Táto práca sa zaoberá problematikou detekcie nežiaducej zmeny polohy pri rehabilitácii pacientov, ktorí prekonali zlomeniny v oblasti lakt'ových kĺbov. V teoretickej časti oboznamuje so zariadeniami schopnými túto zmenu polohy zaznamenávať a tiež popisuje funkcie týchto zariadení. Druhá časť práce, praktická časť, oboznamuje s testami a experimentami, ktorými boli uvedené zariadenia podrobené a uvádza náležité výsledky presnosti, robustnosti a finančnej a hardwarovej náročnosti.

## **Kľúčové slová**

Kinect, zmena polohy, snímač, senzor, LIDAR, laser

## **Abstract**

This thesis deals with detection of ineligible position change during rehabilitation of patients, that overcame fractures around elbow joint. Theoretically informs about devices that can detect this position change and describes their functions. In second practical part describes tests and experiments that these devices underwent and states appropriate results of accuracy, robustness and financial and hardware demands.

## **Key words**

Kinect, position change, detector, sensor, LIDAR, laser

### **Bibliografická citácia**

KRAKOVSKÝ, J. Metody detekce změny polohy rehabilitující osoby - rešerše. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2018. 35 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jiří Krejsa, Ph.D.

## Čestné prehlásenie

Týmto prehlasujem, že predkladanú bakalársku prácu som vypracoval samostatne, s využitím uvedenej literatúry a podkladov, na základe konzultácii a pod vedením vedúceho bakalárskej práce.

V Brne, dňa 21.5.2018

Podpis autora .....



## **Pod'akovanie**

Ďakujem vedúcemu bakalárskej práce doc. Ing. Jiřímu Krejsovi, Ph.D. za odborné vedenie a veľmi cenné rady pri spracovaní mojej bakalárskej práce, Bc. Miroslavovi Čeplovi za cenné rady pri práci s laserovými snímačmi.

Ďakujem mojej rodine, ktorá mi umožnila študovať a ďakujem aj všetkým tým, ktorí ma priamo či nepriamo podporovali popri štúdiu, čím mi umožnili usilovať sa o zisk titulu bakalára.

# Obsah

<b>Obsah .....</b>	<b>8</b>
<b>1. Úvod .....</b>	<b>9</b>
<b>2. Popis zariadení .....</b>	<b>11</b>
2.1 Kinect .....	11
2.1.1 Kinect v1 .....	11
2.1.2 Kinect v2 .....	14
2.2 Laserové snímače vzdialenosti - LIDAR .....	16
2.2.1 Kompozícia LIDARového snímača .....	18
2.2.2 LIDAR v praxi .....	19
<b>3. Testovanie zariadení .....</b>	<b>22</b>
3.1 Kinect .....	22
3.1.1 Prvý test Kinect v2 .....	22
3.1.2 Druhý test Kinect v2 .....	23
3.2 LIDAR .....	24
3.2.1 Prvý test – zorné pole .....	24
3.2.2 Druhý test - presnosť .....	27
3.2.3 Návrh uloženia snímača .....	29
<b>4. Záver .....</b>	<b>32</b>
<b>Zoznam použitých zdrojov:.....</b>	<b>34</b>

# 1. Úvod

Pri dnešnom aktívnom životnom štýle čoraz viac dochádza k úrazom s vážnymi zdravotnými následkami. Medzi najčastejšie typy zranení podľa štatistík patria zlomeniny a to zlomeniny kĺbov. Zacelenie zlomeniny je dlhý a náročný proces. Vyžaduje si pokoj a vo väčšine prípadov aj fixáciu zlomenej časti. Následne príde na rad rehabilitácia. „V súčasnej praxi je celý rehabilitačný proces prevažne závislý na asistujúcom lekárskom personále a klinických priestoroch, z čoho je zjavná enormná ekonomická záťaž na zdravotnícke zariadenia.“<sup>1</sup> Preto v roku 2016 bola navrhnutá aktívna lakt'ová ortéza. Toto zariadenie má za úlohu odľahčiť nutnú prítomnosť často až viacerých účastníkov rehabilitácie z lekárskej praxe. Ortéza tiež zaznamenáva pokrok pri rehabilitácii. [26]

Pomocou testovania aktívnej lakt'ovej ortézy v praxi, po určitom čase lekárskeho personálu zaznamenal pohyby pacientov, ktoré by pacient pre správny chod rehabilitácie nemal vykonávať. Tieto nežiaduce pohyby pacient vykonáva počas zaťaženia postihnutej ruky a pri pociťovaní bolesti, ktorú pacient už považuje za nadmernú. Preto sa snaží, úmyselne či podvedome, nastaviť do polohy, v ktorej by túto bolesť nepociťoval, alebo aspoň zredukoval na čo najmenšiu. Takéto zmeny polohy môžu viesť k spomaleniu rehabilitácie, prípadne k zastaveniu rehabilitácie pri nedostatočnom zotavení končatiny, a preto sa treba takýmto zmenám polohy vyhnúť. [26]

Cieľom práce je priblížiť si metódy, ktoré sú schopné zaznamenať nežiaducu zmenu polohy rehabilitujúcej osoby. Vyberieme si dostupné zariadenia, ktoré by mali spĺňať schopnosť zachytiť polohu objektu, mali by byť presné a finančne čo najdostupnejšie. Aktívna lakt'ová ortéza bola navrhnutá najmä pre úsporu času lekárskeho personálu a teda aj financií potrebných pre jednotlivé rehabilitačné cvičenia, preto bude v našej práci zohľadnená aj finančná stránka.

Ako prvé bolo vybrané zariadenie Kinect, ktoré vyrobila spoločnosť Microsoft. Ide o jedno z najpokročilejších dostupných zariadení pre zaznamenávanie pohybu, gestikulácií, zvukov a iných dynamických javov. Toto zariadenie je pre testovanie dostupnejšie, pretože s Kinectom pracuje viacero zamestnancov a študentov VUT.

Druhým testovacím zariadením je laserový snímač s tzv. LIDAR senzorom. Laser má veľké uplatnenie práve v technológiách, ktoré pracujú na princípe merania vzdialeností či rýchlostí. Malé laserové snímače sú oveľa finančne dostupnejšie ako Kinect. Z tohto dôvodu zvolíme ako konkurenciu Kinectu práve túto technológiu, ktorá nie je náročná ani na výpočtovú techniku.

V druhej časti práce bude praktické testovanie vybraných snímačov. Bude potrebné zistiť ich presnosť, veľkosť snímanej oblasti a najmä stabilitu. Tieto zariadenia budú testované v takmer ideálnych podmienkach, bude preto potrebné prihliadnuť na fakt, že v realite sa takýmto podmienkam bude len ťažko približovať. Z tohto dôvodu bude v práci navrhnuté ako by mali byť jednotlivé zariadenia umiestnené pri

---

<sup>1</sup> RIPEL, T. Návrh a realizace aktivní loketní ortézy. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 83 s. Vedoucí dizertační práce doc. Ing. Jiří Krejsa, Ph.D

rehabilitačných cvičeniach, aby sa čo najviac zamedzilo okolitým rušivým vplyvom. Zároveň sa pokúsime navrhnúť kompletne zariadenie na zaznamenanie nežiaducej zmeny polohy rehabilitujúcej osoby.

## 2. Popis zariadení

### 2.1 Kinect

1. júna 2009 bol Kinect prvýkrát svetu predstavený pod menom Project Natal na 15. ročníku Electronic Entertainment Expo (E3). Ide o rad vstupných zariadení na snímanie pohybu. Technológia sledovania skeletu predvedená na E3 mohla súčasne zaznamenávať pohyb až 4 osôb so 48 bodmi na jednotlivom skelete ľudského tela pri frekvencii 30 Hz. [1]

Spoločnosť Microsoft, ktorá prišla s nápadom Kinectu mala v pláne pridať ovládanie Kinectom do viacerých hier. Natrafili však na problém, ktorý spočíval v tom, že hry, ktoré vydali pred uvedením Kinectu na trh, neboli kompatibilné s týmto zariadením. Chceli to vyriešiť tak, že Kinect bude obsahovať mikroprocesor, ktorý bude vykonávať operácie ako napríklad sledovanie skeletu, ale napokon sa rozhodli, že tieto operácie budú ovládané jedným z jadier procesora Xenon CPU konzoly Xbox 360. Podľa štatistik Microsoftu, Kinect skonzumuje až 10 – 15 % výpočtových zdrojov tohto procesora. [1]

Po predstavení Kinectu svetu bol okamžitý záujem nie len zo strany nadšencov do videohier, ale tiež zo strany mnohých spoločností, ktoré pracovali s technológiami rozpoznávania obrazu, snímanie polohy a rozpoznávanie reči. Preto ku koncu roku 2011 Microsoft spustil komerčnú verziu *Kinect for windows program* vydaním SDK (Software development kit) pre tieto spoločnosti. V roku 2012 Microsoft uviedol, že vyše 300 spoločností z 25 krajín pracuje na aplikáciách Kinect-ready. [1]

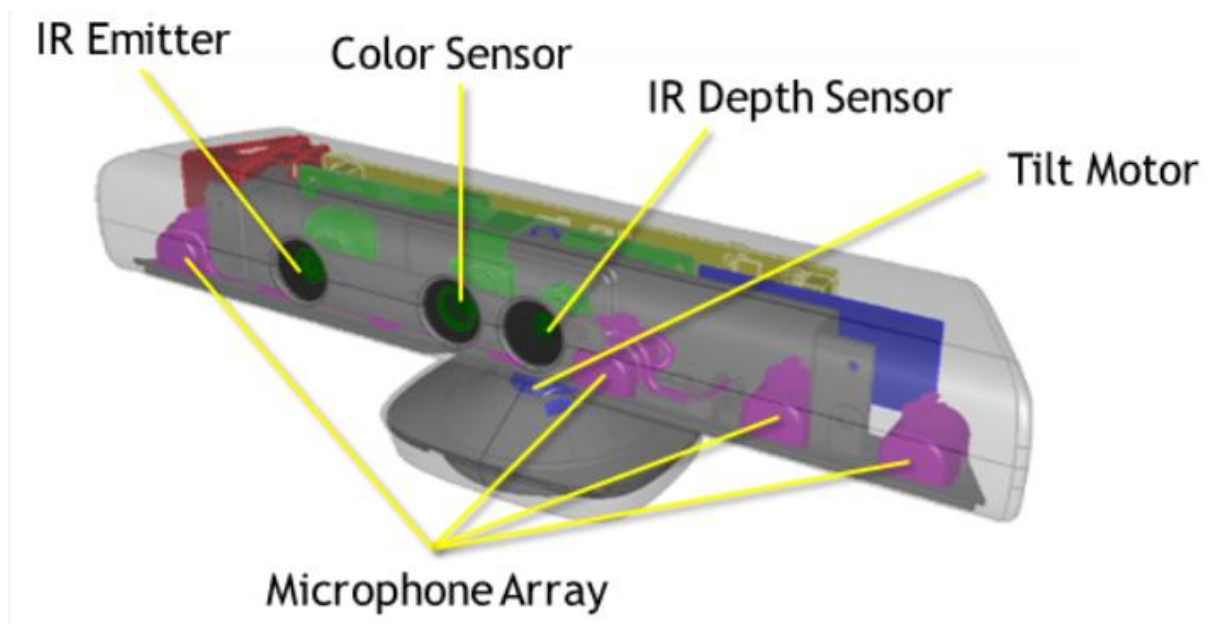
#### 2.1.1 Kinect v1

Idie o pomerne malé úzke zariadenie, ktoré je pripevnené na polohovateľnom stojane pre lepšie nastaviteľné zorné pole. Obsahuje RGB kameru, depth sensor, senzor, ktorý sníma vzdialenosť objektov a multikanálový (*multi-array*) mikrofón. Tieto súčasti poskytujú kompletné zachytávanie 3D pohybu, rozpoznávanie tváre, rozpoznávanie reči a rôzne iné funkcie. Prvé Kinecty obsahovali rozpoznávanie reči len pre angličtinu a japončinu. Neskôr sa pridali aj iné jazyky. [1]

Kinect prvej generácie má vertikálne zorné pole 43° a horizontálne 57°. Polohovateľný stojan umožňuje zorné pole nastaviť podľa potreby o ďalších 27°. Pri zobrazovacej frekvencii 30 fps (frame za sekundu) je obraz dostatočne čistý a spojitý pre správnu funkciu herného ovládania. [1, 8]

### 2.1.1.1 Multikanálový mikrofón

System zaznamenávania zvuku v Kinecte obsahuje funkciu lokalizácie akustického zdroja, čiže Kinect dokáže rozoznávať zvukové zdroje, a tlmenie okolitých zvukov, ktoré boli pridané do Kinectu hlavne pre headset-free komunikáciu, teda komunikáciu bez použitia prídavných mikrofónov. [2]



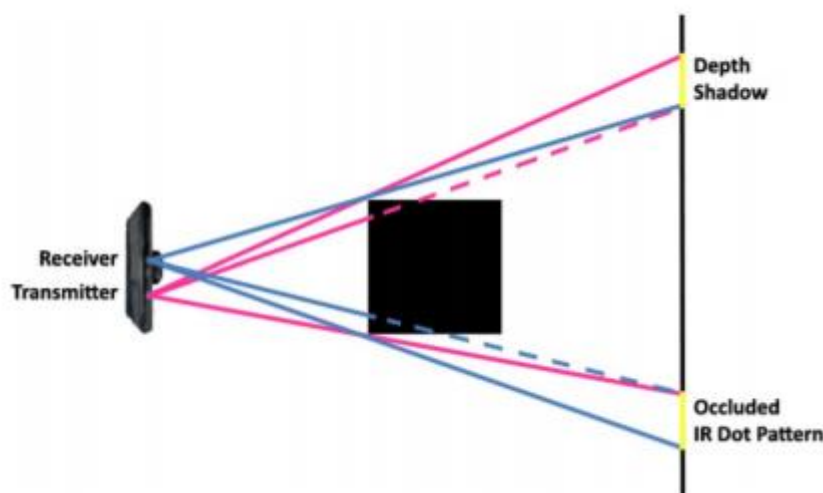
Obr. 2.1: Rozmiestenie senzorov v Kinect v1 [3]

V zariadení sa nachádzajú 4 mikrofóny. Z fyzikálnych zákonov vyplýva, že ku každému mikrofónu dorazí zvuk v iný čas. Kinect teda dokáže nie len zistiť z ktorej strany zvuk prišiel, ale dokáže určiť aj približnú pozíciu zdroja. Tento systém využíva podobný princíp ako ľudské uši. Ľudské uši sú párový orgán, každé na jednej strane. Podľa fázových rozdielov zvukových vln dokáže ľudský mozog určiť odkiaľ zvuk prichádza. Aby mikrofóny fungovali správne, musí Kinect tiež tlmiť rušivé vplyvy okolia, ktoré by mohli brániť v komunikácii užívateľa. V prvej rade Kinect vyruší všetky zvuky, ktoré vychádzajú z prehrávacieho zariadenia, do ktorého je zapojený Xbox, vytvorením rovnakého zvukového signálu iba s opačnou fázou. Kinect tiež dokáže zamaskovať ozvenu v miestnosti. Zistí odkiaľ prichádza ozvena a zamaskuje všetky zvuky prichádzajúce pod týmto uhlom do zariadenia. [2, 4]

### 2.1.1.2. Hĺbkový (depth) senzor

U depth senzorov je dôležité, aby obsahovali emitor (vysielač) infračerveného žiarenia a senzor žiarenia tohto typu. Emitor vytvorí pred sebou sieť infračervených bodov, ktoré dopadajú na objekty pred ním, ľudské oko ich nevidí, lebo sú v spektre infračerveného svetla. Infračervené lúče sa odrazia a snímač potom vytvorí obraz bodov podobných tým v miestnosti. Procesor ho následne spracuje a vytvorí hĺbkovú mapu. [5, 6]

Z nasledujúceho obrázka vidíme, že rozdiel vzdialenosti od Kinectu senzor rozozná z posuvu bodov z pôvodnej siete. Presnosť hĺbkovej mapy úzko súvisí so zobrazovacou frekvenciou. Rozlíšenie hĺbkovej kamery je 640x480 pixelov pri priestorovej presnosti 3 mm a hĺbkovej presnosti 1 cm. Tento senzor zobrazuje vzdialenosť od senzoru ako číslo na intervale 0 – 255. Ak by bol pred senzorom objekt, ktorý by sa nevošiel do tohto intervalu, Kinect začne nový interval od najvyššej hodnoty znovu intervalom 0 – 255. [5, 6]



Obr. 2.2: Vytvorenie posuvu bodov infračervenej siete [6]

Na objektoch blízko senzoru sú body ďalej od seba, na vzdialenejších objektoch je sieť bodov hustejšia. Za objektami sa vytvára tieň, ktorý pomáha rozoznávať objekty s rôznymi vzdialenosťami. Hĺbkový senzor správne funguje v rozsahu vzdialeností 800 – 4000 mm od senzoru, ale pri použití *Kinect for Windows Hardware* je možné prepnúť do Blízkeho módu (z angličtiny „Near mode“), ktorý pracuje v rozsahu 500 – 3000 mm. Keďže Kinect využíva infračerveného žiarenia, tak nedokáže zaznamenávať sklenené objekty, pretože infračervené lúče prechádzajú cez svetlo a tiež nebude správne pracovať mimo izolovanej miestnosti od priameho slnečného žiarenia, ktoré ruší infračervenú sieť bodov. [5, 6, 9, 10]



Obr. 2.3: Sieť infračervenej siete bodov v miestnosti [7]

Okrem mikrofónov a depth senzoru Kinect obsahuje aj RGB kameru pre zaznamenávanie obrazu v rozlíšení 1280x960, ktoré však užívateľ dokáže meniť spolu s rozlíšením depth senzoru. Obsahuje tiež trojosový akcelerometer v rozsahu 2G, kde G predstavuje gravitačné zrýchlenie. Akcelerometer je možné použiť pre určenie súčasnej orientácie a polohy Kinectu voči Zemi. Kinect poskytuje funkciu *Skeleton tracking*, ktorá po zaznamenaní postavy rozmietni 20 presne definovaných bodov do obrazu postavy. Kinect v1 dokáže zaznamenávať súčasne 2 postavy. Túto funkciu Kinect využíva pri ovládaní takmer každej hry. [8, 10]

### 2.1.2 Kinect v2

Kinect pre Xbox One bol vydaný v novembri roku 2013. Proti pôvodnému Kinectu obsahuje širokohlý time-of-flight (doba letu) senzor, ktorý nahradil pôvodnú technológiu PrimeSense. Pôvodná technológia bola vyvinutá izraelskou spoločnosťou PrimeSense, avšak time-of-flight senzor vyvinula spoločnosť Microsoft. Pri použití tejto novej technológie je potrebná time-of-flight kamera, ktorá zaznamenáva údaje o emitovanom svetle do miestnosti a následne vytvára obraz zo získaných informácií. Kamera v Kinecte druhej generácie dokáže zaznamenať až 2 gigabity dát každú sekundu pri zaznamenávaní okolia. Tiež je presnejší, má o 60% širšie zorné pole, vertikálnych 60° a horizontálnych 70°. Microsoft si dal záležať hlavne na hernom využití a preto nový Kinect dokáže súčasne pozorovať až 6 skeletov. Takisto dokáže zachytiť srdečný tep, výrazy tváre, polohu a orientáciu až 25 jednotlivých kĺbov, vrátane palcov, rozloženie

váhy na jednotlivé končatiny a rýchlosť pohybu hráča. RGB kamera zaznamenáva video vo Full HD rozlíšení (1080p) a mikrofóny slúžia na komunikáciu s Kinectom, ako napríklad navigáciu v systéme, spustenie hier, zobudenie konzoly z režimu spánku a podobne. Aby toto všetko a ešte viac Kinect zvládal potrebuje nové USB rozhranie USB 3.0 pre rýchlejšiu komunikáciu so zariadením. Porovnanie základných parametrov Kinectu prvej a druhej generácie sa nachádza na obrázku č. 2.4. Keďže tabuľka uvádza prvé modely z oboch generácií, tak sa parametre trochu líšia od našich testovaných Kinectov. [1, 11]

Feature	Kinect for Windows 1	Kinect for Windows 2
Color Camera	640 x 480 @30 fps	1920 x 1080 @30 fps
Depth Camera	320 x 240	512 x 424
Max Depth Distance	~4.5 M	~4.5 M
Min Depth Distance	40 cm in near mode	50 cm
Horizontal Field of View	57 degrees	70 degrees
Vertical Field of View	43 degrees	60 degrees
Tilt Motor	yes	no
Skeleton Joints Defined	20 joints	26 joints
Full Skeletons Tracked	2	6
USB Standard	2.0	3.0
Supported OS	Win 7, Win 8	Win 8
Price	\$299	TBD

Obr. 2.4: Porovnanie Kinectu v1 a Kinectu v2 [11]

## 2.2 Laserové snímače vzdialenosti - LIDAR

V skorých 60. rokoch 20. storočia krátko po vynájdení *laseru*, vďaka schopnosti vypočítať vzdialenosť z nameraného času, za ktorý sa vyslaný signál vráti do vhodného senzoru sa začalo pracovať na využití tejto technológie v reálnom svete. Laser sa najviac začal využívať u zariadení, ktoré potrebujú veľmi presne zmerať vzdialenosť určitého objektu, popr. viacerých objektov. Technológiu takého snímania vzdialenosti nazvali LIDAR (*Light Detection and Ranging*). [13]

LIDAR napríklad využila NASA na výpočet teploty v stratosfére zmeraním hustoty atmosférických prvkov. Veľký prevrat však mala táto technológia v automobilnom priemysle a to hlavne v odvetví bezpilotných vozidiel skenovaním okolia a následným plánovaním správania vozidla. [13]

Na mnohých miestach LIDAR nahradil zastaralejší systém radarov, ktoré vznikli v 40. rokoch 20. storočia. Radar využíva elektromagnetické žiarenie najmä z mikrovlnnej oblasti. Radar vysiela vlny a následne sníma odraz a z nameraného času vypočíta vzdialenosť. Výhody LIDARu oproti radaru sú napríklad [12]:

- kratšia vlnová dĺžka – dokáže snímať menšie objekty
- LIDAR dokáže vytvoriť presný 3D monochromatický obraz objektu

Výhody radaru proti LIDARu:

- Radar dokáže pracovať aj v horších poveternostných podmienkach napríklad keď je zamračené
- Väčší dosah

LIDAR je pomerne drahá technológia oproti radaru aj ultrazvukovej technológii, ktorá sa používa v prípadoch, keď nie je potrebné zaručiť vysokú presnosť. Ekvivalentné náhrady senzorov z ultrazvukového odvetvia majú hodnotu asi desaťkrát menšiu ako laserové snímače, ktoré sme použili v experimente detekcie polohy. [12]

Výhodu, ktorú však má LIDAR voči ultrazvukovým senzorom je využitie elektromagnetického žiarenia, ktoré sa šíri rýchlosťou svetla. Pri porovnaní rýchlosti svetla

$c = 299\,700\,000$  m/s pri normálnom atmosférickom tlaku a rýchlosti zvuku  $v = 343$  m/s v suchom vzduchu pri teplote 20°C je viditeľný rozdiel. Ak by sa snímaný objekt nachádzal napríklad 1 meter od senzorov, tak laserový senzor ho zaznamená približne miliónkrát rýchlejšie ako ultrazvukový senzor. Konkrétne laserový senzor ho zaznamená za 6,67 ns a ultrazvukový za 5,83 ms.

Vzťah na výpočet vzdialenosti využívajú všetky tri spomenuté technológie rovnaký:

$$s = \frac{v \cdot t}{2}$$

kde:

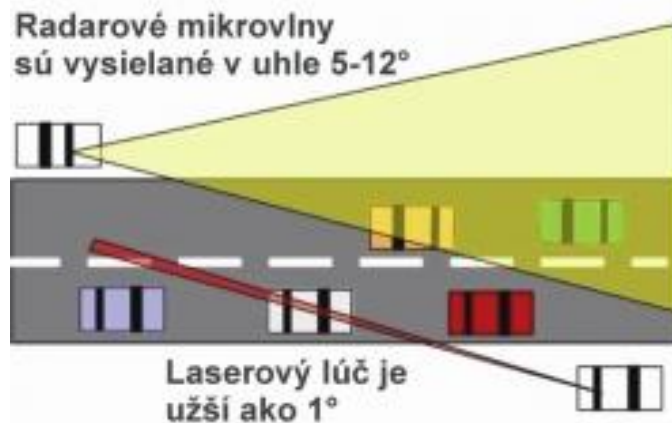
$s$  – predstavuje vzdialenosť objektu,

$v$  – je rýchlosť použitého žiarenia alebo zvuku,

$t$  – je zaznamenaný čas, za ktorý sa signál vrátil do detektoru.

Vzťah je podelený číslom dva preto, lebo polovicu trajektórie signál postupuje k objektu a druhú polovicu sa rovnakou rýchlosťou pohybuje k detektoru. [13]

V prípade nášho experimentu je využitie technológie LIDAR výhodnejšie ako využitie radaru. Vysvetlenie spočíva v teoretickom pozorovacom uhle. U radarov sa pozorovací uhol pohybuje v rozmedzí 5 – 12°, zatiaľ čo u LIDARu je tento uhol menší ako 1°. Ak by sme vzali príklad z policajných rýchlostných kamier, tak na obrázku nižšie vidíme rozdiel využitia týchto dvoch technológií. [14]



Obr. 3.1 Porovnanie pozorovacích uhlov radaru a LIDARu [14]

Táto skutočnosť aj vysvetľuje výkonnostný rozdiel potrebný pre chod týchto zariadení. Radarová rýchlostná kamera má výkon od 0,5 do 2 mW, pričom LIDAR-ové rýchlostné kamery len okolo 0,4  $\mu$ W. [14]

### 2.2.1 Kompozícia LIDARového snímača [13]:

LIDAR je založený na jednoduchom princípe merania času. Pozostáva z týchto hlavných komponentov [13]:

#### 1. Laser

Bežne sa využíva svetlo s vlnovou dĺžkou 600-1000 nm. Keďže takéto žiarenie je ľahko zachytené ľudským okom, tak v mnohých aplikáciách sa musí ohraničiť maximálny výkon, aby nedošlo k poškodeniu zraku. ako alternatíva sa využíva zdroj elektromagnetického žiarenia s vlnovou dĺžkou 1550 nm, ktoré ľudské oko nezachytáva. Avšak technológia využívajúca takéto žiarenie nie je na takej úrovni a využíva sa najmä na meranie väčších vzdialeností s menšou presnosťou napríklad v armáde. Napríklad na topografické mapovanie sa využíva dióda s vlnovou dĺžkou 1064 nm, ale na mapovanie v oceáne sa využíva dvojitá dióda emitujúca žiarenie s vlnovou dĺžkou 532 nm, pretože svetlo s kratšou vlnovou dĺžkou preniká cez prostredie s väčšou hustotou s výrazne nižším tlmením.

#### 2. Fotodetektor

Súčiastka, ktorá zaznamenáva prítomnosť svetelného žiarenia. Využitím správneho typu sa dokáže fotodetektor naladiť na zaznamenávanie svetla s požadovanou vlnovou dĺžkou. Známych je viac druhov. Najvyužívanejšia u LIDARových snímačov sú polovodičové fotodetektory, ktoré pri dopade fotónu premenia kinetickú energiu fotónov na energiu vo forme elektrického prúdu.

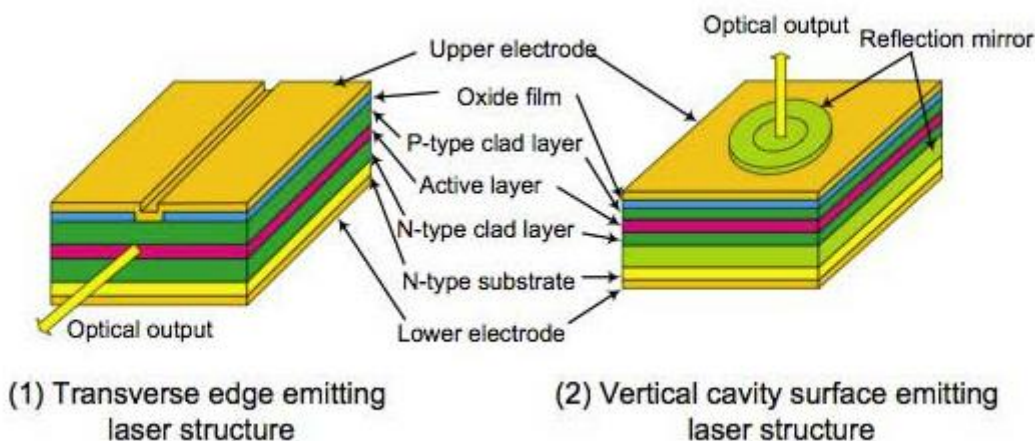
#### 3. Polohový a navigačný systém

Ak je LIDARový snímač upevnený na pohyblivých platformách, napríklad lietadlá alebo satelity, je potrebné, aby obsahovali zariadenie, ktoré zaznamenáva absolútnu polohu a orientáciu snímača. Takéto zariadenia sú napríklad *Globálny polohový systém* (z angl. *Global position system*) a Jednotka inerciálnej miery (z angl. *inertial measurement unit*), ktoré využíva letectvo USA.

Ako už bolo spomenuté, technológia LIDAR je presná, ale drahá metóda na detekciu polohy. V našom experimente boli použité laserové diaľkové senzory v priemernej hodnote okolo 12 € (približne 300 Kč). U snímačov z takejto cenovej kategórie neboli očakávané prekvapivo presné výsledky. Technológia je oveľa jednoduchšia ako využívajú napríklad bezpilotné lietadlá či autá. Avšak v našom prípade bola táto technológia jednou z najdostupnejších a očakávalo sa najlepšie využitie potenciálu, ktorý táto technológia má.

## 2.2.2 LIDAR v praxi

Snímače, ktoré sme v experimentoch použili obsahovali jeden z najmenších Time-of-Flight polohových senzorov VL53L0X. Tento senzor vyžaruje laserový lúč VCSEL s vlnovou dĺžkou 940 nm. Skratka VCSEL prebraná z anglického slovného spojenia *vertical-cavity surface-emitting laser* označuje typ polovodivej laserovej diódy s laserovým lúčom emitovaným kolmo k vrchnej vrstve. Opakom takýchto laserových zdrojov sú *Edge-emitting* (EE) laserové diódy, ktoré vyžarujú svetlo z bočnej strany z pomedzi polovodivých vrstiev P a N. [16, 17]



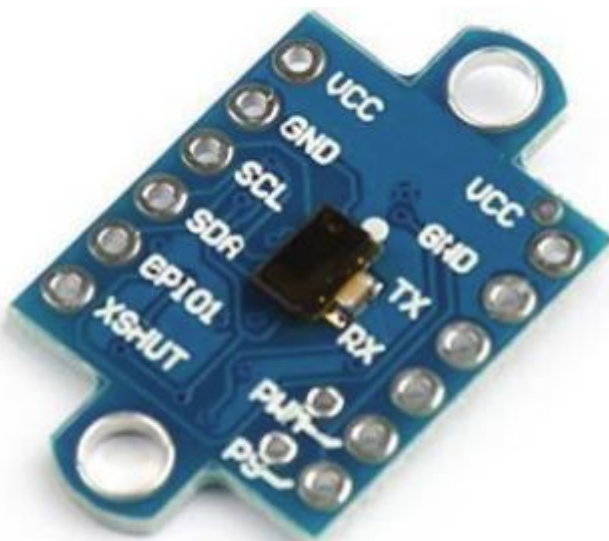
Obr. 3.2.1 Rozdiel medzi VCSEL (2) diódou a EE diódou (1) [17]

Senzor VL53L0X sa predáva aj s potrebnou elektronikou, ktorá je potrebná aspoň pre základnú prácu tohto senzoru. Samotný senzor má rozmery 4.4 x 2.4 x 1.0 mm, takže ani na celom snímači nezaberá veľa miesta a celý snímač môže byť tak veľmi úsporný na miesto. [15]

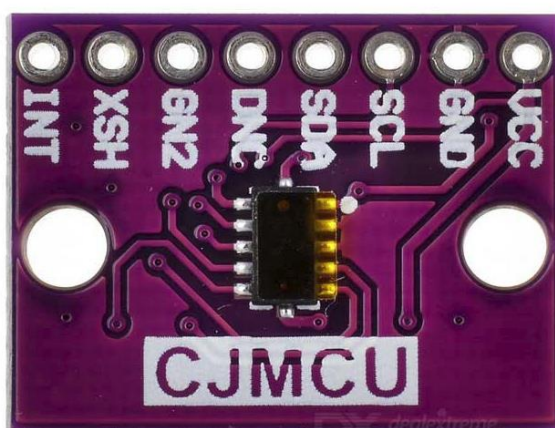
Dokáže zmerať polohu do vzdialenosti 2 metre. Je šetrný k ľudskému zraku, spadá do kategórie IEC 60825-1:2014 – 3. edícia. Do tejto kategórie spadajú laserové produkty s vlnovou dĺžkou 180 – 1000 nm. [15]

Senzor nepotrebuje pre prácu žiadnu prídavnú optiku, vyžaduje len jeden zdroj elektrickej energie a ovláda sa rozhraním I2C. [15]

V experimentoch boli použité dva snímače so senzorom VL53L0X pre porovnanie vlastností použitej elektroniky okolo senzoru. Výsledky sa však nakoniec nelíšili v takom rozsahu, aby bolo nutné uvádzať výsledky z oboch snímačov. Prvý použitý snímač, ku ktorému sa aj výsledky z experimentov budú vzťahovať je snímač s označením GY-53, ktorý sa od druhého snímača s označením CJMCU-530 líši najmä v tom, že snímač GY-53 má PWM výstup a jeho programovanie bolo o to jednoduchšie, že stačilo zapojiť jeden výstup a z neho čerpať všetky informácie. [15]



Obr. 3.2.2 Snímač GY-53 [19]



Obr. 3.2.3 Snímač CJMCU-530 [20]

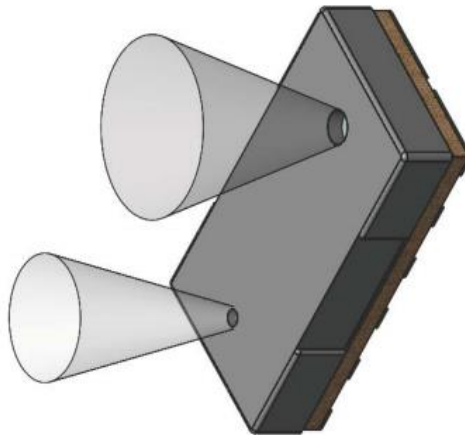
Snímač GY-53 hoci je drahší o približne 2 eurá (približne 51 Kč), tak je menší ako konkurenčný snímač. Rozmery GY-53 sú 11.5 x 16.5 mm a rozmery CJMCU-530 sú 44 x 24 mm. [19, 20]

Ovládanie takýchto snímačov sa dá realizovať viacerými spôsobmi. V našom prípade bola využitá platforma Arduino Nano, teda najmenšia platforma od Arduina. Najvyššia dosiahnuteľná rýchlosť prenosu dát zo snímača je 400 kb/s a informácie sú zabalené do 8-bitových balíkov (*packetov*). Vývojár, ktorý využíva takéto snímače si musí premyslieť, či mu viac záleží na presnosti alebo rýchlosti snímania. S rastúcou rýchlosťou snímania sa znižuje presnosť merania a naopak ak chce dosiahnuť najvyššiu presnosť, tak za cenu rýchlosti snímania. Pri vyššej rýchlosti snímania, kde snímač zaznamená objekt za 20 ms dosiahne smerodajná odchýlka +/- 5%. Naopak pri vyššej

presnosti a pomalšom snímaní, kde snímač zaznamená objekt za 200 ms dosiahne smerodajná odchýlka +/- 3%. [15, 21]

Chyba merania sa tiež mení s farbou objektu a prostredím, v ktorom polohu meriame. Pri meraní objektu bielej farby vo vzdialenosti 120 cm sa pri perióde snímania 66 ms v izolovanej miestnosti od priameho slnečného žiarenia dosiahla odchýlka 3%. Pri rovnakej situácii s použitím objektu šedej farby sa táto odchýlka zdvojnásobila na 6%. Keď sa meranie presunulo z miestnosti von na priame slnečné svetlo, tak odchýlka pri objekte bielej farby a perióde snímania 66 ms odchýlka dosiahla hodnotu 6%. Pri objekte šedej farby v rovnakej situácii odchýlka dosiahla hodnotu 9%. [15]

Na to, aby tieto snímače mohli fungovať a dali sa vyrábať v nadmerných množstvách, tak ich prevedenie musí byť jednoduché. Na senzore sa nachádza jeden emitor a jeden kolektor. Na to, aby mohol snímať objekty, ktorých snímaná plocha nie je priama, kolmá na dopadajúci lúč svetla, tak musí vyžiariť viac ako jeden lúč. Emitor teda vyžiari skupinu lúčov, ktorých dráhu reprezentuje kužeľ. Kolektor rovnakým princípom sníma odrazené lúče, teda zachytí všetky lúče, ktoré dopadajú pod istým uhlom na kolektor. Tento uhol je definovaný ako vrcholový uhol kužeľa  $\theta$ . Aby snímač pracoval presnejšie, tak vrcholový uhol kolektorového kužeľa je menší ako vrcholový uhol emitorového kužeľa. [15]



*Obr. 3.2.4 Tvar emitovaných lúčov a snímania odrazených lúčov [15]*

Na výrobnom výkrese výrobca uvádza hodnoty vrcholových uhlov oboch kužeľov. Uhol emitorového kužeľa má mať hodnotu  $35^\circ$  a kolektorového kužeľa  $25^\circ$ . Pri nedokonalom pozorovaní snímača, teda ak sa do cesty postaví prekážka, tak hodnoty, ktoré uvádza snímač sú aritmetickým priemerom vzdialeností všetkých objektov, ktoré sa nachádzajú v zornom poli. Tento fakt potvrdzuje tretí z našich experimentov. [15]

## 3. Testovanie zariadení

### 3.1 Kinect

#### 3.1.1 Prvý test Kinect v2

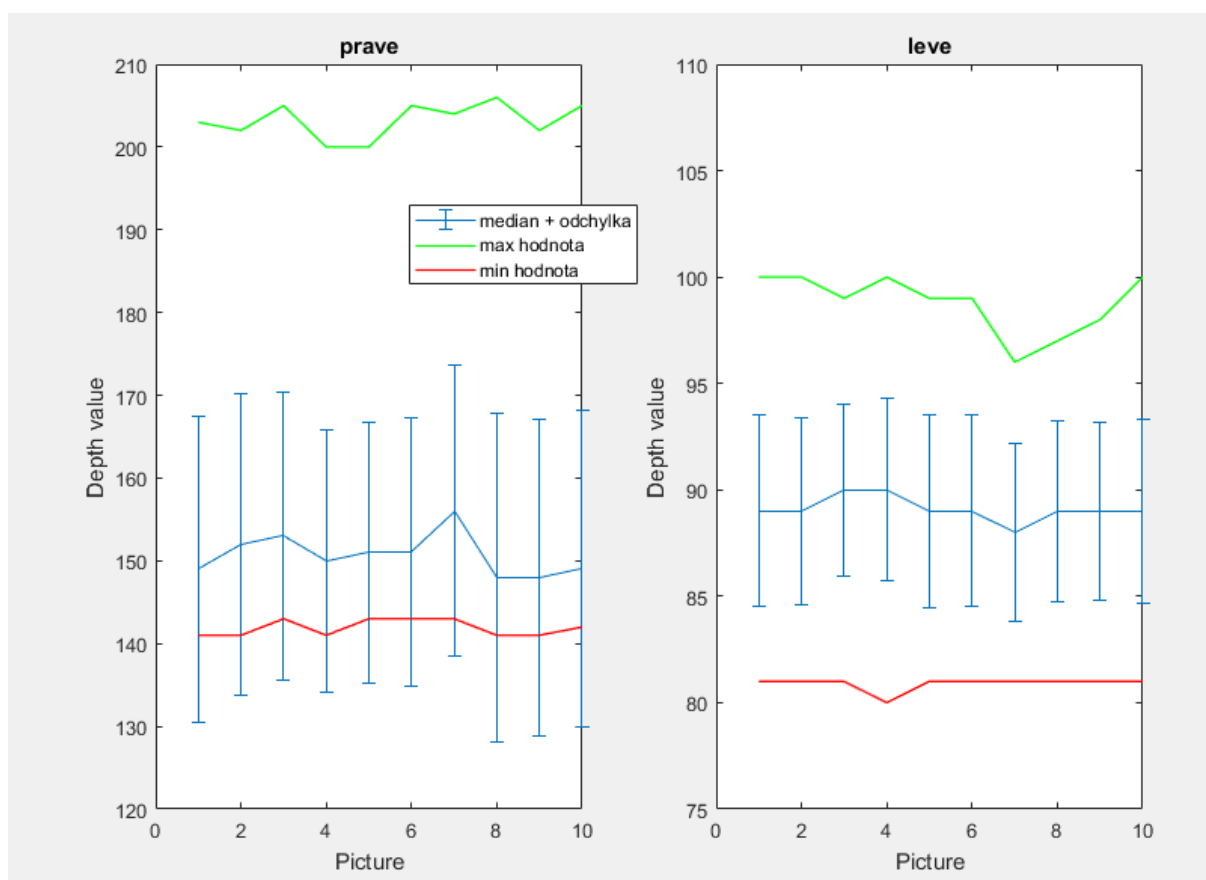
Pre prácu s Kinectom vo Windows je potrebné nainštalovať všetky potrebné ovládače a mať správny kábel s rozhraním USB. Microsoft dal užívateľom k dispozícii SDK (software development kit), ktorý obsahuje naprogramované aplikácie, ktoré podľa požiadaviek získajú prístup k istým senzoram a následne zobrazuje získané dáta. Pri Kinecte druhej generácie majú užívatelia prístup k aplikácii Kinect studio, ktorá obsahuje všetky SDK tools (aplikácie) v jednej aplikácii pre jednoduchší prístup k funkciám. Keďže Kinect v2 má lepšie rozlíšenie Depth senzoru a je presnejší, tak sme pre našu problematiku zvolili tento snímač a uvedené výsledky sú získané práve z tohto zariadenia. Ak by užívateľ bol zručný v programovaní, tak Kinect komunikuje s viacerými programovacími jazykmi (Matlab, C, C++, Java, C# , ...) a je možné si aplikáciu podobnú Kinect studio vytvoriť doma.

V programe Processing 3 bol napísaný krátky kód v Jave. Tento kód spustí hlavičkové súbory, ktoré vytvoril a zverejnil Thomas Lengeling, študent z MIT. Vo funkcii *setup* sa spustia všetky potrebné senzory, z ktorých ukladáme dáta. Vo funkcii *draw* sa zobrazujú získané dáta v podobe real-time prenosu a taktiež sa do premenných ukladajú všetky získané dáta. V poslednej funkcii *writeDown* sa tieto dáta ukladajú v reálnom čase. Uložené dáta majú podobu matice, ktorá reprezentuje jeden frame prenosu. Pri ukladaní dát sme narazili na problém týkajúci sa spracovania dát. Pri snímanej frekvencii 30 fps a rozlíšení 512x424 sa na jednu sekundu prenosu ukladá približne 6,5 milióna čísiel reprezentujúcich vzdialenosť bodov od senzoru. Na tento experiment bol použitý počítač, ktorý nebol schopný dlhodobo vykonávať tieto procesy. Kinect zobrazuje video s frekvenciou 30 fps, avšak experiment začal s 25,5 fps, po 10 sekundách klesol na 7,3 fps a po minúte bola táto frekvencia na hodnote blížiacej sa nule.

Chyba nastala vo výpočtovej technike a preto prišlo k úvahe, či je vhodné používať Kinect na snímanie polohy rehabilitujúceho pacienta, ktorého dĺžka jedného cvičenia sa väčšinou pohybuje okolo jednej hodiny. Kinect by sa dal využiť, ak by sa dáta spracovávali v reálnom čase bez ich ukladania. Na to by bol potrebný zložitejší kód, ale tiež by to výrazne neznížilo nároky na výpočtovú techniku.

### 3.1.2 Druhý test Kinect v2

Po prvom teste bolo rozhodnuté, že Kinect je náročné na výpočtovú techniku pre naše použitie. V druhom teste teda len otestujeme jeho presnosť. Zaznamenali sme 20 sekundové video, na ktorom bola zachytená nehybná postava reprezentujúca pacienta. Z tohto videa bolo náhodne vybraných 10 snímok a následne boli spracované v Matlabe. Do Matlabu bol vložený snímok videa, na pravom a ľavom ramene boli vytvorené oblasti, z ktorých následne bol vypočítaný medián, ktorý reprezentoval vzdialenosť od senzoru. Priebeh hodnôt vzdialeností vyzeral nasledovne:



Obr. 3.1: Priebeh hodnôt z Kinectu

Odchýlka ľavého ramena je o niečo menšia najmä kvôli polohe Kinectu. Jedno rameno bolo o niečo bližšie k senzoru ako druhé a tiež bolo snímané pod menším uhlom. Každopádne minimálna a maximálna hodnota neležia v oblasti ohraničenej odchýlkou okolo mediánu a vidno výrazné rozdiely hodnôt, takže sa tento senzor nedá použiť na veľmi presné merania vzdialenosti.

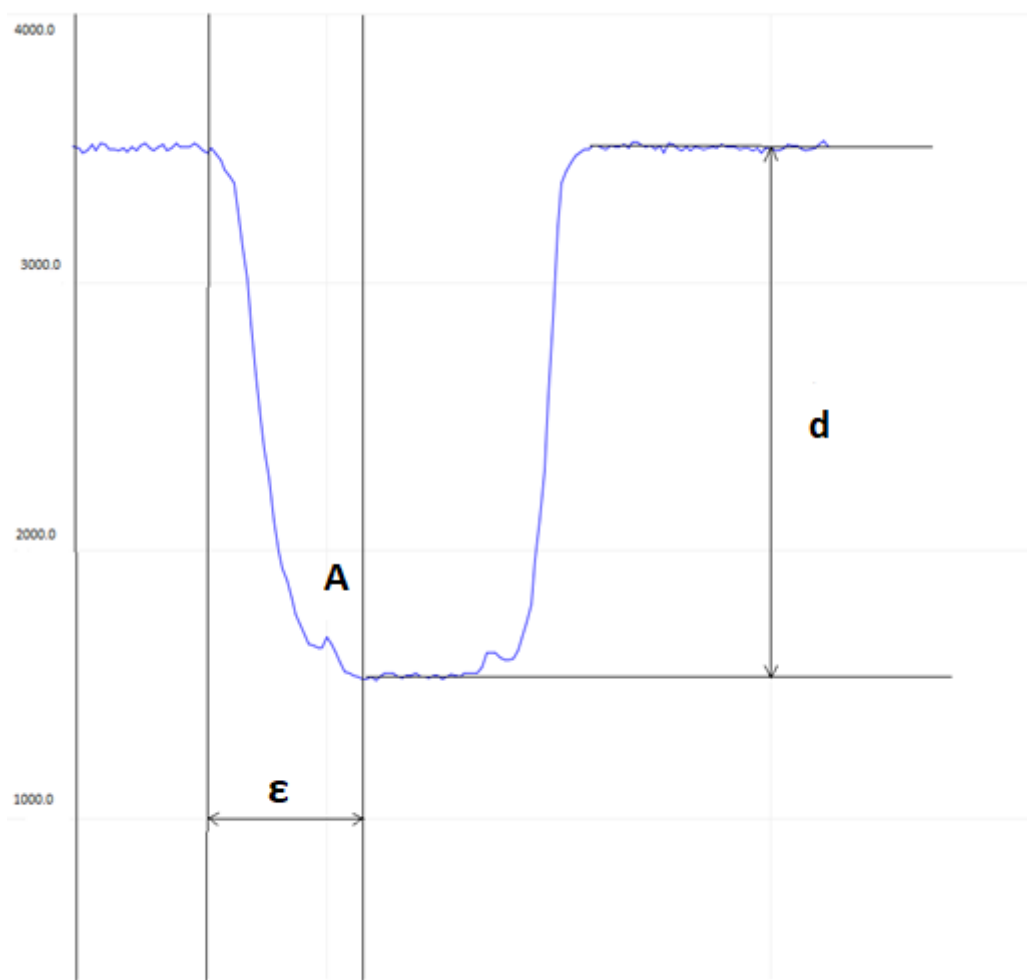
## 3.2 LIDAR

### 3.2.1 Prvý test – zorné pole

Pri testovaní uvedeného snímača GY-53 dochádzalo k nežiaducemu efektu, kedy uvedené hodnoty neodpovedali skutočnej vzdialenosti. Bolo teda potrebné otestovať, či snímač zaznamenáva len objekt pred sebou alebo isté okolie s určitými rozmermi.

Na testovanie snímača z tohto hľadiska bol vytvorený jednoduchý experiment. Snímač treba umiestniť do stabilnej polohy a musí sa zaistiť, aby sa počas merania nehýbal. Pred snímač umiestnime statické tienidlo, ktoré bude slúžiť ako nulová vzdialenosť. Kolmo k ose trajektórie laserových lúčov bude pomaly prisúvaná prekážka v predurčenej vzdialenosti. Od bodu, kde začne prekážka zasahovať do trajektórie lúčov až do dosiahnutia hodnoty polohy prekážky budeme prekážkou posúvať konštantnou rýchlosťou, nech sa vyhneme nežiadúcim prechodovým premenným javom.

Z nasledujúceho grafu je možné odpovedať na otázku, či snímač zaznamenáva najbližší objekt alebo počíta priemernú hodnotu zo zaznamenaného prostredia. Keby snímač zaznamenával najbližšiu hodnotu, tak má skokový priebeh a pri tomto konkrétnom experimente by zaznamenal dve hodnoty. Prvou by bola hodnota polohy tienidla a druhou hodnota polohy prekážky, ktorú by snímač odoslal používateľovi v momente, čo by prekážka vošla do zorného poľa snímača. Z grafu vidíme, že priebeh nie je skokový, ale približne lineárneho charakteru. To znamená, že priemerná hodnota sa mení približne lineárne v závislosti od rýchlosti pohybu prekážky cez zorné pole snímača.

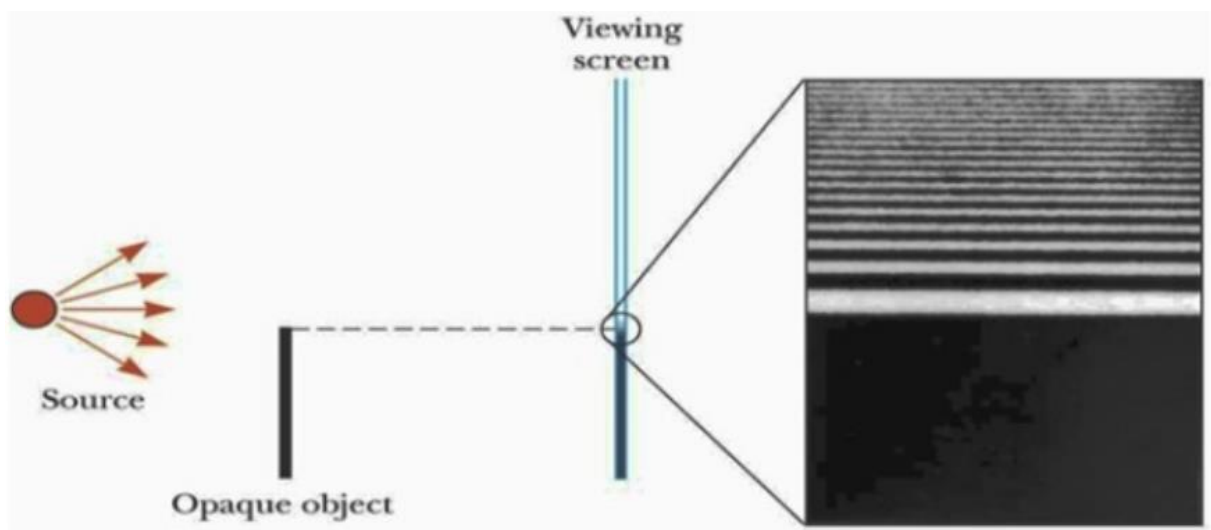


Obr. 3.2.5 Prekrývanie trajektórie laserových lúčov prekážkou

Na obrázku vidieť graf nameraných hodnôt pri prekrývaní trajektórie lúčov prekážkou. Zvislá osa reprezentuje nameranú vzdialenosť. Snímač uvádza vzdialenosť v desatinách milimetra. Vodorovná osa reprezentuje počet impulzov. Snímač bol umiestnený do stabilnej polohy, počiatočná vzdialenosť bola nastavená na 35 cm a prekážka pretínala trajektóriu lúčov vo vzdialenosti  $d = 20$  cm od počiatočnej polohy. Prekážka prešla od bodu, kde začala pretínať trajektóriu lúčov až po bod, kde sa hodnota ustálila na polohe prekážky vzdialenosť  $\varepsilon$ , ktorá v tomto konkrétnom prípade dosiahla hodnotu  $\varepsilon = 10$  cm.

V grafe bol vyznačený bod A, ktorý by sa dal označiť ako bod zvratu. V tomto bode je vidieť náznak nárastu hodnoty a následným pokračovaním v klesaní podobne ako do tohto bodu. Tento jav by sa dal vysvetliť pomocou známeho fyzikálneho javu –

difrakcia svetla. „Difrakcia svetla nastáva, keď svetelné vlny dopadajú na veľmi úzku štrbinu alebo okraj objektov, na ktoré svetlo dopadá.“<sup>2</sup> [22, 23]



Obr. 3.2.6 Difrakcia na okraji prekážky [22]

Na okraji sa svetelné lúče ohýbajú a vytvárajú na tienidle pružky, kde biele pruhy reprezentujú miesta kde dopadla svetelná vlna a tmavé pruhy reprezentujú miesta kde vlna nedopadla. Pomocou tohto javu by sa dalo aj vysvetliť prechod z lineárnej zmeny hodnoty polohy na exponenciálnu (pravdepodobne druhého rádu). Táto zmena približne nastáva v polovici prekrytia trajektórie lúčov, teda v mieste kde sa nachádza os emitorového kužela. [22, 23].

Z tohto merania je tiež možné vypočítať a overiť veľkosť vrcholového uhla emitorového kužela. Zo vzťahu

$$\tan \frac{\theta}{2} = \frac{\frac{\varepsilon}{2}}{n-d} = \frac{5}{35-20} = \frac{1}{3}$$

kde  $n = 35$  cm je nulová poloha tienidla, vyjadríme uhol  $\theta$ .

$$\theta = 2 \cdot \arctan \left( \frac{\frac{\varepsilon}{2}}{n-d} \right) = 2 \cdot \arctan \left( \frac{1}{3} \right) = 36^{\circ}52'11,63''$$

Od teoretického uhla  $35^{\circ}$  sa vypočítaná hodnota z experimentu líši o približne 5%, čo spadá to priemernej teoretickej odchýlky  $\pm 5\%$ .

<sup>2</sup> BURCHELL, Bernard. Alternative Physics [online]. 2016, [cit. 2018-15-05]. Dostupné z <<http://www.alternativephysics.org/book/Diffraction.htm>

### 3.2.2 Druhý test - presnosť

Jedným z najdôležitejších faktorov, ktorý rozhoduje o výbere vhodného snímača je jeho presnosť a ako veľmi sa líši od skutočnej hodnoty. Hodnoty odchýlky v datasheet sú závislé na vzdialenosti, vlastnosti odrážať svetlo a rýchlosti snímania. Odrazivosť (schopnosť odrážať elektromagnetické žiarenie) je vyjadrená nasledovným vzťahom:

$$R = \frac{L^r}{L^i} \cdot 100$$

kde  $R$  vyjadruje mieru odrazivosti v percentách,  $L^r$  vyjadruje množstvo žiarenia odrazeného od povrchu a  $L^i$  vyjadruje množstvo žiarenia dopadnutého na povrchu. [24]

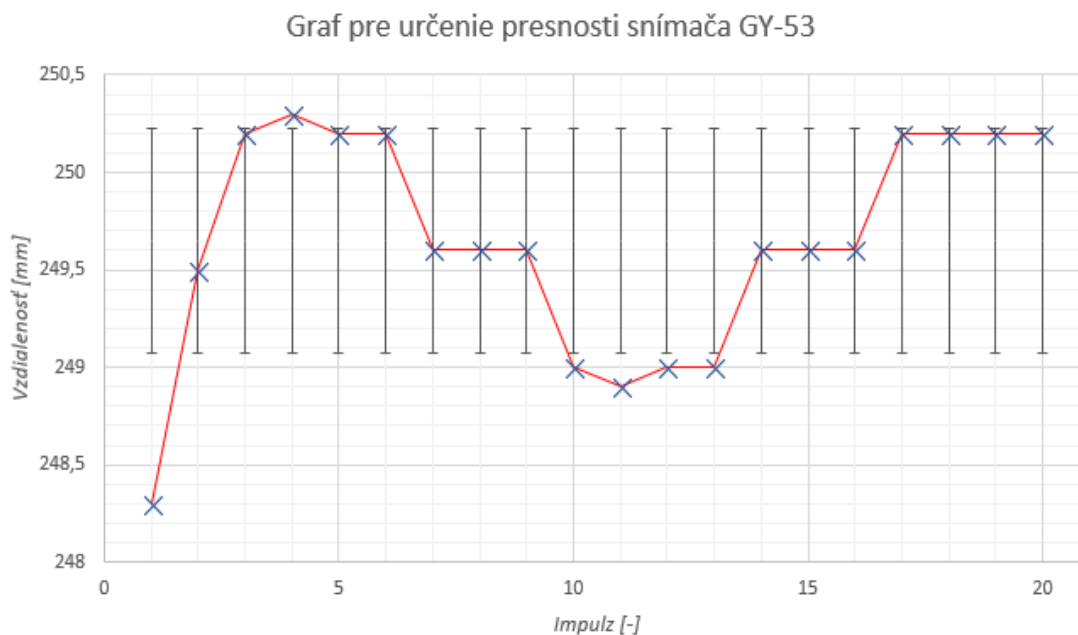
Target reflectance level (full FOV)	Indoor (no infrared)			Outdoor		
	Distance	33 ms	66 ms	Distance	33 ms	66 ms
White Target (88%)	At 120 cm	4 %	3 %	At 60 cm	7 %	6 %
Grey Target (17%)	At 70 cm	7 %	6%	at 40 cm	12 %	9 %

Obr. 3.2.7 Hodnoty odchýlky z datasheetu [15]

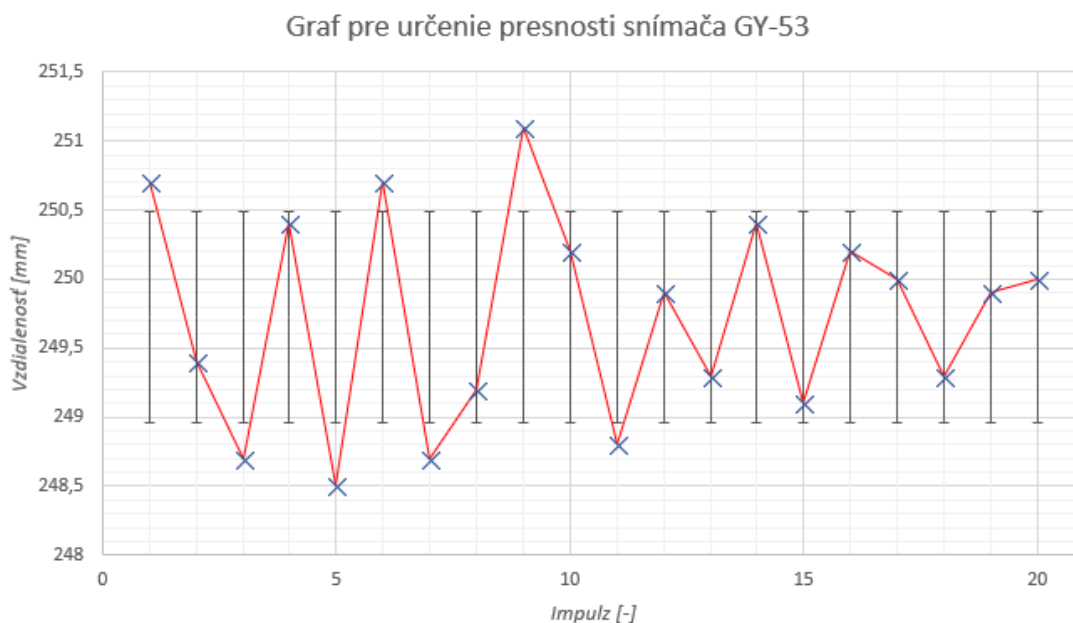
Pre vytvorenie tabuľky z datasheetu boli použité dva materiály, jeden biely s odrazivosťou 88 % a druhý šedý s odrazivosťou 17 %. V našom prípade nemáme prostriedky pre zmeranie dopadnutého a vyžiareného žiarenia, teda prostriedky pre spočítanie odrazivosti povrchov použitých objektov. [4]

Rýchlosť snímania tohto snímača je pomerne rýchla na naše využitie. Pri rýchlom snímaní sa do hodnôt zachytávajú väčšie nepresnosti ako pri nižšej rýchlosti. Snímač s istou frekvenciou sníma prostredie a následne posiela informácie do ďalších zariadení. Pri nastavenej rýchlosti 9600 baud prenáša 9600 bitov za sekundu. Pri prednastavenej rýchlosti snímania a rýchlosti prenosu informácií 9600 baud je snímanie dynamickejšie, hodnoty sa nemenia s výrazným skokom a odchýlka od priemernej hodnoty je menšia. Avšak na druhej strane chyba okolia je veľmi výrazná, preto pri väčšine meraní bol pridaný jednoduchý filter náhodných skokových hodnôt. Ide o filter v programe nahratom v Arduine, v ktorom sa z 5 hodnôt vypočíta priemer a pošle užívateľovi práve hodnotu tohto priemeru. Snímanie aj s takouto úpravou je dostatočne rýchle na zaznamenanie pohybov pacienta a na relevantné vyhodnocovanie hodnôt zo snímača [15, 25].

Pre ukážku je následne uvedený rozdiel priebehu dvadsiatich hodnôt a odchýlok od priemeru týchto hodnôt v grafoch. Vzdialenosť je pri oboch nastavená na približne 250 mm.



Obr. 3.2.8 Graf priebehu hodnôt bez filtra náhodných skokov



Obr. 3.2.9 Graf priebehu hodnôt po pridaní filtra náhodných skokov

Z uvedených grafov sa potvrdzuje zmena dynamiky snímača. Keďže u experimentu sa dbalo na odstránenie okolitých vplyvov, ktoré by mohli rušiť snímanie senzoru, tak v prípade, kedy filter nebol použitý, snímač namerlal presnejšie hodnoty s menšou smerodajnou odchýlkou  $s = 0,558$  mm ako v prípade keď bol pridaný filter, kde odchýlka  $s = 0,74$  mm. Pri meraní však v prípade bez použitia filtra bolo uvedených 20 hodnôt nameraných päťkrát rýchlejšie a teda priebeh sa veľmi nelíši.

Pre určenie odchýlky nameranej hodnoty od skutočnej bolo nameraných 50 hodnôt vo vzdialenosti 250 mm a skutočná vzdialenosť bola zmeraná dvomi klasickými rolovacími metrami. Po nameraní 50 hodnôt sa vypočítal priemer, ktorý odpovedá  $d = 253,288$  mm so smerodajnou odchýlkou  $s = 0,583$  mm. Odchýlka od reálne nameranej vzdialenosti je

$$\Delta = \frac{253,288 - 250}{250} \cdot 100 = \frac{3,288}{250} \cdot 100 = 1,315 \%$$

V tomto prípade sa nameraná vzdialenosť líši od skutočnej o 3,288 mm, čo by pri použití tohto snímača vo výslednom zariadení pre snímanie zmeny polohy pacienta nehralo žiadnu významnú úlohu. Avšak v praxi by nastávali nežiadúce javy, kedy by sa do merania zahŕňali rôzne nepresnosti. Aby sa im predišlo, museli by sa vykonať mnohé opatrenia a aj potom by mohli prísť také, s ktorými sa pri návrhu zariadenia nepočítalo.

### 3.2.3 Návrh uloženia snímača

Hlavný spôsob ako predísť nežiadúcim vplyvom z okolia ako sú vibrácie či rázy z ortézy súvisí s uložením snímača. V prvom rade je potrebné snímač uložiť do blízkosti ortézy, ak nie priamo spojiť s ňou. Ak bude snímač spojený s ortézou, tak vplyvy pohybu ortézy ako rázy alebo vibrácie budú prechádzať k snímaču, ktorý bol testovaný za ideálnych podmienok, kedy nehybne ležal na stole. Tieto rázy a vibrácie prechádzajú aj do stola, na ktorom je táto ortéza prichytená, takže by sa problém úplne nevyriešil tým, že sa snímač uchytí o stôl namiesto ortézy. Tento problém je možné vyriešiť testovaním tohto snímača priamo s ortézou v pohybe a prispôbiť posudzovanie procesoru na zmenu polohy alebo je možné vytvoriť uloženie nákladnejšie z pevnejších materiálov s pridaním tlmičov vibrácií.

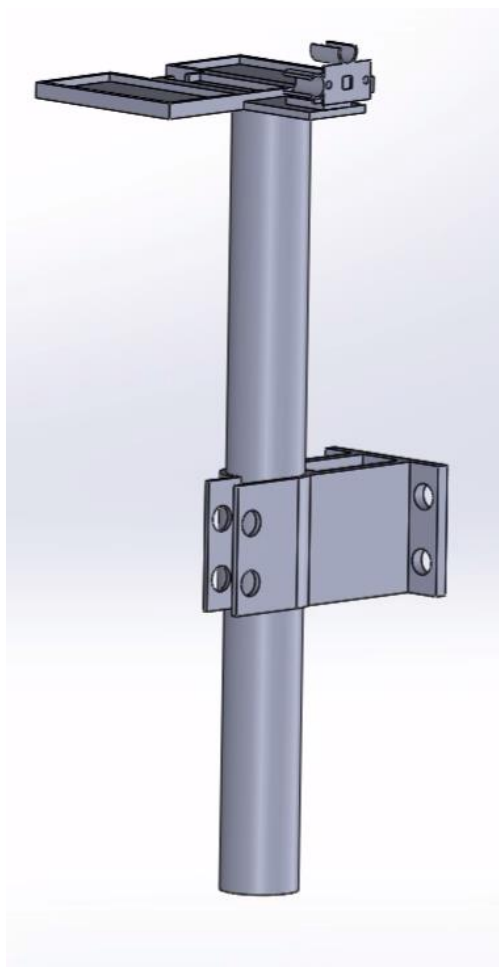
Pri návrhu uloženia je potrebné brať do úvahy aj ktorú časť tela pacienta bude snímač snímať. Ak má snímač zaznamenať zmenu polohy, je potrebné, aby miesto na pacientovi reprezentovalo najväčšiu zmenu polohy z celého tela. Uvažuje sa, že pacient má napríklad pravú ruku fixovanú v ortéze a tá je fixovaná k stolu. Z toho vyplýva, že pravou stranou tela bude pohybovať komplikovanejšie ako ľavou. Teda snímač uložíme tak, aby snímala opačnú polovicu tela ako tú, ktorú má fixovanú k ortéze. Vďaka stavbe ľudského tela je v hornej polovici tela miesto, ktoré reprezentuje zmenu pohybu najlepšie práve rameno a jeho okolie. Keďže pacienti prichádzajú na rehabilitáciu s rôzne zranenými rukami a hlavne nie vždy s pravou, tak je potrebné vytvoriť obojstranné uchytenie a dostatočne pevné, aby sa zabránilo čo najväčšiemu priechodu rušivých vplyvov z ortézy.

Ako doplnok tohto snímača boli zakúpené laserové diódy. Tieto lasere budú použité pri nastavovaní umiestnenia snímača, aby dozerajúci personál pri cvičeniach s pacientom vedel, kam je snímač namierený. Každý z týchto laserov je napájaný 3 V batériou. Keďže 3 V batérie nie sú až tak často používané a bolo by potrebné vytvoriť

uloženie tejto batérie, tak sa vybral už vyrábaný produkt, ktorý obsahuje uloženie dvoch 1,5 V batérií v sérii, čo odpovedá rovnakej dodávanej elektrickej energii ako 3 V batéria.

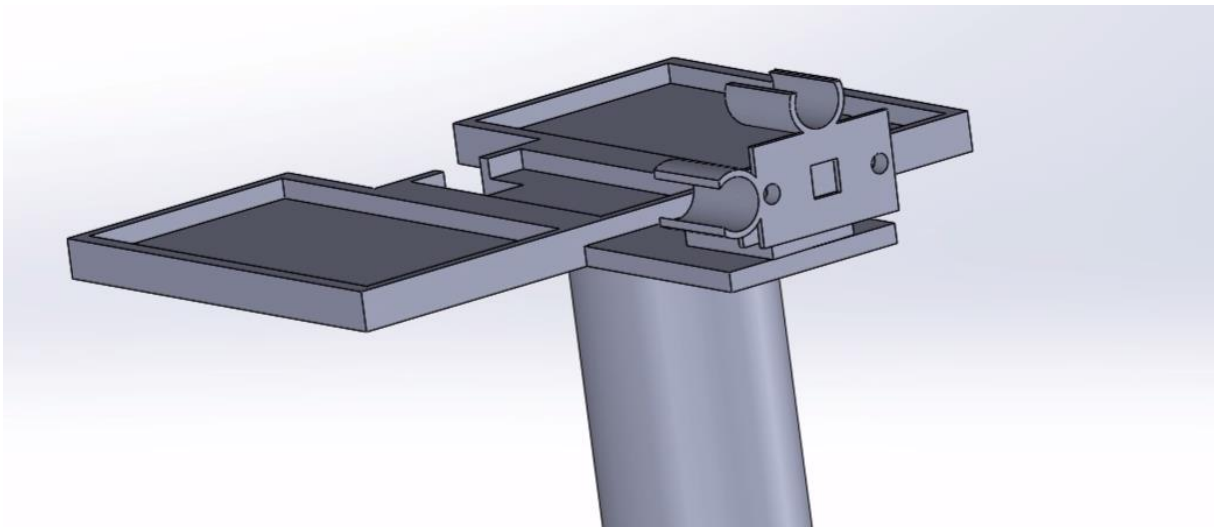
V poslednom rade je potrebné zohľadniť fakt, že všetky súčiastky musia byť napájané. To znamená, že pri tvorbe uloženia je potrebné prihliadnuť aj na to, aby Arduino, ktoré je napájané pomocou USB konektoru bolo primerane blízko počítača alebo iného zdroja elektrickej energie s USB konektorom. Laserové diódy majú vlastné napájanie, ale treba prihliadnuť na to, aby ich zdroje energie, teda dve krabičky s rozmermi 69 x 34 x 20 mm mali vyhradené miesto dostatočne blízko pri snímači, na ktorý budú tieto dve diódy pripevnené.

Uloženie snímača bolo navrhnuté nasledujúcim spôsobom:



*Obr. 3.2.10 Uloženie snímača*

Celý držiak je uchytený pomocou 4 skrutiek M10 priskrutkovaných k objímke a k lakt'ovej ortéze. Objímka dvomi skrutkami drží výškovo nastaviteľnú plošinku, ku ktorej je následne priskrutkovaný samotný snímač s potrebnými uloženíami pre Arduino a zdroje pre laserové diódy. Snímač je uložený medzi dvomi ochrannými krytmi, ktoré zabraňujú poškodeniu snímača a tieto kryty sú so snímačom zoskrutkované skrutkami M3. Na prednom kryte snímača sú vytvorené uloženia pre dve laserové diódy.



*Obr. 3.11 Detail hlavy uloženia snímača*

Z dostupných internetových cenníkov 3D tlače sme približne vypočítali náklady na výrobu takéhoto držiaka pre laserový snímač. Pri objeme  $300 \text{ cm}^3$ , pri strednej výške vrstvy  $a = 0,19 \text{ mm}$ , pri cene materiálu Z-ABS  $0,1 \text{ € / g}$ , pri cene  $4 \text{ € / hod.}$  tlačenia bude výsledná cena zariadenia približne  $120 \text{ €}$ , asi  $3080 \text{ Kč}$ . Keďže škola VUT vlastní 3D tlačiarne, tak by sa cena pri ich použití výrazne znížila, a to na približne  $25 \text{ €}$ , čo je asi  $650 \text{ Kč}$ . Rozdiel tvoria náklady na prenajatie 3D tlačiarne poskytovateľom 3D tlačí [28].

## 4. Záver

Cieľom tejto práce bolo oboznámiť sa s možnosťami ako zaznamenať nežiaducu zmenu polohy rehabilitujúcich pacientov. V súčasnosti je veľa pohybových senzorov, ktoré zaznamenávajú pohyb, gestikulácie, zvuky a iné dynamické javy. Pre naše testovanie boli použité dve zariadenia, a to Kinect a laserový snímač s tzv. LIDAR senzorom.

Ako prvý spôsob detekcie zmeny polohy bolo predstavené zariadenie Kinect. Dokáže rozpoznať a sledovať pohyb. Obsahuje RGB kameru, depth sensor, senzor, ktorý sníma vzdialenosť objektov a multikanálový mikrofón. Pomocou štyroch mikrofónov vie kvalitne zaznamenávať zvuk a odstrániť ozvenu a šum. Depth sensor Kinectu je dobrý nástroj na zaznamenávanie polohy v prípadoch, keď nie je treba merať s presnosťou na milimetre. V tomto prípade by Kinect nemusel merať s takou presnosťou a bol by dobrým kandidátom na využitie v našom prípade. Avšak v experimentoch s ním nastali problémy, ktoré sa nedali prehliadnuť.

V prvom teste bol vytvorený program pre Kinect v programe Processing 3 v jazyku Java. Program umožnil bez problémov prístup k všetkým funkciám Kinectu. Kinect bol testovaný takým spôsobom, že všetky dáta sa ukladali a až následne spracovávali. Tento spôsob sa ukázal byť problematický. Pri ukladaní veľkého množstva dát po taký dlhý čas postupne výrazne klesla úroveň kvality a presnosti zaznamenávania prostredia. Bolo by možné vytvoriť aplikáciu, ktorá priamo zaznamenáva aj spracováva dáta v reálnom čase.

Táto práca mala rešeršný charakter, preto sme testovanie Kinectu zamerali len na presnosť. Zaznamenali sme 20 sekundové video, na ktorom bola nehybne umiestnená postava reprezentujúca pacienta. Na získanom videu sa fixne nastavili merané oblasti, z ktorých sa vypočítal medián a odchýlky. Presnosť Kinectu sa ukázala ako nie veľmi vysoká. Minimálna a maximálna hodnota vzdialenosti z vybranej oblasti nebola v pásme ohraničenom odchýlkou okolo mediánu, preto sa nedá použiť na veľmi presné merania vzdialenosti. Kinect je pomerne drahé zariadenie, najlacnejšie je možné Kinect v2 zakúpiť za 105 € (približne 2700 Kč). Z toho dôvodu sa pozornosť upriamila na druhý typ zariadení.

Druhým typom zariadení pre testovanie sme použili laserové snímače vzdialenosti, ktoré je možné zakúpiť približne za 10 €, čo je asi 255 Kč. V experimente kde sa testovala presnosť tohto snímača, je vidieť, že presnosť je dostačujúca na použitie v navrhnutom zariadení pre snímanie zmeny polohy rehabilitujúcej osoby. Nameraná vzdialenosť sa líšila približne o 1,5 % od skutočnej vzdialenosti. Nevýhodou tohto snímača je však jeho zorné pole, ktoré sme v merali prvom experimente. Rozptylový uhol snímača je až približne 35 °. Pri použití tohto snímača v praxi je preto potrebné zvážiť jeho umiestnenie, ktoré bolo naznačené v kapitole 3.2.3.

Celkové náklady na navrhnuté zariadenie s použitím laserového snímača boli približne 20 €, čo odpovedá asi 500 Kč. K tejto cene je potrebné ešte prirátat' náklady na výrobu uloženia snímača s príslušnou elektronikou. Ak by bol snímač uložený ako bolo

navrhnuté v tejto práci a pri využití dostupných 3D tlačiarní na VUT, celkové náklady na zariadenie s využitím laserového snímača budú približne 25 € , teda asi 650 Kč.

Pri porovnaní Kinectu a použitého laserového snímača by bolo vhodnejšie využitie práve laserového snímača. V prvom rade s ním boli dosiahnuté lepšie výsledky v testoch presnosti. Tiež je menší, finančne dostupnejší a nie je tak náročný na výpočtovú techniku ako Kinect.

## Zoznam použitých zdrojov:

- [1] *Wikipedia* [online]. 14.5.2018 [cit. 2018-12-5].  
Dostupné z: <<https://en.wikipedia.org/wiki/Kinect#Technology>>
- [2] *Computable minds* [online]. 26.11.2015 [cit. 2018-12-5]. Dostupné z:  
<<http://www.computableminds.com/post/Kinect/multiarray/microphone/how-works/xbox-360>>
- [3] *Microsoft* [online]. [cit. 2018-12-5]  
Dostupné z: <<https://msdn.microsoft.com/en-us/library/jj131033.aspx>>
- [4] STOTT, Lee. *Microsoft* [online]. 17.10.2013 [cit. 2018-12-5]. Dostupné z:  
<[https://blogs.msdn.microsoft.com/uk\\_faculty\\_connection/2013/10/17/kinect-and-audio-how-does-the-kinect-mic-and-audio-array-work](https://blogs.msdn.microsoft.com/uk_faculty_connection/2013/10/17/kinect-and-audio-how-does-the-kinect-mic-and-audio-array-work)>
- [5] McWILLIAMS, Andrew. *Jahya* [online]. 6.8.2013 [cit. 2018-12-5]  
Dostupné z: <<https://jahya.net/blog/how-depth-sensor-works-in-5-minutes/>>
- [6] LANDAU, Michael, CHOO, Benjamin, BEILING, Peter, *IEEE* [online]. 12.12.2016,  
[cit. 2018-12-5]. Dostupné z:  
<<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=7328728>>
- [7] BENEDICT, Tom, *Hiveminer* [online]. [cit. 2018-12-5]  
Dostupné z: <<https://hiveminer.com/Tags/infrared%2CKinect>>
- [8] *Microsoft* [online]. [cit. 2018-12-5]  
Dostupné z: <<https://msdn.microsoft.com/en-us/library/jj131033.aspx>>
- [9] *Microsoft* [online]. 2012, [cit. 2018-12-5].  
Dostupné z: <<https://msdn.microsoft.com/en-us/library/hh438998.aspx>>
- [10] *Polytechnická Katalánska univerzita, Barcelona* [online]. [cit. 2018-12-5].  
Dostupné z: <<http://www.cs.upc.edu/~virtual/RVA/CourseSlides/Kinect.pdf>>
- [11] SZYMCZYK, Matthew. *Zugara* [online]. 2012, 9.12.2014 [cit. 2018-12-5].  
Dostupné z: <<http://zugara.com/how-does-the-kinect-2-compare-to-the-kinect-1>>
- [12] *Archer-soft* [online]. 2017, 20.4.2017 [cit. 2018-12-5].  
Dostupné z: <<http://www.archer-soft.com/en/blog/lidar-vs-radar-comparison-which-system-better-automotive>>
- [13] *Wikipedia* [online]. 14.5.2018 [cit. 2018-12-5].  
Dostupné z: <<https://en.wikipedia.org/wiki/Lidar>>
- [14] *Antiradar* [online]. [cit. 2018-12-5]. Dostupné z:  
<[http://www.antiradar.eu/index.php?page=forum&podmenu\\_id=14&podmenu=14](http://www.antiradar.eu/index.php?page=forum&podmenu_id=14&podmenu=14)>
- [15] *ST* [online]. 30.5.2016, 9.4.2018 [cit. 2018-12-5].  
Dostupné z: <<http://www.st.com/resource/en/datasheet/vl53l0x.pdf>>
- [16] *Wikipedia* [online]. 29.3.2018 [cit. 2018-12-5].  
Dostupné z: <[https://en.wikipedia.org/wiki/Vertical-cavity\\_surface-emitting\\_laser](https://en.wikipedia.org/wiki/Vertical-cavity_surface-emitting_laser)>

- [17] KANBARA, Nobuhiko, NODA, Ryuuitirou, YANO, Tetsuo, SAITO, Hiroki, FUJIMURA, Naoyuki, NISHIYAMA, Nobuhiko. *YOKOGAWA* [online]. 2009 [cit. 2018-12-5].  
Dostupné z: <<https://www.yokogawa.com/eu/library/resources/yokogawa-technical-reports/high-speed-micromechanically-tunable-surface-emitting-laser-with-si-mems-technology>>
- [18] *Webstore IEC* [online]. 15.5.2014 [cit. 2018-12-5].  
Dostupné z: <<https://webstore.iec.ch/publication/3587>>
- [19] *eBay* [online]. 17.4.2018 [cit. 12.5.2018].  
Dostupné z: <<https://www.ebay.com/itm/VL53L0X-ToF-Laser-Distance-Measuring-Range-Sensor-Module-PWM-Output/391907038038?epid=20007240503&hash=item5b3f7ad356:g:5QsAAOSwe2FZ3Nu>>
- [20] *Deal extreme* [online]. [cit. 12.5.2018].  
Dostupné z: <<http://www.dx.com/p/cjmcu-vl53l0x-tof-laser-distance-measuring-sensor-module-purple-449081#.WtoR04huaUk>>
- [21] *Wikipedia* [online]. 7.2.2018 [cit. 12.5.2018].  
Dostupné z: <<https://sk.wikipedia.org/wiki/Arduino>>
- [22] *Slideshare* [online]. 13.5.2013 [cit. 12.5.2018].  
Dostupné z: <[https://www.slideshare.net/kumar\\_vic/ibm-o-g-diffractionu-2](https://www.slideshare.net/kumar_vic/ibm-o-g-diffractionu-2)>
- [23] BURCHELL, Bernard. *Alternative Physics* [online]. 2016. [cit. 2018-15-05].  
Dostupné z <<http://www.alternativephysics.org/book/Diffraction.htm>>
- [24] *Wikipedia* [online]. 12.4.2018 [cit. 12.5.2018].  
Dostupné z: <<https://en.wikipedia.org/wiki/Reflectance>>
- [25] *Sparkfun* [online]. [cit. 13.5.2018]. Dostupné z:  
<<https://learn.sparkfun.com/tutorials/serial-communication/rules-of-serial>>
- [26] RIPEL, T. *Návrh a realizace aktivní loketní ortézy*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 83 s. Vedoucí dizertační práce doc. Ing. Jiří Krejsa, Ph.D
- [27] LENGELING, Thomas. *Github* [online]. 13.5.2016 [cit. 2018-20-4].  
Dostupné z: <<https://github.com/ThomasLengeling/KinectPV2>>
- [28] *Go3D* [online]. [cit. 2018-22-5]. Dostupné z: <<http://www.go3d.sk/cena/>>