



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ
Katedra biomedicínské techniky

**Modifikace resuscitační figuríny pro nácvik
mediků: rozšíření palpačních míst**

**Modification of resuscitation figurine for doctors
training: Expansion of palpation sites**

Bakalářská práce

Studijní program: Biomedicínská a klinická technika

Studijní obor: Biomedicínský technik

Autor bakalářské práce: Jan Svoboda

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Leoš Tejkl

Kladno 2019

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Svoboda** Jméno: **Jan** Osobní číslo: **465486**
Fakulta: **Fakulta biomedicínského inženýrství**
Garantující katedra: **Katedra biomedicínské techniky**
Studijní program: **Biomedicínská a klinická technika**
Studijní obor: **Biomedicínský technik**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Modifikace resuscitační figuríny pro nácvik mediků: rozšíření palpačních míst

Název bakalářské práce anglicky:

Modification of resuscitation figurine for doctors training: Expansion of palpation sites

Pokyny pro vypracování:

Analýzujte funkce a vnitřní obvody pro ovládání palpačního místa patientského simulátoru pro nácvik studentů medicíny SimMan Resusc Anne (Laerdal, Norsko). Vyberte vhodný aktuátor, který lze připojit ke stávajícímu řízení palpačního místa a který umožní fyziologické a také patologické projevy pulsace v oblasti standardně vyšetřovaných palpačních míst. Realizujte a otestujte navržený systém rozšířených palpačních míst na figuríně.

Seznam doporučené literatury:

- [1] Silbernagl, S., Despopoulos, A., Atlas fyziologie člověka, ed. 6, Grada Publishing, 2004, 448 s., ISBN 978-80-247-0630-6
- [2] Walter Boron, Emile L. Boulpaep, Textbook of Medical Physiology, ed. 2nd, Elsevier, 2009, ISBN 978-1-4160-3115-4
- [3] John G. Webster, Encyclopedia of Medical Devices and Instrumentation, ed. 6, Wiley, 2006, ISBN 978-0-471-26358-6

Jméno a příjmení vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Leoš Tejkl

Jméno a příjmení konzultanta(ky) bakalářské práce:

Ing. Petr Kudrna, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: **18.02.2019**

Platnost zadání bakalářské práce: **20.09.2020**



prof. Ing. Peter Kneppo, DrSc.
podpis vedoucí(ho) katedry



prof. MUDr. Ivan Dylevský, DrSc.
podpis děkana(ry)

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci s názvem „Modifikace resuscitační figuríny pro nácvik mediků: rozšíření palpačních míst“ vypracoval samostatně a použil k tomu úplný výčet citací použitých pramenů, které uvádím v seznamu přiloženém k závěrečné práci.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu §60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Kladně 12. 8. 2019

.....

Jméno autora vč. titulů

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval mému vedoucímu Ing. Leoši Tejklovi za rady, doporučení a pomoc v průběhu tvorby této bakalářské práce.

ABSTRAKT

Modifikace resuscitační figuríny pro nácvik mediků: rozšíření palpačních míst

Tato práce se zabývá popisem palpačních míst na lidském těle a jejich účelech při vyšetřování stavů pacientů. Dále je v ní popsáno řešení v simulátoru SimMan Resusci Anne od společnosti Laerdal. Na základě fyziologických parametrů tepu a technických řešení ve figuríně byl vybrán nejvhodnější způsob rozšíření jejích palpačních míst. K tomuto účelu byl zvolen lineární elektromotor a z komerčně dostupných byl vybrán ten nejvhodnější. Tímto aktuátorem je Open Frame Solenoid. Pro tento aktuátor je navrženo zapojení do patientského simulátoru, sestaven napájecí obvod a vytvořen kryt. Napájecí obvod je spolu s aktuátorem umístěn do patientského simulátoru, kde je ověřena jejich funkčnost

Klíčová slova

Palpační vyšetření, patientský simulátor, aktuátor

ABSTRACT

Modification of resuscitation figurine for doctors training: Expansion of palpation sites

This study describes the characteristics of palpation points on human body and their uses in examination of patients' condition. Furthermore there is a description of the solution on patient simulator SimMan Resusci Anne from the company Laerdal. On the basis of physiological characteristics and technical solutions in the figurine the most suitable option for increasing the number of palpation points on the figurine has been chosen. For this purpose was chosen the most suitable commercially available linear electromotor. This actuator is Open frame solenoid. Furthermore there is a design for implementation into the figurine, a created source circuit and a printed case for the actuator. The circuit and the actuator were put into the figurine and their function has been tested.

Keywords

Palpation examination, patient simulator, actuator

Obsah

1	Úvod	9
2	Přehled současného stavu	10
2.1	Důležité teoretické znalosti a významné součástky	10
2.2	Fyzikální vyšetření	10
2.3	Pohmatové vyšetření	10
2.4	Palpační místa a vznik tepu	11
2.5	Popis figuríny.....	12
2.6	Aktuátory	15
2.7	Lineární elektromotor	15
2.8	Bipolární tranzistory	16
2.9	Cíle bakalářské práce.....	16
3	Metody	17
3.1	Postup tvorby zařízení pro palpaci ve figuríně	17
3.2	Význam parametrů aktuátoru.....	17
3.3	Volba aktuátoru.....	17
3.3.1	Intenzita pulsu aktuátoru	17
3.3.2	Frekvence pulsu aktuátoru.....	17
3.3.3	Rozměry aktuátoru.....	18
3.3.4	Hluk aktuátoru	18
3.3.5	Výběr typu aktuátoru.....	18
3.4	Porovnání lineárních elektromotorů.....	18
3.5	Návrh zapojení aktuátoru do figuríny.....	21
3.5.1	Základní návrh zapojení aktuátoru do figuríny	21
3.5.2	Tvorba modelu krytu aktuátoru	22
3.5.3	Spodní část krytu aktuátoru	22
3.5.4	Horní část krytu aktuátoru	23
3.6	Ovládání a napájení aktuátoru.....	24
3.6.1	Návrh ovládání aktuátoru	24
3.6.2	Návrh napájení aktuátoru	24
3.6.3	Volba tranzistoru.....	25

3.6.4	Volba stabilizátoru napětí.....	25
3.7	Schéma napájení a ovládání.....	25
4	Výsledky.....	26
4.1	Kryt aktuátoru.....	26
4.2	Napájecí obvod.....	28
4.3	Umístění ve figuríně.....	29
5	Diskuze.....	31
6	Závěr.....	35
	Seznam použité literatury	36
	Přílohy:	38

1 Úvod

Zdravotnické figuríny nebo patientské simulátory jsou moderní zařízení, která se v poslední době rozšiřují do stále většího množství vysokých škol a specializovaných výukových zařízení. Jejich využití roste z důvodu potřeby vzdělávat vysoké množství budoucích zdravotníků, kteří díky nim nemusejí navštěvovat nemocnice a sledovat či se učit na místních pacientech. Patientské simulátory umožňují kromě náhrady pacienta u běžných zdravotních komplikacích simulovat také složité a málo běžné situace, ke kterým by měl budoucí zdravotník jen velmi obtížný přístup.

Tyto simulátory jsou vytvořené tak, aby vzhledem i funkcemi napodobovali člověka, proto jsou běžně v lidské velikosti a tvoří celé tělo, i když simulují funkce například jen části. Patientské simulátory jsou schopny napodobovat funkce respirační soustavy, jako je dech, pohyb hrudníku nebo jejich absence, nebo funkce oběhové soustavy, při které je simulován pohyb srdce a proudění krve po organismu. Také je možné simulovat funkce zbylých soustav, mezi něž patří například pohyb očních víček.

Díky tomuto širokému množství situací, které jsou patientské simulátory schopny napodobit a časové flexibilitě, která umožňuje napodobit různé situace přesně v okamžik, kdy je potřeba, je po těchto zařízeních stále větší poptávka. Tato zařízení však nejsou dokonalá a nejsou schopna nahradit živého pacienta ve všech situacích a proto je potřeba tyto simulátory zdokonalovat a rozšiřovat jejich možnosti.

Tato práce se zabývá patientským simulátorem SimMan Resusci Anne od společnosti Laerdal. Tato figurína v současnosti umožňuje simulaci respirační a oběhové soustavy. Oběhová soustava je zastoupena čtyřmi palpačními místy, což ale není ani zdaleka množství, které by odpovídalo živému pacientovi. Cílem této práce je vytvořit zařízení či sestavu zařízení, která by byla schopna tato místa funkcí nahradit a tím umožnila jejich rozšíření i na další místa figuríny.

2 Přehled současného stavu

2.1 Důležité teoretické znalosti a významné součástky

Tato práce se zabývá simulací fyziologických funkcí člověka, a proto je důležité mít znalosti jak o samotných funkcích organismu, tak o vyšetřeních, která tyto funkce sledují a využívají. Dále pro samotnou simulaci těchto funkcí jsou důležité takové elektrické a mechanické součástky, které by tuto simulaci prováděly. Také jsou nezbytné součástky, které by umožnily ovládnutí a funkčnost těchto simulujících součástek. Za tímto účelem jsou dále popsány aktuátory a lineární elektromotory, které jsou vhodné k simulaci a tranzistory, které jsou vhodné k ovládnutí těchto aktuátorů.

2.2 Fyzikální vyšetření

Úlohou patientských simulátorů je simulace fyziologických funkcí při vyšetření. Jedním z nejběžnějších zdravotnických vyšetření je fyzikální vyšetření. Při něm se provádí vyšetření pohledové, kdy se vizuálně zkoumají viditelné známky zranění nebo změny stavu pacienta. Dále se provádí vyšetření poklepové, při kterém se hodnotí tkáň uložená pod povrchem těla pomocí poklepu a zvukového odrazu či reakce těla. Následuje vyšetření poslechové, při kterém se hodnotí zvukové fenomény vzniklé v důsledku činnosti orgánů, např. srdce, plic či střev. Posledním z dílčích vyšetření je pro tuto práci významné vyšetření pohmatové [1-3].

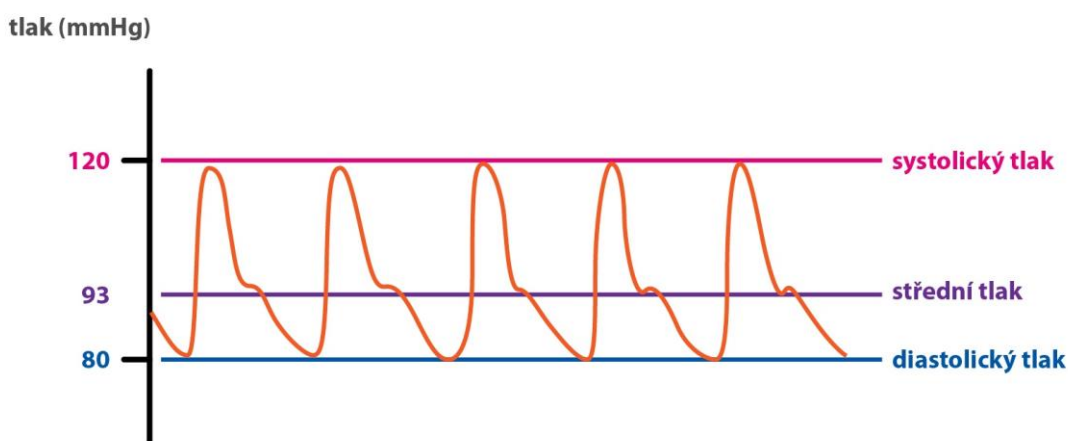
2.3 Pohmatové vyšetření

Pohmatové vyšetření je jednou z nejrychlejších a nejstarších diagnostických metod a díky její jednoduchosti a absenci přístrojů či lékařského vybavení patří také mezi nejčastější metody prvotního vyšetření. Vyšetření pacienta pohmatem se provádí obvykle ve dvou fázích. Povrchová palpace spočívá v hodnocení povrchových struktur mírným tlakem, při hluboké palpaci jsou větším tlakem hodnoceny struktury ležící hlouběji v těle pacienta [1-5].

Fyziologické jevy hodnocené při pohmatovém vyšetření jsou například teplota a vlhkost kůže, tvar, tvrdost a velikost podkožních útvarů, například orgánů nebo svalů, anebo tep či činnost srdce. Právě tep je jevem, který je potřeba simulovat a to na místě, kde je běžně hmatný. Tato místa se souhrnně označují jako palpační místa [4, 5, 7].

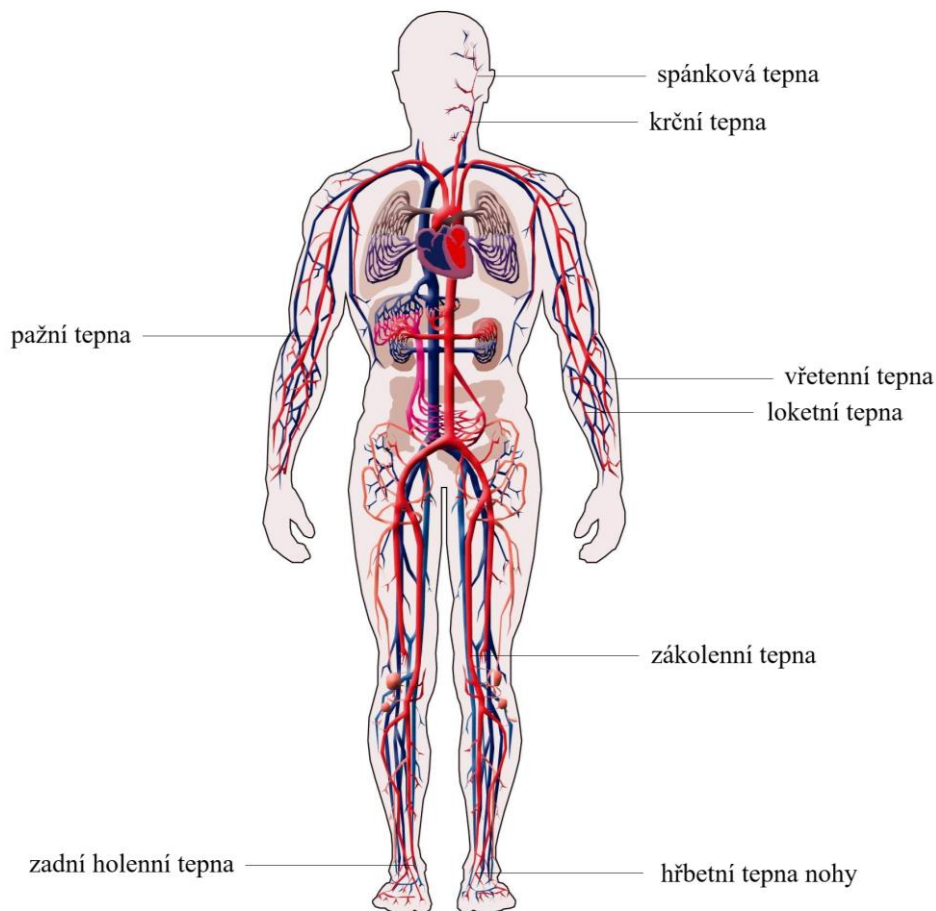
2.4 Palpační místa a vznik tepu

Palpační místa jsou takové body na těle, kde je tepna v blízkosti povrchu těla a je stlačitelná vůči pevnému podkladu, jakým je například kost. Tep sám o sobě je tvořen systolickými stahy srdce, které vyvolávají zvýšení tlaku v tepnách a tyto změny tlaku jsou vnímatelné prsty právě při stlačení tepny proti podkladu. Průběh změny tlaku v tepně při systole a diastole srdce je znázorněn na obrázku 2.1, kde je popsán systolický, diastolický a střední tlak, každá z těchto period odpovídá změně tlaku v tepně při jednom tepu. [4-8]:



Obrázek 2.1.: Tvar pulsní křivky [8]

Tep se nejčastěji vyšetřuje na zápěstí, ve kterém je uložena například vřetenní tepna, z důvodu polohy a jednoduchosti nahmatání i u oblečených osob. Dalším z palpačních míst je krk, v němž je krční tepna, která má výrazný puls a je snadno nahmatatelná. Dalšími z těchto míst jsou třísla, kde je uložena stehenní tepna, nebo zákolenní, kde je zákolenní tepna. Souhrn tepen, které je možné využít k pohmatovému měření tepu je znázorněn na obrázku 2.2, kde jsou uvedeny polohy tepny spánkové, krční, pažní, vřetenní, loketní, zákolenní (pokračování stehenní), zadní holenní a horní nožní, přičemž nejdůležitějšími jsou právě tepny na krku a na zápěstí.



Obrázek 2.2: Palpační místa [11]

2.5 Popis figuríny

Upravovaná figurína je od společnosti Laerdal, model SimMan Resusci Anne. Jedná se o simulátor pacienta v živé velikosti, který umožňuje simulace fyziologických jevů jako například tep, respiraci, nebo činnost srdce. Tato figurína také odesílá informace o činnostech na jejích senzorech instruktorovi, který pak může hodnotit činnosti mediků či lékařů. Figurína je ovládána přes speciálně vyrobený tablet Simpad a vyžaduje od instruktora nastavení parametrů jednotlivých fyziologických funkcí tak, aby vhodně simulovala potřebnou situaci. Fotografie patientského simulátoru je vidět na obrázku 2.3 [9].



Obrázek 2.3: Figurína SimMan Resusci Anne [9]

Tato figurína má čtyři palpační místa. Jedno z nich je na levé krkavici, druhé na pravé krkavici, třetí na pravém zápěstí a čtvrté na pravém lokti. Toto množství však neodpovídá realitě, kde je těchto míst více, například na druhém zápěstí, lokti, v tříslech, anebo pod kolenem. [9].

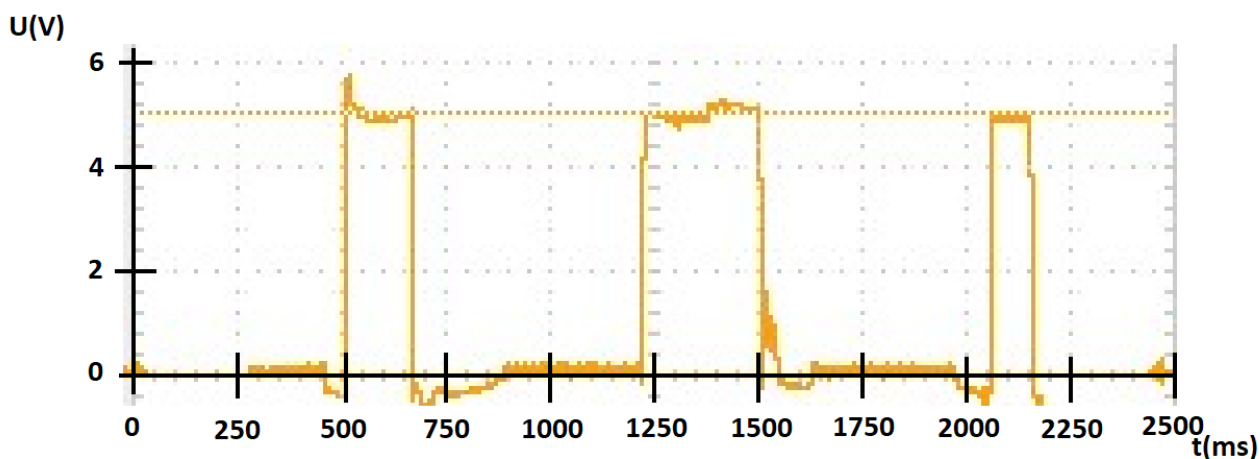
Princip palpce ve figuríně vychází z patentu společnosti Laerdal a spočívá v zapojení lineárního elektromagnetického aktuátoru na dané místo. Tento patent se jmenuje: *A pulse device for creating a simulated feelable heart's pulse to train feeling and recognition of pulse* [10].

Podoba tohoto zařízení je vidět na obrázku 2.4.



Obrázek 2.4: Aktuátor z figuríny SimMan Resusci Anne [10]

Toto zařízení je tvořeno magnety a cívkami a při průchodu proudem se vrchní část odpuzuje od části spodní. Celé zařízení je překryté silikonovým obalem. Délka tohoto zařízení je zhruba 60 mm, šířka 20 mm a výška 30 mm. Pohyb zařízení je řízen stejnosměrným signálem z figuríny. Tvar tohoto řídicího signálu je vidět na obrázku 2.5. Tep je nastaven na 80 BPM.



Obrázek 2.5: Průběh řídicího signálu z figuríny

Z tohoto obrázku je patrné, že signál z figuríny má amplitudu 5 V a není aktivní po celý čas. Kladné vrcholy nastávají v okamžiku tepu při vysunutí aktuátoru a k jejich poklesu dochází, když má být aktuátor v klidu.

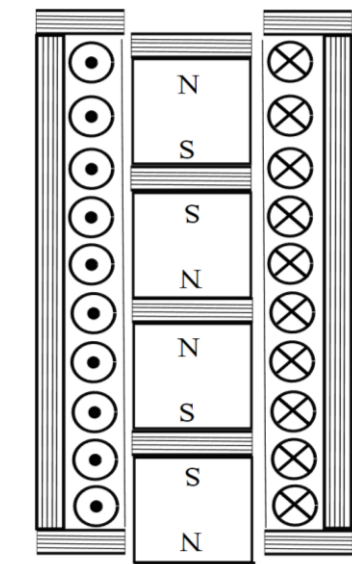
Jiní výrobci využívají například pneumatický či hydraulický systém, kdy jsou na palpační místa vedeny hadičky, které jsou následně plněny vzduchem či kapalinou, která je v pulsech tlačena a tím vyvolává pocit tepů. Jedním z takovýchto výrobců je například společnost CAE healthcare (dříve METI) a její produkt CAE iStan [19].

2.6 Aktuátory

Pro tuto práci je nutné najít vhodný aktuátor, který by nahradil činnost současného řešení. Aktuátor neboli akční člen, je elektromechanická součástka, která je určena k převodu signálu do technické podoby, například tím, že po přijetí signálu z řídicí jednotky vykoná mechanickou činnost, která způsobí posun zařízení. Aktuátory jsou v podstatě opačné součástky k sensorům, které převádějí mechanické či jiné údaje do podoby signálů a dat. Mezi aktuátory patří mnoho zařízení, například lineární elektromotory, pneumatické aktuátory a jiné součástky, jejichž účelem je provádět pohyb podle vstupního signálu [12, 13].

2.7 Lineární elektromotor

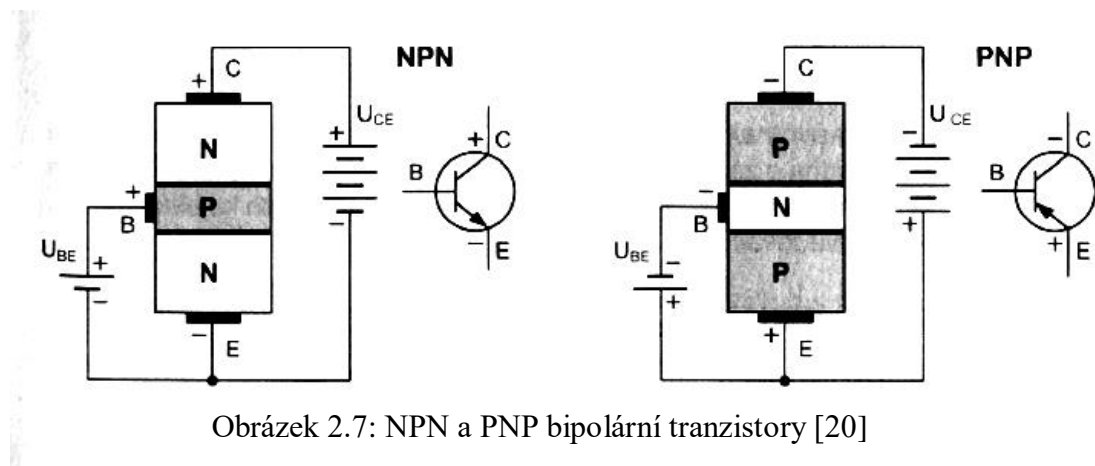
Lineární elektromotor je aktuátorem, který se nejvíce týká této práce, jelikož právě díky němu fungují současná palpační místa na figuríně. Tento elektromotor je tvořen státorem a rotorem, které jsou umístěny podélně, což způsobuje, že namísto rotačního pohybu, vytváří pohyb posuvný. Lineární motor je tvořen permanentními magnety a cívkami, které díky změnám fáze proudu mění svoji přitažlivost či odpudivost permanentnímu magnetu, díky čemuž vzniká pohyb. Rychlost pohybu je určena rychlostí změny napětí a síla motoru je určena proudem protékajících v cívkách. Nákres lineárního motoru je na obrázku 2.6, kde jsou po stranách vidět cívky a uprostřed permanentní magnety [12- 17].



Obrázek 2.6: podélný řez lineárním motorem [18]

2.8 Bipolární tranzistory

Další ze součástek, která je pro tuto práci nezbytná, je bipolární tranzistor. Bipolární tranzistor je polovodičová součástka složená ze dvou PN přechodů. Je tvořen třemi elektrodami, kdy první je kolektor, na který se přivádí zdroj proudu, druhou je báze, do které se přivádí řídicí signál a třetí je emitor, ze kterého vychází výsledný signál. Báze slouží jako spínač pro průchod proudu z kolektoru do emitoru a určuje jeho průchozí velikost. Bipolární tranzistory se dělí na NPN a PNP podle polarity součástí. Oba tyto druhy jsou zobrazeny na obrázku 2.7. Pro bipolární tranzistory jsou důležité parametry zesílení (např. $h(21E)$), maximální proud a maximální napětí. Tato součástka slouží především jako zesilovač či spínač. Pro účely této práce je důležitá první z jejich funkcí. Tranzistory umožňují zesílení proudu a tedy i umožňují zesílit řídicí signál z figuríny na požadovanou intenzitu [20].



2.9 Cíle bakalářské práce

Cílem této práce je vytvořit zařízení, které by umožnilo rozšíření palpačních míst na pacientském simulátoru SimMan Resusci Anne tak, aby neomezilo současné funkce figuríny a funkčně se podobalo současnému řešení.

3 Metody

3.1 Postup tvorby zařízení pro palpaci ve figuríně

Pro úspěšné vytvoření systému, který by zajišťoval palpaci ve figuríně je potřebná vhodná volba součástí, ze kterých by bylo možné sestavit zařízení simulující palpaci a zajistit jeho napájení a ovládání. Proto je potřeba vytýčit parametry, podle kterých se budou tyto součástky vybírat a hodnotit. Dále je potřeba vytvořit ergonomický obal zařízení, který by umožnil vhodný přenos tepu na umělou kůži figuríny. Výsledkem by měl být návrh zapojení vybraných součástí, který by umožnil vhodné ovládání a funkčnost.

3.2 Význam parametrů aktuátoru

Pro vhodný výběr aktuátoru je nutné, aby tento aktuátor co nejlépe splňoval kritéria, která se při pohmatovém vyšetření tepu sledují, ať už se jedná o sílu tepu, jeho frekvenci nebo o délku pulsu. Zároveň je důležité, aby neomezoval či nenarušoval jiné druhy vyšetření, například poslechové, protože by byl příliš hlučný [1- 4].

3.3 Volba aktuátoru

Pro zajištění splnění požadavků pro pohmatové vyšetření byly zvoleny hlavní parametry, mezi které se řadí intenzita pulsu, frekvence pulsu, hlasitost činnosti a především rozměry aktuátoru.

3.3.1 Intenzita pulsu aktuátoru

Fyziologický puls je způsobený rozšířením cévy v okamžiku zvýšení tlaku způsobeného systolou srdce. Toto rozšíření je potřebné nahradit vysunutím aktuátoru, nicméně pro posouzení vhodné délky vysunutí pro věrohodnou reprezentaci tepové aktivity bude potřebné zapojení do figuríny. Vhodné vysunutí nicméně nepřesáhne 5 mm, což by bylo rozšíření jasně viditelné pohledem, které u lidí nenastává [4- 8].

3.3.2 Frekvence pulsu aktuátoru

Důležitým parametrem je rychlost aktuátoru, protože aktuátor musí být schopný zajistit puls o vysokých frekvencích. Za předpokladu větší intenzity pulsu, například 2 mm a frekvence 150 úderů za minutu by byla potřeba rychlost 5 mm/s. Pro případ výrazného utlumení intenzity umělou kůží je bezpečnější uvažovat o rychlosti až 10 mm/s [7, 8].

3.3.3 Rozměry aktuátoru

Rozměry aktuátoru by měly být dostatečně malé, aby se vešly do patientského simulátoru v palpačním místě. Na zápěstí by tedy délka zasunutého aktuátoru neměla překročit tloušťku zápěstí, která se pohybuje kolem 50 mm. Pro využití na jiná místa (například třísla) by však větší rozměr nemusel být problematický, proto byly zahrnuty do porovnání i větší aktuátory, ačkoliv nebyly zvoleny jako nejvhodnější [7- 9].

3.3.4 Hluk aktuátoru

Důležitý je také hluk aktuátoru, protože přílišný hluk by mohl značit rychlost a sílu tepu, aniž by byl na zařízení puls nahmatán. Zároveň by mohl narušovat jiné druhy vyšetření, například poslechové [1-3].

3.3.5 Výběr typu aktuátoru

V úvahu připadá více možností, a to lineární elektromotor a pneumatický aktuátor. Lineární elektromotory nabízí lepší výběr v ohledu velikostí a rychlosti. Pneumatické aktuátory jsou pro využití ve figuríně příliš velké a nebylo by možné je funkčně umístit do vnitřních prostorů figuríny. Zároveň ve figuríně nejsou pneumatické rozvody, protože se pro současnou palpací využívají elektrická zařízení. Jako vhodný typ aktuátoru se tedy jeví lineární elektromotor a to díky malým rozměrům a také díky tomu, že elektrické rozvody figuríny je možné využít k napájení aktuátoru a není tedy nutné vytvářet nové rozvody.

3.4 Porovnání lineárních elektromotorů

V tabulkách v této kapitole jsou uvedeny lineární elektromotory, které splňují alespoň většinu předem stanovených parametrů. Většinu výrobků dostupných na trhu vyřadila příliš velká velikost. Zbytek modelů s vhodnými parametry a dostatečnou dostupností je znázorněn v tabulkách 4.1, 4.2, 4.3 a 4.4, ve kterých jsou zobrazeny parametry jednotlivých aktuátorů, kde “,” odděluje modely v pořadí jako ve jméně, “.” odděluje desetinné místo a “/” značí více možností. Webové stránky prodejce či výrobce jsou uvedeny v přílohách.

Tabulka 3.1: Porovnání lineárních elektromotorů 1: Délka vysunutí a velikost

Název	Délka vysunutí (mm)	Délka (mm)
Actuonix PQ 12 30:1, 63:1, 100:1	20	42
Actuonix L12-S 50:1, 100:1, 210:1 10mm	10	62
Actuonix L12-S 50:1, 100:1, 210:1 30mm	30	82
Mighty Zap 30mm	30	74.4
Xinhuangduo 25mm	25	130
Progressive Automations PA-07 0.5 inch, 0.8 inch, 1 inch	12.5, 20, 25	81
Small Solenoid	1.5, 5	50
VS-19 Pico Linear Servo	20	29
Open Frame Solenoid	5	25

Tabulka 3.2: Porovnání lineárních elektromotorů 2: Síla a rychlost

Název	Max. síla (N)	Max rychlost (mm/s)
Actuonix PQ 12 30:1, 63:1, 100:1	15, 30, 40	28, 15, 10
Actuonix L12-S 50:1, 100:1, 210:1 10mm	22, 42, 80	25, 13, 6.5
Actuonix L12-S 50:1, 100:1, 210:1 30mm	22, 42, 80	25, 13, 6.5
Mighty Zap 30mm	12	10
Xinhuangduo 25mm	100	40
Progressive Automations PA-07 0.5 inch, 0.8 inch, 1 inch	4.5	15
Small Solenoid	7	-
VS-19 Pico Linear Servo	-	12
Open Frame Solenoid	12	-

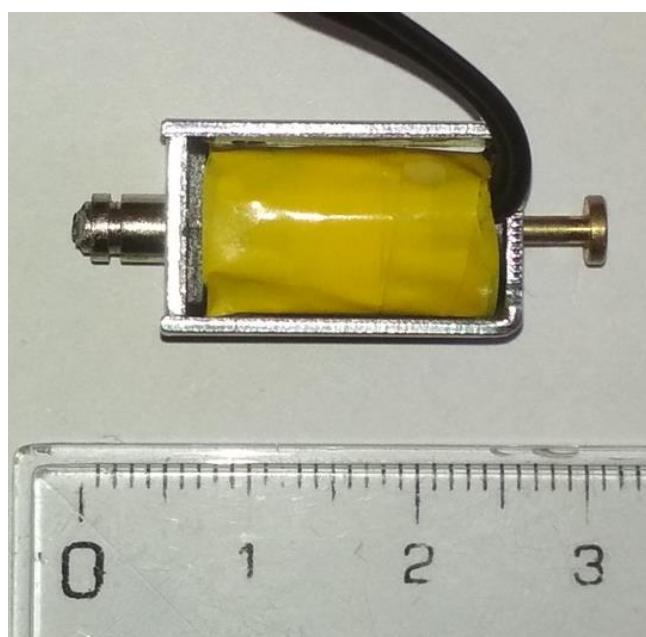
Tabulka 3.3: Porovnání lineárních elektromotorů 3: Napájení

Název	Napájení (VDC)	Proud (mA)
Actuonix PQ 12 30:1, 63:1, 100:1	6/12	550 / 210
Actuonix L12-S 50:1, 100:1, 210:1 10mm	6/12	460 / 185
Actuonix L12-S 50:1, 100:1, 210:1 30mm	6/12	460 / 185
Mighty Zap 30mm	7.4	460
Xinhuangduo 25mm	12	1200
Progressive Automations PA-07 0.5 inch, 0.8 inch, 1 inch	12	240
Small Solenoid	6/12	700/1400
VS-19 Pico Linear Servo	3.7	-
Open Frame Solenoid	5	1000

Tabulka 3.4: Porovnání lineárních elektromotorů 4: Hmotnost a Hluk

Název	Hmotnost (g)	Hluk (dB)
Actuonix PQ 12 30:1, 63:1, 100:1	15	55
Actuonix L12-S 50:1, 100:1, 210:1 10mm	28	55
Actuonix L12-S 50:1, 100:1, 210:1 30mm	34	55
Mighty Zap 30mm	45-65	-
Xinhuangduo 25mm	-	42
Progressive Automations PA-07 0.5 inch, 0.8 inch, 1 inch	-	45
Small Solenoid	120	-
VS-19 Pico Linear Servo	3.7	-
Open Frame Solenoid	12	-

Z těchto aktuátorů se jeví jako nejvhodnější Open Frame Solenoid a jako vhodná alternativa Small Solenoid. V práci se nadále pracuje s aktuátorem Open Frame Solenoid, označovaný dále jako aktuátor, který je vidět na obrázku 3.1.

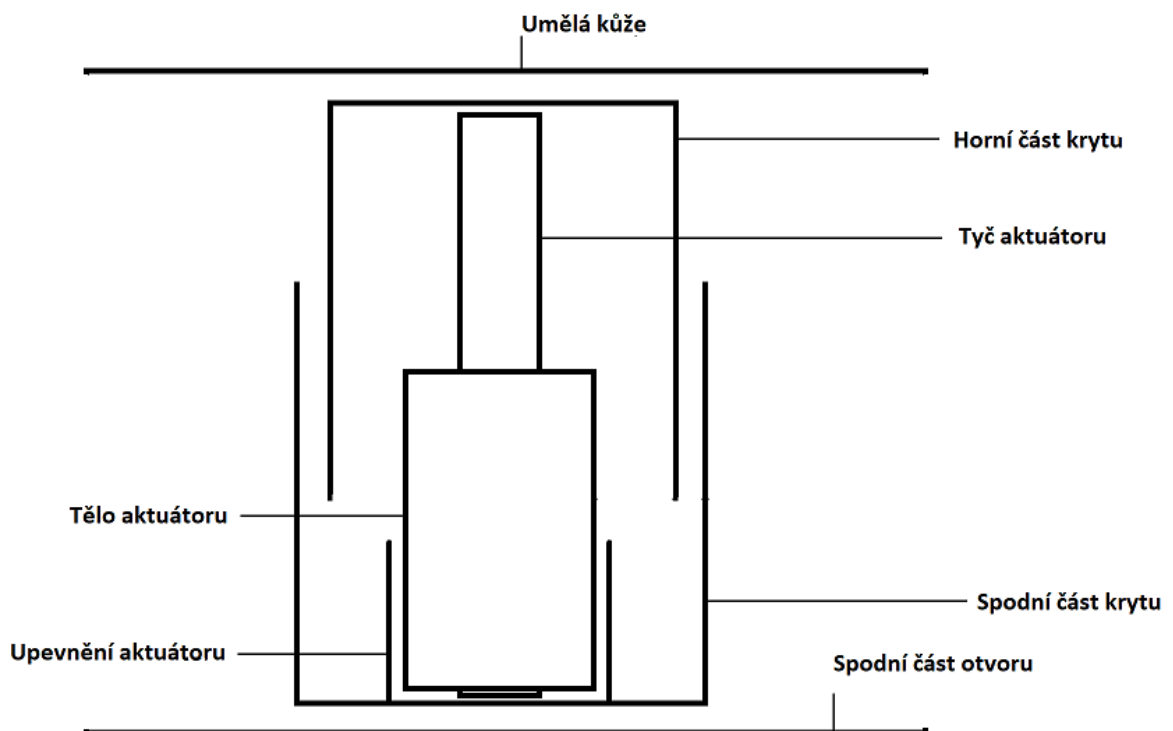


Obrázek 3.1: Aktuátor Open Frame Solenoid

3.5 Návrh zapojení aktuátoru do figuríny

3.5.1 Základní návrh zapojení aktuátoru do figuríny

Aktuátor musí být umístěn do figuríny tak, aby byla výsuvná část aktuátoru v místě, kde je hmatný puls. Vzhledem k plánu zapojení aktuátoru na palpační místo na zápěstí, bude nutné umístit tento aktuátor kolmo k pokožce vnitřní strany zápěstí. V této pozici je nutné aktuátor upevnit, aby nedocházelo k uvolnění při jeho činnosti či při kontaktu s vyšetřující osobou. Upevnění by bylo možné přímo na spodní část otvoru ve figuríně v případě, že by aktuátor měl možnost uchycení například otvorem ve spodní části. V jiném případě se jeví jako nejlepší umístění do konstrukce, která ho na místě upevní. Umístění aktuátoru v takovémto zapojení v této stabilizační konstrukci či obalu je znázorněno na obrázku 3.2.



Obrázek 3.2: Návrh zapojení aktuátoru

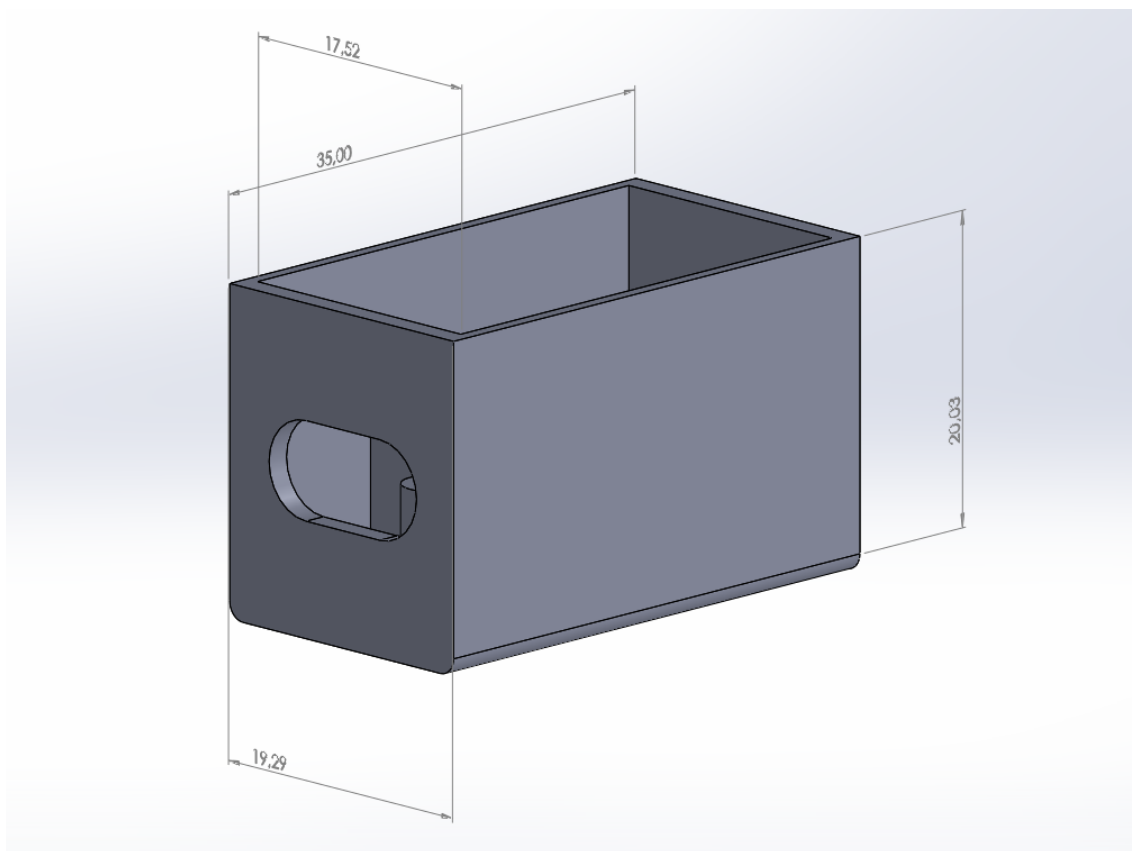
3.5.2 Tvorba modelu krytu aktuátoru

Podle tohoto výchozího návrhu bylo rozhodnuto vytvořit obal aktuátoru v programu Solidworks. V tomto programu určeném pro 3D tisk se model vytváří za pomoci kombinace dvojrozměrných útvarů od obdélníků přes elipsy po složité ručně nakreslené obrazce, které jsou umístěné v rovině. Tuto rovinu je následně možné prodloužit v jednom či obou směrech a tím vytvořit prostorový obrazec. Z jakékoliv jeho plochy je následně možné vytvořit novou rovinu a v ní nové rovinné obrazce a ty opět prodloužit. Délky útvarů v Solidworks jsou určeny v milimetrech a jejich popisy v nákrese tedy nejsou jen informační, ale nesou přímo informaci pro tisk.

3.5.3 Spodní část krytu aktuátoru

Tento obal má za úkol udržet aktuátor na místě a přenášet jeho palpační pohyb na pokožku figuríny. Tvar tohoto obalu vychází z tvaru a rozměrů původního řešení palpace ve figuríně, aktuátoru od firmy Laerdal. Ten je vidět na obrázku 2.4.

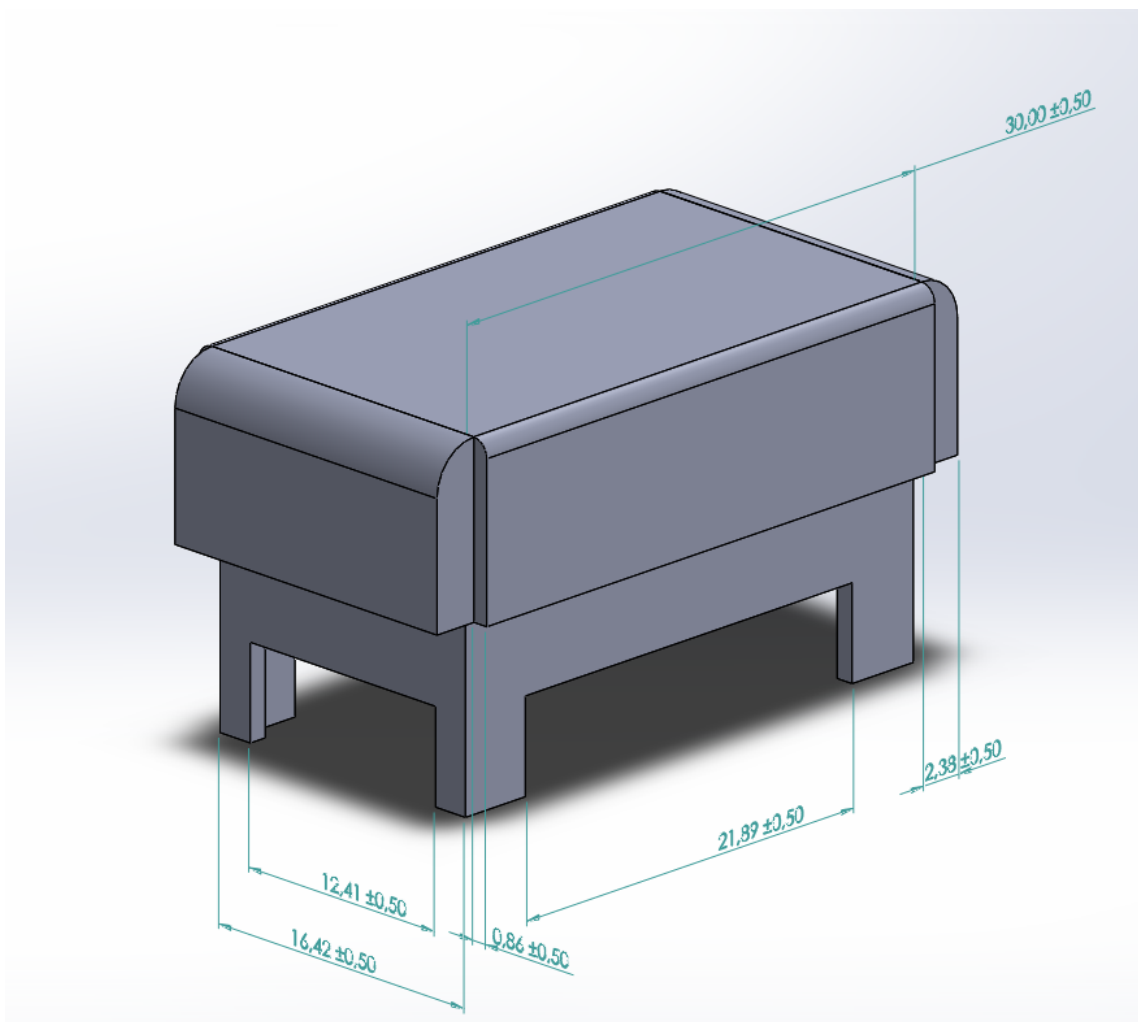
Nejprve byla vytvořena spodní část tohoto obalu, která má za úkol stabilizovat tělo aktuátoru a umožnit vsunutí vrchní části krytu. Tato část je také vnějším krytem, jelikož právě do ní se zasouvá horní díl a tedy její rozměry jsou takové, aby nenastal problém s umístěním do figuríny. Tato spodní část je vidět na obrázku 3.3 a kótované vzdálenosti jsou uvedeny v mm, stejně jako u všech následujících modelů.



Obrázek 3.3: Model spodní části krytu aktuátoru

3.5.4 Horní část krytu aktuátoru

Pro horní díl byly vytvořeny dva návrhy, přičemž první je uveden jen v diskuzi, jelikož není použitý. Tento, druhý, návrh horního dílu se skládá z vrchní rozšířené části, která má vnější rozměry shodné se spodním dílem a tedy na něj dosedá, a ze spodní užší části, která se vsouvá do spodního dílu. Vrchní část rozšiřuje prostor pro aktuátor a jeho vhodné umístění a spodní zúžená část spolu s prodlouženými výčnělky po stranách slouží k zajištění stabilního vysouvání a zasouvání dílu. Tento druhý návrh je vidět na obrázku 3.4.



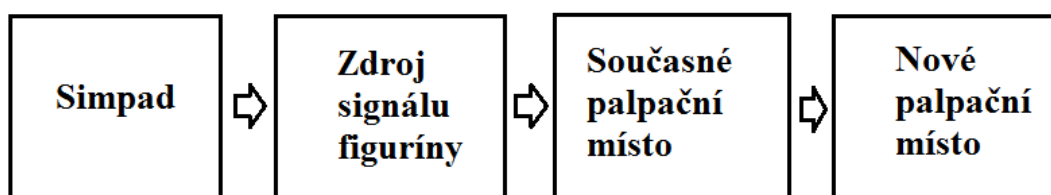
Obrázek 3.4: Druhý návrh horní části krytu aktuátoru

3.6 Ovládání a napájení aktuátoru

3.6.1 Návrh ovládání aktuátoru

Napájení figuríny pro aktuální palpační místa je, jak je zmíněno v přehledu současného stavu, pomocí pulsů stejnosměrného napětí o amplitudě 5 V s tím, že při tomto pulsu se aktivuje palpační místo a dojde k tepu. Signály o této amplitudě a daného tvaru jsme otestovali a zjistili, že jsou schopny aktivovat aktuátor, který se při tomto pulsu vysune a po skončení pulsu opět zasune.

Vzhledem k této skutečnosti se jeví jako nejvhodnější možnost napájení využít tento signál i k napájení nového aktuátoru. V takovémto zapojení je zároveň zajištěno ovládání aktuátoru, který bude ovládán pomocí Simpadu spolu s ostatními místy. Simpadem se zvláště ovládá centrální a periferní tep, vzhledem k čemuž bude napojení nového aktuátoru vycházet z jeho umístění a tedy bude řízeno jako periferní či centrální palpační místo. Schéma trasy signálu a tedy i ovládání aktuátoru bude následovné.



Obrázek 3.5: Blokové schéma ovládání aktuátoru

3.6.2 Návrh napájení aktuátoru

Tento způsob zapojení umožňuje napájení aktuátoru spolu s ovládáním jeho rychlosti a tím vhodné simulování tepu. Bohužel v případě odběru napětí a proudu přímo skrze jiné palpační místo došlo k rozdělení proudu signálu mezi současné a nové palpační místo, a ačkoliv u obou stále probíhal tep, tak jeho intenzita se u obou míst snížila. Z tohoto důvodu bylo rozhodnuto použít tranzistor, který by zesílil řídicí signál a umožnil tak plnou intenzitu tepu obou palpačních míst. Proud je do tranzistoru dodáván z centrálního zdroje figuríny, který se nachází v břišní dutině.

Tento zdroj má napětí 12 V a proto bylo nutné toto napětí regulovat, aby nedošlo k poškození aktuátoru, který je určen pro napájení 5 V. Z tohoto důvodu byl použit stabilizátor napětí. Vzhledem ke skutečnosti, že již bylo nutné sestavit obvod pro napájení aktuátoru, bylo rozhodnuto umožnit také přímou regulaci intenzity tepu pro toto nové palpační místo. K tomuto účelu je použit potenciometr, který reguluje odpor pro řídicí signál před tranzistorem a tedy i výsledný proud, který skrz tranzistor projde do aktuátoru.

3.6.3 Volba tranzistoru

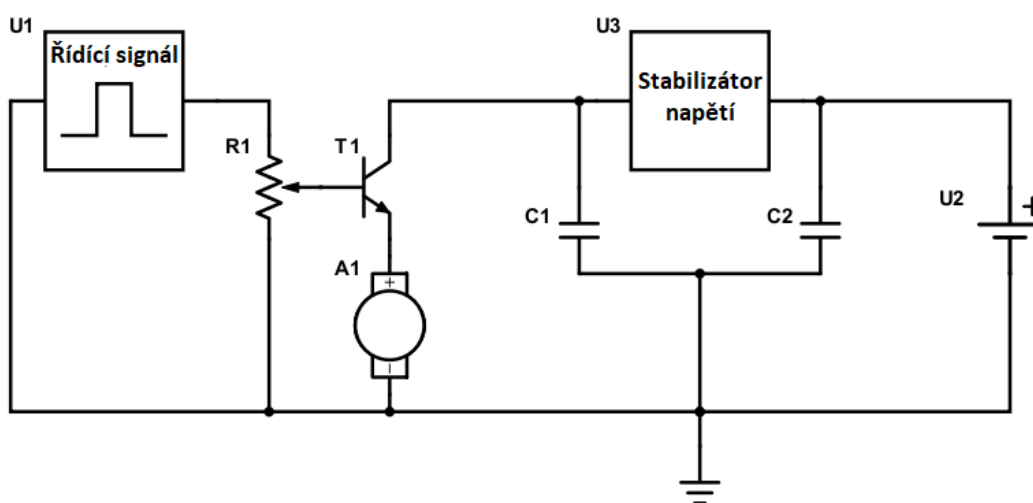
Účelem tranzistoru je zesílit řídicí signál na dostatečnou hodnotu proudu pro napájení aktuátoru s tím, že využitý řídicí signál by neměl snížit intenzitu tepu u současného palpačního místa. Za tímto účelem byl vybrán PNP Bipolární tranzistor BD136-10 TO126 od Philips, který má vhodný rozsah napětí, proudu a také zesílení. Tento tranzistor zesiluje proud do 1,5 A s maximálním napětím 45 V a zesílením ($h(21E)$) 63 – 100. Tyto hodnoty jsou dostatečné, jelikož napájení aktuátoru je dle prodejce uvedeno jako 1 A a napětí nepřesáhne 5 V. Hodnota zesílení by také měla zabránit vlivu na současný aktuátor při odběru řídicího signálu.

3.6.4 Volba stabilizátoru napětí

Stabilizátor je určen k zajištění konstantního napětí, které bude v našem případě 5 V, což je hodnota potřebná k napájení aktuátoru. K tomuto účelu byl zvolen Stabilizátor pevného napětí STMicroelectronics 78S05. Tento stabilizátor reguluje napětí na 5 V při umožnění průchodu proudu až 2 A. Pro zapojení tohoto stabilizátoru jsou také potřebné dva kondenzátory, a to o kapacitách 330 nF a 100 nF.

3.7 Schéma napájení a ovládání

Návrh obvodu je vidět na obrázku 3.6, kde U1 je řídicí signál ze současného aktuátoru o amplitudě 5 V tvaru obdélníku, U2 je napájecí signál ze zdroje figuríny o amplitudě 12 V, U3 je regulovaný signál ze stabilizátoru napětí o amplitudě 5 V, R1 je potenciometr o maximální hodnotě odporu 1 k Ω , T1 je tranzistor (viz 3.5.3), A1 je aktuátor (viz 3.3), C1 je kondenzátor o kapacitě 330 nF, C2 je kondenzátor o kapacitě 100 nF, přičemž oba jsou potřebné pro správné fungování stabilizátoru napětí.

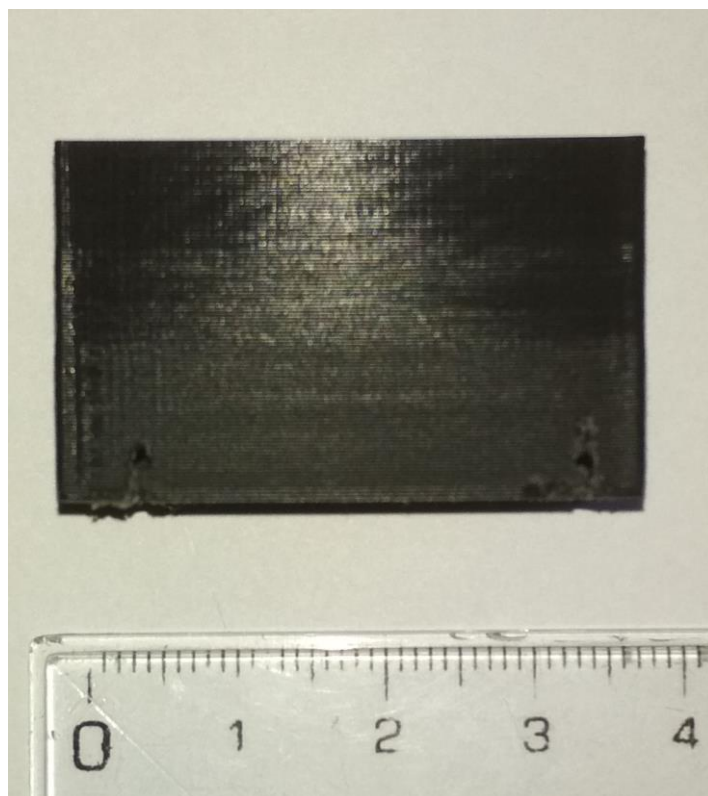


Obrázek 3.6: Schéma napájení aktuátoru

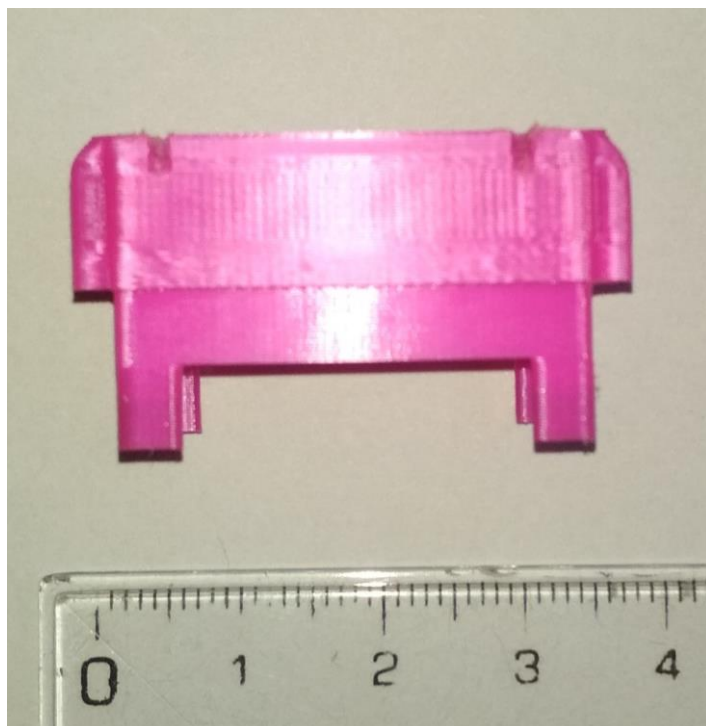
4 Výsledky

4.1 Kryt aktuátoru

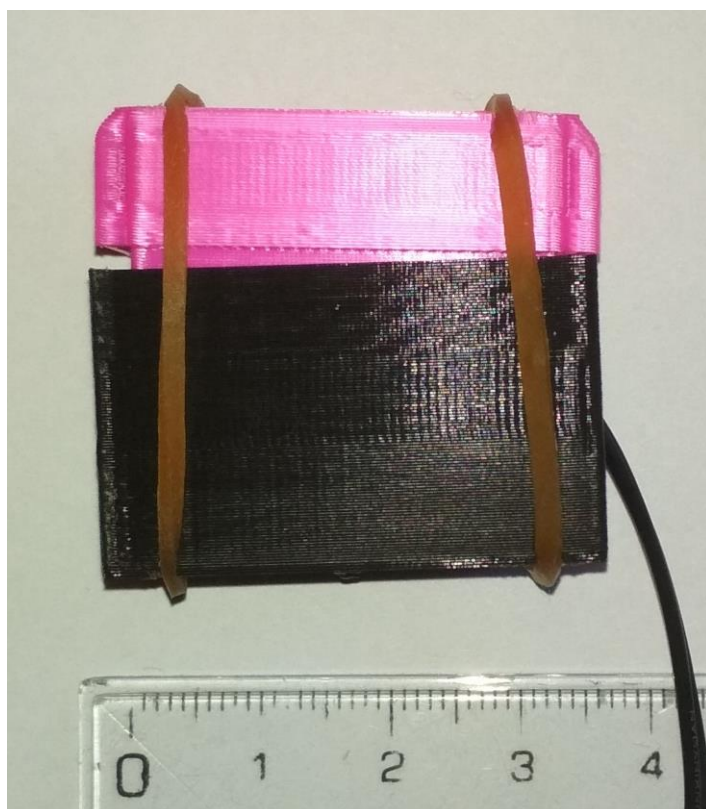
Kryt aktuátoru sestává ze dvou částí, horní a dolní, které se do sebe zasouvají. Obě části byly navrženy v programu Solidworks a následně vytištěny na 3D tiskárně. Na obrázcích 4.1 až 4.3 je vidět vytištěná spodní a horní část krytu a kombinace obou dílů krytu a aktuátoru.



Obrázek 4.1: Spodní část krytu



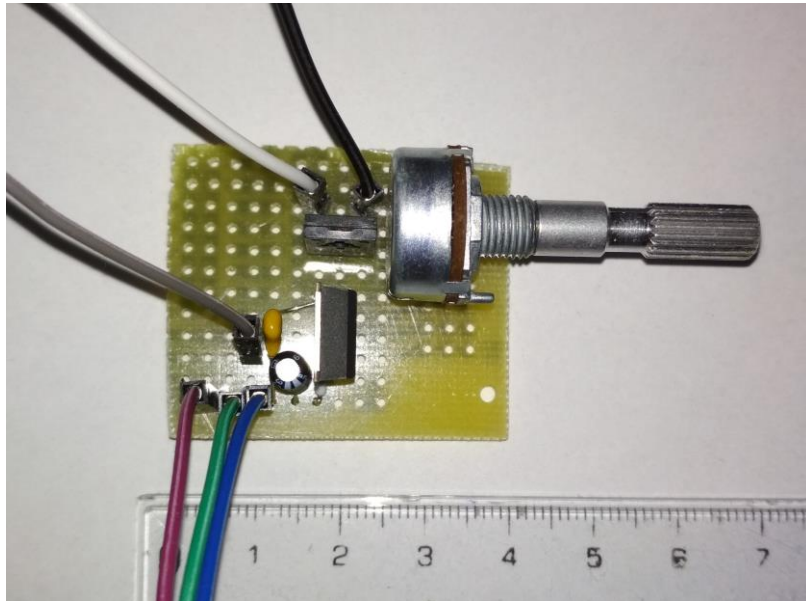
Obrázek 4.2: Horní část krytu



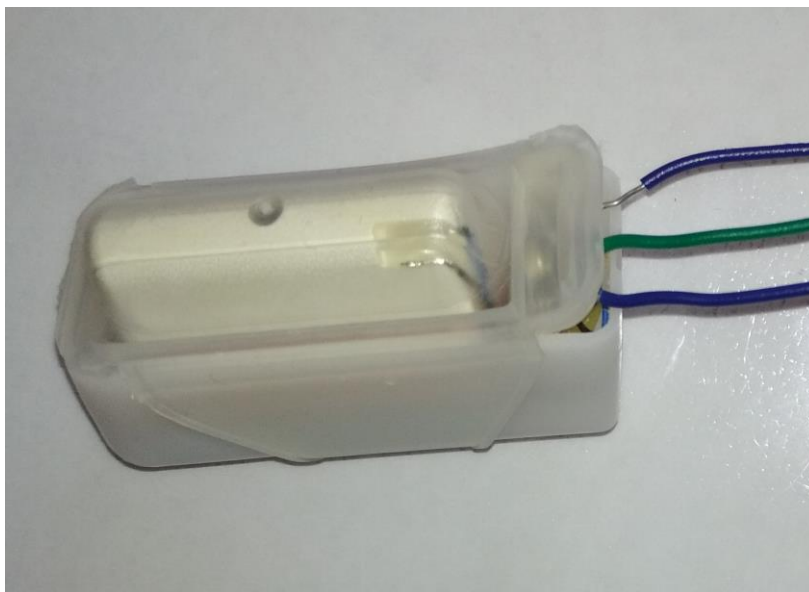
Obrázek 4.3: Celý kryt s umístěným aktuátorem

4.2 Napájecí obvod

Aktuátor je napájen skrze obvod na obrázku 4.4, který vychází ze schématu na obrázku 3.6. Spodní tři kabely slouží jako zemníci, černý kabel je vstup napájení zdroje figuríny, bílý kabel je výstup pro napájení aktuátoru a šedý kabel je vstupem pro signál ze současného palpačního místa. Signál ze současného palpačního místa je odebírán z aktuátoru jako na obrázku 4.5, kde modré kabely vedou signál. Zelený kabel je přebytečný a není využit.



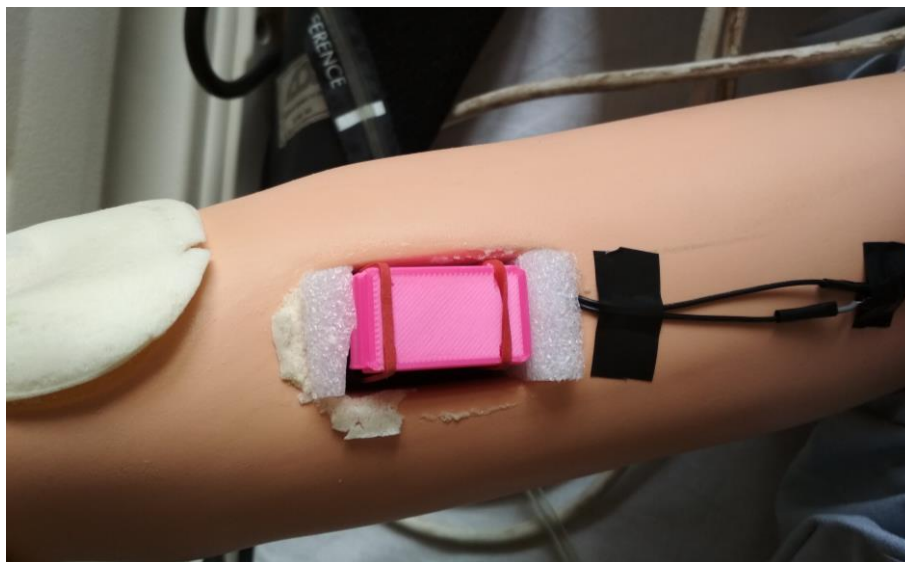
Obrázek 4.4: Napájecí obvod



Obrázek 4.5: Stávající aktuátor s vývodem signálu

4.3 Umístění ve figuríně

Aktuátor je ve figuríně umístěn do otvoru a vně kostry pod kůží figuríny jsou vedeny kabely. Umístění je vidět na obrázku 4.6. Umístění pod kůží je vidět na obrázku 4.7, kde je aktuátor zvýrazněn červenou kružnicí. Napájecí obvod je umístěn v břišní dutině figuríny pod umělými plícemi a je vidět na obrázku 4.8, kde je zvýrazněn červenou kružnicí.



Obrázek 4.6: Aktuátor umístěný ve figuríně



Obrázek 4.7: Aktuátor zakrytý umělou kůží

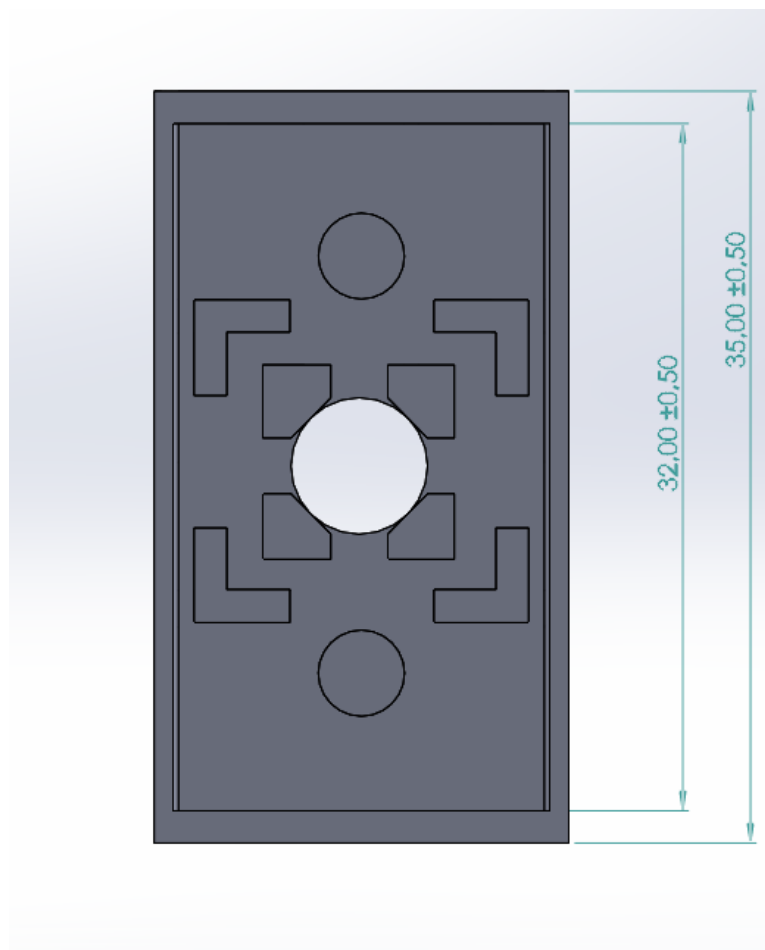


Obrázek 4.8: Napájecí obvod umístěný ve figuríně

5 Diskuze

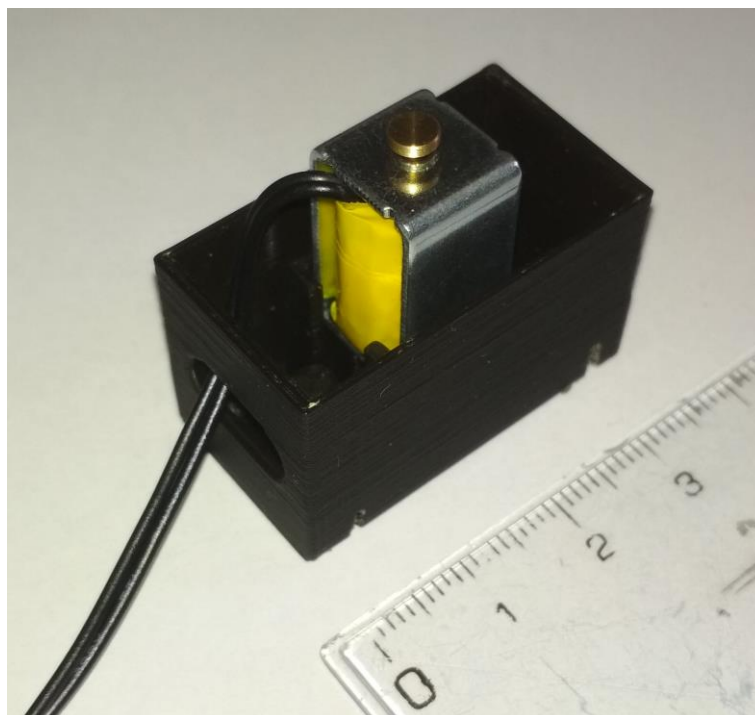
Z porovnání aktuátorů vychází nejlépe Open Frame Solenoid a vhodnou alternativou je Small Solenoid. Hlavním měřítkem byla velikost a právě Open Frame Solenoid je v tomto směru nejlepší. Vzdálenost výsunu je dostatečná a rychlost vysunutí je takřka okamžitá, a proto je vhodný k simulaci lidského tepu. Aktuátor Open Frame Solenoid je vidět na obrázku 3.1. Je tvořen kovovým tělem, které je ze dvou stran otevřené a je vidět obalená cívka elektromotoru. Ze dvou bočních stran vyčnívá tyč rotoru, která je ve spodní části (na obrázku vlevo) upilována ze své původní délky na minimální možnou, jelikož původní délka neumožňovala zasunování do spodní části krytu a byla tedy nutná úprava.

Tělo aktuátoru je určeno k zasunutí mezi útvary na spodní straně spodní části krytu pro tento aktuátor, tyto útvary jsou vidět při pohledu shora na tento díl (zobrazen náčrtek kvůli přehlednosti), jako je tomu u obrázku 5.1



Obrázek 5.1: Model spodní části krytu při pohledu shora

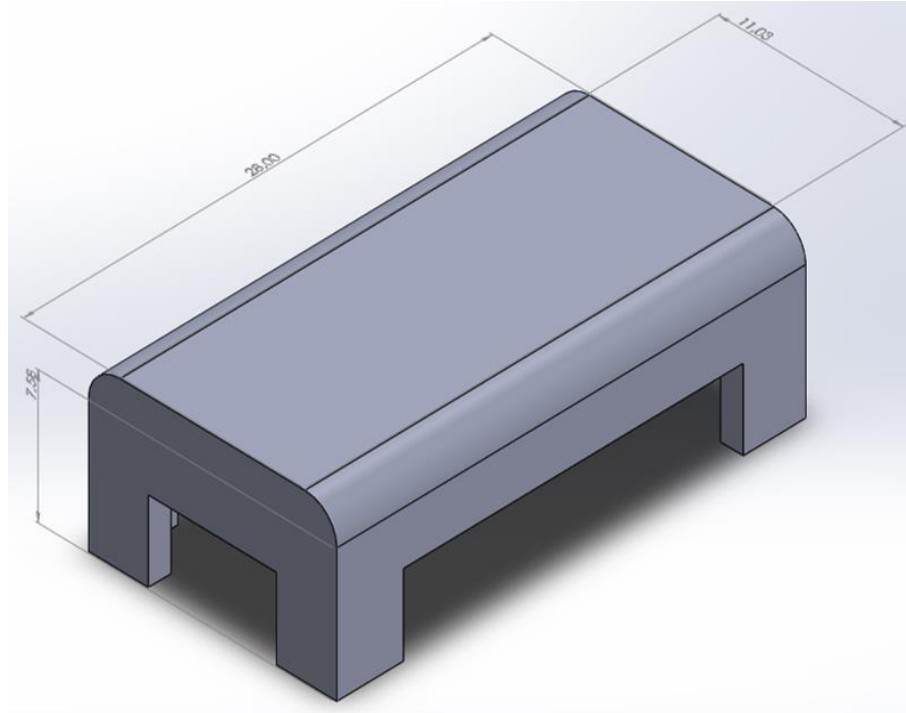
Uprostřed je vidět otvor, který slouží k vysunutí zbytku spodní části tyče aktuátoru, která takto nepřesahuje spodní hranu krytu i při nulovém vysunutí (a tedy plném vysunutí dolů) a díky tomuto otvoru bylo možné snížit výšku krytu. Kolem otvoru jsou čtyři pětiúhelníky, které jsou vyvýšené oproti dnu dílu. Na těchto útvarech je položeno tělo aktuátoru. Kolem nich jsou čtyři útvary L, které jsou vysunuté nad pětiúhelníky a které zabraňují převrácení či posunu aktuátoru. Nakonec dva kruhové útvary umožňují upevnění pružin. Spodní část krytu spolu s aktuátorem jsou vidět na obrázku 5.2.



Obrázek 5.2: Aktuátor umístěný ve spodní části krytu

Aktuátor je uchycen v těchto útvarech pevně a nemá sklony se naklánět nebo se posouvat. Spodní část tyče aktuátoru je při nulovém vysunutí aktuátoru v rovině dna a otvor tedy splnil svůj účel. Boční otvor ve spodním díle, který je vidět na obrázku 5.2 slouží k vyvedení kabelů. Jeho velikost je kvůli snazší manipulaci s venkovní částí kabelů a jejich případnému ohnutí či pohybům způsobených nutností jejich napojení.

Horní část obalu aktuátoru byla původně plánována jako plně vsunutelná do spodní části. První model horní části krytu tedy v žádném rozměru nepřekračoval spodní část krytu. O spodní část této součástky se měla opírat tyč aktuátoru a zvedat ji, přičemž by se tento díl pohyboval stabilně díky čtyřem prodloužením na stranách. Ta slouží ke stabilizaci namísto celého prodlouženého ohraničení proto, že ve spodní části není dostatek místa po stranách například kvůli výstupu kabelů aktuátoru z otvoru viditelného v předchozím obrázku. Tento první návrh je vidět na obrázku 5.3:



Obrázek 5.3: Model horní části obalu aktuátoru

Spodní díl a tento první návrh horního dílu byly vytištěny na 3D tiskárně a bylo vyzkoušeno jejich spojení spolu s aktuátorem. Návrh horního dílu se ukázal jako nevhodný, jelikož díky nízké výšce součástky a také malým vnějším rozměrům docházelo k nestabilitě tohoto horního dílu vůči spodnímu dílu. Rozdíly mezi vnějšími rozměry horního dílu a vnitřními rozměry spodního dílu byly navrženy z důvodu neznámé přesnosti 3D tiskárny, která se ukázala jako velmi přesná a pro další návrh již nebyla kompenzování většími mezerami. Spodní díl naproti tomu vyhovoval velikosti aktuátoru výborně, a bylo potřeba upravit pouze díl horní.

Druhý návrh horního dílu, který je vidět na obrázku 4.2, je oproti prvnímu návrhu vyšší, což umožňuje hlubší zasunutí do dílu spodního a tedy způsobuje větší stabilitu. Zároveň je díl v tomto návrhu širší a delší, takže jsou menší mezery mezi spodním a horním dílem, což znovu zvyšuje stabilitu. V tomto druhém návrhu je díl vizuálně složen ze dvou částí, a to horní rozšířené a spodní užší. Horní část se nezasouvá a zůstává trvale odhalena. Její spodní hrana při zasunutí aktuátoru dosedá na spodní část a zajišťuje stabilitu při zasunutí. Užší část je zásuvná, a při zasunutí aktuátoru je celá skrytá. Při vysunutí se vysune většina této části kromě čtyř prodloužení, která udržují díl na místě právě při tomto úplném vysunutí. Tato prodloužení jsou na místě, jelikož zasouvateľná část nad těmito prodlouženími by zasahovala do otvoru pro kabely ve spodním útvaru. Nakonec je uprostřed „stropu“ tohoto dílu zesílená plocha, která zabraňuje prohnutí či proražení dílu aktuátorem, který má poměrně tenký hrot.

Na obrázku 4.3 je vidět spojení obou součástí krytu spolu s vloženým aktuátorem. Oproti návrhu jsou vidět zářezy ve spodních hranách u spodního a horních hranách u horního dílu. Tyto zářezy slouží k uchycení gum, které drží oba díly pohromadě a usnadňují návrat aktuátoru po vysunutí. Při umístění ve figuríně tuto funkci přebírá umělá kůže, ale pro usnadnění manipulace jsou gummy umístěny i ve figuríně. Kryt je dále držen pohromadě pomocí pružin, které jsou umístěny na hrotech, které jsou vidět v návrzích krytu. Tyto pružiny také usnadňují vysunutí aktuátoru.

Po umístění do figuríny a překrytí umělou kůží není aktuátor vidět, což je vidět na obrázku 4.7, kde je místo umístění aktuátoru zvýrazněno červenou kružnicí. V této poloze je možné aktuátor nahmatat a simuluje lidský tep. Oblast umístění odpovídá pažní tepně. Kabely jsou dále vedeny do břišní dutiny pod hrudníkem, kde se napojují na napájecí obvod. Ten je vidět na obrázku 4.8, kde je opět obvod zvýrazněn červenou kružnicí. Do tohoto obvodu vstupují kabely ze současného palpačního místa a zdroje figuríny a vystupují kabely do aktuátoru. Napájecí obvod je držen na místě pomocí ziptie a je v místě, kde neomezuje žádnou funkci figuríny a je dobře dosažitelný při vyklopení hrudníku, který je na figuríně upevněn pouze v horní části a vstup je tedy snadný. Síla tepu je regulovatelná otáčením potenciometru na levé spodní straně obvodu, která je dobře dosažitelná.

Kombinace aktuátoru a napájecího obvodu umožňuje simulaci tepu a regulaci jeho intenzity pomocí potenciometru na napájecím obvodu. Frekvence tepu je odvislá od frekvence na ostatních místech a tedy stejná jako na zbytku figuríny.

Funkčnost aktuátoru byla otestována při pohmatovém vyšetření, kdy byly porovnány tepe nového a současného palpačního místa. Obě místa měla tep o stejné frekvenci a u obou byl dobře pocíitelný s tím rozdílem, že nové palpační místo mělo mírně nižší intenzitu tepu než současná.

6 Závěr

Tato práce popisuje anatomii palpačních míst na lidském těle a popisuje vyšetření, ke kterým se tato místa využívají, stejně jako fyziologii lidského tepu. Dále je v této práci popsán patientský simulátor SimMan Resusci Anne včetně jeho funkcí spolu s popisem současných palpačních míst a technického řešení palpce. Následuje teoretický popis lineárních elektromotorů, které jsou následně vybrány k použití pro rozšíření těchto palpačních míst. Následuje výběr nejvhodnějšího lineárního aktuátoru na tomto principu a jeho porovnání s ostatními dostupnými produkty.

Dále je řešeno zapojení do figuríny a z tohoto účelu byl v programu SolidWorks vytvořen návrh dvoudílného obalu, který byl následně vtištěn na 3D tiskárně a do kterého byl aktuátor zasazen. Pro napájení aktuátoru byl navržen a sestaven napájecí obvod, který zesiluje signál ze současného palpačního místa. Aktuátor spolu s napájecím obvodem byly umístěny do figuríny, kde jsou schopny simulovat lidský tep. Výstupem práce je sestava zařízení, která je možná zapojit do figuríny SimMan Resusci Anne, kde jsou schopna simulovat lidský tep.

Seznam použité literatury

- [1] NEJEDLÁ, Marie. *Fyzikální vyšetření pro sestry. 2.*, přeprac. vyd. Praha: Grada, 2015. Sestra (Grada). ISBN 978-802-4744-490.
- [2] NOVÁKOVÁ, Iva. *Ošetrovatelství ve vybraných oborech: dermatovenerologie, oftalmologie, ORL, stomatologie*. Praha: Grada, 2011. Sestra (Grada). ISBN 978-802-4734-224.
- [3] STELZER, Jiří a Lenka CHYTILOVÁ. *První pomoc pro každého*. Praha: Grada, 2007. ISBN 978-802-4721-446.
- [4] HLOCH, Ondřej. Základní vyš. techniky. *Propedeutika* [online]. [cit. 2019-01-09]. Dostupné z: <http://new.propedeutika.cz/?p=221>
- [5] ČIHÁK, Radomír, DRUGA, Rastislav a Miloš GRIM, ed. *Anatomie. 2.*, upr. a dopl. vyd. Praha: Grada, 2004. ISBN 80-247-1132-X.
- [6] CHROBÁK, Ladislav. *Propedeutika vnitřního lékařství*. Praha: Grada, 2003. ISBN 80-247-0609-1.
- [7] KADEŘÁVKOVÁ, Hana. Léčebně-rehabilitační plán a postup u arteriálního onemocnění cév dolních končetin [online]. Brno, 2008 [cit. 2019-01-05]. Dostupné z: <https://is.muni.cz/th/tiqfx/>. Bakalářská práce. Masarykova univerzita, Lékařská fakulta. Vedoucí práce Petr Pospíšil.
- [8] IVÁK, Petr, Josef KROUPA, Patrik MAĎA a Josef FONTANA. Krevní oběh. *Funkce buněk a lidského těla: multimediální skripta* [online]. [cit. 2019-01-09]. Dostupné z: <http://fb.lt.cz/skripta/x-srdce-a-obeh-krve/2-krevni-obeh/>
- [9] Resusci Anne QCPR. *Laerdal* [online]. 2019 [cit. 2019-01-09]. Dostupné z: <https://laerdal.com/products/simulation-training/resuscitation-training/resusci-anne-qcpr/>
- [10] LAERDAL MEDICAL AS. Pulse device for creating a simulated feelable heart's pulse to train feeling and recognition of pulse. US. US6007342A. Uděleno 1995-07-05. Dostupné také z: <https://patents.google.com/patent/US6007342A/en>
- [11] *Wordpress* [online]. 2009 [cit. 2019-04-30]. Dostupné z: <http://journalmex.files.wordpress.com/2009/02/dibujo-circulacion-de-sangre5.jpg>
- [12] BOLDEA, I. a S.A. NASAR. Linear electric actuators and generators. *1997 IEEE International Electric Machines and Drives Conference Record* [online]. IEEE, 1997, , MA1/1.1-MA1/1.5 [cit. 2019-01-09]. DOI: 10.1109/IEMDC.1997.604058. ISBN 0-7803-3946-0. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/604058/>

- [13] LI, Min, Shan LUO, Thrishantha NANAYAKKARA, Lakmal D. SENEVIRATNE, Prokar DASGUPTA a Kaspar ALTHOEFER. Multi-fingered haptic palpation using pneumatic feedback actuators. *Sensors and Actuators A: Physical* [online]. 2014, 218, 132-141 [cit. 2018-11-10]. DOI: 10.1016/j.sna.2014.08.003. ISSN 09244247. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0924424714003604>
- [14] LI, Min, Tommaso RANZANI, Sina SAREH, Lakmal D SENEVIRATNE, Prokar DASGUPTA, Helge A WURDEMANN a Kaspar ALTHOEFER. Multi-fingered haptic palpation utilizing granular jamming stiffness feedback actuators. *Smart Materials and Structures* [online]. 2014, 23(9), 132-141 [cit. 2018-11-10]. DOI: 10.1088/0964-1726/23/9/095007. ISSN 0964-1726. Dostupné z: <http://stacks.iop.org/0964-1726/23/i=9/a=095007?key=crossref.95ff414c7e9ed7341fbf646ac01a4b48>
- [15] Linear. *Advanced Motion Controls* [online]. Camarillo, CA 93012 USA [cit. 2019-01-09]. Dostupné z: <https://www.a-m-c.com/experience/technologies/motor-type/linear/>
- [16] Li, Hui. *Rotary and linear motor*. US. US6429611B1. Uděleno 2002-08-06. Dostupné take z: <https://patents.google.com/patent/US6429611B1/en>
- [17] GUCKEL, H., T. EARLES, J. KLEIN, D. ZOOK a T. OHNSTEIN. Electromagnetic Linear Actuators With Inductive Position Sensing For Micro Relay, Micro Valve And Precision Positioning Applications. *Proceedings of the International Solid-State Sensors and Actuators Conference - TRANSDUCERS '95*. IEEE, 1995, , 324-327. DOI: 10.1109/SENSOR.1995.717184. Dostupné také z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/717184/>
- [18] Lineární motor. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-01-09]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Line%C3%A1rn%C3%AD_elektromotor#/media/File:Linear_alternator_1.svg
- [19] CAE ISTAN. *CAE healthcare* [online]. [cit. 2019-06-24]. Dostupné z: <https://caehealthcare.com/patient-simulation/istan/>
- [20] Bipolární tranzistor. *Klopné obvody* [online]. [cit. 2019-06-30]. Dostupné z: <http://klopneobvody.hys.cz/tranzistory.html>

Přílohy:

Tabulka P.1: Tabulka dostupnosti aktuátorů (aktuální 30.1.2019)

Název	Dostupné na:
Actuonix PQ 12 30:1, 63:1, 100/1	https://www.actuonix.com/Actuonix-PQ-12-P-Linear-Actuator-p/pq12-p.htm
Actuonix L12-S 50:1, 100:1, 210:1 10mm	https://www.actuonix.com/L12-S-Micro-Linear-Actuator-with-Limit-Switches-p/l12-s.htm
Actuonix L12-S 50:1, 100:1, 210:1 30mm	https://www.actuonix.com/L12-S-Micro-Linear-Actuator-with-Limit-Switches-p/l12-s.htm
Mighty Zap 30mm	https://www.robotshop.com/eu/en/mighty-zap-linear-servo-motor-actuator-30mm-ttl-pwm-12n10mms-74v.html
Xinhuangduo 25mm	https://www.aliexpress.com/item/24V-25mm-1inch-stroke-900N-198LBS-micro-linear-actuator-electric-linear-actuator-TV-lift-high-speed/32806622893.html?spm=2114.10010108.1000023.5.3c1e66b4WDJLoB
Progressive Automations PA-07 0.5 inch, 0.8 inch, 1 inch	https://www.progressiveautomations.com/micro-linear-actuator
Small Solenoid	https://www.trossenrobotics.com/p/small-solenoid.aspx
VS-19 Pico Linear Servo	https://www.robotshop.com/en/vs-19-pico-linear-servo.html
Open Frame Solenoid	https://www.ebay.com/itm/Actuator-Linear-Open-Frame-Solenoid-Electromagnet-Mini-Easy-Operation-Push-Pull/392278024852?_trkparms=aid%3D555018%26algo%3DPL.SIM%26ao%3D1%26asc%3D57476%26meid%3D529ae60f005d417f86e886d7b6d6fd76%26pid%3D100005%26rk%3D12%26rkt%3D12%26sd%3D252535810745%26itm%3D392278024852&_trksid=p2047675.c100005.m1851