

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Aplikovaná mechanika

**Biomechanika – Samonavíjecí infuzní  
hadičky**

Biomechanics – Automatic Roll-up Infusion  
Hoses

Student: Tomáš Halo

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Karel Frydryšek, Ph.D.

Ostrava 2019

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra aplikované mechaniky

## Zadání bakalářské práce

Student: **Tomáš Halo**  
Studijní program: B2341 Strojírenství  
Studijní obor: 3901R003 Aplikovaná mechanika  
Téma: **Biomechanika - Samonavíjecí infuzní hadičky**  
**Biomechanics - Automatic Roll-up Infusion Hoses**  
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte rozbor současného stavu lékařských aplikací infuzních hadiček a včetně jejich příslušenství.
2. Proveďte výzkum materiálových vlastností hadiček.
3. Ve spolupráci s lékaři a vedoucím bakalářské práce vytvořte základní ideový návrh nového zařízení nebo příslušenství pro infuzní hadičky.

Seznam doporučené odborné literatury:


- [1] Frydryšek, K., Dvořák, L.: BIOMECHANICS - TESTING OF MECHANICAL AND UTILITY PROPERTIES OF BOTTLES FOR REDON DRAINAGE, 23rd International Conference on Engineering Mechanics Location, Svratka, Czech Republic, 2017, pp. 318-321.
- [2] Frydryšek, K.: Úvod do biomechaniky, skriptum, FMT VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2018

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

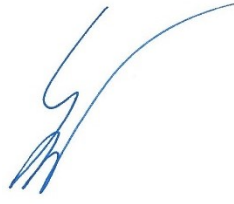
Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Karel Frydryšek, Ph.D.**

Datum zadání: 21.12.2018

Datum odevzdání: 20.05.2019

  
Ing. Martin Fusek, Ph.D.  
vedoucí katedry



  
prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

## **Místopřísežné prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne .....

.....  
Podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou bakalářskou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této bakalářské práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- beru na vědomí, že – podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů – že tato bakalářská práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce, a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne .....

.....  
Podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce: Tomáš Halo

Adresa trvalého pobytu autora práce: V Dolíku 579/7, 793 26 Vrbno pod Pradědem

## **ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

HALO, Tomáš. *Biomechanika – samonavíjecí infuzní hadičky: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra aplikované mechaniky, 2019. Vedoucí práce: doc. Ing. Karel FRYDRÝŠEK, Ph.D.

Tato bakalářská práce se zabývá rozbohem aktuálního stavu používání infuzních hadiček ve zdravotnických zařízeních. Jedná se o rozbor jejich použití, vlastností, materiálů a spojení. Dále je probíráno s nimi používané příslušenství, jako jsou stojany nebo jiné závěsné příslušenství. Hlavním cílem této práce je ideový návrh samonavíjecího zařízení pro tyto hadičky. Z tohoto důvodu je také provedeno a zpracováno měření a výsledné stanovení maximální navíjecí síly.

**Klíčová slova:** Infuze, Infuzní hadičky, Samonavíjecí, Navíjecí zařízení, Bezpečnost, Biomechanika, Design, Měření

## **ANNOTATION OF BACHELOR THESIS**

HALO, Tomáš. *Biomechanics – Automatic Roll-up Infusion Hoses: Bachelor thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Applied Mechanics, 2019. Thesis head: doc. Ing. Karel FRYDRÝŠEK, Ph.D.

The aim of this thesis is to take a look into actual use of infusion hoses in medical facilities. Aim is to analyze the usage, properties, material behavior and properties and connection of two or more hoses. Further discussed are accessories used with infusion hoses like infusion racks or other hanging equipment. The main goal of this thesis is a theoretical design of a self-winding device. For this reason, a measurement is needed to be processed for a final determination of maximal winding force.

**Key words:** Infusion, Infusion hoses, Self-winding, Winding machine, Safety, Biomechanics, Design, Measurement

## Seznam použitých zkratk a znaků

PVC	Polyvinylchlorid
NaCl	Chlorid sodný
ShA	Tvrдость dle Shora
UV	Ultrafialové záření
$k_s$	Koeficient bezpečnosti
N	Newton
F	Síla
$F_A$	Průměrná síla

## Obsah

<b>Seznam použitých zkratk a znaků .....</b>	<b>6</b>
<b>Úvod.....</b>	<b>9</b>
<b>1 Současný stav příslušenství lékařských infuzních, intubačních, drénových, transfuzních a jiných hadiček.....</b>	<b>10</b>
<b>1.1 Obecná část .....</b>	<b>10</b>
<b>1.1.1 V případech, kdy nedochází ke styku s tělními tekutinami nebo dutinami pacienta .....</b>	<b>10</b>
<b>1.1.2 V případech, kdy dochází ke styku s tělními kapalinami a dutinami pacienta .....</b>	<b>12</b>
<b>1.1.2.1 Kanyla.....</b>	<b>12</b>
<b>1.1.2.2 Katetr.....</b>	<b>13</b>
<b>1.1.2.3 Transfuzní hadička .....</b>	<b>14</b>
<b>1.1.2.4 Drén .....</b>	<b>16</b>
<b>2 Materiály hadiček.....</b>	<b>18</b>
<b>2.1 PVC .....</b>	<b>18</b>
<b>2.2 Silikon .....</b>	<b>20</b>
<b>2.3 Nelineární chování polymerů (PVC a Silikon) .....</b>	<b>21</b>
<b>3 Propojení více hadiček.....</b>	<b>23</b>
<b>3.1 Univerzální spojka.....</b>	<b>23</b>
<b>3.2 Rampa .....</b>	<b>24</b>
<b>4 Uchycení infuzí .....</b>	<b>25</b>
<b>5 Inovace .....</b>	<b>28</b>
<b>5.1 Robot stretcher .....</b>	<b>28</b>
<b>5.1.1 Popis Robot stretcheru .....</b>	<b>29</b>
<b>5.1.2 Vliv Robot stretcheru na civilní lékařství.....</b>	<b>30</b>
<b>5.2 Samonavíjecí zařízení.....</b>	<b>30</b>
<b>5.2.1 Mechanické provedení.....</b>	<b>31</b>
<b>5.2.2 Elektronické provedení .....</b>	<b>34</b>

<b>5.2.3 Jiné varianty samonavíjecích zařízení .....</b>	<b>34</b>
<b>6 Zjištění ideální navíjecí síly .....</b>	<b>35</b>
<b>7 Poznatky pro další rozvoj řešení .....</b>	<b>38</b>
<b>Závěr.....</b>	<b>39</b>
<b>Zdroje .....</b>	<b>41</b>
<b>Přílohy .....</b>	<b>42</b>



## Úvod

Tato bakalářská práce se zabývá rozбором aktuálního stavu zdravotnického zařízení zejména infuzních hadiček. Jedná se o rozbor jejich použití v různých oblastech zdravotnictví například pokud dochází ke styku s tělními tekutinami, či naopak. Dále pak rozbor vlastností těchto hadiček zejména z pohledu vlastního materiálu hadičky, a dále samotný rozbor materiálů. V neposlední řadě jsou probírány možnosti spojení infuzních hadiček mezi sebou nebo spolu s jiným používaným příslušenstvím, jako například samotné infuze. Posledním členem jsou stojany nebo jiné závěsné příslušenství.

Hlavním cílem této práce je ideový návrh samonavíjecího zařízení pro tyto hadičky, které by mohlo být použito v robotickém lůžku tzv. „Robot stretcher“ pro Fakultní nemocnici v Ostravě.

Vhodné navíjecí síly pro toto zařízení či jiný obecný způsob navíjení byly experimentálně zjištěny in vivo na člověku a následně vyhodnoceny, čímž vyplňují neznalosti a nejistoty v této oblasti vědecké činnosti

Významná je také publikační činnost související s tématem této práce, která vznikla ve spolupráci s vedoucím bakalářské práce.

# 1 Současný stav příslušenství lékařských infuzních, intubačních, drénových, transfuzních a jiných hadiček.

V této části je rozebírán aktuální stav používání hadiček ve zdravotnictví, v případě kdy hadičky nejsou v přímém styku s pacientem a dále v případě kdy jsou, a slouží k různým účelům.

## 1.1 Obecná část

Hadičky jsou ve zdravotnictví používány v mnoha směrech:

### 1.1.1 V případech, kdy nedochází ke styku s tělními tekutinami nebo dutinami pacienta

- Spojení medicínských přístrojů

Hadičky jsou používány pro spojení dvou nebo více medicínských přístrojů nebo částí stroje kde splňují funkci přenosu různých médií nebo tlaku či podtlaku. Může se jednat o odvod vzduchu z místnosti, odsávání, napouštění, vedení média skrz filtrační stanici nebo vedení látky skrz lázeň pro ohřev na potřebnou teplotu apod. Viz obr. 1.1; 1.2.



Obrázek 1.1: Inhalátor vlhčeného vzduchu [1]



Obrázek 1.2: Tlakoměr [2]

- Integrované součásti medicínských strojů

Tímto jsou myšleny hadičky, které fungují k dopravě media, tlaku nebo splňují jinou klíčovou funkci uvnitř daného medicínského stroje. Viz obr. 1.3.



Obrázek 1.3: Kondenzátor kyslíku [3]

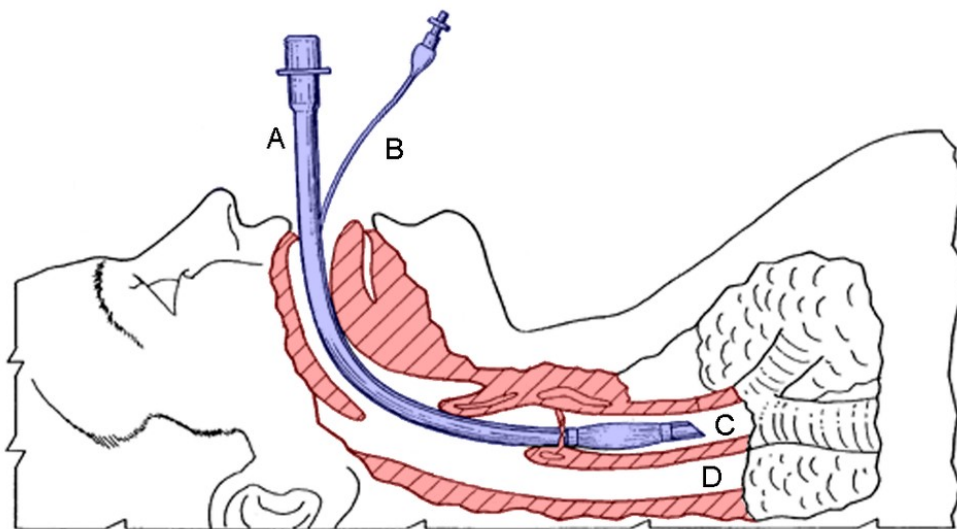
## 1.1.2 V případech, kdy dochází ke styku s tělními kapalinami a dutinami pacienta

Toto je v praxi nejčastější typ použití hadiček ve zdravotnictví.

### 1.1.2.1 Kanyla

- Intubace pacientů (Tracheostomická kanyla)\*<sup>1</sup>

Hadičky jsou v tomto směru používány k zavedení do hrdla pacienta pro ulehčení nebo zajištění dýchání například při operacích nebo po těžkém úrazu zamezující funkci vlastního dýchání, například pokud je pacient ve vegetativním stavu. V tomto případě se jedná o hadičky (kanyly) větších průměrů v porovnání například s infuzními hadičkami. Vyrobené z PVC nebo jiných elastických polymerových materiálů, které vyhovují atestům pro zdravotnické účely. Viz obr. 1.4.



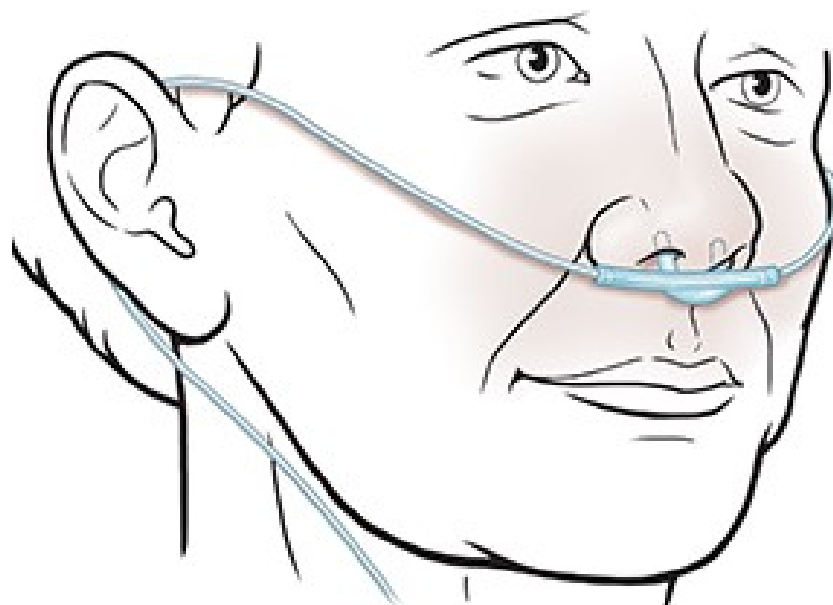
Obrázek 1.4: Zavedení intubační kanyly typ A nebo B pro novorozence <sup>[4]</sup>

- Intubace pro podporu dýchání (nosní kanyla)

V tomto případě jsou pro intubaci používány hadičky (kanyly) menších rozměrů, jelikož není zapotřebí tak velká tuhost pro udržení tvaru jako je tomu u zavedení intubační kanyly do dýchacích cest přes dutinu ústní. Zde dochází k zavedení hadiček (kanyl) do nosních dírek kudy je pacientovy veden vzduch z respirátoru nebo z tlakových láhví s obohacenou směsí vzduchu o potřebnou látku pro ulehčení dýchání.

Tento způsob se používá při hospitalizaci pacientů, ale je běžnější než tracheostomická intubace, která se používá při kritických případech nebo operacích. Viz obr. 1.5.

\*<sup>1</sup> „Tracheostomická“ – Tracheostomie – zavedení kanyly do pacienta dutinou ústní.



Obrázek 1.5: Zavedení nosní kanyly <sup>[5]</sup>

### 1.1.2.2 Katetr

- Srdeční katetrizace

Jedná se o vyšetřovací metodu u pacientů s podezřením na srdeční chorobu, kdy se zavede katetr vhodný pro tento zákrok do těla pacienta skrz tepenný systém do jednotlivých srdečních oddílů. Poté je srze katetr vstříknuta do větších tepen kontrastní látka, která je viditelná pod rentgenem. Viz obr. 1.6.



Obrázek 1.6: Sestava katetru <sup>[6]</sup>

- Močový katetr

Močový katetr se zavádí do močového měchýře za účelem jeho vyprázdnění zejména po operaci, před vyšetřením nebo porodem. Při tomto procesu dojde k vyprázdnění hadičkou vhodného typu katetru.

Rozlišujeme tři hlavní typy katetrů:

- Nelatonův katetr užíván zejména u dětí a žen.
- Tiemanův katetr, který je výhradně používán u mužů. Viz obr. 1.7.
- Foleyův katetr který je zavedený jako permanentní například k chronickému odvodu moči do sběrného sáčku.



Obrázek 1.7: Tiemannův katetr s balónkem <sup>[7]</sup>

### 1.1.2.3 Transfuzní hadička

- Odběr krve (darování)

Darování krve je v dnešní době zcela běžný proces kdy se dobrovolný účastník přihlásí k odběru krve v odběrové stanici, kde je po ověření vzorku krve, pokud je vhodný kandidát, připuštěn k dalšímu odběru pomocí jehly s hadičkou, která je spojená s odběrovým vakem, do kterého se během času z pacienta odebírá krev o objemu například 450 ml. Viz obr. 1.8. K odběru se používá vhodný lékařský přístroj.



Obrázek 1.8: Odběrový vak s odebranou krví <sup>[8]</sup>

- Infuze

Infuzní léčba je lékařský zákrok, při kterém je nemocnému pacientovi zavedena nitrožilní infuze pomocí jehly napojené na hadičku vedoucí do samotného vaku s transfuzním médiem. Viz obr. 1.9; 1.10. Tato transfuze bývá umístěna na stojanu vedle postele pacienta nebo může být zavěšena přímo na posteli, při gravitační infuzi bývá umístěna nad pacientem, pokud není tato možnost dostupná je možné provést infuzi pomocí pumpy. U většiny infuzí se může vyskytovat problematika příliš dlouhé hadičky z důvodu pohybu pacienta například na toaletu, kdy může dojít k znečištění hadičky pohybem po zemi, nebo k jejímu zamotání a možnému následnému ublížení na zdraví pacienta.

Rozeznáváme základní transfuzní média

- Krev
- Živiny nebo vitamíny
- Plazma
- Chemoterapeutická léčba





Obrázek 1.9: Infuzní vak NaCl [9]



Obrázek 1.10: Infuzní vak s krví [10]

#### 1.1.2.4 Drén

Drén je zdravotnické zařízení, relativně jednoduché konstrukce používané k odsávání tělních tekutin při operacích nebo až následně při pooperačních zákrocích, pokud je třeba odvádět nechtěné tekutiny které mohou v těle vznikat.

Druhy drénů:

- Mulový

Může se jednat o smotaný proužek mulu (obvazová tkanina) s pevným okrajem, která nasává vzniklé tekutiny a zavádí se do rány, například ve stomatologii (zubní lékařství).

- Rukavicový

Drén tohoto typu je obvykle vyroben z nastříhané tenké gumy rukavic, a odvádí tekutiny do sterilních čtverců (sterilní gáza).



- Silikonový nebo plastový drén

Do těla pacienta je v místě rány zavedena hadička, která je napojena na samotný drén. V tomto případě může být odsávání zajištěno gravitačně, nebo pomocí podtlaku vytvářeného v samotné nádobě drénu pomocí stlačené plastové „harmoniky“, která se postupem času vrací do nestlačeného tvaru, a tímto procesem probíhá odsávání. Za určitou periodu času je drén zkontrolován, a při jeho plnosti je vyprázdněn a následně je připojen zpátky na hadičku a „harmonika“ je opět uvedena do stavu kdy zajišťuje odsávání. Viz obr. 1.11.



Obrázek 1.11: Rdonův drén fungující na principu podtlaku <sup>[11]</sup>

## 2 Materiály hadiček

Hadičky je možné vyrábět z různých materiálů, ale nejčastěji používané jsou polymery, ze kterých je proveden rozbor vlastností PVC a silikonu.

### 2.1 PVC

PVC celým názvem „Polyvinylchlorid“ je jedním z používaných materiálů pro výrobu infuzních hadiček, viz obr. 2.1; 2.2, ale i ostatního příslušenství, kvůli jeho mechanickým a chemickým vlastnostem. Hadičky z tohoto polymeru jsou vyráběny spékáním několika vrstev spolu s různými lubrikanty, plasticizéry a ostatními přísadami.

Pro zdravotnické účely je velice důležitým elementem bezpečnost toho plastu a samotných výrobků z něj vyrobených, protože se zde vyskytuje možnost, že například kvůli špatnému skladování dojde k porušení některých vrstev plastu a tím pádem může dojít ke kontaminaci přenášené látky, v tomto případě například krve, kdy mohou být následky tohoto jevu smrtící.

Rozbor zabývající se touto problematikou může být nalezen v publikaci „Characterization of the surface physico-chemistry of plasticized PVC used in blood bag and infusion tubing“<sup>\*2</sup> v překladu „Fyzicko-chemická charakterizace povrchu změkčeného PVC používaného pro krevní vaky a infuzní hadice“, z knihy Materials Science and Engineering: C.



Obrázek 2.1: Prodlužovací PVC hadička se spojkou <sup>[12]</sup>

<sup>\*2</sup> Dostupné na <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0928493117305726#f0005>



Tuhost 75 ShA (na požádání 65 ShA)

Balení je zataveno do obalu v čistém prostředí.

Doba expirace je 5 let.

Jiné rozměry na požádání.

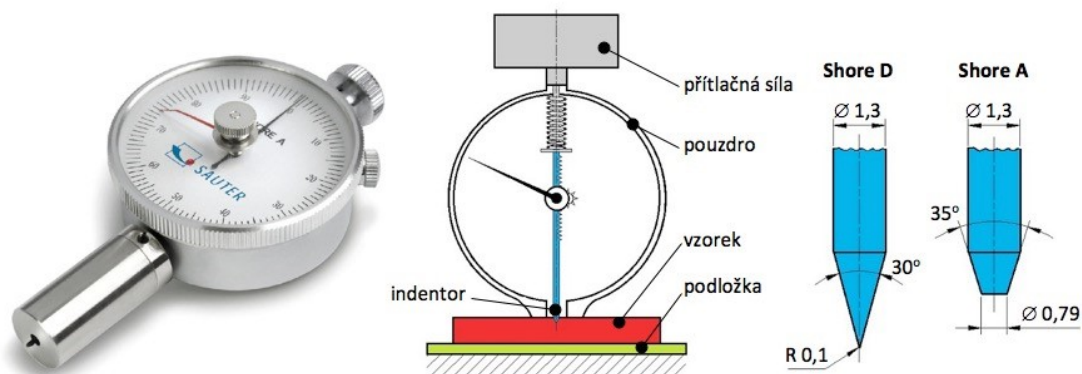
Katal.číslo	Vnitřní průměr mm	Vnější průměr mm	Síla stěny mm	Balení kg	Balení m
KVS 599812	1,0	1,5	0,25	0,10	83,30
KVS 599875	1,0	1,6	0,30	0,15	100,05
KVS 599813	1,0	2,0	0,50	0,25	86,25
KVS 599814	1,5	2,5	0,50		
KVS 599860	2,0	3,0	0,50	0,50	102,00
KVS 599815	1,5	3,5	1,00	0,50	51,00
KVS 599862	2,5	3,5	0,50	0,50	86,00
KVS 599861	2,0	4,0	1,00	1,00	85,00
KVS 599816	3,0	4,0	0,50	0,50	73,50

Obrázek 2.2: Rozměrová tabulka a informace o vlastnostech PVC hadiček výrobce KARDIO VS <sup>[13]</sup>

## JEDNOTKA ShA

Jednotka ShA(D) v nezkráceném tvaru „Shore A(D) hardness“ je jednotkou v praxi nejpožívanější metody pro měření tvrdosti polymerů. Viz obr.2.13. Označení písmenem A určuje metodu, která je při měření použita. Při použití metody s označením A je do materiálu vtlačován hrot ve tvaru komolého kužele s tlačnou silou o velikosti 10 N, která je vyvolána vhodnou pružinou v měřicím zařízení. Měřené hodnoty touto metodou jsou v rozpětí od 0 do 100 ShA. Hodnota tvrdosti se rovná hodnotě vtlačení hrotu do materiálu, zde je možno určit výsledek po jedné sekundě dotyku tzv. okamžitá tvrdost, nebo až po patnácti sekundách.

Jelikož jsou hadičky vyráběny z polymerů, je vhodné měřit jejich tvrdost, nejčastěji více uvedenou metodou dle „Shore“. Měřicí přípravek a hroty používané při měření jsou uvedeny na obrázku 2.3.



Obrázek 2.3: Měření tvrdosti metodou Shore <sup>[14]</sup>

## 2.2 Silikon

Silikonové hadičky, viz obr.2.4, 2.5, jsou alternativou hadičkám z PVC, rovněž mají dobré mechanické vlastnosti, mezi které patří teplotní odolnost, dlouhodobá odolnost vůči UV záření, které způsobuje křehnutí plastů, pružnost a inertní vlastnosti vůči živým organismům (pro živé organismy neškodlivé). Díky těmto vlastnostem mají silikonové hadičky také široké využití v potravinářském průmyslu.

V případě silikonů pro infuzní hadičky je potřebná absolutní zdravotní nezávadnost, díky chemickým úpravám a vlastním inertním vlastnostem materiálu, a nerozpustnost ve vodě nebo jiném médiu se kterým může v tomto prostředí vzniknout styk.



Obrázek 2.4: Silikonová zdravotnická hadička <sup>[15]</sup>



Transparentní silikonové hadičky pro drény, přístroje a laboratoře

Doporučená sterilizace: nasycenou vodní párou pod tlakem 100 kPa, při teplotě 120 stupňů Celsia, po dobu 30 min.

Doba použitelnosti: 5 let od data výroby

Speciální rozměry dle požadavků zákazníka od min. množství 50m.

Atest IIa pro použití do těla

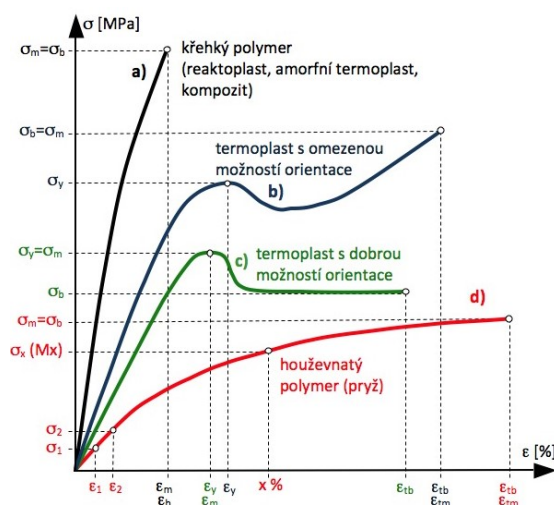
Balení: po 10m v PVC obalu

Katal.číslo	Vnitřní průměr mm	Vnější průměr mm	Síla stěny mm	Balení m
KVS 60-005010	0,50	1,00	0,25	10
KVS 60-006012	0,60	1,20	0,30	10
KVS 60-010015	1,00	1,50	0,25	10
KVS 60-010020	1,00	2,00	0,50	10
KVS 60-010030	1,00	3,00	1,00	10
KVS 60-020040	2,00	4,00	1,00	10
KVS 60-030050	3,00	5,00	1,00	10
KVS 60-040060	4,00	6,00	1,00	10
KVS 60-040070	4,00	7,00	1,50	10
KVS 60-040080	4,00	8,00	2,00	10
KVS 60-050070	5,00	7,00	1,00	10
KVS 60-050080	5,00	8,00	1,50	10
KVS 60-050090	5,00	9,00	2,00	10
KVS 60-050100	5,00	10,00	2,50	10

Obrázek 2.5: Rozměrová tabulka a informace o vlastnostech silikonových hadiček výrobce KARDIO VS [16]

### 2.3 Nelineární chování polymerů (PVC a Silikon)

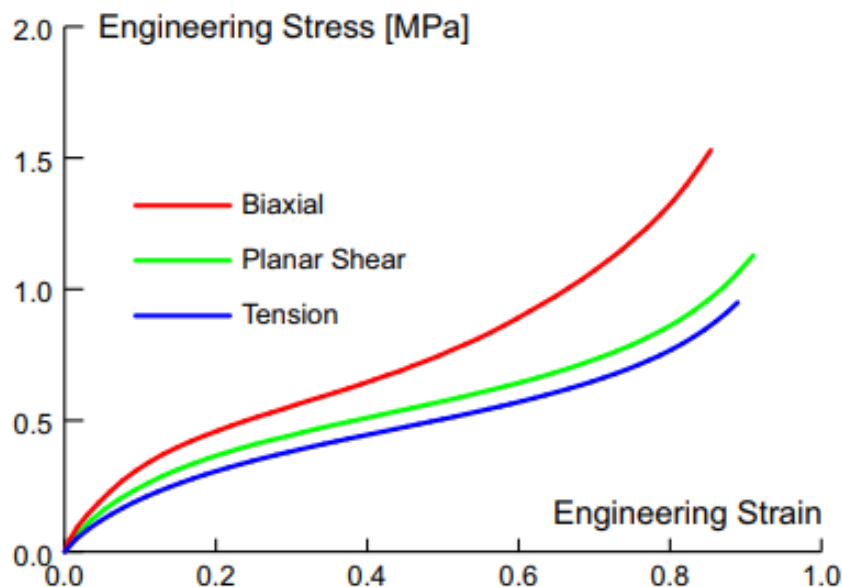
Chování polymerů se významně liší například od chování oceli, a tento rozdíl je znatelný z grafu tahové či jiných zkoušek různých typů polymerů viz obrázek 2.6, 2.7.



Obrázek 2.6: Graf tahové zkoušky různých polymerů [14]

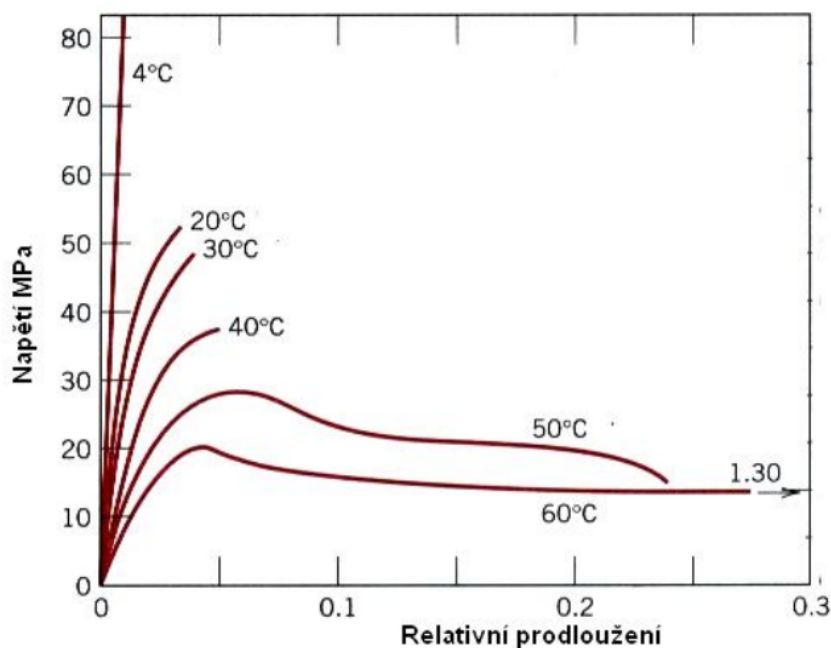


Polymery pro výrobu infuzních hadiček v tomto případě PVC a silikon jsou řazeny do skupin polymerů dle jejich mechanických vlastností a chemického složení, což lze vidět na obrázku 2.6, který znázorňuje tahovou zkoušku. Oba polymery jsou řazeny do skupiny termoplastů.



Obrázek 2.7: Zátěžové zkoušení polymeru <sup>[17]</sup>

Na obrázku 2.7 jsou znázorněny průběhy různých napěťových zkoušek polymerů. Materiálové chování polymerů jsou silně závislé na způsobu zatěžování, a také na teplotě viz obrázek 2.8.



Obrázek 2.8: Závislost mechanických vlastností a teploty <sup>[18]</sup>

### 3 Propojení více hadiček

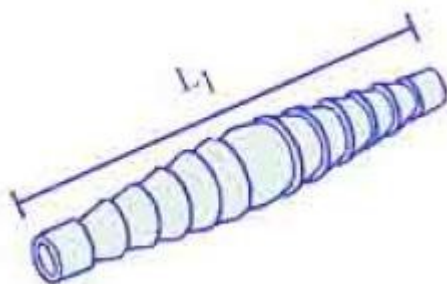
Propojení hadiček je možné samostatně pomocí koncovek, které jsou na některých hadičkách upevněny, nebo pomocí různých spojek, v případě že je nutné spojit hadičky bez koncovek nebo hadičky jiných průměrů. Je-li nutno propojit více hadiček do jedné používá se tak zvaná rampa. Tato rampa je používána ve Fakultní nemocnici Ostrava.

#### 3.1 Univerzální spojka

Spojky hadiček slouží k propojení hadiček například z důvodu prodloužení nebo připojení další hadičky do oběhu. Tyto spojky jsou vyráběné z průhledných polymerů, a lze je rozdělit na různé druhy podle tvaru nebo možnosti hadiček které mohou spojovat.\*<sup>3</sup>

- Spojka přímá symetrická

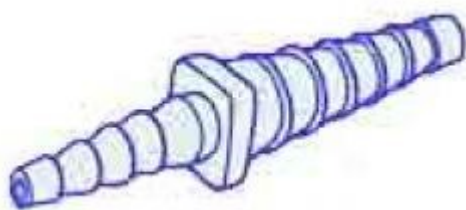
Spojka určená pro spojení dvou hadiček stejného nebo různého průměru v rozmezí umožněném odstupňovanou konstrukcí. Viz obr. 3.1.



Obrázek 3.1: Spojka symetrická odstupňovaná <sup>[19]</sup>

- Spojka přímá asymetrická

Spojka určená pro spojení dvou hadiček různého průměru v rozmezí umožněném odstupňovanou konstrukcí. Viz obr. 3.2.



Obrázek 3.2: Spojka asymetrická odstupňovaná <sup>[19]</sup>

\*<sup>3</sup> Čerpáno z <http://www.kardiovs.cz/univerzalni-pruhledne-spojky.html>

- “Y” spojka

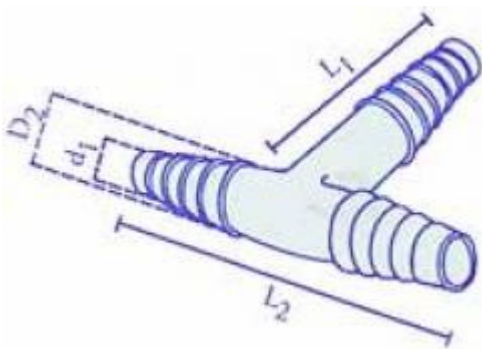
Spojka určená pro spojení tří hadiček stejného nebo různého průměru v rozmezí umožněném odstupňovanou konstrukcí. Viz obr. 3.3.



Obrázek 3.3: Y spojka <sup>[19]</sup>

- “T” spojka

Spojka určená pro kolmé spojení tří hadiček stejného nebo různého průměru v rozmezí umožněném odstupňovanou konstrukcí. Viz obr. 3.4.



Obrázek 3.4: T spojka <sup>[19]</sup>

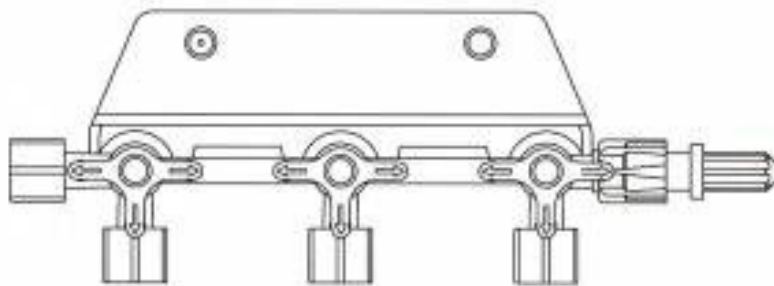
## 3.2 Rampa

Rampa je zařízení používané ke spojení jedné, dvou či více infuzní pomocí infuzních hadiček najednou. Počet infuzí možných pro připojení je dán samotnou konstrukcí rampy. Toto zařízení v každé přípojce pro hadičku obsahuje filtr, který zabraňuje proniknutí nečistot nebo mikročastic do dalšího oběhu, a tak i pacientovi do těla. Konstrukcí se dají rampy rozdělit na rampy se třemi, a pěti kohouty. Viz obr. 3.5; 3.6.



- Rampa se třemi kohouty

Tato rampa umožňuje současné připojení tří infuzí, které jsou pro pacienta potřebné.



Obrázek 3.5: Rampa se třemi kohouty <sup>[20]</sup>

- Rampa s pěti kohouty

Tato rampa umožňuje současné připojení až pěti infuzí dle pacientovy potřeby.



Obrázek 3.6: Rampa s pěti kohouty

## 4 Uchycení infuzí

- Zavěšení na rámu postele (nebo nad postel)

Infuzi je možné zavěsit na rám postele, nebo nad samotnou postel, viz obr. 4.1, ve které je umístěn pacient, je-li tomu samotný rám přizpůsoben konstrukcí, například pokud obsahuje hák na zavěšení infuzního vaku, viz obr. 4.2. V tomto případě není nutné mít u postele pacienta vhodný stojan.

---

Obrázek 3.6 pořízen při konzultaci ve Fakultní nemocnici Ostrava.



Obrázek 4.1: Zavěšení nad postelí



Obrázek 4.2: Zavěšení na zdi pomocí háku



Obrázek 4.3: Zavěšení dvou infuzí na háku rámu postele



Obrázek 4.4: Zavěšení infuzí a infuzní lahve v košíku

- Infuzní stojan

Infuzní stojany slouží k uchycení infuzí, mohou být konstruovány tak, aby se s nimi mohl pacient pohybovat ve volném prostoru, pokud je zapotřebí aby měl stále zavedenou infuzi, nebo jsou konstruovány stacionárně, což znamená, že se s nimi pacient nepohybuje, ve většině případů, pokud je pacient permanentně na lůžku, nebo je možné infuzi na určitý časový úsek sejmout. Další varianta stacionárního stojanu je možnost montáže pouze závěsné části na přizpůsobené vybavení například u postele pacienta.



Obrázek 4.5: Pohyblivý infuzní stojan <sup>[21]</sup>



Obrázek 4.6: Držák na infuze zabudovaný na otočném rameni fixovaném na zeď <sup>[21]</sup>

#### Uchycení infuzních vaků na stojanu

- Zavěšení na háku

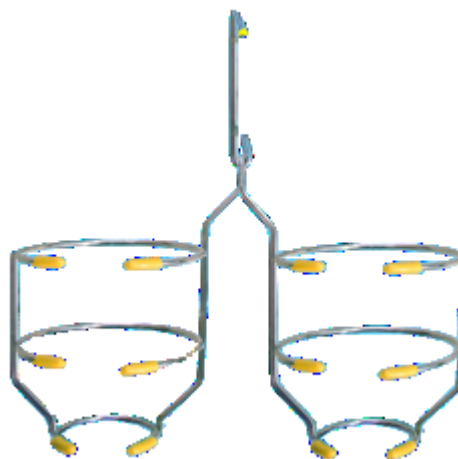
Jedná se o provedení, kdy je vak nebo infuzní sklenice konstrukčně provedena tak, že má na horní části poutko, a tím pádem je možné zavěšení na vlastní hák konstrukce.

- Uložení v zavěšeném košíčku

V tomto případě, pokud konstrukce neumožňuje zavěšení samotné infuze, je infuzní láhev umístěna v odpovídajícím košíčku, který je zavěšen na háku, viz obr. 2.31. Je možné zavěsit více lahví na jeden stojan, jelikož konstrukce košíčků umožňuje zavěšení dvou lahví na jeden hák.



Obrázek 4.7: Závěsný košíček pro infuzní láhev <sup>[21]</sup>



Obrázek 4.8: Závěsný košíček pro dvě infuzní láhve <sup>[21]</sup>

## 5 Inovace

Inovace jsou v každém směru potřebné ke zlepšování bezpečnosti, efektivnosti a v některých případech ke zlepšení nákladové ekonomiky. V našem případě se zejména jedná o zlepšení bezpečnosti jak pacientů, tak personálu, který se pohybuje v prostorech kde mohou být na zemi položené přebytečné délky infuzních hadiček, kvůli čemu by mohlo dojít ke zranění. Problematikou zde řešenou je samonavíjecí infuzní zařízení, které tomuto zabráňuje a dále způsobuje na pohled čistší prostředí z důvodu že se nikde „neválí“ hadičky po zemi.

V následujících podkapitolách jsou uvedeny některé ideové představy inovací.

### 5.1 Robot stretcher

Jedná se o ideu automatizovaného/robotizovaného hospitalizačního lůžka, vhodného například pro vojenské využití, kdy není možné provést bezpečné zajištění pacienta či raněného lidským personálem, nebo pro civilní účely v nemocnicích (převoz pacienta z válečné zóny do bezpečí, práce v kontaminovaném terénu/prostoru, zefektivnění péče o pacienta atp.).

### 5.1.1 Popis Robot stretcheru

Celý stroj by se měl skládat z hlavních částí:

- Pohon stroje

Pohon tohoto zařízení by měla být dálkově nebo autonomně ovládaná robotická jednotka nejspíše s elektrickým motorem a frekvenčním měničem nebo převodovkou, uloženým ve vhodné skříni s vhodným prostředkem dopravy například kola či pásy. Tyto elementy výbavy je vhodné zvolit dle pole působnosti dané jednotky zařízení. Tímto je myšleno pro případný pohyb zařízení v hrubším terénu či působišti vojenských operací, je vhodné, aby bylo zařízení opatřeno bytelnější skříní a pásy. Viz obrázek 5.1.



Obrázek 5.1: Ukázková pohonná jednotka zařízení <sup>[22]</sup>

Pro využití stroje v civilních podmínkách je vhodné konstrukci pohonu odlehčit například lehčí a levněji řešenou skříní a jiným prostředkem dopravy, z důvodu nižší ceny a lepší ekonomiky zařízení.

- Lůžko stroje

Idea lůžka tohoto zařízení je taková, že v lůžku bude obsaženo monitorovací zařízení, samonavíjecí zařízení s infuzními hadičkami, či jiným potřebným materiálem spolu s infuzními pumpami viz obrázek 5.2, pro dodávání infuze pacientovi, pokud není možné využít gravitační účinky pro gravitační infuzi. Další vybavení lůžka není určeno.





Obrázek 5.2: Příklad pumpy pro lůžko

- Zakrytování lůžka

Lůžko by mělo být dále opatřeno vhodným typem zakrytování, tak aby krylo pacienta například před dalšími hrozbami okolí po cestě do péče doktorů, nebo aby krylo okolí před pacientem, například pokud má nějakou závažnou a lehce přenosnou nemoc.

### 5.1.2 Vliv Robot stretcheru na civilní lékařství

Robot stretcher by měl zastávat funkci moderního lůžka v případech kdy nebude nutné speciálního zásahu s použitím tohoto lůžka, a může poskytovat místo pro péči i jinde, pokud bude například traumatologie zaplněná a nebude místo pro další vybavená lůžka, což může zlepšit využití prostoru i vybavení nemocnice.

V případech, kdy bude za potřebí využití tohoto lůžka například při nějaké hromadné nehodě, může zastávat funkci personálu, který může být potřebný u jiných raněných, s tím, že pacient bude napojen na veškeré potřebné vybavení lůžka, a poté jej bude lůžko monitorovat. V případě nutnosti si může doktor pacienta dopravit kam potřebuje přes dálkově ovládanou pohonnou jednotku, bez stálého dohledu školeného personálu. Což může zlepšit ekonomiku nemocnice, z důvodu potřeby menšího počtu záložního školeného personálu.

## 5.2 Samonavíjecí zařízení

Idea samonavíjecího zařízení je taková, že by toto zařízení mělo být levné, skladné, a nenáročné na údržbu či výměnu hadiček nebo jiných zdravotnických prostředků, který by toto zařízení mohlo navíjet, například elektrody EKG. Umístění tohoto zařízení je ideově možné zavěšením nebo uložením v lůžku například v případě robot stretcheru. Vše po

následné úpravě ideové konstrukce. Prozatímní ideové řešení má jednodušší konstrukci oproti nyní patentovaným navíjecím zařízením.

Představa vhodného materiálu zařízení je polymer, z důvodu výroby lisováním, jelikož je tvar zařízení složitější na třískové obrábění a pro větší výrobu je lisování časově i peněžně úspornější. Vhodným polymerem by byl takový, který zvládne časté sterilizování sterilizačními prostředky, protože se zařízení vyskytuje v prostorech s nemocnými pacienty. Pokud jsou tyto požadavky na polymery příliš zátěžové, může být materiál zařízení například nerezová ocel AISI 316L.

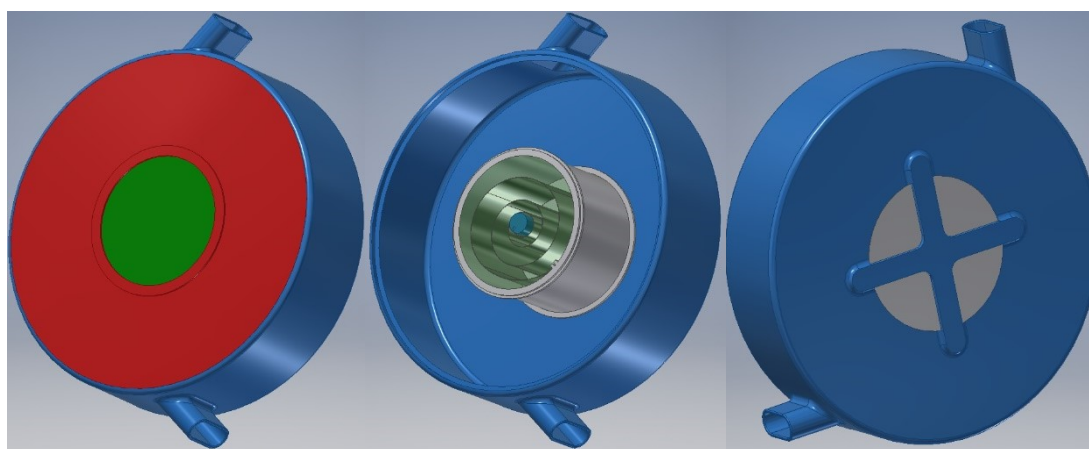
Samonavíjecí zařízení by mělo také dále zabránit problému zamotání hadiček, který by mohl vést k přerušení dodávky tekutin do těla pacienta. Příklad tohoto problému lze vidět například na telefonní šňůře viz obrázek 5.3.



Obrázek 5.3: Zamotaná šňůra telefonu

### 5.2.1 Mechanické provedení

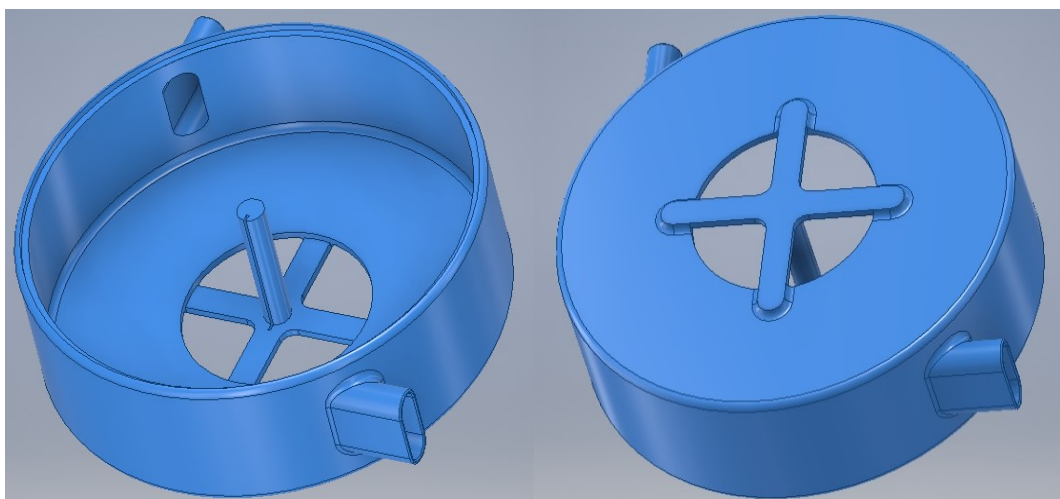
Samotné zařízení s mechanickým provedením navíjení se skládá z pěti částí, viz následující text.



Obrázek 5.4: Navíjecí zařízení – (a) Složené, (b) Bez krytů, (c) Zadní strana

- Stator

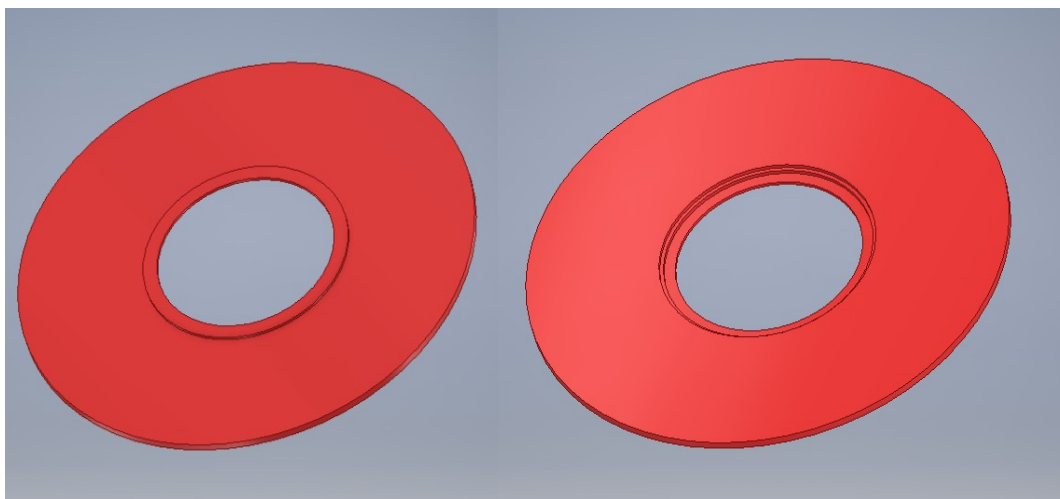
Statorem se rozumí lehké a dobře otevíratelné/uzavíratelné pouzdro, které poskytuje krytí a prostor pro hadičku uloženou uvnitř. Toto pouzdro je nehybné, a může obsahovat prvky pro možný závěs zařízení nebo jiné prvky pro jiný druh umístění. Stator je možno otevřít z jedné strany po sundání víka statoru. Stator dále obsahuje prvek, který je veden skrz rotor, a obsahuje drážku pro usazení navíjecí pružiny.



Obrázek 5.5: Stator zařízení – (a) Zepředu, (b) Zezadu

- Víko statoru

Víko statoru slouží k zakrytí prostoru obsahujícího hadičku, a dále jako přítlačný prvek pro víko rotoru. Uchycení tohoto víka na stator je možné dále řešit změnou konstrukce.

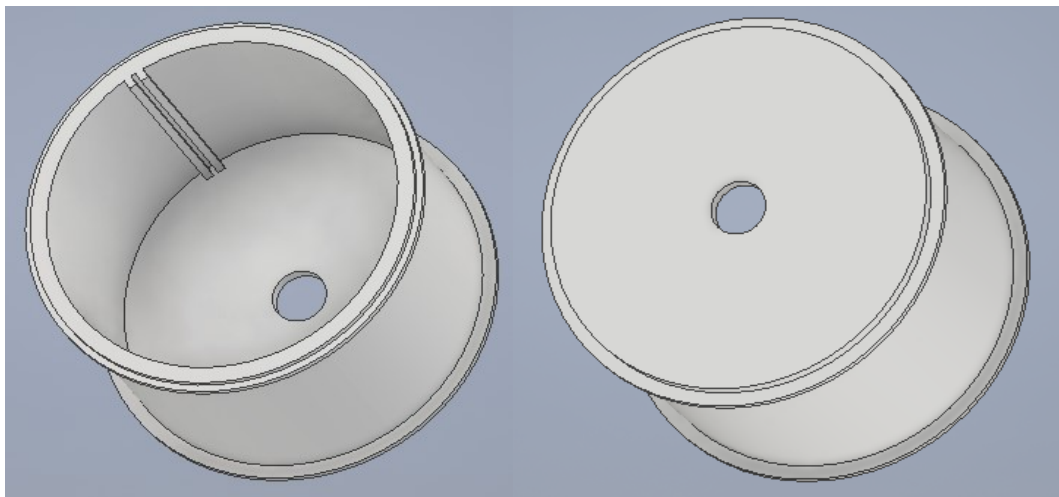


Obrázek 5.6: Víko statoru – (a) Vnější strana, (b) Vnitřní strana



- Rotor

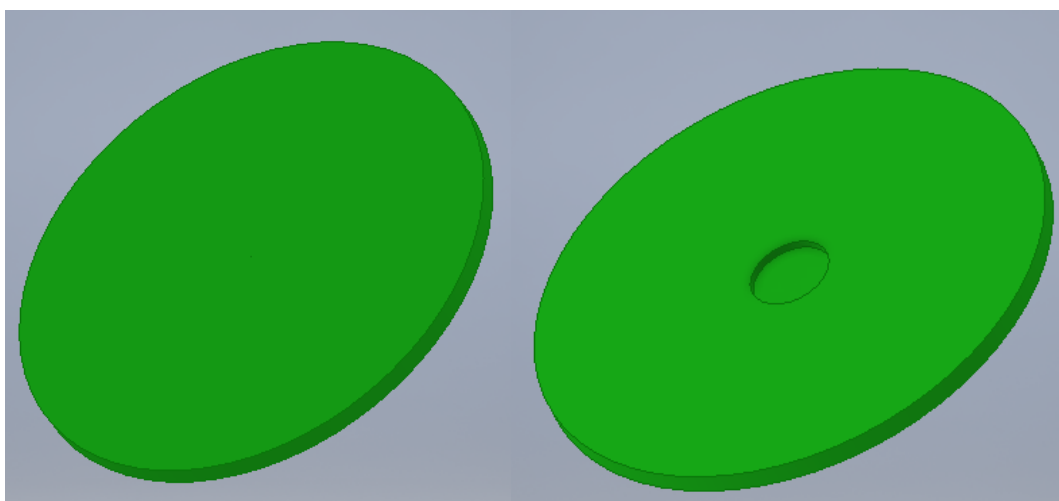
Rotor je vsazen v daném místě statoru, na vnějším obvodu má vybrání pro hadičku, tvar tohoto vybrání je možné dále upravit. Na vnitřním obvodu je obsažena drážka pro uchycení druhého konce navíjecí pružiny. Pohyb rotoru je umožněn v drážkách ve statoru a víku statoru.



Obrázek 5.7: Rotor – (a) Vnitřní strana, (b) Vnější strana

- Víko rotoru

Víko rotoru slouží k zakrytí prostoru obsahujícího navíjecí pružinu, toto víko je přitlačováno víkem statoru. Ve víku je uprostřed obsaženo vybrání, pro prvek statoru, na kterém se pohybuje rotor. Provedení tohoto zakrytí je možné změnit, například pokud bude nežádoucí přístup do této části zařízení.



Obrázek 5.8: Víko rotoru – (a) Vnější strana, (b) Vnitřní strana

- Pružina

Navíjecí pružina je hlavním funkčním elementem zařízení, a musí být zvolena vhodně tak, aby splňovala požadavky pro navíjecí sílu. Umístění pružiny je uvnitř rotoru v drážce rotoru a drážce v prvku statoru. Stanovení navíjecí síly viz kapitola 6 „Zjištění ideální navíjecí síly“.



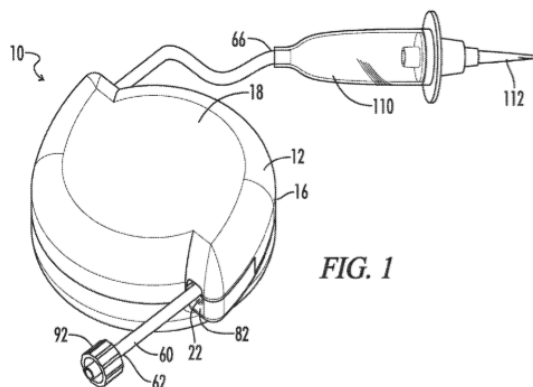
Obrázek 5.9: Příklad použití spirálové/hodinové pružina

### 5.2.2 Elektronické provedení

Provedení zařízení pro ovládání elektronikou má konstrukci téměř totožnou jako mechanické provedení, s jediným rozdílem v provedení rotoru. Rotor v tomto provedení neobsahuje pružinu, ale má jiný tvar a obsahuje drážku nebo spojovací část pro připojení například elektromotoru.

### 5.2.3 Jiné varianty samonavíjecích zařízení

Možné varianty navíjecího zařízení se liší principiálně i konstrukčně, a jsou uvedeny například v patentech, ovšem většina má společné odvíjení z bubnu nebo jiného elementu.



Obrázek 5.10: Americký patent na navíjení pomocí pružiny <sup>[23]</sup>

## 6 Zjištění ideální navíjecí síly

Pro zjištění ideální navíjecí síly, byl zvolen a navržen originální experimentální přístup. Tento experiment byl prováděn v laboratoři v areálu VŠB – TU Ostrava, ve spolupráci se zdravotní sestrou z Jednotky intenzivní péče z Fakultní nemocnice Ostrava.

Je potřeba říci, že tato kapitola jen zlehka informuje o měření a odkazuje hlavně na podrobnější přílohy, které obsahují 2 články z vědeckých konferencí „APPLIED MECHANICS 2019“ a „EAN 2019“, viz přílohy [1] [2].

Experiment řešil měření síly, při které dojde k vytržení kanyly z žíly pacienta. Tato kanyla je v těle pacienta (v tomto případě v předloktí) zajištěna zabezpečujícími lepícími páskami viz obrázek 6.1.



Obrázek 6.1: Nitrožilní kanylace

Původní idea experimentu byla taková, že k měření bude použita prasečí kůže (běžný vepřový bůček s kůží zakoupený v řeznictví) viz obrázek 6.2, ale ta i po řádné a důkladné přípravě (desinfekce, oholení, odmaštění atd.) tak jak je to běžné v lékařství, byla příliš mastná, a zabezpečující pásky na ni nedržely. Incize (vpich) kanyly byla bezproblémová. Samotnou kanylu bez upevnění páskou lze z kůže vytáhnout velice lehce. Z tohoto důvodu bylo nutno zavrhnout tento způsob měření, protože vůbec nezachoval dostatečnou míru podobnosti s použitím u člověka. Nicméně, i tak je to důležité, nové a významné zjištění.



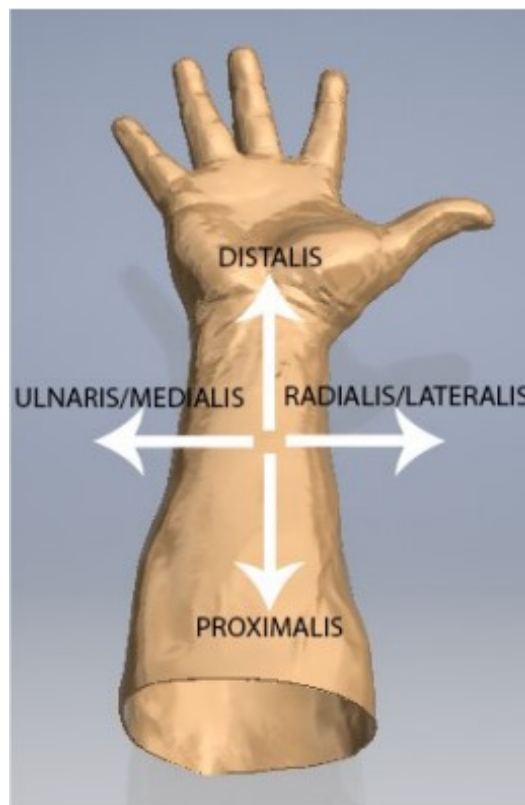
Obrázek 6.2: Zavedená kanyla do prasečí kůže

Z důvodu uvedených výše, bylo měření provedeno na lidském předloktí, z etických důvodů nebyla kanyla zavedena do těla (tj. nebyla provedena její incize), ale pouze přilepena zabezpečovací páskou viz obrázek 6.3. Kanyla v podstatě drží jen přilepením páskou a z mechanického hlediska připevnění kanyly, je incize bezvýznamná. Měření bylo provedeno dvakrát v každém ze sedmi anatomických směrů viz obrázek 6.4 a 6.5.

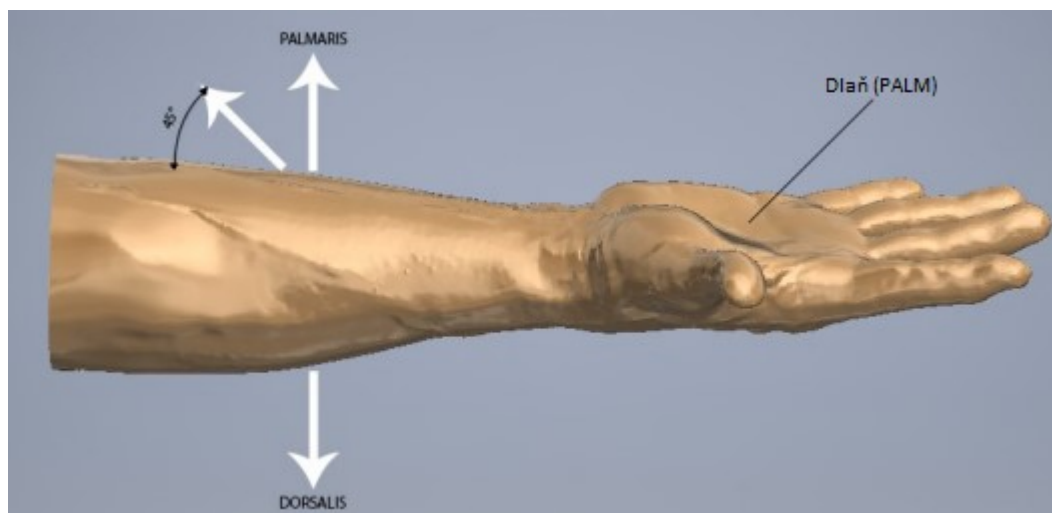
K měření byl použit snímač S2M/100N výrobce HBM s rozsahem do 100 N, který je na Katedře aplikované mechaniky FS VŠB – TU Ostrava.



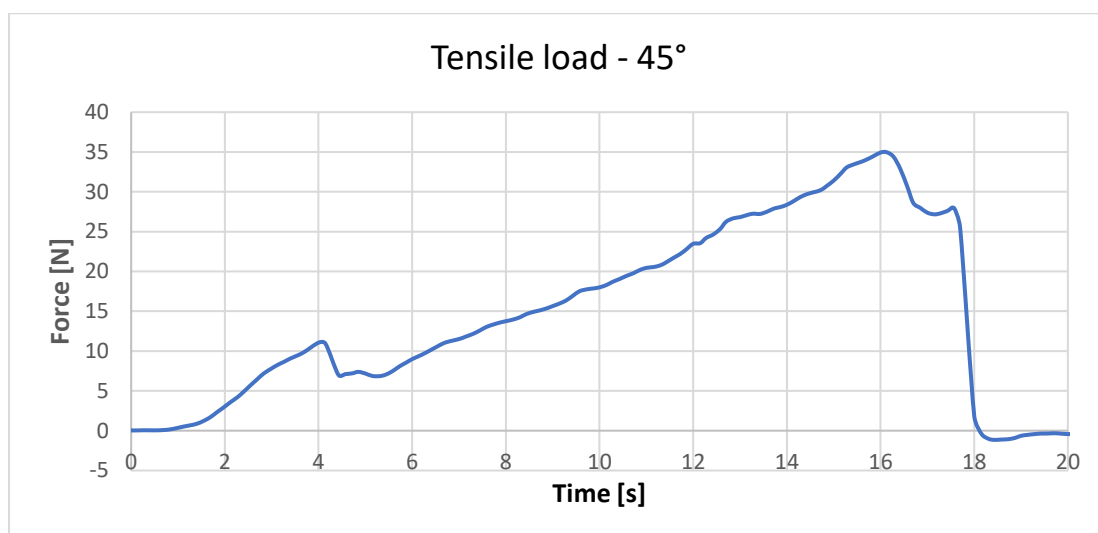
Obrázek 6.3: Přilepená kanyla (pravá ruka)



Obrázek 6.4: Anatomické směry (pravá ruka)



Obrázek 6.5: Anatomické směry (pravá ruka)



Graf 6.1 Časový průběh síly

Výsledky měření byly zaznamenány v grafech viz graf 6.1, kde jsou znázorněny průběhy sil a času. Z těchto naměřených dat byla vypracována tabulka silových hodnot viz tabulka 6.1, a dále určena výsledná síla pomocí zvoleného bezpečnostního koeficientu.

Měření	Směr síly	Max. síla [N]	Průměr [N]
1.	Palmaris <sup>[1]</sup> <sub>[2]</sub>	29.50	24.31
2.		19.12	
3.	45° <sup>[3]</sup> <sub>[4]</sub>	34.98	33.43
4.		31.87	
5.	Distalis <sup>[5]</sup> <sub>[6]</sub>	22.47	22.00
6.		21.52	
7.	Lateralis <sup>[7]</sup> <sub>[8]</sub>	48.46	41.97
8.		35.47	
9.	Medialis <sup>[9]</sup> <sub>[10]</sub>	23.51	31.52
10.		39.52	
11.	Proximalis <sup>[11]</sup> <sub>[12]</sub>	53.30	51.85
12.		50.39	
13.	Dorsalis <sup>[13]</sup> <sub>[14]</sub>	45.92	40.38
14.		34.84	
<b>Maximum</b>		53.30	51.85
<b>Minimum</b>		19.12	22.00
<b>Median</b>		34.91	33.43
<b>Průměr</b>		35.06	35.06

Tabulka 6.1: Naměřené hodnoty

Naměřené síly se vyskytovaly v intervalu od 19.12 N do 53.3 N. Výsledná síla pro výpočet navíjecí síly byla zvolena jako průměr sil o velikosti  $F_A = 35.06$  N.

Výpočet navíjecí síly:

$$F = \frac{F_A}{k_S} = \frac{35.06}{5} \doteq 7 \text{ N} \quad (1)$$

Pro výpočet byl zvolen (odborným odhadem) koeficient bezpečnosti  $k_S = 5$ , tento koeficient je možno dále upravit, na základě dalších měření nebo testu zařízení v praxi.

Poznámka: Kompletní článek o experimentu „BIOMECHANICS – EXPERIMENTAL DETERMINATION OF CRITICAL FORCE NEEDED FOR CANNULA TO BE TORN OUT“, který bude v databázi SCOPUS, v příloze. Jedná se, respektive o dva články. Tabulka je převzata z článku z přílohy, který je psaný v anglickém jazyce.

## 7 Poznatky pro další rozvoj řešení

Vzhledem k originalitě výzkumu infuzních hadiček, originalitě prvotního měření sil a velkému zájmu a aplikovatelnosti získaných informací, se nabízí

- Nastartovat projekt Robot stretcher s vhodnou podporou financování.
- Dokončit vhodné konstrukční řešení samonavíjecího zařízení (cílem byly jen ideové návrhy).
- Zopakovat měření pro získání více dat. Prozatím byly provedeny měření jen u mužů a na jednom způsobu uchycení (páska Tegaderm I.V. od výrobce 3M.). Nabízí se provést měření také pro ženy a pro další způsoby uchycení od jiných výrobců.
- Aplikovat pravděpodobnostní přístup například metodou Monte Carlo při řešení a vyhodnocování spolehlivosti infuzních systémů či měření sil.
- Vymyšlený princip navíjecího zařízení je již patentován, což je dokumentováno patentovou řešerší. Je však možné vlastní ideu rozvíjet.
- Publikovat výsledky společně s vedoucím práce a dále prezentovat veřejnosti.

## Závěr

V této práci byla probrána problematika používání infuzních hadiček a jiného zdravotnického příslušenství jako jsou stojany nebo spojky hadiček a způsoby zavěšení infuzí, v aktuálním stavu.

Zaměření práce je multidisciplinární, kde spolupráce techniků a lékařů přináší nové a cenné nápady a realizace.

Byl proveden rozbor používání hadiček, stojanů, spojování hadiček a materiálové vlastnosti materiálů hadiček jako je PVC a Silikon. Byly uvedeny různé možnosti pro použití hadiček, výhody a nevýhody materiálů, spolu s různými nabídkami hadiček z katalogů výrobců, a dále také jednotky tvrdosti těchto polymerů, spolu s nelineárním chováním. To jsou důležité poznatky pro rozvoj dalších budoucích biomedicínských aplikací.

Uvedeny byly i příklady vybavení z návštěvy Fakultní nemocnice Ostrava, kde proběhla konzultace ideí robotického lůžka „Robot stretcher“ a různé varianty samonavíjecího zařízení jako součást tohoto lůžka. Bakalářská práce tedy reaguje na aktuální potřeby lékařského personálu.

Dále proběhlo ideové řešení a návrh možného designu a funkčnosti samonavíjecího zařízení v provedení mechanickém i ovládaném elektronikou a také patentové řešení z důvodu možného patentu tohoto zařízení. Toto zařízení by mělo být používáno na jednotkách intenzivní péče a traumatologie Fakultní nemocnice Ostrava. Nicméně, výsledky se patentovat nebudou, protože již existují ve světě patentované principy samonavíjecích zařízení.

Povedlo se unikátní měření síly potřebné pro vytržení kanyly z cévy/žíly, a to nejprve z prasečí kůže (vepřový bůček z řeznictví), ale kvůli obtížím s touto kůží (uvedeno v kapitole 6), proběhlo vytrhávání, respektive tahové zkoušky in vivo na lidské kůži. Neproběhla nitrožilní kanylace (incize), kvůli rozporu s etikou byly kanyly pouze přilepeny na kůži vhodnými páskami. Nicméně, kanylu primárně drží pouze zabezpečovací pásky. U navíjecí síly záleží na druhu a kvalitě použité zabezpečovací pásky kanyly. Na základě získaných poznatků lze konstruovat. Data zjištěná tímto experimentem nebyly nikde nalezena, a to velmi zvyšuje význam této práce.

V průběhu dokončování bakalářské práce vznikly dvě publikace s názvem „BIOMECHANICS – EXPERIMENTAL DETERMINATION OF CRITICAL FORCE

NEEDED FOR CANNULA TO BE TORN OUT“\*<sup>4</sup>, na konferenci „APPLIED MECHANICS 2019“ obsažené ve sborníku „Applied Mechanics 2019 – Conference Proceedings“ ISBN 978-80-248-4287-5, a konferenci EAN 2019, kde je publikace BIOMECHANICS – PULLING OUT OF INFUSION HOSES v tisku. Dále jsem se účastnil ve spolupráci s Čepicou D. na publikaci „BIOMECHANICS – SIMPLE STOCHASTIC MODEL OF SITTING HUMAN“\*<sup>5</sup> také obsažené v předešle zmíněném sborníku. Obě publikace budou zřejmě publikované v databázi SCOPUS, což je přídatný vědecký výsledek této práce.

Plánuje se také pokračovat s dalšími měřeními a budoucí výsledky publikovat i v impaktovaném časopise. Také jsou uvedeny poznatky pro další rozvoj řešení problematiky.

---

\*<sup>4</sup> Dostupné na: [http://aplmech.vsb.cz/sbornik/AM2019\\_proceedings.pdf](http://aplmech.vsb.cz/sbornik/AM2019_proceedings.pdf)

\*<sup>5</sup> Dostupné na: [http://aplmech.vsb.cz/sbornik/AM2019\\_proceedings.pdf](http://aplmech.vsb.cz/sbornik/AM2019_proceedings.pdf)



## Zdroje

- [1] www.szo.cz. *Szo* [online]. [cit. 2018-12-03]. Dostupné z: <https://www.szo.cz/cs/lekarske-pristroje/inhalatory-zvlhcovace/>
- [2] www.szo.cz. *Szo* [online]. [cit. 2018-12-03]. Dostupné z: <https://www.szo.cz/cs/lekarske-pristroje/tonometry-tlakomery/>
- [3] www.szo.cz. *Szo* [online]. [cit. 2018-12-03]. Dostupné z: <https://www.szo.cz/cs/lekarske-pristroje/kyslikove-koncentratory/>
- [4] Homesecurity.press. *Home security* [online]. [cit. 2018-12-03]. Dostupné z: <https://homesecurity.press/quotes/breathing-tube-procedure.html>
- [5] www.saintlukeskc.org. *Saint Luke's* [online]. [cit. 2018-12-03]. Dostupné z: <https://www.saintlukeskc.org/health-library/chronic-lung-disease-if-oxygen-prescribed>
- [6] www.forensisgroup.com. *Forensis Group* [online]. [cit. 2018-12-03]. Dostupné z: <https://www.forensisgroup.com/expert-witness/catheter/>
- [7] www.medplus.cz. *Medplus* [online]. [cit. 2018-12-03]. Dostupné z: <https://www.medplus.cz/katetr-mocovy-muzsky-tiemann-s-bal-5-15ml-ch20posilik-latex>
- [8] www.denik.cz. *Deník* [online]. [cit. 2018-12-03]. Dostupné z: [https://www.denik.cz/zdravi/darovani\\_krve\\_cr.html](https://www.denik.cz/zdravi/darovani_krve_cr.html)
- [9] www.hiberniamedical.ie. *Hibernia Medical* [online]. [cit. 2018-12-03]. Dostupné z: <https://www.hiberniamedical.ie/product/nacl-0-9-saline-2/>
- [10] www.allbarcodesystems.com. *All Barcode Systems* [online]. [cit. 2018-12-03]. Dostupné z: <https://www.allbarcodesystems.com/shop/labels/blood-bag-labels/>
- [11] www.lf1.cz. *Neoficiální stránky 1. lékařské fakulty Univerzity Karlovy* [online]. [cit. 2018-12-10]. Dostupné z: <http://lf1.cz/prakticka-z-chirurgie/>
- [12] www.pomuckyseniorum.cz. *PomuckySeniorum.cz* [online]. [cit. 2018-12-10]. Dostupné z: <https://www.pomuckyseniorum.cz/cz-detail-474-prodluzovaci-hadicka-4-2-m.html>
- [13] www.kardiovs.cz. *KARDIO VS* [online]. [cit. 2018-12-10]. Dostupné z: <http://www.kardiovs.cz/pvc-hadice-pro-zdravotnictvi.html>

- [14] www.Publi.cz. Publi [online]. [cit. 2019-02-04]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/09.html>
- [15] www.szo.cz. SZO.cz [online]. [cit. 2018-12-10]. Dostupné z: <https://www.szo.cz/cs/lekarske-pristroje/?saci-hadice-sachad>
- [16] www.kardiovs.cz. KARDIO VS [online]. [cit. 2018-12-10]. Dostupné z: <http://www.kardiovs.cz/silikonove-hadice-pro-zdravotnictvi.html>
- [17] www.Axelproducts.com. Axel [online]. [cit. 2019-05-09]. Dostupné z: [axelproducts.com/downloads/WP\\_Nonlinear\\_FEA-Elastomers.pdf](http://www.axelproducts.com/downloads/WP_Nonlinear_FEA-Elastomers.pdf)
- [18] Www.ped.muni.cz. Pedagogická fakulta Masarykovy univerzity [online]. [cit. 2019-05-09]. Dostupné z: <http://www.ped.muni.cz/wphy/fyzvla/fmkomplet3.htm>
- [19] www.kardiovs.cz. KARDIO VS [online]. [cit. 2018-12-10]. Dostupné z: <http://www.kardiovs.cz/univerzalni-pruhledne-spojky.html>
- [20] Gama.cz. GAMA [online]. [cit. 2019-02-04]. Dostupné z: <https://www.gama.cz/katalog/rampa-3-kohouty-no-pvc>
- [21] www.optingservis.cz. OPTING servis [online]. [cit. 2018-12-10]. Dostupné z: <https://www.optingservis.cz/index.php/nabidka-zboi/908-infnstojan>
- [22] <https://www.baesystems.com/>. BAE SYSTEMS [online]. [cit. 2019-03-11]. Dostupné z: <https://www.baesystems.com/en-uk/article/our-new-unmanned-ground-vehicle-takes-on-dangerous-jobs>
- [23] United States Patent US 10,188,846 B1 Jan. 29 2019

## Přílohy

- [1] HALO Tomáš, FRYDRÝŠEK Karel, ČEPICA Daniel, KOPELANT Michal, FOJTÍK František, PLEVA Leopold. BIOMECHANICS – EXPERIMENTAL DETERMINATION OF CRITICAL FORCE NEEDED FOR CANNULA TO BE TORN OUT. *Applied Mechanics 2019 – Conference Proceedings*. 2019, 85-90. ISBN 978-80-248-4287-5.
- [2] FRYDRÝŠEK Karel, HALO Tomáš, ČEPICA Daniel, FOJTÍK František, KOLÁŘ, Václav, Leopold PLEVA. Biomechanics – Pulling out of Infusion Hoses. 2019. [In print]