



Optimalizace zařízení pro měření vlastností cévních náhrad při vnitřním přetlaku

Bakalářská práce

Studijní program: B3107 – Textil
Studijní obor: 3106R016 – Textilní technologie, materiály a nanomateriály
Autor práce: **Ondřej Němeček**
Vedoucí práce: Ing. Ondřej Novák, Ph.D.





Apparatus optimization for measurement of properties of vascular grafts under inner pressure

Bachelor thesis

Study programme: B3107 – Textil

Study branch: 3106R016 – Textile Technologies, Materials and Nanomaterials

Author: **Ondřej Němeček**

Supervisor: Ing. Ondřej Novák, Ph.D.



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta textilní

Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Ondřej Němeček**

Osobní číslo: **T13000331**

Studijní program: **B3107 Textil**

Studijní obor: **Textilní technologie, materiály a nanomateriály**

Název tématu: **Optimalizace zařízení pro měření vlastností cévních náhrad při vnitřním přetlaku**

Zadávací katedra: **Katedra netkaných textilií a nanovláknenných materiálů**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Studujte možnosti stanovení odolnosti poddajných těles vůči vnitřnímu přetlaku. Zabývejte se metodami stanovení tlaku.
2. Zdokumentujte stávající stav zařízení a navrhňte jeho úpravy umožňující měření odolnosti vůči vnitřnímu tlaku, prodyšnosti a průsaku.
3. Návrh realizujte v podobě konstrukčního řešení, výkresové dokumentace a zařízení sestrojte.
4. Proveďte ověřovací experiment. Získané poznatky diskutujte a případně navrhňte zlepšení konstrukce zařízení.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. DRÁBKOVÁ, Sylva. Mechanika tekutin. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2007. ISBN 978-80-248-1508-4.
2. Janalík, J., Šťáva, P.: Mechanika tekutin, Skriptum, Ostrava: VB-TU Ostrava, 2002. 124 S. ISBN 80-248-0038-1
3. CHOMIČ, Dimitrij. Vliv mechanických vlastností cévních protéz na jejich klinické použití [online]. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství, 2010 [cit. 2016-04-11]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/16950>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství. Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky. Vedoucí práce Jiří Burša.
4. YALCIN, I., J. HORAKOVA, P. MIKES, T. G. SADIKOGLU, R. DOMIN a D. LUKAS. Design of Polycaprolactone Vascular Grafts. Journal of Industrial Textiles [online]. 2016, 45(5), 813-833 [cit. 2016-04-11]. DOI: 10.1177/1528083714540701. ISSN 1528-0837. Dostupné z: <http://jit.sagepub.com/cgi/doi/10.1177/1528083714540701>

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Ondřej Novák, Ph.D.

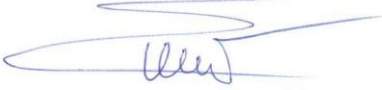
Katedra netkaných textilií a nanovláknenných materiálů

Datum zadání bakalářské práce: **26. března 2015**

Termín odevzdání bakalářské práce: **13. května 2016**


Ing. Jana Drašarová, Ph.D.
děkanka




prof. RNDr. David Lukáš, CSc.
vedoucí katedry

V Liberci dne 26. března 2015

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Bc. Ondřeji Novákovi, Ph.D. za věcné připomínky, trpělivost a vstřícnost při vypracování této bakalářské práce.

V neposlední řadě patří velké poděkování mé rodině a přítelkyni za podporu během studijních let.

Anotace

Tématem této bakalářské práce je optimalizace zařízení pro měření vlastností cévních náhrad při vnitřním přetlaku. Popisuje se zařízení, které je určeno pro zkoušení cévních náhrad z hlediska maximálního vnitřního přetlaku tlaku, prodyšnosti vzduchu a průsaku vody. Hlavním bodem optimalizace bylo navržení jednotlivých uzlů, jejich optimální rozmístění a propojení a zároveň navržení metodiky měření. Cílem bylo, aby ovládání celého zařízení bylo pro obsluhu maximálně intuitivní a nenáročné. Stávající stav nekompletního zařízení byl nejprve zdokumentován a byly vytvořeny 3D modely v programu Solid Edge. V témže programu byly také dokumentovány i realizované optimalizace, které zahrnovaly změny v jednotlivých uspořádáních konstrukčních uzlů zařízení. Součástí optimalizací bylo i navržení nových komponent nutných pro realizaci zařízení. V experimentální části jsou navrženy metodiky testování a popsány aplikované postupy. Výsledky prováděných měření jsou statisticky vyhodnoceny, graficky zpracovány a okomentovány. V diskuzi jsou nastíněny návrhy vylepšení, které by bylo vhodné pro zpřesnění měření na zařízení provést.

Klíčová slova

průsak, průtok, protržení, vnitřní přetlak, cévní náhrada

Annotation

The issue of this bachelor thesis is the optimization of the device used for measuring properties of vascular grafts during internal overpressure. It describes the device which is used for testing of vascular grafts from the viewpoint of the maximum internal overpressure, air permeability and water leakage. The main point of this thesis is to design optimization of individual nodes, their optimal placement and connection and also a design of measurement methodology. The goal is to have the control of the entire device which would be maximally intuitive and effortless. The current state of the incomplete device has been documented at first and then 3D models were created in Solid Edge. Implemented optimizations, which include changes in various configurations of structural nodes, are documented in the same software. Optimisations also include new components, which are necessary for realization of the device. Designed testing methodology and described applied procedures are listed in the experimental part of the theses. The results of the measurements are statistically evaluated, graphically presented and commented. Proposals for improvements of the device measurement precision are mentioned in the discussion part.

Keywords

Leakage, flow rate, bursting, inner overpressure, vascular graft

Obsah

Úvod	12
1. Rešeršní část	14
1.1. Základní vlastnosti plynů a kapalin.....	14
1.2. Tlak	15
1.3. Stanovení vybraných veličin	15
1.3.1. Měření tlaku	15
1.3.2. Měření prodyšnosti.....	18
1.3.3. Měření průsaku.....	19
1.4. Jednotky tlaku	20
1.5. Postupy měření textilních materiálů membránového typu.....	21
1.5.1. Zkouška pro zjišťování pevnosti a roztažitelnosti při protržení.....	21
1.5.2. Zjišťování odolnosti proti mechanickému pronikání	23
2. Teoretická část	25
2.1. Charakteristické vlastnosti UCN.....	25
2.2. Mechanické vlastnosti UCN	26
2.3. Návrh měřicí metody.....	28
3. Výchozí stav zařízení	30
3.1. Úprava stlačeného vzduchu.....	32
3.2. Přesná regulace tlaku vzduchu	32
3.3. Ostatní použité součásti.....	33
4. Návrh a popis řešení	35
4.1. Zdokumentování a vizualizace výchozího stavu.....	35
4.2. Návrh uspořádání jednotlivých komponent	36
4.2.1. Návrh trnu	38

4.2.2.	Upevnění cévy na trn	39
4.2.3.	Přípravek pro nasazení o-kroužků.....	40
4.2.4.	Bezpečnostní zakrytování měřícího uzlu	41
4.3.	Finální návrh zařízení.....	42
4.3.1.	Nastavení zařízení pro stanovení přetlaku	46
4.3.2.	Nastavení zařízení pro stanovení prodyšnosti.....	48
4.3.3.	Nastavení zařízení pro stanovení průsaku.....	49
4.4.	REALIZACE.....	51
5.	Experiment	54
5.1.	Popis vzorků.....	54
5.2.	Stanovení odolnosti vůči vnitřnímu přetlaku vzduchu.....	55
5.2.1.	Výsledky odolnosti cév při vnitřním přetlaku.....	56
5.2.2.	Různé druhy porušení UCN	58
5.3.	Stanovení prodyšnosti tlakem vzduchu.....	60
5.3.1.	Postup měření.....	60
5.3.2.	Výsledky měření	61
5.4.	Stanovení průsaku tlakem vody	63
5.4.1.	Postup měření.....	63
5.4.2.	Výsledky měření	64
6.	Diskuze	67
7.	Závěr	69
8.	Použitá literatura	70

Seznam tabulek

<i>Tabulka 1 Výsledky měření přetlaku vzduchu.....</i>	<i>57</i>
<i>Tabulka 2 Výsledky z měření prodyšnosti.....</i>	<i>61</i>
<i>Tabulka 3 Naměřené rozměry cévy při měření prodyšnosti</i>	<i>61</i>
<i>Tabulka 4 Hustota, kinematická a dynamická viskozita</i>	<i>62</i>
<i>Tabulka 5 Výsledky z měření průsaku.....</i>	<i>65</i>
<i>Tabulka 6 Naměřené rozměry cévy při měření průsaku</i>	<i>65</i>

Seznam obrázků

<i>Obrázek 1 Základní rozdělení tlaků – převzato [6]</i>	<i>16</i>
<i>Obrázek 2 Graf přepočtu tlaku z Bar na mmHg.....</i>	<i>21</i>
<i>Obrázek 3 Schéma principu zkoušky hydraulickou metodou [12]</i>	<i>22</i>
<i>Obrázek 4 Schéma zkoušky odolnosti proti mechanickému pronikání – převzato [11].</i>	<i>24</i>
<i>Obrázek 5 Jednoduché schéma zařízení pro výrobu cévních náhrad – převzato [14]... </i>	<i>26</i>
<i>Obrázek 6 Řez válcové nádoby v obvodovém a osovém směru – převzato [15]</i>	<i>27</i>
<i>Obrázek 7 Schéma návrhu měřicí metody pomocí membránového prvku.....</i>	<i>29</i>
<i>Obrázek 8 Přední strana zařízení</i>	<i>30</i>
<i>Obrázek 9 Zadní strana zařízení.....</i>	<i>30</i>
<i>Obrázek 10 Jednoduché schéma rozvodu vzduchu výchozího zařízení</i>	<i>31</i>
<i>Obrázek 11 Rozvodu vzduchu ve výchozím stavu zařízení</i>	<i>31</i>
<i>Obrázek 12 Součást LFR-1/4-D-MINI-KC společně s U-1/8.....</i>	<i>32</i>
<i>Obrázek 13 Součást LRP-1/4-4 s MAP-</i>	<i>33</i>
<i>Obrázek 14 Stupnice manometru.....</i>	<i>33</i>
<i>Obrázek 15 Součást KS4-1/4-A.....</i>	<i>33</i>
<i>Obrázek 16 Součást QS-G1/4-6.....</i>	<i>33</i>
<i>Obrázek 17 Součást QST-6.....</i>	<i>34</i>
<i>Obrázek 18 Součást HE-3-QS-6.....</i>	<i>34</i>
<i>Obrázek 19 Hadice PUN-6x1</i>	<i>34</i>
<i>Obrázek 20 Přímá nástrčná koncovka.....</i>	<i>34</i>
<i>Obrázek 21 Pohledy zařízení zobrazené ve výchozím stavu</i>	<i>36</i>
<i>Obrázek 22 Kompletní schéma navrženého zapojení</i>	<i>37</i>
<i>Obrázek 23 Jednoduchý výkres trnu.....</i>	<i>39</i>

<i>Obrázek 24: Znáznornění ukotvení UCN přes o-kroužky.....</i>	<i>40</i>
<i>Obrázek 25 Jednoduchý výkres přípravku pro nasazení o-kroužků</i>	<i>41</i>
<i>Obrázek 26 Jednoduchý výkres zakrytování měřicího uzlu</i>	<i>42</i>
<i>Obrázek 27 Vzdálený pohled finálního zařízení</i>	<i>43</i>
<i>Obrázek 28 Přední strana finálního zařízení.....</i>	<i>44</i>
<i>Obrázek 29 Horní pohled finálního zařízení</i>	<i>44</i>
<i>Obrázek 30 Zadní strana finálního zařízení</i>	<i>45</i>
<i>Obrázek 31 Levá a pravá strana finálního zařízení</i>	<i>45</i>
<i>Obrázek 32 Vizualní řez neporušené cévy před testem.....</i>	<i>46</i>
<i>Obrázek 33 Vizualní řez prasknuté cévy po testu</i>	<i>47</i>
<i>Obrázek 34 Čelní pohled sestaveného zařízení</i>	<i>51</i>
<i>Obrázek 35 Zadní pohled sestaveného zařízení.....</i>	<i>52</i>
<i>Obrázek 36 Boční pohledy sestaveného zařízení.....</i>	<i>53</i>
<i>Obrázek 37 Horní pohled sestaveného zařízení</i>	<i>53</i>
<i>Obrázek 38 Připravené cévy vzorku 5 pro testování</i>	<i>55</i>
<i>Obrázek 39 Srovnání naměřených průměrných max. tlaků dle vzorku</i>	<i>58</i>
<i>Obrázek 40 Destrukce cévní náhrady u vzorku 1</i>	<i>59</i>
<i>Obrázek 41 Destrukce cévní náhrady u vzorku 3</i>	<i>59</i>
<i>Obrázek 42 Průběh měření prodyšnosti</i>	<i>61</i>
<i>Obrázek 43 Měření průsaku</i>	<i>64</i>

Seznam používaných symbolů a zkratk

UCN	Umělá cévní náhrada	
SD	Směrodatná odchylka	
IS	Interval spolehlivosti	
PCL	Polykaprolakton	
PLC	Kopolymer polylaktidu a polykaprolaktonu	
rpm	Otáčky za minutu	[min ⁻¹]
pb	Barometrický tlak	[Pa]
pa	Absolutní tlak	[Pa]
ps	Statický tlak	[Pa]
pd	Dynamický tlak	[Pa]
pc	Celkový tlak	[Pa]
Δp	Diferenční tlak	[Pa]
p	Tlak	[Pa]
F	Síla	[N]
S	Plocha	[m ²]
h	Výška sloupce kapaliny	[m]
g	Gravitační zrychlení	[m.s ⁻²]
ρ	Hustota	[kg.m ⁻³]
Q_v	Objemový průtok	[m ³ .s ⁻¹]
Q_m	Hmotnostní průtok	[kg.s ⁻¹]
Q	Množství zachycené kapaliny	[ml.min ⁻¹]
O	Obvod cévy	[cm]
A	Plocha cévy	[cm ²]
d	Průměr cévy	[mm]
V	Objem	[m ³]
l	Délka	[mm]
t	Čas	[s]
w	Součin střední rychlosti proudění	[m ³ .s ⁻¹]
S_p	Průtočný průřez	[m ²]
σ	Normálové mechanické napětí	[MPa]
R_z	Poloměr zakřivení	[mm]
p_h	Tlak kapaliny	[MPa]
σ_x	Osová membránové napětí válcové skořepiny	[MPa]
σ_φ	Obvodové membránové napětí válcové skořepiny	[MPa]
E	Modul pružnosti	[MPa]
ν	Poissonovo číslo	[1]
ε_x^M	Osová membránová poměrná deformace válcové skořepiny	[1]
ε_φ^M	Obvodová membránová poměrná deformace válcové skořepiny	[1]
R	Poloměr válcové skořepiny	[mm]
s	Tloušťka skořepiny, elementu	[mm]

Úvod

Vývoj umělých cévních náhrad (UCN) je velice zásadním tématem zdravotnictví. Problémem jsou kardiovaskulární choroby, tedy onemocnění srdce a cév. V současnosti se využívá tzv. bypassu, což znamená vytvoření umělé cévní spojky v zúžených nebo uzavřených místech tepen. [1] Cévní protézy jsou využívány tam, kde nelze použít jiné metody bypassu a jsou aplikovány v místech s vyšším průtokem krve. [2]

Ve zdravotnictví se velmi často hledá uplatnění nově nalezených materiálů a technologií. Vlastnosti vyvíjených cévních protéz, resp. cévních náhrad je nutné objektivně hodnotit pomocí vhodných metod. Získané informace jsou pak vhodné k posouzení kvality výrobky i ke vzájemnému porovnání. Díky tomu lze hledat optimální kombinaci materiálů a zvolené technologie výroby. Sestrojení takového zařízení popisuje tato bakalářská práce, která je zaměřena na optimalizaci zařízení pro měření vlastností cévních náhrad při vnitřním přetlaku.

Práce navazuje na předchozí projekt, který byl zaměřen na výrobu zařízení pro testování UCN. Toto zařízení bylo převzato v nedokončeném stavu a cílem bylo tento projekt dokončit. Konkrétně se jednalo o pneumatický systém, který reguloval tlak vzduchu. Hlavním cílem optimalizace je navržení jednotlivých měřících uzlů, jejich optimální rozmístění a propojení a zároveň navržení metodiky měření. Ovládání celého zařízení by mělo být pro obsluhu maximálně intuitivní a nenáročné. Nejprve bylo zařízení realizováno pouze pro měření vnitřního přetlaku, ale v průběhu prací bylo provedeno rozšíření o možnost měření prodyšnosti vzduchu a průsaku vody. Nedílnou součástí jsou i ochranné prvky, které slouží k zachycení odtržených kousků UCN tlakem vzduchu. Veškeré tyto náležitosti jsou shrnuty do kompaktního celku, a proto je zaručena snadná obsluha zařízení.

Celé zařízení je nejprve překresleno do 3D podoby v programu Solid Edge a následně optimalizováno pro měření přetlaku vzduchu, prodyšnosti a průsaku vody. Finální vizualizace je zdokumentována v části návrhu a popisu řešení. Jedná se o imaginární zařízení, které zobrazuje budoucí návrh konstrukce zařízení. Konečné sestavené zařízení se může lišit a bude zdokumentováno a popsáno v kapitole realizace.

První část experimentu je zaměřena na postup měření cévních náhrad pomocí přetlaku vzduchu. Jedná se o pneumatickou metodu burst strength, kde místo měřené plošné textilie je měřena textilie v tubulárním tvaru, z důvodu nedostatečných rozměrů

vzorku. Tato upravená metoda měření vychází z normy ISO 13938-2. Hlavním úkolem je dosažení naměřené maximální hodnoty tlaku od jednotlivých vzorků cév. Veškerá data jsou vyhodnocena a zapsána do tabulky. Dále výsledné hodnoty mohou být porovnány se vzorkem skutečné cévy. Výsledky tohoto experimentu vytvoří ucelenou představu o vhodnosti UCN z pohledu mechanické odolnosti.

Ve druhé části experimentu je řešena prodyšnost UCN při konstantním přetlaku vzduchu. Cílem je zjištění orientační hodnoty prodyšnosti. Prodyšnost úzce souvisí s porózitou cévní stěny, která je důležitým faktorem pro prorůstání buněčných elementů – lidskou tkání. Umělá céva vyrobená z vláken slouží jako lešení pro buňky, které umožní snazší tvorbu nové tkáně. [3] Porozita je klíčová pro snadnou proliferaci. Vzniká struktura podle tvaru polymerní předlohy. Hodnota prodyšnosti je vyjádřena množstvím vzduchu prošlého skrz stěnu cévy v mililitrech na centimetr čtverečný za minutu. Tato metoda není normována a je provedena jako doplněk pro posouzení porozity.

Ve třetí a poslední části experimentu se měří průsak vody přes stěnu UCN. Tato metoda měření je velmi podobná měření prodyšnosti ve druhém experimentu. Místo vzduchu je ale použito kapalné médium. Zkoumá se, kolik vody prosákne cévní stěnou při určitém tlaku na centimetr čtverečný za minutu. Tato metoda je dána normou ISO 7198.

V diskuzi jsou navrženy změny, které by se v budoucnu mohly na zařízení provést, aby měření bylo přesnější, jednodušší a rychlejší.

1. Rešeršní část

V této části bakalářské práce jsou popsány základní vlastnosti plynů, kapalin a možnosti měření tlaku. V závěru kapitoly jsou uvedeny postupy měření tlaku, prodyšnosti a průsaku textilních materiálů membránového typu.

1.1. Základní vlastnosti plynů a kapalin

Rozdílnou vlastností mezi tekutinou a tuhým tělesem je pohyblivost molekul u kapalin a plynů. Pokud jsou nepatrné deformace u tuhého tělesa zanedbány, pak se soustava chová jako tuhý celek hmotných bodů. Tekutina je látka, která se oproti tuhým tělesům vždy nevratně deformuje.

Základní společnou vlastností plynů a kapalin je tekutost. Tekutost zjednodušeně znamená, že se částice po sobě velmi snadno a dobře pohybují. Toto platí pro tekutiny i plyny. A právě díky tekutosti nemají kapaliny ani plyny stálý tvar, ale přizpůsobují se tvaru nádoby.

Dalším parametrem je stlačitelnost plynů a kapalin. Pro zjednodušení úvah se zavádí zjednodušené pojmy, jako jsou ideální kapalina a ideální plyn. Zatímco ideální kapalina je nestlačitelná a bez známek vnitřního tření, ideální plyn je dokonale stlačitelný a také bez známek vnitřního tření. [4]

Kapaliny a plyny zaujímají odlišné chování:

Kapaliny

- téměř nestlačitelné díky malým vzdálenostem mezi částicemi
- jsou-li v klidu, mají v gravitačním poli země vodorovnou hladinu
- zachovávají konstantní objem za stálého tlaku a teploty
- vykazují vnitřní tření – viskozitu, liší se podle druhu kapalin (med, voda)
- vykazují kapilární jevy (smáčení x nesmáčení stěn nádoby) [4]

Plyny

- vzájemné síly jsou mezi molekulami bezvýznamné
- nemají stálý tvar ani objem
- jsou velmi lehce stlačitelné díky velkým vzdálenostem mezi částicemi [4]

1.2. Tlak

Tlak je jedna z nejčastěji měřených veličin zejména u technických aplikací. Z obecné definice tlaku vyplývá, že tlak je fyzikální veličina obvykle označená písmenem p (pressure). Vyjadřuje poměr působící síly F (force) na kolmou, rovnoměrně rozloženou rovinnou plochu S (surface). Nerovnoměrné rozložení tlaku je dáno obecně dle (1).

$$p = \frac{dF}{dS} \quad [1\text{Pa} = 1\text{N} \cdot \text{m}^{-2} = 1\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}] \quad (1)$$

Tlak působí vždy kolmo na plochu, kde je v daném místě ve všech směrech stejný. Nezávisí tedy na sklonu plošky, na kterou působí. [5]

Nebo se dá určit z hydrostatického tlaku, který je dán účinkem sloupce kapaliny. Hydrostatický tlak je dán dle výrazu (2). [5]

$$p = h \cdot \rho \cdot g \quad (2)$$

kde: h – výška sloupce kapaliny [m]

ρ – hustota kapaliny [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

g – gravitační zrychlení [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$]

1.3. Stanovení vybraných veličin

Níže jsou popsány jednotlivé parametry, které budou u cévní náhrady stanovovány. Konkrétně se jedná o měření tlaku, prodyšnosti a průsaku.

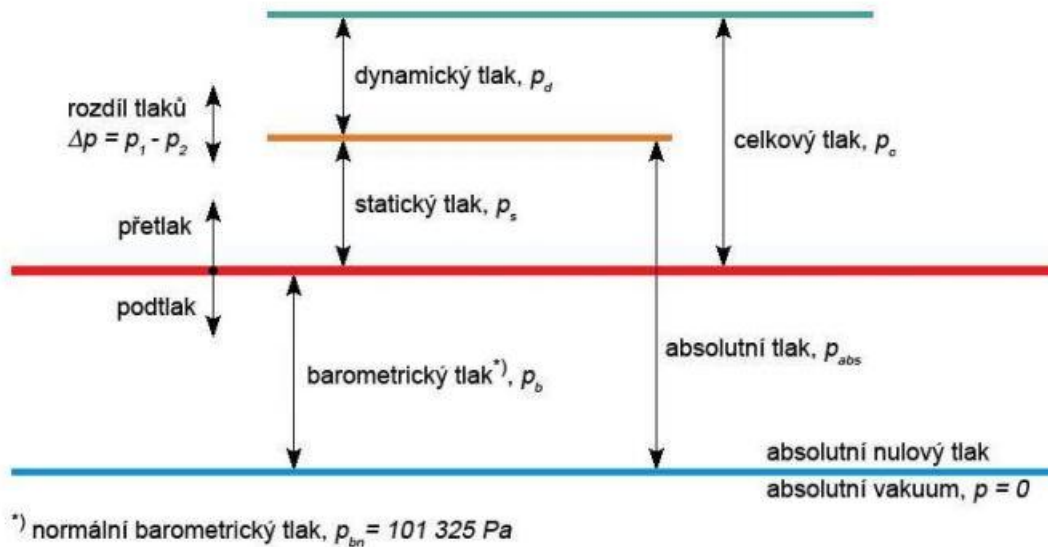
1.3.1. Měření tlaku

Tlak je udáván dvěma způsoby a to jako absolutní tlak (měří se od nulové hodnoty tlaku), nebo jako relativní tlak (přetlak nebo podtlak), který se měří od okamžitého barometrického tlaku (*Obrázek 1*). [6]

Přetlak je označován za vyšší hodnotu tlaku, nežli je normální barometrický tlak. U podtlaku je tomu obráceně. Podtlakem se rozumí tlak, který je menší nežli normální barometrický tlak. Velký podtlak se často mylně nazývá vakuem. Za vakuum

se označuje prostor, ve kterém je dokonalé vzduchoprázdno, tedy tlak nulový. Proto se zavedl nový pojem redukované vakuum.

V reálném světě se atmosférický (barometrický) tlak neustále mění. Země je obstoupena vzduchovým obalem, který se jmenuje atmosféra. Atmosféra se nachází v gravitačním poli země. V tomto poli ovlivňuje gravitační síla Země jednotlivé molekuly plynů, z nichž je vzduch složen. Tím tedy vzniká ve vzduchu atmosférický tlak. [7]



Obrázek 1 Základní rozdělení tlaků – převzato [6]

Barometrický tlak, p_b

- tlak vzduchu v daném místě za skutečných podmínek

Absolutní tlak, p_a

- tlak měřený od absolutní tlakové nuly

Absolutní nulový tlak (absolutní vakuum)

- teoretický nulový tlak v prostoru dokonale zbaveném jakýchkoliv hmotných částic

Statický tlak, p_s

- v celém průtočném průřezu stejný

Dynamický tlak, p_d

- zahrnuje vliv stlačitelnosti tekutiny

Celkový tlak, p_c

- je roven součtu statického a dynamického tlaku

Přetlak

- rozdíl barometrického tlaku a tlaku absolutního, který je vyšší než barometrický

Podtlak

– rozdíl barometrického tlaku a tlaku absolutního, který je nižší než barometrický

Rozdíl tlaků (tlaková diference), Δp

– rozdíl dvou tlaků, z nichž ani jeden není shodný s tlakem barometrickým

Vakuum

– fyzikální pojetí takto označuje jakýkoliv tlak nižší než barometrický cit[6]

V technické praxi jsou použity násobky základních jednotek, jako jsou kPa, MPa a GPa. Pro vyjádření barometrického tlaku se také používá jednotka hPa.

Hydrostatický tlak se nachází v kapalinách. Mění se s hloubkou kapaliny za předpokladu, že je kapalina v klidu a nepůsobí na ni žádná jiná síla kromě gravitační. Bude-li působit tlaková síla na volný povrch kapalného tělesa, vznikne ve všech místech nádoby stejný tlak.

V současnosti je k dispozici široká škála přístrojů pro měření tlaku. Jejich volba závisí na mnoha parametrech (vnější prostředí, rychlost změn apod., materiálové požadavky). V současnosti se začíná ustupovat od klasických analogových manometrů, které se nahrazují digitálními manometry s možností odesílání aktuálních informací do vzdáleného zařízení. V lékařství se pro měření tlaku používají tonometry. Tyto přístroje jsou určeny k měření krevního tlaku.

Rozdělení základní skupiny tlakoměrů:

- Tlakoměry – sjednocený název pro všechny přístroje k měření tlaku
- Barometry – pro měření atmosférického tlaku
- Manometry – pro měření přetlaků vzhledem k atmosférickému tlaku
- Vakuometry – pro měření velmi malých absolutních tlaků menších než atmosférický tlak
- Diferenční tlakoměry – pro měření tlakových rozdílů [4]

Rozdělení tlakoměrů dle typu:

- Hydrostatické tlakoměry
- Deformační tlakoměry
- Tlakoměry se silovým účinkem
- Tlakoměry elektrické

- Snímače s odporovými tenzometry
- Piezoelektrické snímače tlaku
- Kapacitní snímače tlaku
- Inteligentní převodníky tlaku cit.[7]

Problémy se kterými se tlakoměry potýkají:

Přístroje jsou vyráběny z malých a citlivých součástí, které mohou časem způsobovat problémy a odchylky v měření. Proto je důležité, aby byly přístroje pravidelně kontrolovány. Každý typ tlakoměru má svá negativa a pozitiva. Je proto vhodné se zamyslet, v jakém prostředí se nachází a využít maximum pozitivních vlastností, který daný typ přístroje nabízí. Například klasický deformační tlakoměr má tři základní nevýhody, které jsou:

- Elastická dopružování, případně trvalá deformace během provozu
- Statická charakteristika vykazuje hysterezi
- Vyžadují pravidelnou kalibrační kontrolu cit.[7]

Přesto výhody daleko převažují nad zápory. Z tohoto důvodu je stále hojně využíván v mnoha odvětvích.

1.3.2. Měření prodyšnosti

Pro zjištění prodyšnosti stěny cévy je zvolena metoda měření prodyšnosti. Konkrétněji probíhala zkouška prodyšnosti za pomoci průtokového přístroje. Průtokoměry jsou založeny buď na principu přímého vážení protékajícího množství plynu (ať již hmotnostního nebo objemového) nebo určení střední rychlosti proudění plynu v určitém časovém intervalu. Dále je možno průtokoměry dělit z mnoha hledisek, jako například podle použitého fyzikálního hlediska, konstrukce měřidla nebo druhu měřené tekutiny.

Objemová metoda je definována jako protečené množství za jednotku času. Toto měření může být dále rozděleno buď na objemové Q_V (3) nebo hmotnostní Q_m (4). Pokud průtok plynu není ustálený, platí pro okamžitou hodnotu průtoku. [8]

$$Q_V = \frac{dV}{dt} \quad (3)$$

Pro hmotnostní průtok platí podobný princip.

$$Q_m = \frac{dV}{dt} \cdot \rho \quad (4)$$

Rychlostní metoda je definována jako součin střední rychlosti proudění plynu a průtočného průřezu z rovnic (5) a (6).

$$Q_V = w \cdot S_p \quad (5)$$

$$Q_m = w \cdot S_p \cdot \rho \quad (6)$$

kde: Q_V – objemový průtok [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]
 Q_m – hmotnostní průtok [$\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$]
 w – součin střední rychlosti proudění [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]
 S_p – průtočný průřez [m^2]
 ρ – hustota kapaliny [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

Měření je dále možno rozdělit podle principu na:

- měření průtoku pomocí difference tlaku před a za primárním prvkem
- měření objemového podílu
- měření hmotnostního podílu
- měření rychlosti průtoku plynu cit[8]

Použitý průtokoměr udával hodnoty v litrech/minutu. Pro porovnání výsledků se přepočety hodnoty na $\text{ml} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$. Jinak řečeno kolik mililitrů vzduchu proteče stěnou o ploše centimetru čtverečného za minutu.

1.3.3. Měření prúsaku

Informace o provedení zkoušky uvádí norma ISO 7198 vydaná v roce 1998. V první řadě je důležité zmínit, že hodnota prúsaku (úniku kapaliny) není totéž co porozita. Prúsak je vyjádřen jednotkou $\text{ml} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$. Porozita je dána poměrem prázdné plochy uvnitř materiálu k celkovému objemu, který materiál zaujímá včetně dutin. Porozita má bezrozměrnou jednotku nebo může být vyjádřena v procentech.

Dle normy každý vzorek UCN musí být testován jak na průsak (únik kapaliny), tak na pevnost. Opakování zkoušek musí být provedeno vždy, když jsou provedeny významné změny v materiálech, konfiguraci nebo metody zpracování.

Podmínky zkoušky:

Tlak vody v systému musí být $16,0 \text{ kPa} \pm 0,3 \text{ kPa}$ [$(120 \pm 2) \text{ mm Hg}$]. Průsak vody procházející vzorkem musí být po dobu $60 \text{ s} \pm 1 \text{ s}$, během kterého je systém fungující podle ustáleného proudění (rovnovážný stav). [9]

Vyjádření výsledků:

Propustnost pro vodu musí být vyjádřena v mililitrech na centimetr čtverečný za minutu ($\text{ml} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$).

Vypočítat a zaznamenat propustnost vody z rovnice (6):

$$\text{propustnost vody} = \frac{Q}{A} \quad (6)$$

kde: Q – průtok přes vzorek v ml za minutu [$\text{ml} \cdot \text{min}^{-1}$]

A – plocha cévy, přes kterou prochází kapalina [cm^2] [9]

1.4. Jednotky tlaku

Jednotky SI (zkratka z francouzského Le **S**ystème **I**nternational d'Unités) jsou používány po celém světě. Jedná se o metr, kilogram, sekunda, kelvin, ampér, kandela a mol, od kterých jsou odvozovány další jednotky. Jde o mezinárodně domluvenou soustavu fyzikálních veličin, která se skládá ze základních jednotek, odvozených jednotek, násobků a dílů. Odvozené jednotky se tvoří převážně jako součiny a podíly základních jednotek. [10]

V lékařské praxi se používají jednotky, které nerespektují soustavu SI. Jedná se o specializovanou oblast, kde jsou používány specifické jednotky vhodné pro dané odvětví. Proto je potřeba znát jejich přepočební vztah. Přístroje používané v technické praxi jsou běžně cejchovány v barech (Bar) zatímco v lékařství se používá jednotka tlaku vyjádřeného v milimetrech rtuťového sloupce (mmHg). Přepočet tlaku z Bar na mmHg je znázorněn na Grafu (*Obrázek 2*). Kontrolní výpočet v rovnicích (8) a (9). [10]

Lze zakoupit přístroje cejchované v mmHg, nicméně vzhledem ke svému určení jsou řádově dražší nežli přístroje používané v průmyslu.

$$120 \text{ mmHg} = \frac{120}{750,05} = 0,16 \text{ Bar} \rightarrow 16 \text{ kPa} \quad (8)$$

$$16 \text{ kPa} = \frac{16 \cdot 750,05}{100} = 120 \text{ mmHg} \quad (9)$$



Obrázek 2 Graf přepočtu tlaku z Bar na mmHg

1.5. Postupy měření textilních materiálů membránového typu

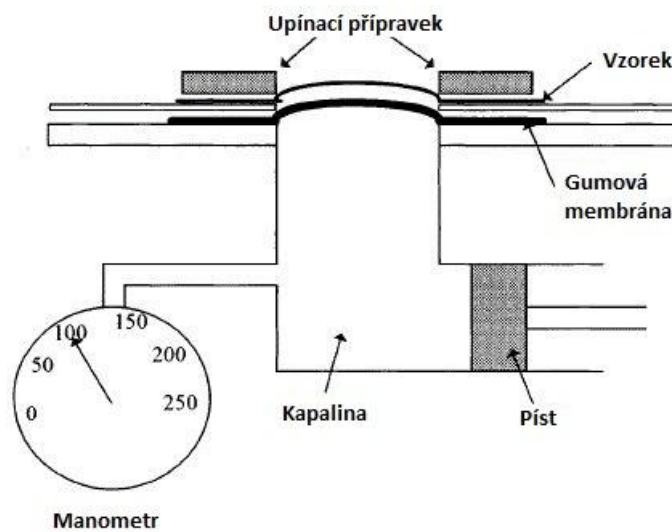
Níže jsou popsány vybrané zkoušky pro měření vlastností textilních materiálů. Jedná se o zkoušku pro zjišťování pevnosti při protržení a odolnosti proti mechanickému pronikání. Na základě měření se lze rozhodnout, jakou metodu zvolit.

1.5.1. Zkouška pro zjišťování pevnosti a roztažitelnosti při protržení

Tato zkouška je vhodná pro testování tkaných, pletených, netkaných a laminovaných textilií. Může být taktéž použita i pro jiné výrobní technologie. Pro tuto

metodu je používáno zařízení dvojího provedení. Hydraulické (ČSN EN ISO 13938-1) a pneumatické (ČSN EN ISO 13938-2)

Hydraulická metoda spočívá především ve vytvoření tlaku kapaliny na pružnou roztažitelnou membránu, která působí ze spodní strany vzorku (Obrázek 3). Ta samá metoda může být použita i v pneumatické formě, která se používá převážně pro méně pevné textilní materiály. Pro pevnější materiály se doporučuje použít hydraulickou metodu, která dovoluje pracovat s vyššími pracovními tlaky. [11]



Obrázek 3 Schéma principu zkoušky hydraulickou metodou [12]

Při namáhání vzorku dochází ke změně tvaru měřeného vzorku a vzniká ve stěně napětí σ_1 a σ_2 , která jsou v rovnováze do porušení stěny. V rovnici (10) hledané velikosti hlavních napětí a pro isotropní materiály v rovnici (11). Ty je možné odvodit z Laplaceovy rovnice rovnováhy. [11]

$$\frac{\sigma_1}{R_{Z1}} + \frac{\sigma_2}{R_{Z2}} = \frac{p_h}{s} \quad (10)$$

$$\frac{\sigma_1}{R_Z} = \frac{p}{2s} \quad (11)$$

kde: σ_1, σ_2 – napětí účinkující ve stěnách elementu [MPa]
 R_{Z1}, R_{Z2} – poloměry zakřivení elementu [mm]
 p_h – tlak kapaliny účinkující na ploše elementu [MPa]
 s – tloušťka elementu [mm] [11]

Postup měření:**I. Příprava vzorků před zkouškou**

Je zapotřebí, aby příprava pro zkoušení odpovídala uvedené specifikaci ČSN EN ISO 139 (80 0056). Přístroj musí odpovídat požadavkům normy ČSN EN ISO 13938-1 a 2 a to jak zkoušené plochy vzorků, tak rychlosti zvyšování objemu od $110 \text{ cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ do $500 \text{ cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$. Nejčastěji je používána plocha 50 cm^2 , ale může být použita plocha i $7,3 \text{ cm}^2$ a 10 cm^2 . Rychlost zvyšování objemu by měla být taková, aby došlo k protržení zkušební vzorku do (20 ± 5) s. [13]

II. Průběh zkoušky

Za pomoci kruhového upínacího prstence se vzorek upne přes roztažitelnou membránu. Tlak, který působí ze spodní strany na membránu, se neustále zvyšuje, což zapříčiní roztažení membrány spolu s plošnou textilií. Objem kapaliny se zvyšuje konstantní rychlostí až do chvíle, kdy je zkušební vzorek protrhnut. V tomto okamžiku je zjištěna pevnost při protržení a roztažení při protržení. [13]

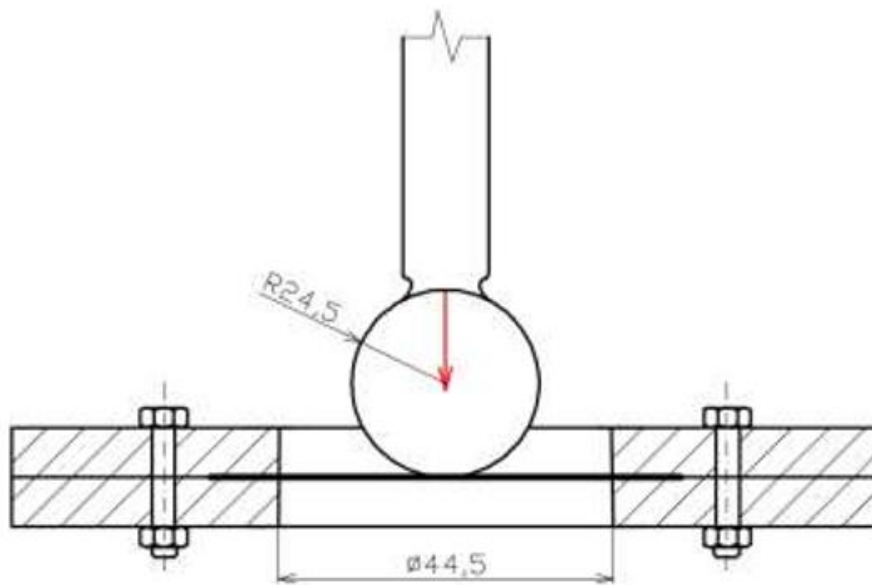
III. Vyhodnocení výsledků

V tomto bodě je, z naměřených hodnot tlaku při protržení, vypočítán aritmetický průměr, který je uváděn v kPa. Od této hodnoty je odečtena hodnota membránového tlaku v kPa a tím je získána pevnost v protržení. Celkový výsledek je zaokrouhlen na tři platné číslice. Dále je vypočítán aritmetický průměr z hodnot výšky při protržení, který je uváděn v milimetrech. Tento výsledek je zaokrouhlen na dvě platné číslice. V případě, že je to požadováno, vyjádří se i variační koeficient s přesností na nejbližší 0,1 % a 95 % hranice spolehlivosti se zaokrouhlením se stejnou přesností jako průměrné hodnoty. [13]

1.5.2. Zjišťování odolnosti proti mechanickému pronikání

Jedná se o zkoušku, která je metodou pro stanovení odolnosti proti mechanickému pronikání netkaných textilií pomocí kuličky daného průměru. Tato zkouška byla prvotně určena pro použití na netkané textilie s určitou mírou tažnosti, kde se nedá využít běžné zkoušky protržením (Regular burst test). Vzorek zkoušeného materiálu je pevně uchycen mezi dvěma vodorovnými prstenci a kolmo na střed textilie

je protlačován průbojník s kulovým koncem. Ve chvíli, kdy dojde k protržení textilie, je test ukončen. Je důležité, aby byl vzorek čistý, a proto by se na vzorek nemělo ani psát. Zároveň by se neměl dostat do styku s kapalinami, aby nedošlo ke změně koeficientu tření mezi zkoušeným materiálem a průbojníkem. Průbojník, který měří 25,4 mm je posouván směrem dolů ke svorkám (prstencům) rychlostí 300 mm/min. Svorky mají vnitřní průměr 44,5 mm a drží materiál v požadované poloze (Obrázek 4). Velikost poloměru průbojníku může být „po dohodě“ změněna, avšak je potřeba tuto změnu zanáest do protokolu zkoušky. Při napětí 5N by se měl zahájit záznam posuvu. [11]



Obrázek 4 Schéma zkoušky odolnosti proti mechanickému pronikání – převzato [11]

2. Teoretická část

V této kapitole jsou nastíněny některé teoretické poznatky a další informace nutné ke správnému pochopení mechanismu namáhání cévy, která je zatěžovaná tlakem. Tyto znalosti přispěly k návrhu testovací metody a příslušného zařízení.

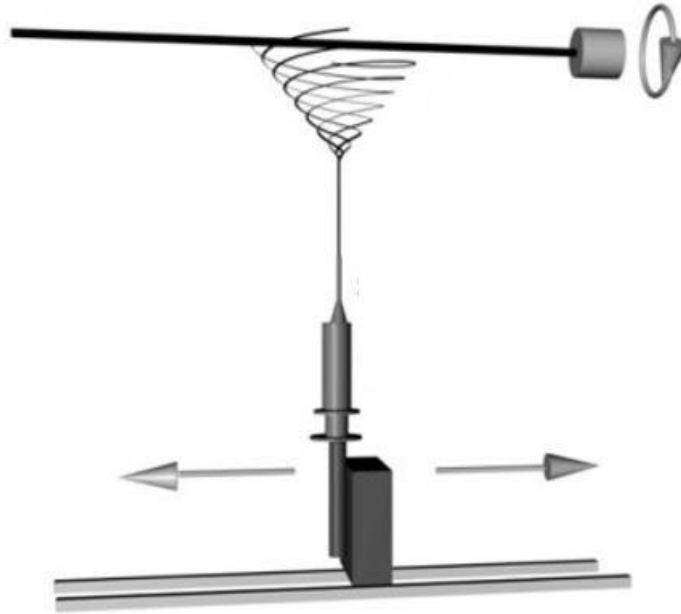
2.1. Charakteristické vlastnosti UCN

UCN jsou navrženy a vyráběny tak, aby jejich jednotlivé vrstvy plnily požadovanou funkci, přičemž se vychází z vlastností reálné cévy. UCN je realizována jako dvouvrstvá, kde vnitřní vrstva není orientovaná a zajišťuje především proliferaci buněk. Vnější vrstva je orientovaná po obvodě UCN, toho se docílí vysokou obvodovou rychlostí kolektoru.

V dnešní době jsou UCN vyráběny po kusových sériích a jejich výroba je časově náročná. Právě z těchto důvodů není v tuto chvíli kontinuální výroba reálná. Velký vliv na to mají i komplikovaná řešení, která sebou výroba cévních náhrad přináší.

Na obrázku je zobrazeno zařízení pro výrobu umělých cévních náhrad (*Obrázek 5*). Jedná se o upravené zařízení z klasické technologie elektrostatického zvlákňování. Rozdíl je v tom, že kapilára není stacionární a vykonává vratný pohyb. Tím se dosáhne rovnoměrného rozvrstvení polymeru na požadovanou délku kolektoru. Další důležitou součástí je rotační kolektor. Vlákno je rovnoměrně distribuováno po válcové ploše kolektoru a zároveň směřováno ve směru otáčení podle předem zvolených otáček. Volbou otáček lze docílit požadovaného uspořádání vláken. Vzniká tak uspořádaná struktura. Průměr kolektoru určuje průměr výsledného vlákenného útvaru, který se pohybuje mezi dvěma až osmi milimetry. Tloušťka cévy UCN je dána dobou nanášení vláken na rotující kolektor. Po jejím dosažení se vyjme válcový kolektor a UCN se z něj sejme. Tento postup je v současné době používán pro výrobu UCN elektrostatickým zvlákňováním, ale lze použít i jiné metody výroby vláken.

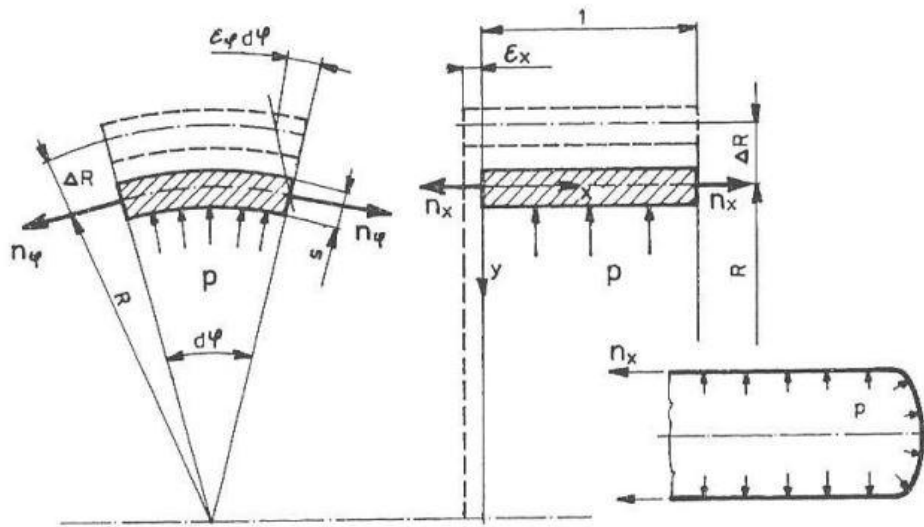
Z uvedeného je zřejmé, že vytvořená UCN bude vykazovat anizotropní mechanické vlastnosti v důsledku orientované vlákenné struktury. Cévy jsou dále velmi prodyšné.



Obrázek 5 Jednoduché schéma zařízení pro výrobu cévních náhrad – převzato [14]

2.2. Mechanické vlastnosti UCN

Vzhledem k výše uvedenému lze na UCN pohlížet jako na rotační tenkostěnnou válcovou nádobu. Zatížení vnitřním přetlakem je nejčastějším případem rotačně souměrné válcové skořepiny (Obrázek 6). Je vycházeno z předpokladů, že skořepiny mají konstantní tloušťku a jsou hladké, tzn. bez výztuh, otvorů, hrdel apod. Zároveň jsou dostatečně vzdáleny místům pro připojení vík, den, přírub atp. Z toho vyplývá, že nic nebrání posuvům v radiálním směru. Současně předpokládáme, že není zabráněno prodloužení skořepiny v osovém směru. [15]



Obrázek 6 Řez válcové nádoby v obvodovém a osovém směru – převzato [15]

Uvolníme-li část nádoby řezem kolmým k ose, bude rovnice rovnováhy sil v ose nádoby

$$p \cdot \pi \cdot R^2 = \sigma_x \cdot 2 \cdot \pi \cdot R \cdot s \quad (12)$$

Osově (axiální) membránové napětí v plášti nádoby tak bude

$$\sigma_x = \frac{p \cdot R}{2s} \quad (13)$$

Dojde-li k pomyslnému oddělení dvěma řezy kolnými k ose válce pláště prstence jednotkové šířky, platí pro jeho polovinu rovnice rovnováhy:

$$2\sigma_\varphi s = \int_0^\pi pR \sin\varphi d\varphi = 2pR \quad (14)$$

Obvodové membránové napětí v plášti nádoby pak bude

$$\sigma_\varphi = \frac{p \cdot R}{s} \quad (15)$$

Ze vztahů pro osovou a obvodovou membránovou napjatost vyplývá, že obvodové napětí je dvakrát větší než osově. Poněvadž v osovém ani obvodovém směru nepůsobí smyková napětí, jsou σ_x a σ_φ hlavní napětí.

Membránové deformace pláště podle rovnic elasticity jsou:

$$\varepsilon_x^M = \frac{1}{E} (\sigma_x - \nu \sigma_\varphi), \quad \varepsilon_\varphi^M = \frac{1}{E} (\sigma_\varphi - \nu \sigma_x) \quad (16)$$

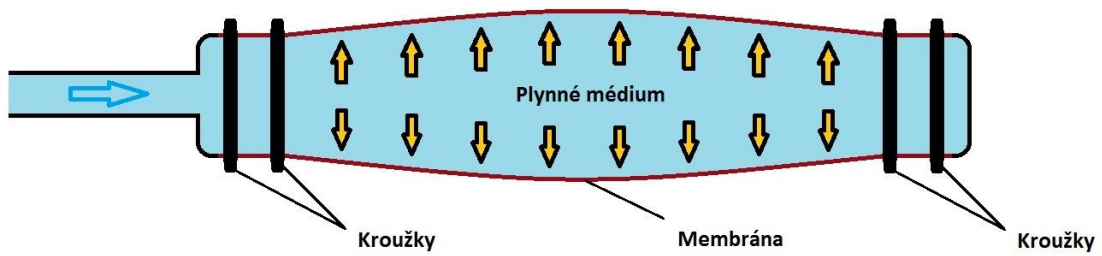
cit [15]

Z výše uvedených vztahů (12) až (16) lze tedy určit hlavní napětí působící ve stěně UCN.

2.3. Návrh měřicí metody

Z popisu výrobní technologie UCN, která je určující pro výslednou geometrii, rozměr a tím i výsledné anizotropní chování a z popisu možností měření odolnosti planárních útvarů vůči průtlaku, je vhodné navrhnout a realizovat metodu, která bude výše uvedené plně respektovat. Vhodné tedy bude nevyházet z norem uvedených v ČSN EN ISO 13938, ale realizovat vlastní metodu, kdy obecně válcový útvar bude namáhán vnitřním přetlakem. Tato metoda umožní určit další mechanické charakteristiky aplikace jednotného vnitřního přetlaku, který bude cévu deformovat.

Cévní náhrady vyrobené formou elektrostatického zvlákňování jsou silně porézní a není možné je naplnit běžnými plynnými médii. Proto je zapotřebí, aby dovnitř cévy byl vložen jiný vhodný neprodyšný materiál, který bude vlivem tlaku plynu expandovat a tím bude cévu rozpínat (*Obrázek 7*). Podmínkou je, aby tlak potřebný k nafouknutí tohoto materiálu byl zanedbatelný ve srovnání s odolností UCN vůči působícímu vnitřnímu přetlaku. Nedodržení této podmínky by mělo za následek významné zkreslení výsledků, které by se staly nevěrohodnými. Proto je tato podmínka velice důležitá a neměla by být opomenuta.



Obrázek 7 Schéma návrhu měřicí metody pomocí membránového prvku

Navrhovaná úprava měření spočívá v tom, že vzorek se nebude měřit jako plošná textilie, ale zohlední se válcový tvar UCN. Umožní to měřit cévní náhrady v jejich přirozeném, neupraveném tvaru a zároveň se provedená úprava nikterak negativně neprojeví na výsledcích měření. Naměřené hodnoty by měly být totožné s měřením, které uvádí norma. Tento navrhovaný postup je pro naši aplikaci ideální.

3. Výchozí stav zařízení

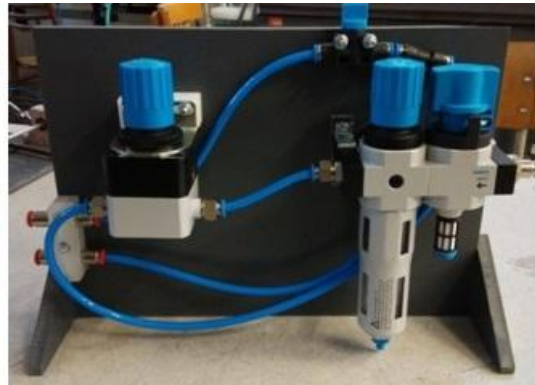
Zařízení bylo převzato v nedokončeném stavu. Jeho podoba je zachycena na *obrázcích 8 a 9*.

Přední strana je osazena dvěma tlakoměry umístěnými vedle sebe. S jejich pomocí lze sledovat měřené hodnoty tlaku vzduchu během testování. Tlakoměry jsou cejchovány v barech.

Na zadní straně se nacházejí prvky, které slouží k filtraci stlačeného vzduchu a k regulaci tlaku. Tyto části jsou opatřeny nástrčnými rychlospojkami, do kterých se jednoduše zasune hadička o požadovaném průměru. Tento nástrčný mechanismus velmi dobře těsní stlačený vzduch a zároveň umožňuje rychle změnit zapojení jednotlivých částí.

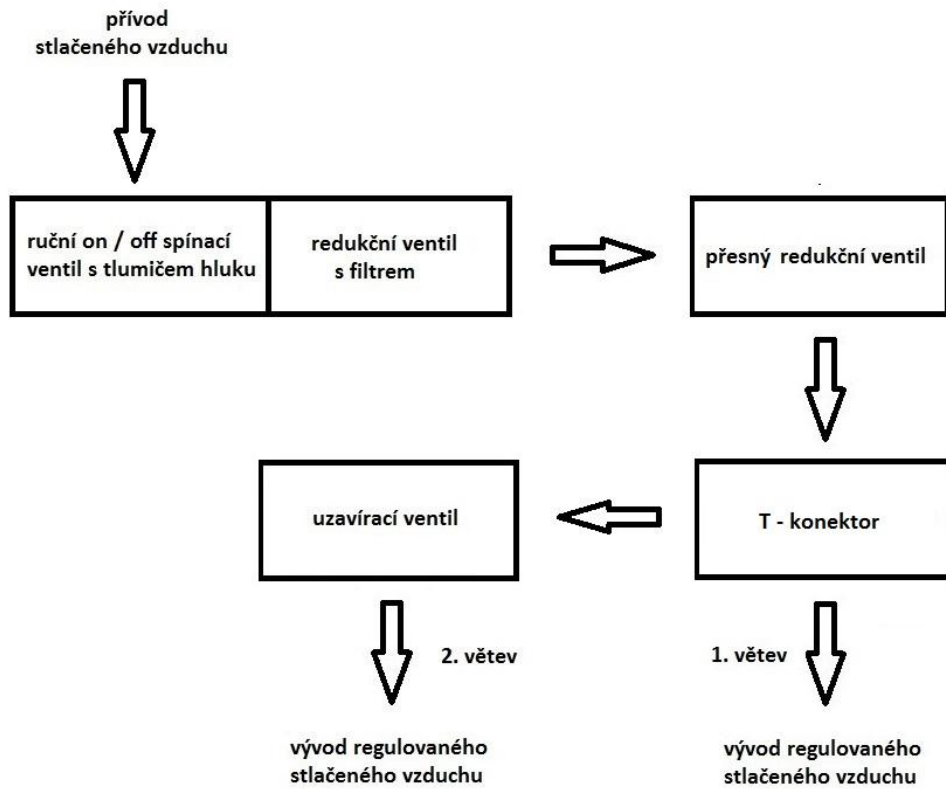


Obrázek 8 Přední strana zařízení

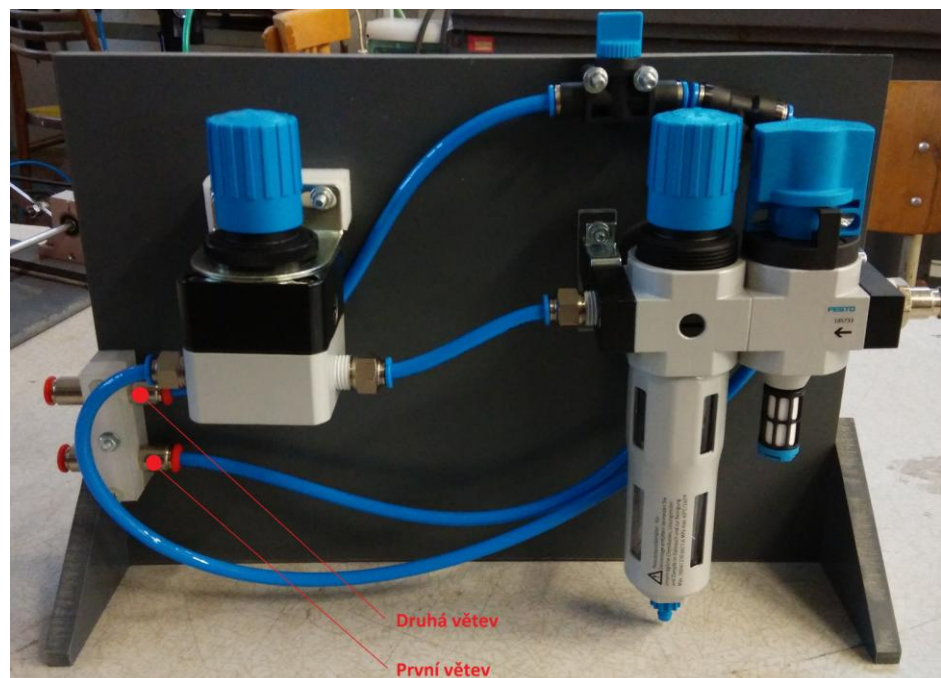


Obrázek 9 Zadní strana zařízení

V následujícím schématu (*Obrázek 10*) jsou znázorněny funkční součásti zařízení, přes které je vzduch upravován či regulován. Hlavním nedostatkem tohoto zapojení je absence možnosti uzavření první větve (*Obrázek 11*). Lze vypnout pouze přívod vzduchu pro obě větve hlavním spínacím ventilem on/off. Druhá větev je opatřena uzavíracím ventilem a lze ji samostatně uzavřít. U takto zapojeného zařízení je vždy preferována první větev, která musí být vždy aktivní. To znamená, že buď funguje samostatně první větev, nebo fungují obě najednou.



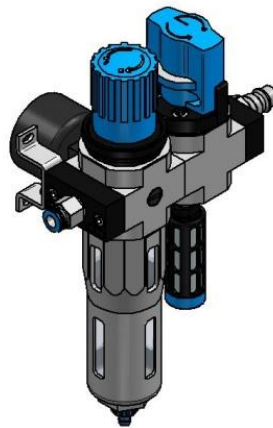
Obrázek 10 Jednoduché schéma rozvodu vzduchu výchozího zařízení



Obrázek 11 Rozvodu vzduchu ve výchozím stavu zařízení

3.1. Úprava stlačeného vzduchu

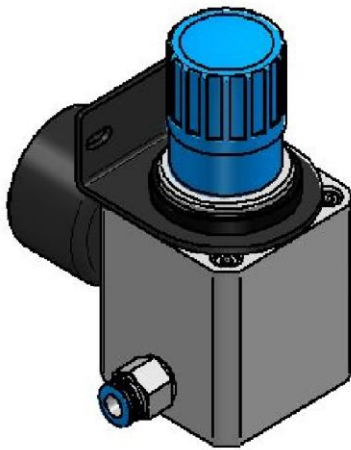
Kvalita stlačeného vzduchu je důležitá pro spolehlivost strojních součástí, které jej využívají k plnění různých funkcí. Mechanické nečistoty jako jsou voda a olej jsou nepříznivými faktory pro stlačený vzduch. Mají škodlivý vliv na součásti, které jsou určeny k práci se stlačeným vzduchem. Na zařízení byl použit terminál k úpravě stlačeného vzduchu od firmy Festo. Konkrétně jde o zařízení pro úpravu stlačeného vzduchu bez maznice (*Obrázek 12*) LFR-1/4-D-MINI-KC (185733), který zahrnuje ruční redukční ventil s filtrem, ruční on/off ventil a manometr o maximálním tlaku 16 bar. Tlumič hluku s označením U-1/8 (2307) byl k soustavě dokoupen. [16]



Obrázek 12 Součást LFR-1/4-D-MINI-KC společně s U-1/8

3.2. Přesná regulace tlaku vzduchu

Pro přesné řízení a regulaci tlaku byly taktéž použity součásti od firmy Festo. Jedná se o přesný ruční redukční ventil LRP-1/4-4 (159501) o maximálním propustném tlaku 4 bary (*Obrázek 13*). Díky tomuto spolehlivému redukčnímu ventilu bylo umožněno přesné dávkování potřebného tlaku vedoucího k trnu s cévou. K tomuto dílu byl dokoupen manometr MAP-40-6-1/8-EN (161127) o maximálním měřeném tlaku 6 barů (*Obrázek 14*). [16]



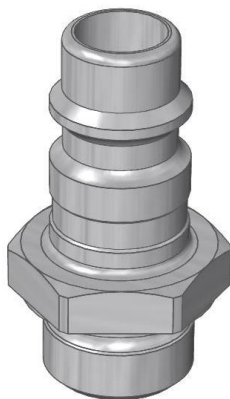
Obrázek 13 Součást LRP-1/4-4 s MAP-40-6-1/8-EN



Obrázek 14 Stupnice manometru

3.3. Ostatní použité součásti

Mezi dalšími použitými součástmi na zařízení je spojovací konektor (Obrázek 15) KS4-1/4-A (2154), koncovka nástrčného šroubení (Obrázek 16) QS-G1/4-6 (186097), T-konektor (Obrázek 17) QST-6 (153129), uzavírací ventil (Obrázek 18) HE-3-QS-6 (153475) a v neposlední řadě polyuretanová hadice (Obrázek 19) PUN-6x1 (159664). Veškeré součásti lze jednoduše najít na internetových stránkách společnosti Festo. Hodnoty v závorkách označují katalogové číslo. Jedinou odlišnou koncovkou je červená přímá nástrčná koncovka od firmy Aignep (Obrázek 20). [16]



Obrázek 15 Součást KS4-1/4-A



Obrázek 16 Součást QS-G1/4-6



Obrázek 17 Součást QST-6



Obrázek 18 Součást HE-3-QS-6



Obrázek 19 Hadice PUN-6x1



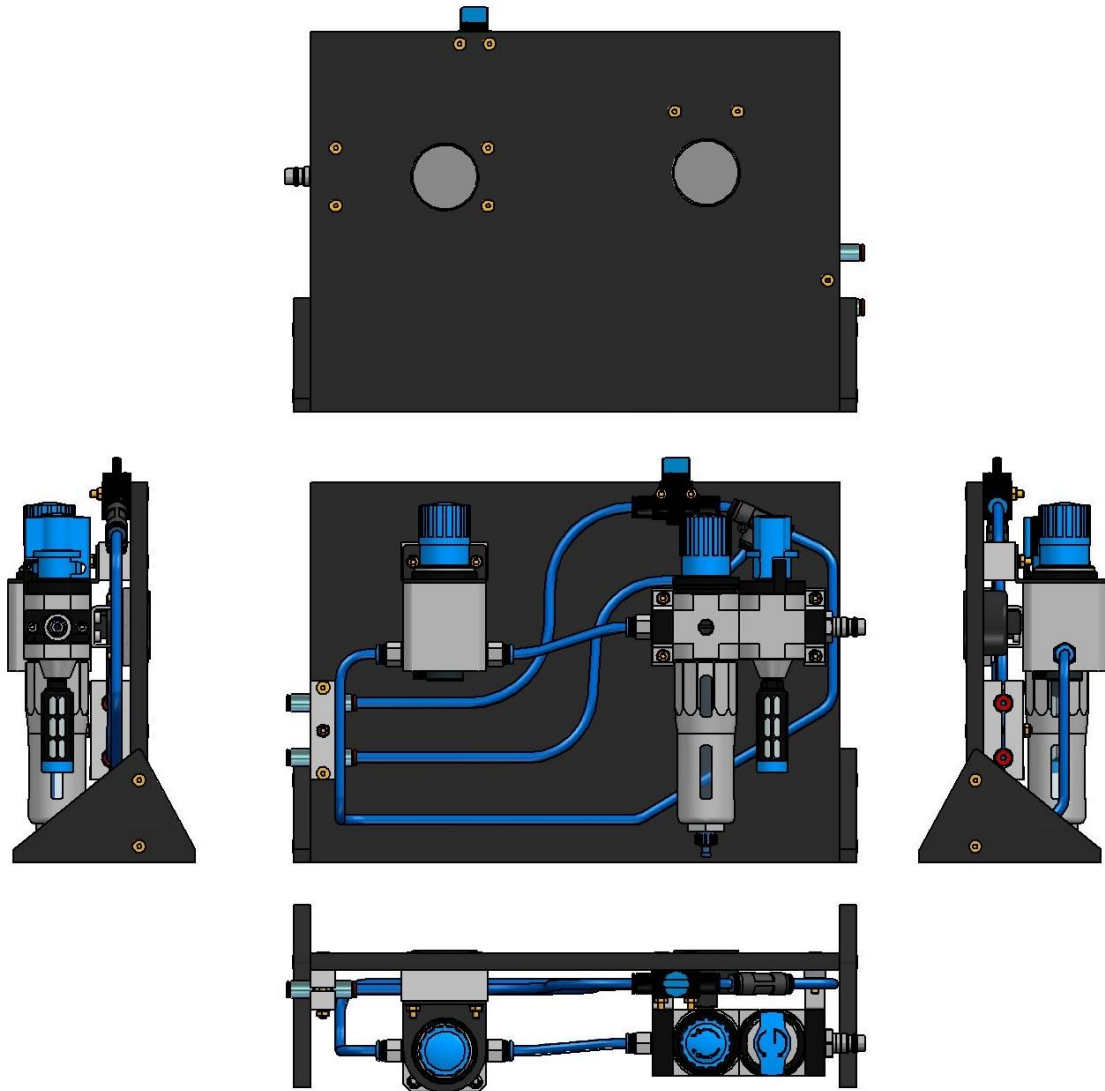
Obrázek 20 Přímá nástrčná koncovka

4. Návrh a popis řešení

Zkonstruované zařízení bylo vytvořeno v programu Solid Edge. Jednotlivé součásti byly vymodelovány a následně vloženy do sestavy. Některé prvky jako jsou šrouby, matice a podložky nemusely být modelovány, jelikož byly vloženy pomocí obsahového centra normalizovaných součástí. Dále nebyly konstruovány součásti od firmy Festo, které byly získány z katalogu 3D součástí. Konkrétně se jedná o regulační ventily, čističe vzduchu, tlumiče hluku a spojovací součásti PUN hadiček. Díky tomu mohlo být zařízení zkonstruováno velice detailně a se skutečnými rozměry použitých součástí.

4.1. Zdokumentování a vizualizace výchozího stavu

V počátku zahájení práce bylo původní zařízení překresleno do 3D podoby. To umožnilo lépe pracovat s jednotlivými prvky a vytvářet různé kombinace uspořádání pro finální podobu zařízení. Takový postup je rychlý a finančně nenáročný při hledání optimální varianty konstruovaného zařízení. Překreslené zařízení je možno vidět na obrázku (*Obrázek 21*).

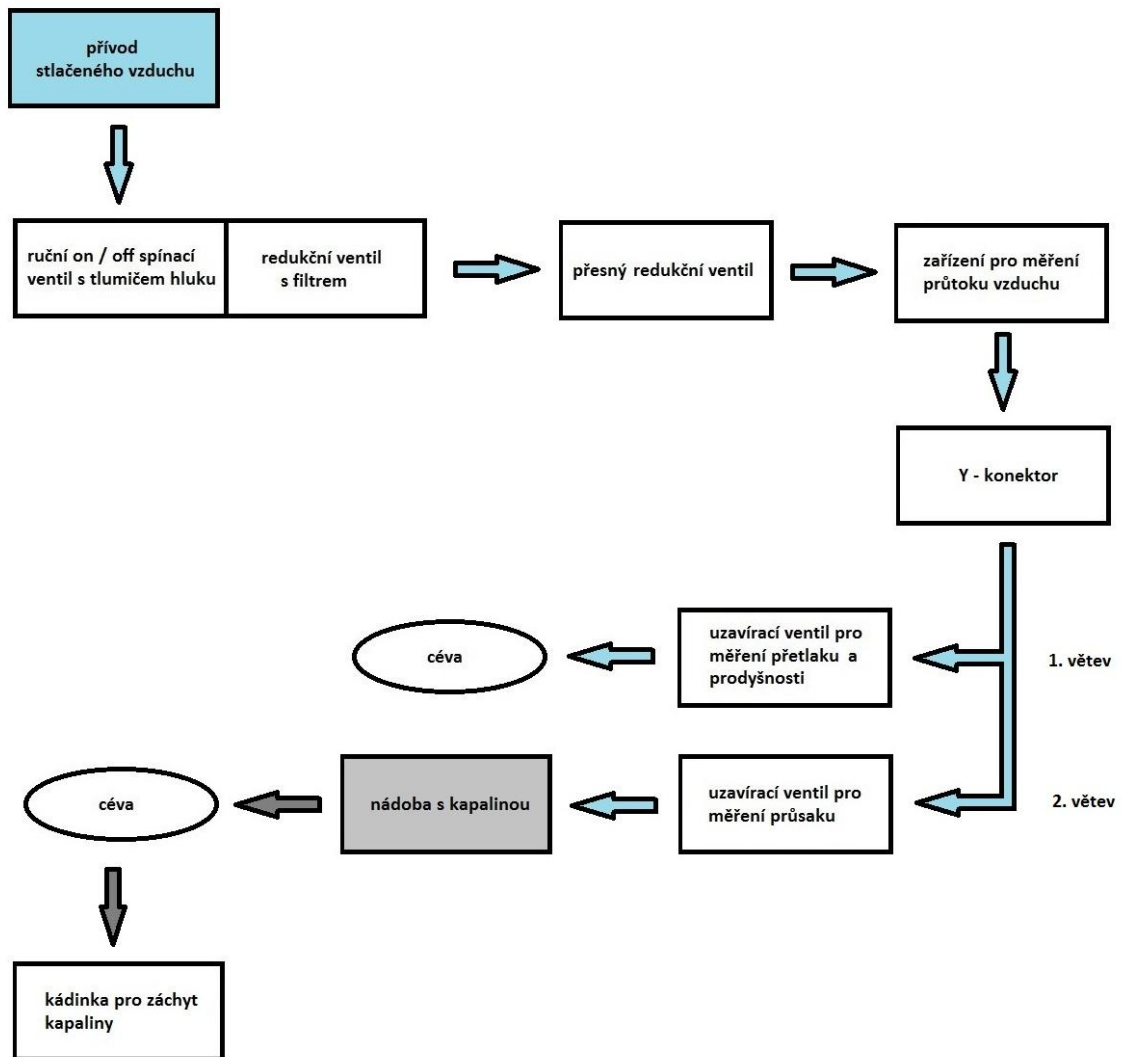


Obrázek 21 Pohledy zařízení zobrazené ve výchozím stavu

4.2. Návrh uspořádání jednotlivých komponent

V následujícím schématu (Obrázek 22) jsou znázorněny veškeré navržené funkční součásti, přes které je transportováno vzdušné médium. Jednotlivé uzly slouží k úpravě stlačeného vzduchu, regulaci či měření tlaku a průtoku. Pro zajištění spolehlivé funkčnosti a přesnosti při měření jsou navrženy dvě větve, které se za průtokoměrem vzduchu dělí pomocí Y konektoru. První větev je určena pro měření vnitřního přetlaku UCN a prodyšnosti UCN. Druhá větev je navržena pro práci s kapalinou, kde se měří průsak stěnou cévy. Obě větve jsou sice nezávisle zapojené, ale měření může probíhat pouze u jedné z nich. To znamená, že když na jedné větvi probíhá

měření, druhá větev musí být automaticky uzavřená. Obě větve tedy nikdy nemohou pracovat současně a to z důvodu přesného měření, které by jinak bylo narušeno.



Obrázek 22 Kompletní schéma navrženého zapojení

Jednotlivé části budou sestaveny do takového celku, kde každá součást plní svoji funkci a není bezúčelná. Od samotného počátku bylo zařízení uzpůsobeno pro práci se stlačeným vzduchem, a proto bylo vhodné se dále tohoto mechanismu držet. V případě měření pro první větev bude zařízení fungovat pouze se stlačeným vzduchem. Při stanovení maximálního přetlaku vzduchu je potřeba přesně redukovat a sledovat tlak. Proto bude zařízení osazeno přesným redukčním ventilem s manometrem. Při prasknutí cévy vlivem přetlaku vzduchu se odečte maximální dosažená hodnota na manometru.

V případě měření prodyšnosti bude také využito přesného redukčního ventilu, ale za účelem nastavení konstantního tlaku v potrubí. Navíc bude potřeba osadit zařízení průtokoměrem, který bude měřit průtok plynu. Hodnota aktuálního množství proudícího plynu bude zobrazována na displeji průtokoměru.

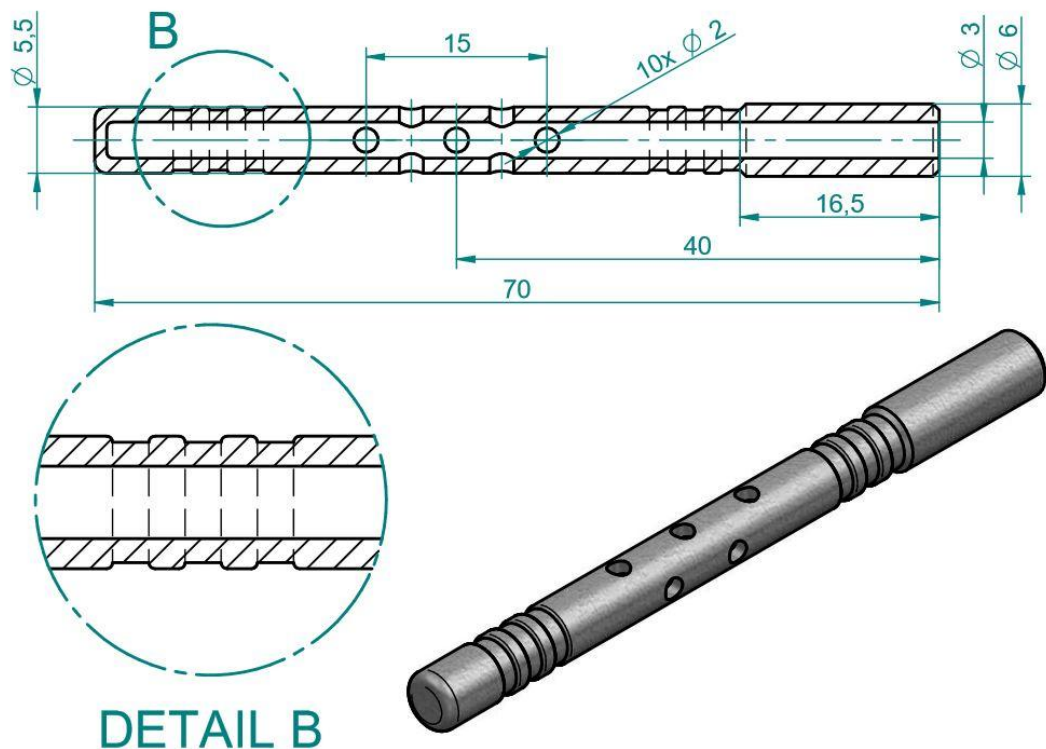
Při měření průsaku UCN bylo zapotřebí navrhnout další funkční část, která bude využívat kapalinu. Proto byla do zařízení osazena nádoba, která slouží jako zásobník kapaliny. Pro vytvoření tlaku v kapalině, který je nutný pro průsak stěnou cévy bude využit stlačený vzduch. Upravený stlačený vzduch je transportován do horní části nádoby, kde působí na hladinu kapaliny jako píst. Tlak vzduchu bude řízen také pomocí přesného redukčního ventilu. Ve dnu nádoby bude otvor pro hadičku a stlačená kapalina bude transportována k cévě. Stlačená kapalina bude protékat celým povrchem cévy a zachycena do kádinky. Takto bude vytvořena druhá větev, která bude sloužit pouze pro měření průsaku.

Aby bylo možné začít s měřením, je důležité zkonstruovat a navrhnout trn, na kterém by byla UCN umístěna. Zamezení úniku vzduchu oběma konci válcové cévy bude provedeno pomocí gumových o-kroužků. Tento princip trnu s o-kroužky bude použit i u ostatních způsobu měření.

Celkové uvedení do požadovaného stavu si vyžádá změnu uspořádání a vzájemného propojení jednotlivých částí zařízení a zároveň navržení komponent, které budou následně vyrobeny.

4.2.1. Návrh trnu

V prvé řadě bylo zapotřebí navrhnout trn, na kterém by se cévní náhrada testovala. Hlavní podmínkou je pevné ukotvení cévy po obou stranách. Taková fixace by zamezila namáhání ve směru osy cévy. Tato podmínka byla splněna pomocí návrhu tří drážek po obvodu z každé strany. Do drážek je vložen o-kroužek, který cévu fixuje. Množství drážek nám dovoluje použít až 3 o-kroužky z každé strany. Počet o-kroužků se odvíjí od velikosti tlaku vzduchu. V praxi stačilo použít 1-2 o-kroužky po obou stranách. Vzniklé volné drážky pro o-kroužek mohly být variabilně posouvány dle použité délky cévní náhrady. K výrobě trnu byla použita duralová tyč, která byla následně upravena dle výkresu. Zjednodušený výkres trnu je znázorněn na obrázku (*Obrázek 23*).

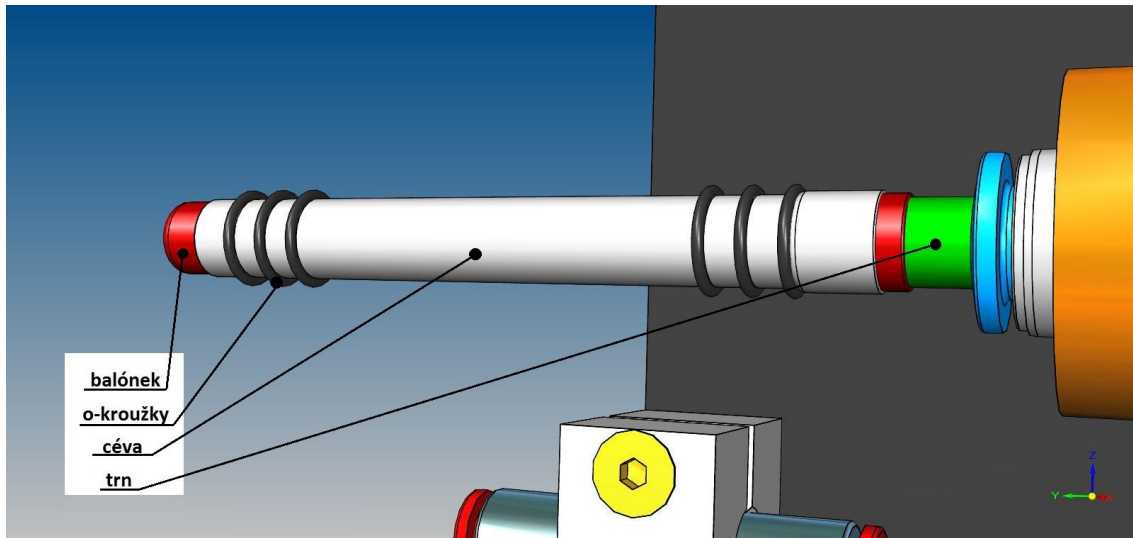


Obrázek 23 Jednoduchý výkres trnu

4.2.2. Upevnění cévy na trn

Pro fixaci posloužily gumové o-kroužky kruhového průřezu vyráběné firmou Rubena, které zabrání úniku vzduchu mimo testovanou oblast. Konkrétně se použijí kroužky o vnitřním průměru 4 mm a vnějším průměru 8 mm. Počet o-kroužků úzce souvisí s konstrukcí trnu. Ten je navržen maximálně pro 3 o-kroužky na každé straně.

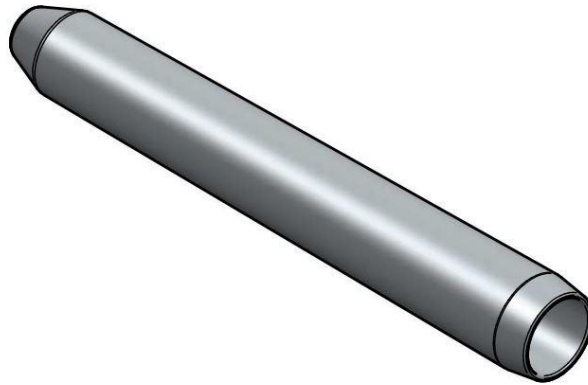
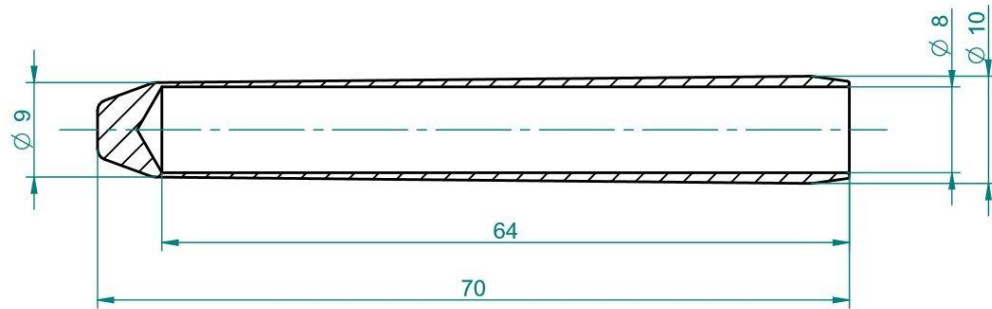
V praxi stačilo použít 1 až 2 o-kroužky po obou stranách. Pro lepší představu je umístění znázorněno na obrázku (Obrázek 24). Tyto o-kroužky se také osvědčily z hlediska možného porušení v místě fixace. Jelikož kroužky mají kruhový průřez, nevzniká tak hrana, která by mohla cévu porušit. Při přetlaku vzduchu céva zvětší svůj objem, stěna cévy se prodlouží v axiálním i radiálním směru a tedy se vždy opře o gumový kroužek. Nevznikne tak rizikové místo, kde by mohlo dojít k protržení UCN.



Obrázek 24: Znáznornění ukotvení UCN přes o-kroužky

4.2.3. Přípravek pro nasazení o-kroužků

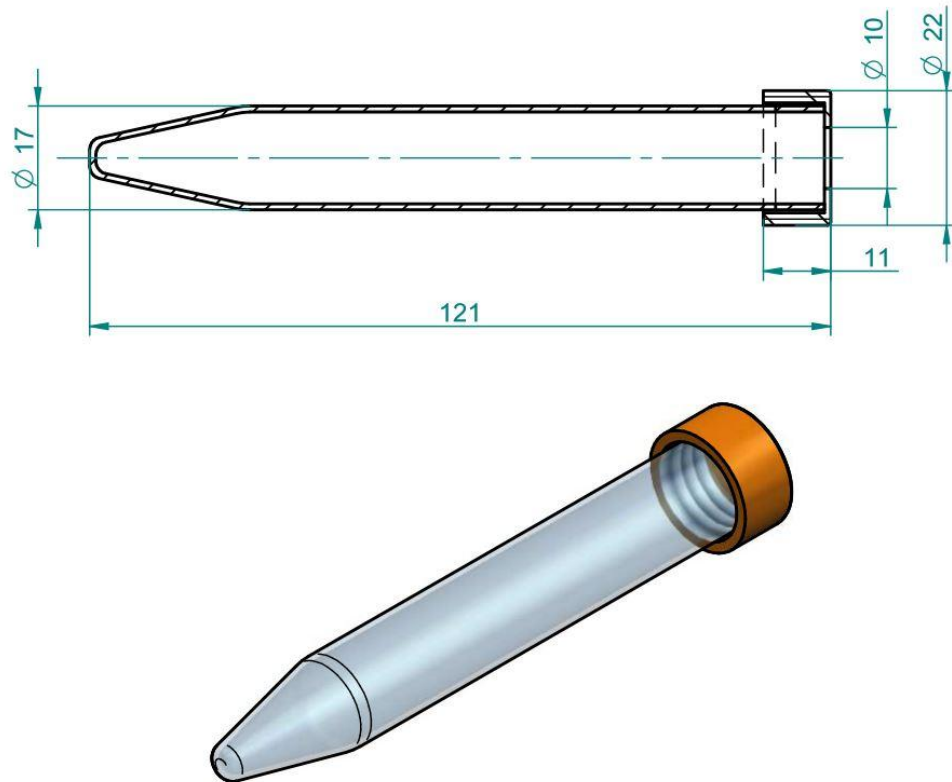
Toto zařízení bude velmi důležitým prvkem při fixaci cévy na trnu. Je kladen důraz na rychlost, jednoduchost a funkčnost. O-kroužky se nasunou z levé strany dle jednoduchého výkresu (Obrázek 25) a odvaleny po povrchu až k druhému konci. Následně se přípravek s o-kroužkem umístí nad okraj drážky. Stažením o-kroužku z přípravku do drážky, která je vysoustružena na trnu, bude docíleno konečné fixace cévní náhrady.



Obrázek 25 Jednoduchý výkres přípravku pro nasazení o-kroužků

4.2.4. Bezpečnostní zakrytování měřicího uzlu

K zakrytování měřicího uzlu (obrázek 26) bude využita uzavřená průhledná plastová zkumavka s víčkem, která má optimální vnitřní průměr a délku vzhledem k testovaným rozměrům cévy. Kryt bude určen převážně k ochraně před úlomky prasklé cévy a zároveň bude také sloužit jako zábrana proti nadměrnému zvětšení balónku a jeho následnému prasknutí v okamžiku, kdy dojde k protržení cévy. Tento princip je pro lepší představu zobrazen na obrázku 33.

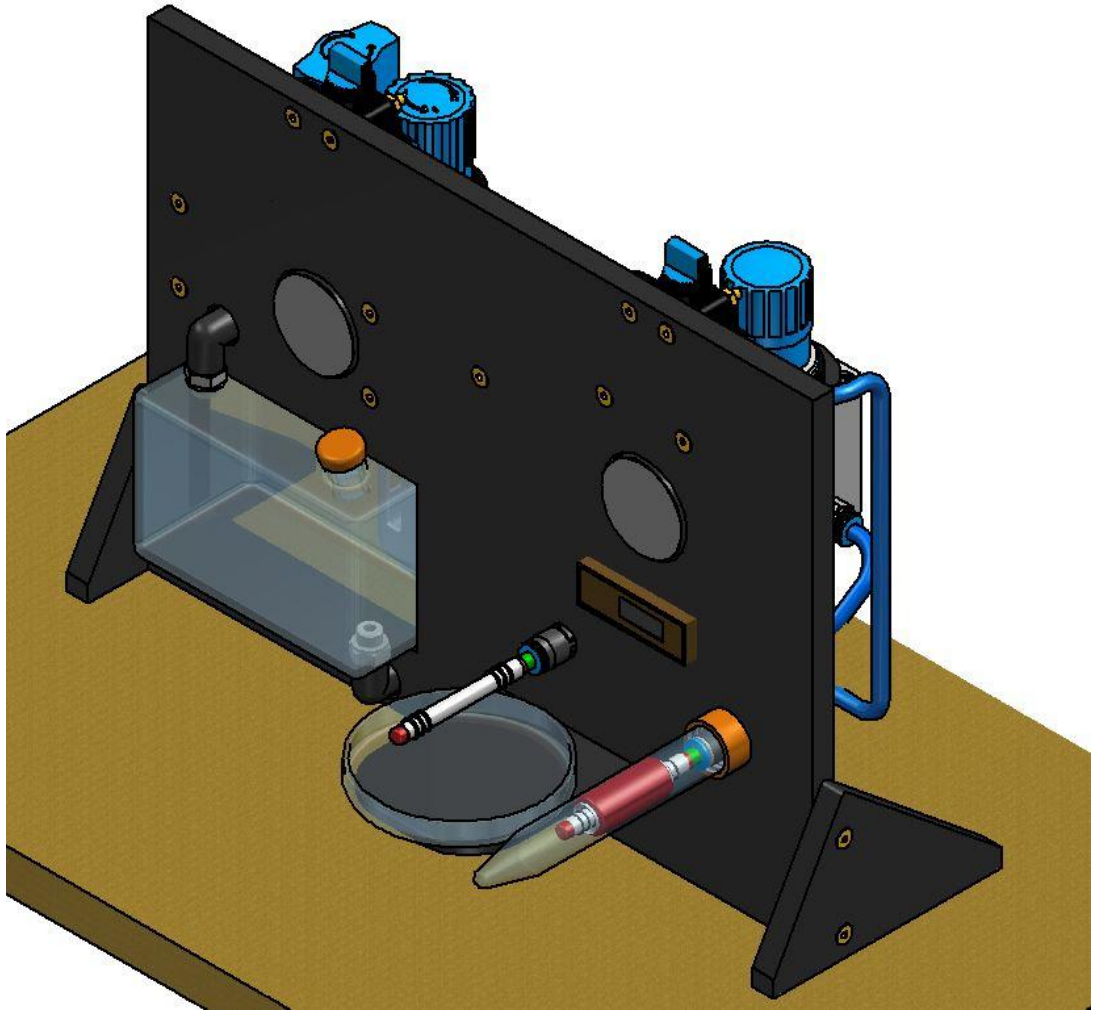


Obrázek 26 Jednoduchý výkres zakrytování měřícího uzlu

4.3. Finální návrh zařízení

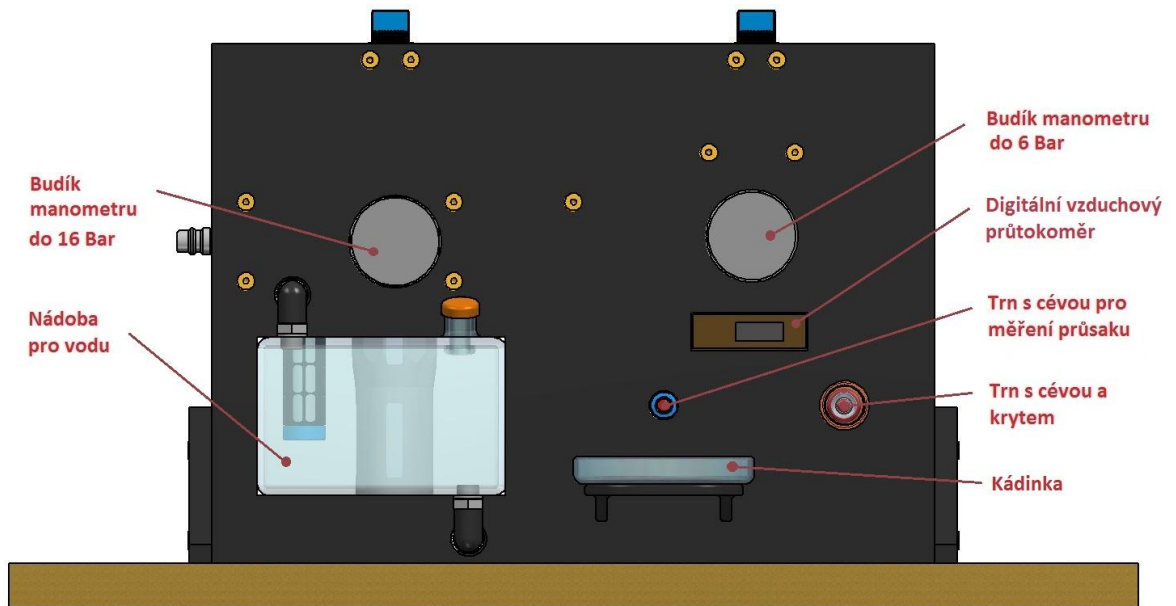
Pomocí věrného 3D modelu se podařilo najít ideální uspořádání celého zařízení. Na *obrázcích 27-31* je znázorněna finální varianta, která obsahuje veškeré náležitosti potřebné k testování.

Zařízení využívá většinu součástí původního konceptu, který se nacházel v nedokončeném stavu. Byla přidána součást na měření průtoku vzduchu, uzavírací ventil, nádoba na vodu, kádinka s držákem, potrubí a sady koncovek. T-konektor byl vyměněn za vhodnější Y-konektor. Takto uspořádané zařízení je vhodné pro další aplikace a lze jej relativně snadno poskládat do jiných uspořádání. Celková velikost zařízení je velice kompaktní. Skutečné rozměry zařízení jsou: výška 265 mm, šířka 500 mm a hloubka 300 mm.



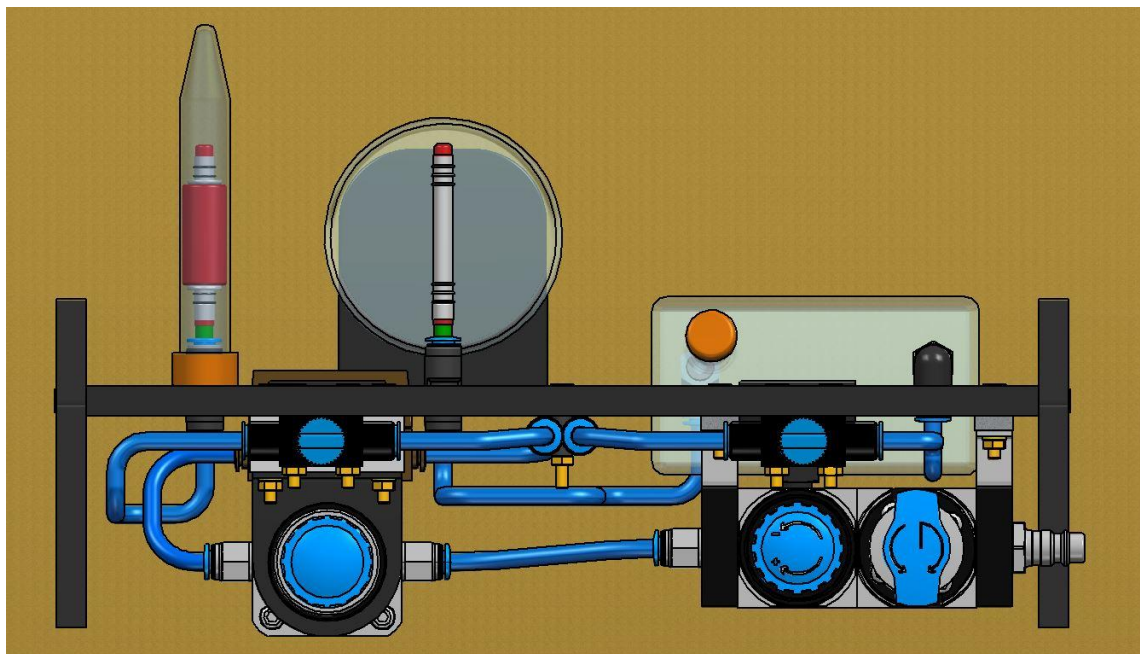
Obrázek 27 Vzdálený pohled finálního zařízení

Ze vzdáleného pohledu finálního zařízení (*Obrázek 27*) je přehledně zobrazená přední strana návrhu, která zobrazuje součásti ve 3D pohledu. V levé přední části zařízení je zobrazena nádoba pro kapalinu, která je vsunuta do nosné desky a tím pevně ukotvena. Takové konstrukční řešení zároveň umožnilo centralizovat hmotu kapaliny ke středu těžiště celého zařízení. Tím samotné těžiště zůstává podobné, ať je nádoba plná kapaliny, nebo prázdná. Dále je zřetelně vidět pracovní část s navlečenými cévními náhradami. V popředí u pravé strany nosné desky je vidět prasklá céva s ochranným krytem okolo ní. Na tomto místě se UCN zkouší jak na maximální přetlak do prasknutí, tak prodyšnost. U měření prodyšnosti se pouze odstraní ochranný kryt, který u tohoto měření není potřeba. Nad kádinkou pro zachyt kapalinu je znázorněna testovaná céva pro měření průsaku kapalinou.

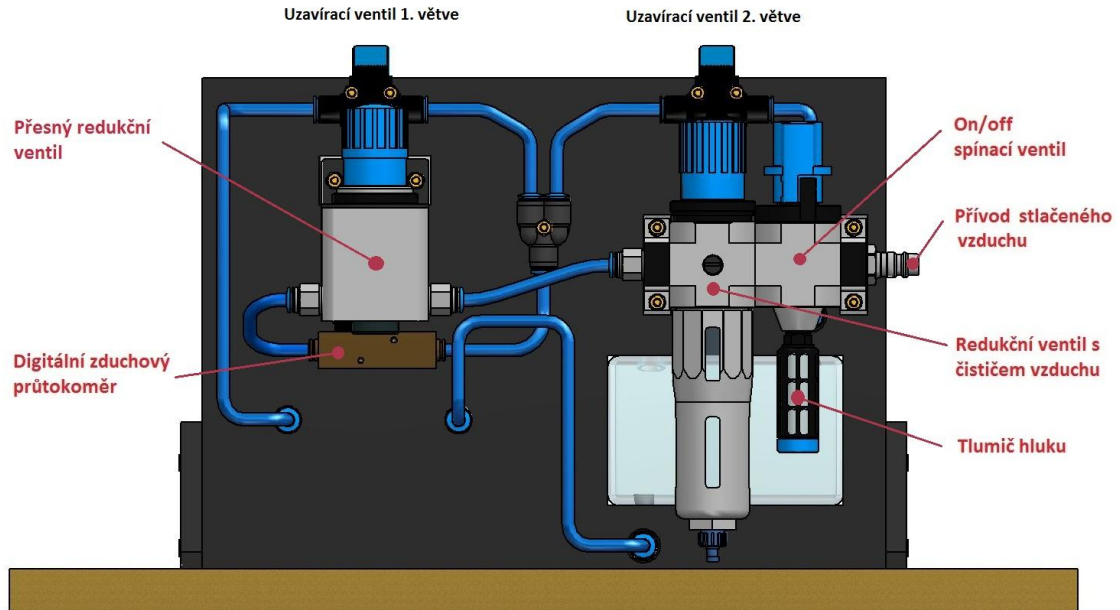


Obrázek 28 Přední strana finálního zařízení

Přední stranu zařízení (Obrázek 28) nikterak nenarušují součásti pro úpravu a regulaci stlačeného vzduchu. To byl také záměr původního nedokončeného konceptu. Čelní strana obsahuje pouze takové součásti, které zajišťují informace o aktuálním průtoku a tlaku. Z čelní strany jsou také vidět dva uzavírací modré ventily, které jsou na očích proto, aby bylo zřejmé, jaká část měření je zrovna aktivní.

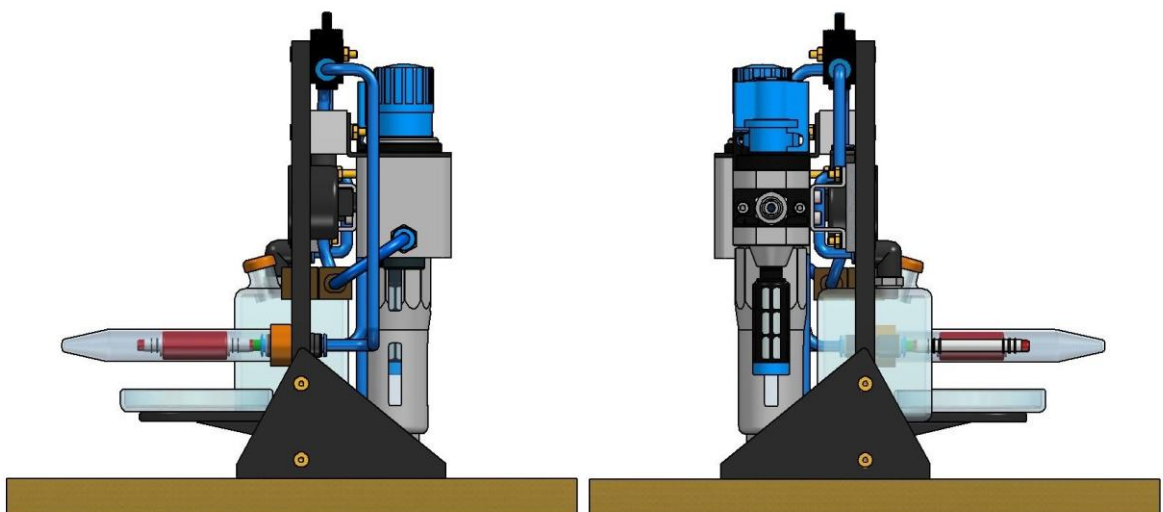


Obrázek 29 Horní pohled finálního zařízení



Obrázek 30 Zadní strana finálního zařízení

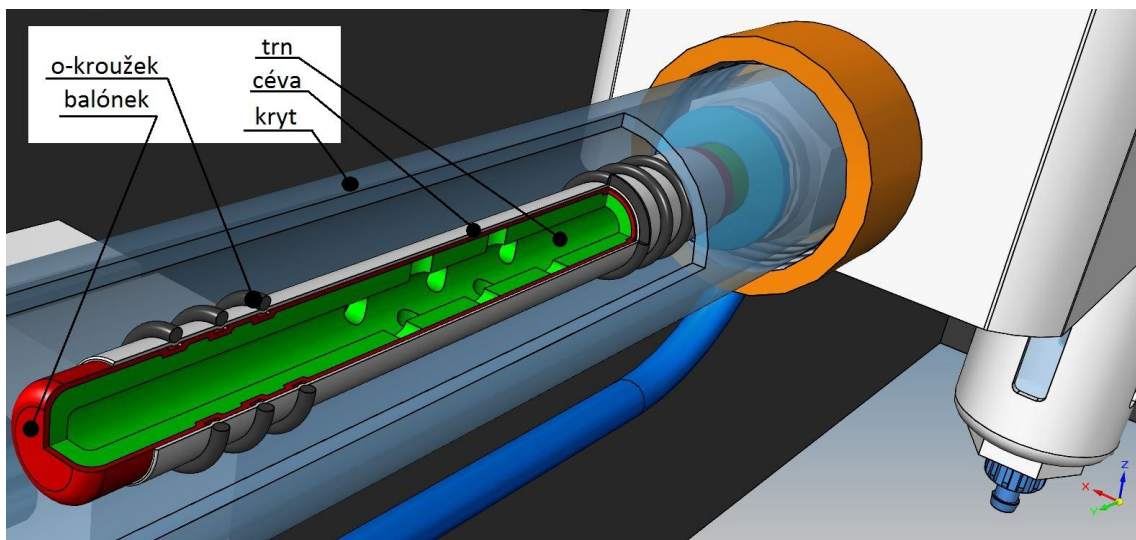
Zadní strana zařízení (Obrázek 30) obsahuje dvě velké součásti, které jsou potřebné pro čištění a regulaci stlačeného vzduchu. Dalšími podstatně menšími součástmi jsou vidět dva ventily a Y-konektor QSY-6 (153149), který dělí stlačený vzduch do větve jedna, nebo dvě. Všechny součásti jsou ukotveny do nosné desky. Pro bezpečnou rovnováhu celého zařízení jsou po stranách přišroubovány dvě bočnice, které zabraňují se zařízení překloupit. Bočnice jsou dobře viditelné na obrázku 31.



Obrázek 31 Levá a pravá strana finálního zařízení

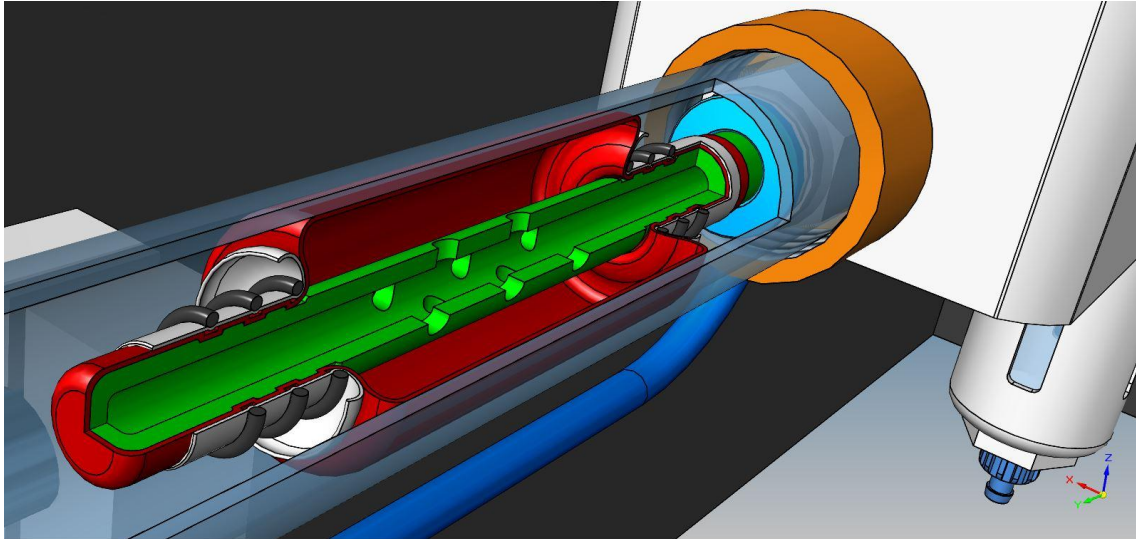
4.3.1. Nastavení zařízení pro stanovení přetlaku

Nejprve se uzavře hlavní spínací ventil a zařízení se připojí k přívodu stlačeného vzduchu. Pro správnou funkčnost požadované měřicí větve je důležité nastavit uzavírací ventily do příslušné pozice. V případě stanovení přetlaku vzduchu je využívána větev první, a proto se otevře ventil první větve a uzavře ventil větve druhé dle *obrázku 30*. Nyní se otočí redukčním ventilem do otevřené polohy (na doraz dle šipky plus) a přesným redukčním ventilem se otočí do polohy uzavřené (na doraz dle šipky mínus). Následně se zapne hlavní spínací ventil do polohy on. Tím je zařízení připraveno pro měření. Vloží se připravený trn s balónkem, cévou a kroužky do koncovky. Názorná ukázka je zobrazena dle vizualizace na *obrázku 32*.



Obrázek 32 Vizuální řez neporušené cévy před testem

Poté se zašroubuje ochranný kryt. Pozvolným otáčením přesného redukčního ventilu ve směru šipky plus se přivádí a zvyšuje tlak k testované cévě. Tlak se zvyšuje tak dlouho, dokud céva nepraskne. Prasklou cévu lze vidět na *obrázku 33*. Důležité je sledovat tlak na manometru (rozsah 6 bar) a zaznamenat maximální hodnotu do tabulky. Po prasknutí cévy je nutné snížit tlak pomocí přesného redukčního ventilu, který se otočí do uzavřené polohy (na doraz dle šipky mínus). Nakonec se uzavře hlavní spínací ventil do polohy off. Nyní je možné vyměnit cévu a zahájit tak další měření.



Obrázek 33 Vizualní řez prasknuté cévy po testu

Problémy, které nastaly při stanovení přetlaku:

Při stanovení přetlaku vzduchu byla v počátcích testování zjištěna velká prodyšnost UCN, kdy nebylo možné dosáhnout protržení cévy. Jiná varianta měření, při které by UCN mohla prasknout, byla zkouška přetlakem vody. Ta se také neosvědčila, protože se znovu ukázal problém s vysokou propustností. Musel být tedy vymyšlen systém, který zamezí průnik vzduchu skrz UCN. Z tohoto důvodu bylo nutné použít pod cévu pružnou mezivrstvu, která by tento problém vyřešila. Jediným a přitom funkčním řešením bylo vložení tvarovacího balónku, který měl válcový tvar a optimální poddajnost. Balónek byl nejprve zkrácen na požadovanou délku, která odpovídala velikosti trnu. Takto upravený balónek byl vložen do vnitřku cévy a tímto řešením byl zamezen únik vzduchu.

Dalším problémem se ukázalo velké tření balónku. V momentě, kdy bylo potřeba UCN nasunout na trn s balónkem, se velmi často UCN porušila. Vnější průměr balónku byl 6 mm a průměr cévy taktéž 6 mm. Průměr cévy byl pevně daný, a proto bylo nutné upravit velikost balónku. Bohužel nebyl nalezen podobný válcový typ balónku o menším průměru a tak bylo nezbytné vymyslet jiné řešení, které by tento problém vyřešilo. Silnějším natáhnutím balónku na trn bylo dosaženo zmenšení průměru a tím umožněno lehčí nasunutí UCN. V počátku se zdálo, že takový postup bude fungovat. Cévu se podařilo nasunout bez potíží, ale vzniknul jiný problém. Balónek byl po natažení vrácen zpět do původního stavu i s cévní náhradou, která byla v konečné fázi zcela smršťena. Nepomohlo ani pomalejší a opatrnější spouštění

nataženého balónku. Tato úprava tedy také nebyla vhodná. Posledním a úspěšným řešením bylo nanesení prášku na povrch gumového balónku, který významně snížil tření mezi oběma povrchy. Tento prášek má bílou barvu a bývá ve velkém množství použit v gumárenském průmyslu k výrobě těsnění, kroužků, pneumatik, vaků a mnoha dalších gumových součástí. Slouží jako tenká mezivrstva, která nedovolí dvěma povrchům se k sobě přiblížit. Často se označuje jako klouzek. Z chemického hlediska se jedná o velice měkký hydratovaný křemičitan hořečnatý s destičkovitou strukturou. [17] Destičky mastku mohou po sobě lehce klouzat pomocí slabých van der Waalsových sil. [18] Díky tomu jsou plastické výrobky z kaučukovitých směsí vytlačovány s hladkým povrchem i při vysokých rychlostech. Mastek je používán v aplikacích, pro které je rozhodující vzhled povrchu nebo nízká propustnost pro plyny jako jsou např. hadice, bariérové folie a vnitřní guma pneumatik. [17]

Ve výsledku bylo docíleno výrazného zlepšení při nasunutí UCN na trn s balónkem a eliminovalo se i časté porušení cévy. Tento postup se rychle osvědčil a kladně podepsal na celkovém čase nutném pro umístění cévy na trn.

4.3.2. Nastavení zařízení pro stanovení prodyšnosti

Pro stanovení prodyšnosti je zařízení nastaveno podobně, jako je tomu v kapitole 4.3.1. V tomto měření se nepoužije balónek pod cévu ani ochranný kryt.

Postup je následovný. V první řadě se uzavře hlavní spínací ventil a zasune se protikus do přívodu stlačeného vzduchu. Pro správnou funkčnost celého zařízení je důležité správně nastavit uzavírací ventily. V případě stanovení prodyšnosti je využívána větev první, a proto se otevře ventil první větve a uzavře ventil větve druhé dle obr. 30. Nyní se otočí redukčním ventilem do otevřené polohy (na doraz dle šipky plus) a přesným redukčním ventilem se otočí do polohy uzavřené (na doraz dle šipky mínus). Následně se zapne hlavní spínací ventil do polohy on. Tím je zařízení připraveno pro měření. Připravený trn se vloží s cévou a kroužky do koncovky. Pozvolným otáčením přesného redukčního ventilu ve směru šipky plus se přivádí a zvyšuje tlak k testované cévě. Tlak se zvyšuje do hodnoty 0,16 baru. Ten se sleduje na manometru (rozsah 6 bar). Následně se zaznamenají hodnoty odečtené z průtokoměru. Tím je dokončeno měření prodyšnosti. Sníží se tlak pomocí přesného redukčního ventilu, který se otočí do uzavřené polohy (na doraz dle šipky mínus). Nakonec se

uzavře hlavní spínací ventil do polohy off. Nyní je možné vyměnit cévu a zahájit tak další měření.

4.3.3. Nastavení zařízení pro stanovení průsaku

Nejprve se uzavře hlavní spínací ventil a zasune protikus do přívodu stlačeného vzduchu. V případě stanovení průsaku je využívána větev druhá, kde se ale z počátku uzavřou oba ventily z důvodu dosažení okamžitého tlaku. To není možné docílit nastavením redukčního ventilu. Následně se redukčním ventilem do otevřené polohy (na doraz dle šipky plus) a přesným redukčním ventilem se otočí do polohy uzavřené (na doraz dle šipky mínus). Nádoba se naplní obarvenou kapalinou až po okraj. Následně se zapne hlavní spínací ventil do polohy on. Pozvolným otáčením přesného redukčního ventilu ve směru šipky plus se přivádí a zvyšuje tlak k oběma uzavíracím ventilům. Tlak se zvyšuje do hodnoty 0,16 baru. Ten se sleduje na manometru do 6 baru. Tím je zařízení připraveno pro měření. Vloží se připravený trn s cévou a kroužky do koncovky určené pro měření průsaku. Kádinka se umístí pod testovanou cévu pro jímání proteklé kapaliny. Rychle se otevře uzavírací ventil druhé větve a zároveň se začne měřit čas. Je třeba kontrolovat hladinu v nádobě pro kapalinu, která rychle klesá. Před úplným vyprázdněním kapaliny v nádobě je nutné uzavřít ventil druhé větve a zaznamenat čas měření. Jímanou kapalinu je třeba zvážit a hmotnost zaznamenat. Tím je dokončeno měření průsaku. Pro větší bezpečnost se uzavře hlavní spínací ventil do polohy off. Nyní je možné vyměnit cévu, naplnit nádobu kapalinou a zahájit další měření. Výpočet se provede dle vztahu (17 až 20). Nakonec se stanoví výsledný průsak přepočtený na $[\text{ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}]$ dle (21).

Výpočty:

Vztah pro určení středního průměru cévy [mm]:

$$d_s = \frac{(d_{\text{vnější}} + d_{\text{vnitřní}})}{2} \quad (17)$$

Vztah pro určení obvodu cévy [cm]:

$$O = \pi \cdot d_s \quad (18)$$

Vztah pro určení plochy cévy v místě měření [cm²]:

$$A = O \cdot l \quad (19)$$

Stanovení průsaku za minutu [ml.min⁻¹]:

$$Q = \frac{\text{Množství zachycené kapaliny [ml]}}{t [\text{s}]} \cdot 60 \quad (20)$$

Stanovení výsledného průsaku [ml.min⁻¹.cm⁻²]:

$$= \frac{Q [\text{ml. min}^{-1}]}{A [\text{cm}^2]} \quad (21)$$

- kde: d – průměr cévy [mm]
O – obvod cévy [cm]
l – délka cévy, přes který probíhá průsak [cm]
A – plocha cévy [cm²]
Q – průsak [ml.min⁻¹]
t – čas [s]

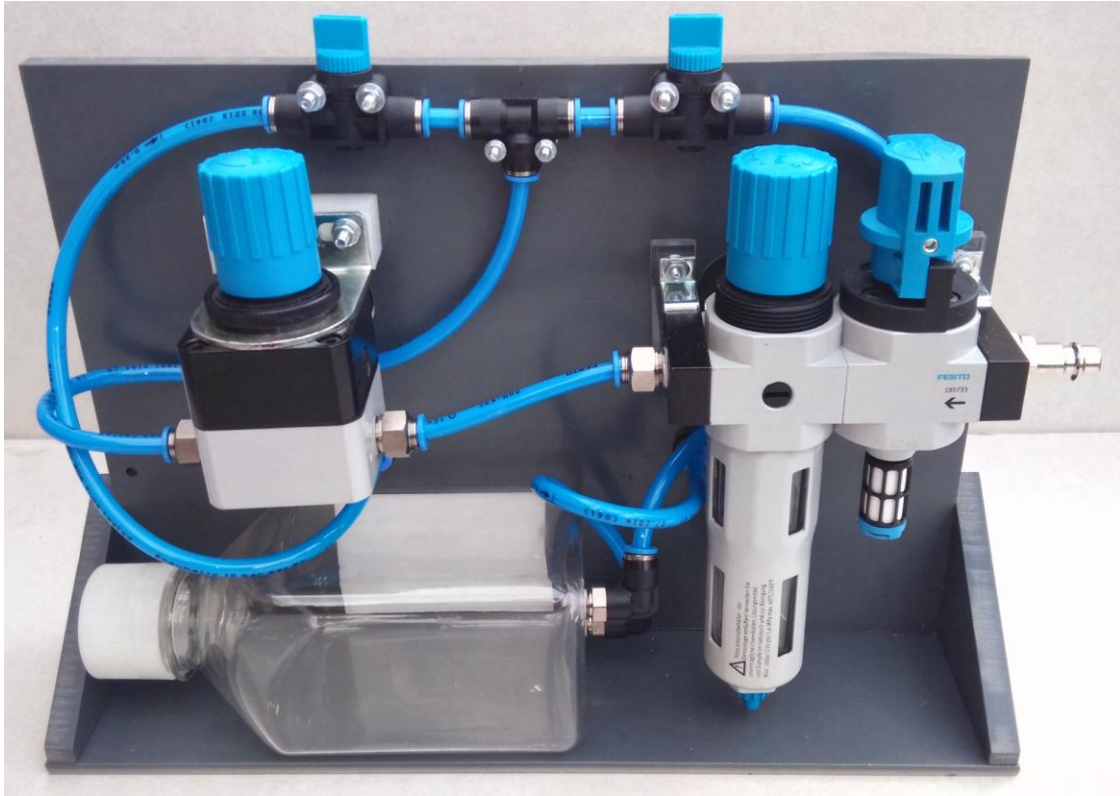
4.4. REALIZACE

Na základě návrhu a vizualizace bylo zařízení realizováno do podoby funkčního vzorku na katedře netkaných textilií a nanovláknenných materiálů (KNT). Jednotlivé uzly odpovídají předloze ve vizualizaci. Zařízení je podrobně zdokumentováno na *obrázcích 34 až 37*. Nicméně sestavené zařízení se nepatrně liší.



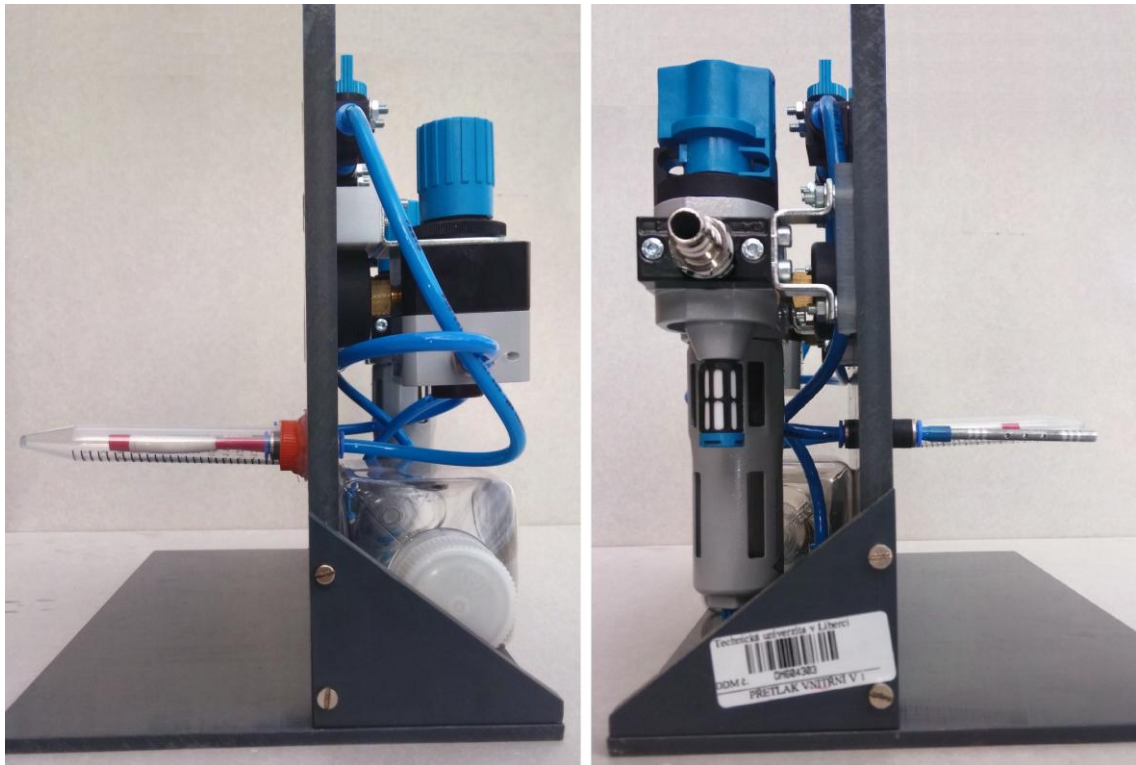
Obrázek 34 Čelní pohled sestaveného zařízení

Trny pro testování byly od sebe posunuty a každý byl umístěn pod stupnici manometru. Tím se zvýšil manipulační prostor okolo měřených cév.

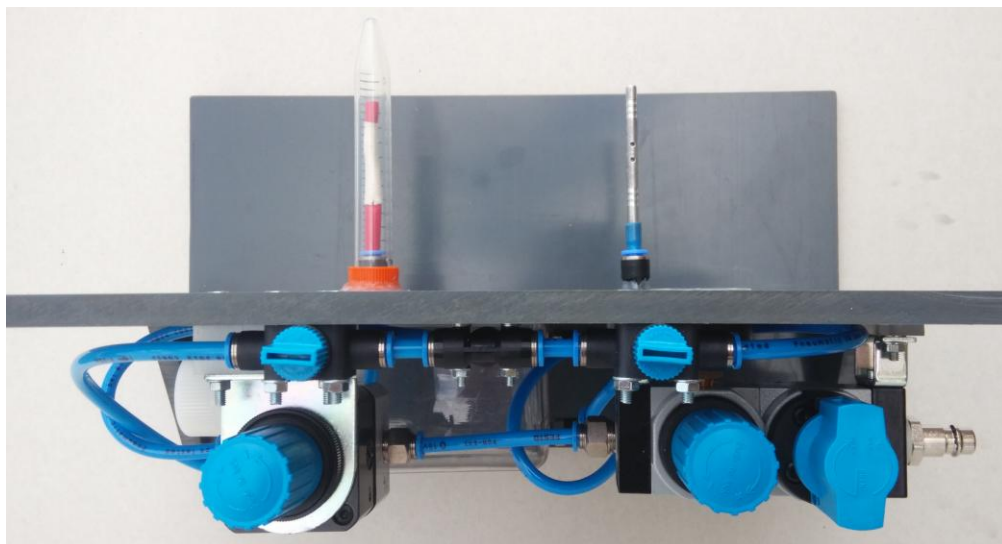


Obrázek 35 Zadní pohled sestaveného zařízení

Další odlišnou součástí byla nádoba pro vodu. Byla zvolena tvarově jednoduchá tlustostěnná nádoba od společnosti Labtech, která vykazovala vyšší objem a umístila se na spodní desku. Při doplňování kapaliny byla vyžadována vyšší zručnost, ale funkčnost zůstala zachována. Nádoba je držena na svém místě pomocí dvou magnetů. U spojky nástrčného šroubení nebyl zvolen tvar Y, ale tvar T. Ten byl posunut k hornímu okraji desky mezi dva uzavírací ventily. Zařízení neobsahuje průtokoměr, z důvodu vyšší cenové náročnosti. Další pohledy finálního zařízení jsou zobrazeny níže.



Obrázek 36 Boční pohledy sestaveného zařízení



Obrázek 37 Horní pohled sestaveného zařízení

5. Experiment

Pro ověření funkčnosti zařízení byl proveden experiment se vzorky cévních náhrad. Celý experiment je rozdělen do tří částí.

První část experimentu stanoví maximální tlak, při kterém dojde k porušení cévy. Podrobné informace o výrobě a zvolení použitého materiálu jsou detailněji psány v kapitole 5.1.

Ve druhé a třetí části experimentu, je věnována pozornost měřením hodnot prodyšnosti a průsaku. U cévních náhrad se měří hodnota prodyšnosti vzduchu a průsaku vody, které proniknou čtverečním centimetrem stěny za minutu při tlaku 120 mmHg. Hodnota zmíněného tlaku odpovídá 0,16 bar, který byl po dobu měření konstantní. Pro stanovení experimentu byly dodány dvě cévy. První céva byla určena pro měření prodyšnosti a druhá pro měření průsaku. Obě cévy byly vyráběny společně a tak lze předpokládat velice podobné chování při měření. Podrobné informace o výrobě a zvolení použitého materiálu nebyly známy.

5.1. Popis vzorků

Cévní náhrady pro stanovení maximálního tlaku při protržení byly připraveny v sáčcích (*Obrázek 38*) a rozřazeny dle vzorku 1 až 5. Každý vzorek UCN byl řádně označen z hlediska použitého materiálu a způsobu výroby. Používané materiály byly polykaprolakton (PCL) o různých molekulových hmotnostech (45 000 a 80 000) od firmy Sigma Aldrich. Dalším materiálem byl kopolymer polylaktidu a polykaprolaktonu (PLC PURAC 7015) od firmy PURASORB. Byly vytvořeny dvouvrstvé cévní náhrady. Vnitřní vrstva byla zvlákňována po dobu 5 minut při otáčkách kolektoru 5 000 rpm, vnější vrstva po dobu 10 minut při vyšších otáčkách 10 000 až 15 000 rpm, aby se dosáhlo orientace vláken. [14] Vzhledem k různým kombinacím použitých materiálů a zvolených otáček při výrobě cévy jsou nepochybně mechanické vlastnosti odlišné. Proto bylo vhodné provést experiment.



Obrázek 38 Připravené cévy vzorku 5 pro testování

5.2. Stanovení odolnosti vůči vnitřnímu přetlaku vzduchu

Při manipulaci s cévními náhradami je nutné postupovat velmi opatrně, neboť tloušťka stěny a mechanická odolnost je velmi malá a může dojít ke snadnému porušení či zničení cévní stěny.

Metodika měření je zřejmá z následujícího postupu:

Nejprve se uchopí balónek a navlékne se na trn. Ten plní důležitou funkci, protože slouží jako gumová membrána mezi trnem a cévou. Je důležité balónek nasadit správně, aby přiléhal k trnu. U navlečené UCN by nemělo dojít ke zvrásnění, deformaci či předpětí. Volba průměru balónku závisí na průměru použité cévní náhrady a tím i trnu. Balónek by měl vykazovat vnější průměr po navlečení na trn o málo větší než je vnitřní průměr cévy. Pro trn o průměru 5,5 mm se použije balónek o vnějším průměru 6 mm. Dále se nanese na povrch balónku tenká vrstva prášku (mastku), který sníží tření mezi balónkem a navlečenou cévní náhradou. Po nanesení prášku se uchopí jemná céva a šetrně se nasune na balónek. V tomto kroku je nutné dbát zvýšené opatrnosti při navlékání. Lehce může dojít k porušení vzorku a jeho znehodnocení. V následujícím kroku se uchopí přípravek pro nasazení o-kroužků a nasune se na něj ze zaslepeného konce gumový kroužek. Přípravek se vsune z duté strany do trnu s navlečeným balónkem a cévou. Po napolohování přípravku se o-kroužek umístí do drážky na trnu stažením z přípravku. Tento krok je nutné opakovat minimálně ještě jednou a to na druhý konec cévy. Tím se céva upevní a zároveň se zabrání úniku stlačeného vzduchu. Množství použitých kroužků se určuje podle hodnoty aplikovaného

tlaku a je třeba je stanovit experimentálně. Pokud nestačí jeden o-kroužek po obou stranách cévy vlivem netěsnosti tlakem vzduchu, je nutné přidat další kroužek po obou stranách. Maximální počet použitých kroužků je omezený počtem drážek v trnu, tedy nejvýše tři na každé straně. Je vhodné použít větší počet o-kroužků, protože pokud systém netěsní, dochází ke zkreslení výsledků. Posledním krokem je umístění ochranného krytu. Nyní se může provést měření. Pomalu se zvyšuje tlak a zároveň sleduje manometr do 6 barů. V okamžiku, kdy céva praskne, se stanoví maximální hodnota tlaku a zaznamená do tabulky. Tento postup se opakuje pro každé měření.

Stručné shrnutí pracovního postupu:

1. Nasazení balónku na trn
2. Nanesení tenké vrstvy mastku (klouzku) na balónek
3. Nasazení umělé cévní náhrady na trn s balónkem
4. Fixace o-kroužků na UCN pomocí přípravku
5. Našroubování krytu okolo zkoušené cévy
6. Změření přetlaku do prasknutí UCN
7. Zaznamenání maximální hodnoty tlaku do tabulky

5.2.1. Výsledky odolnosti cév při vnitřním přetlaku

Testováno bylo celkem 5 vzorků a od každého vzorku se provedlo 5 měření. Pro každé měření byl připraven nový vzorek, protože se jednalo o destrukční test a cílový vzorek byl vždy zničen. Některé odtržené kousky či zbytky prasklých cév byly předány na jiné pracoviště, které mohlo vzorky analyzovat detailně pod mikroskopem. Byl detailně zkoumán průběh prasknutí a jednotlivá porušení vnitřní struktury materiálu.

Tabulka obsahuje veškeré zjištěné údaje o materiálu a vzorcích cév (*Tabulka 1*). Následně je u každého zkoušeného vzorku cévy zaznamenán maximální tlak, při kterém se céva porušila. Pro každý typ cév se provedlo statistické vyhodnocení naměřených maximálních tlaků, kde byl vypočten aritmetický průměr, směrodatná odchylka a interval spolehlivosti pro $\alpha = 0,05$.

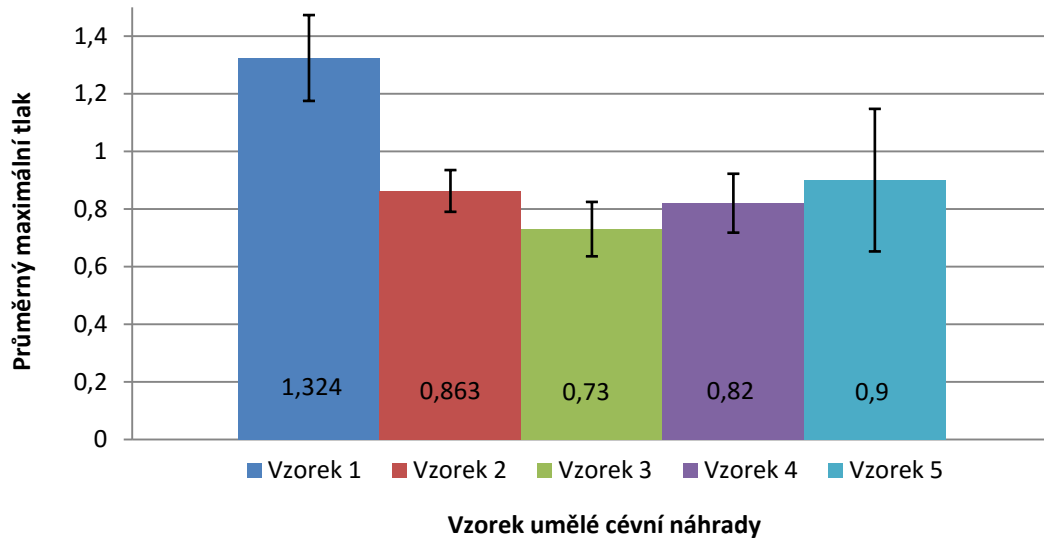
Tabulka 1 Výsledky měření přetlaku vzduchu

Vzorek	Materiálové složení a použité otáčky [min^{-1}]	Č. měření	Max. tlak [bar]	Ø tlak [bar]	SD [bar]	IS [bar]
1	PCL45+45 5000+10000	1	1,35	1,324	0,170	< 1,17 ; 1,47 >
		2	1,37			
		3	1,6			
		4	1,1			
		5	1,2			
2	PCL45+80 5000+15000	1	0,95	0,863	0,074	< 0,79 ; 0,93 >
		2	0,85			
		3	0,75			
		4	/			
		5	0,9			
3	PCL45+PLC 5000+15000	1	0,8	0,73	0,108	< 0,64 ; 0,82 >
		2	0,8			
		3	0,85			
		4	0,6			
		5	0,6			
4	PLC+PCL45 5000+15000	1	1	0,82	0,117	< 0,72 ; 0,92 >
		2	0,8			
		3	0,7			
		4	0,7			
		5	0,9			
5	PLC+PCL80 5000+15000	1	0,65	0,9	0,252	< 0,65 ; 1,15 >
		2	0,65			
		3	1,2			
		4	1,1			
		5	/			

IS pro $\alpha=0,05$

Přehled průměrných maximálních tlaků je zobrazen v grafu (Obrázek 39). Osvědčil se vzorek 1, který má daleko vyšší naměřený tlak, než ostatní UCN. Konkrétně s průměrnou hodnotou 1,324 baru. U vzorku 1 a 2 byla zaznamenána malá pružnost a díky tomu se vzorek roztrhl. Ostatní typy se neroztrhly, ale nafoukly. To naopak svědčí o větší elasticitě materiálu, nežli měly vzorky 1 a 2. Pro názornou ukázkou je možné se podívat na obrázky 40 a 41.

Nejstálější maximální naměřenou hodnotu vykazoval vzorek 2. Potvrzuje to směrodatná odchylka, která je ze všech typů měření nejnižší. Z těchto hodnot následně vyplývá úzký interval spolehlivosti.



Obrázek 39 Srovnání naměřených průměrných max. tlaků dle vzorku

5.2.2. Různé druhy porušení UCN

Po dokončení testování byly vyhodnoceny dva druhy poškození UCN. První druh poškození UCN je viděn na *obrázku 40* a jedná se o vzorek 1. Tento vzorek je viditelně roztržen na několika místech. Z testování je zřejmé, že tento vzorek vykazuje malou pružnost. Na druhou stranu na něm byla naměřena nejvyšší hodnota zatížení.



Obrázek 40 Destrukce cévní náhrady u vzorku 1

Na *obrázku 41* je znázorněn vzorek 3. Na tomto vzorku je patrné, že je vysoce elastický. Nicméně z hlediska maximálního zatížení vykazuje nejnižší hodnoty v porovnání s ostatními vzorky.



Obrázek 41 Destrukce cévní náhrady u vzorku 3

5.3. Stanovení prodyšnosti tlakem vzduchu

Pro měření prodyšnosti byl použit vzorek cévy neznámého složení. Pro měření prodyšnosti byl zvolen orientační regulační průtokoměr (rotametr) LZT-6TO₂, který má uvedený rozsah od 0-5 litrů za minutu. Během měření byl zaznamenán výrazně vyšší průtok vzduchu, než se očekávalo. Proto byl rotametr zaměněn za digitální průtokoměr Testo 6441, který má uvedený rozsah průtoku od 4 l.min⁻¹ do 1250 l.min⁻¹. Níže je popsán podrobný postup měření s výsledky.

5.3.1. Postup měření

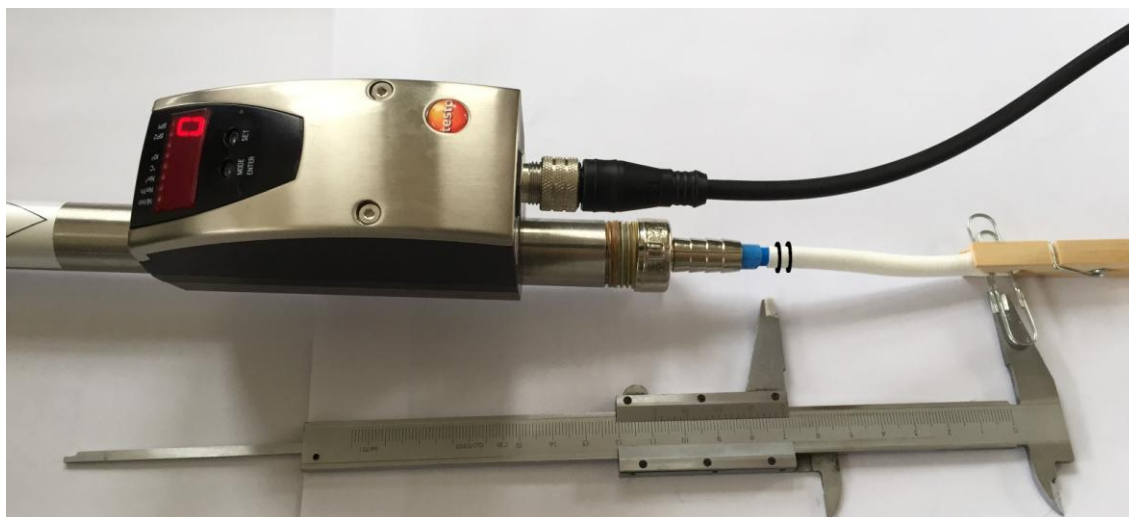
Při použití trnu se zjistily velké tlakové ztráty vlivem omezené velikosti otvorů v trnu a jejich nedostatečného množství. Proto se použila polyuretanová hadička, na kterou se céva upevnila pouze na jednom konci. Druhý konec je zajištěn proti úniku vzduchu, přes kterou volně uniká stlačený vzduch ven. Nevzniká tak dodatečný odpor, který jinak zapříčiní neobjektivní výsledek měření.

Metodika měření je zřejmá z následujícího postupu:

Nejprve se uchopí vzorek UCN a opatrně se navlékne na trubičku tak, aby se zabránilo jeho poškození. V následujícím kroku se uchopí přípravek pro nasazení o-kroužků a nasune se na něj ze strany zaslepeného konce gumový kroužek. Do otevřeného konce přípravku se vsune trn s navlečenou cévou. Po správném umístění se kroužek stáhne z přípravku do drážky na trnu. Pro lepší utěsnění se tento krok opakuje s dalším o-kroužkem. Nejenže se céva na trubičku upevní, ale především se utěsní. Z druhé strany se céva zaškrtní kancelářskou svorkou a zafixuje např. kolíčkem dle obrázku (*Obrázek 42*). Nyní se může provést měření. Aktuální hodnoty jsou ihned zobrazeny na displeji průtokoměru. Uvedená hodnota se zapíše do tabulky.

Stručné shrnutí pracovního postupu:

1. Nasazení umělé cévní náhrady na trubičku
2. Fixace z jedné strany o-kroužky
3. Utěsnění z druhé strany sponkou a kolíčkem
4. Změření prodyšnosti
5. Zaznamenání hodnoty



Obrázek 42 Průběh měření prodyšnosti

5.3.2. Výsledky měření

Tabulky obsahují veškeré zjištěné údaje jak o měření (*Tabulka 2*), tak o parametrech cévy (*Tabulka 3*). Zbylé hodnoty musely být dopočteny. Z hodnoty průtoku (*Tabulka 2*) je možné říci, že céva je velmi prodyšná. Hodnota prodyšnosti s vloženou cévou a bez vložené cévy se liší pouze o $3 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$. Tak malý rozdíl hodnot je překvapující. Nicméně je známo, že cévy vyráběné metodou elektrostatického zvlákňování jsou velmi prodyšné, což měření jen potvrdilo.

Tabulka 2 Výsledky z měření prodyšnosti

DATA Z MĚŘENÍ PRODYŠNOSTI		
	Bez vložené cévy	S vloženou cévou
Tlak p [bar]	0,16	0,16
Průtok [$\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$]	85	82

Tabulka 3 Naměřené rozměry cévy při měření prodyšnosti

ROZMĚRY UCN	
Délka cévy v místě měření l [mm]	65
Průměr vnější $d_{\text{vnější}}$ [mm]	6,9
Průměr vnitřní $d_{\text{vnitřní}}$ [mm]	5,8

Vypočtené hodnoty:

Střední průměr cévy [mm]:

$$d_s = \frac{(d_{\text{vnější}} + d_{\text{vnitřní}})}{2} = \frac{(6,9 + 5,8)}{2} = 6,35 \text{ mm}$$

Obvod cévy [cm]:

$$O = \pi \cdot d_s = 3,14 \cdot 0,635 = 1,994 \text{ cm}$$

Plocha cévy v místě měření [cm²]:

$$A = O \cdot l = 1,994 \cdot 6,5 = 12,96 \text{ cm}^2$$

Stanovení prodyšnosti na jednotku plochy [l.min⁻¹.cm⁻²]:

$$= \frac{\text{Průtok}_s \text{ vloženou cévou}}{A} = \frac{82}{12,96} = 6,33 \text{ l.min}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$$

Stanovení výsledné prodyšnosti [ml.min⁻¹.cm⁻²]:

$$= 6,33 \cdot 1000 = 6330 \text{ ml.min}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$$

Výsledná přepočtená hodnota 6330 ml.min⁻¹.cm⁻² je oproti hodnotám z měření průsaku (210 ml.min⁻¹.cm⁻²) několikanásobně vyšší. Obě měřené cévy byly takřka totožné, a proto je možné hodnoty mezi sebou porovnat. Takový rozdíl je jednoznačně způsoben hustotou a viskozitou použitého média. Rozdíly mezi hodnotami vody a suchého vzduchu je značný, což je zřejmé z tabulky 4.

Tabulka 4 Hustota, kinematická a dynamická viskozita

	Voda	Suchý vzduch
Hustota [kg.m ⁻³]	998	1,188
Dynamická viskozita [Pa.s]	1,002.10 ⁻³	18,2.10 ⁻⁶
Kinematická viskozita [Pa.s]	1,004.10 ⁻⁶	15,32.10 ⁻⁶
Zdroje	hustota[19], viskozity [20]	Suchý vzduch [21]
zobrazené hodnoty jsou při 20 °C		

5.4. Stanovení průsaku tlakem vody

Průsakem je v případě testování vlastností cév míněn průtok kapaliny stěnou cévní náhrady. Příčinou je otevřená, porézní struktura textilie. Pro případ cévních náhrad není textilie rozložená na rovinné ploše, ale zaujímá válcovitý tvar. Při měření průsaku je kapalina zachytávána do nádoby a následně převážena pro zjištění prosáklého množství. Snížením nebo zvýšením tlaku dojde ke změně objemu proteklé kapaliny. Tlak by měl být po celou dobu konání zkoušky konstantní. Nastavený tlak odpovídá normě ISO 7198, která uvádí průsak vody při tlaku 16kPa.

5.4.1. Postup měření

Stejně jako stanovení prodyšnosti byl k dispozici jeden vzorek cévy. Podnětem pro vyšší opatrnost u této části byla práce s obarvenou kapalinou. Voda byla obarvena potravinářským barvivem červené barvy. Hlavním důvodem pro obarvení vody byla její lepší viditelnost při protékání cévou.

Metodika měření je zřejmá z následujícího postupu:

Následující postup je z počátku takřka totožný s měřením prodyšnosti. Nejprve se uchopí umělá cévní náhrada a navlékne se na trubičku. V následujícím kroku se uchopí přípravek pro nasazení o-kroužků a nasune se na něj ze zaslepeného konce gumový kroužek. Přípravek se vsune z duté strany do trnu s navlečenou cévou. Po umístění přípravku do požadované polohy se kroužek stáhne z přípravku na trn. Pro lepší utěsnění se tento krok opakuje s dalším o-kroužkem. Tím se céva ukotví na trubičku. Z druhé strany se céva zaškrtní kancelářskou svorkou a zafixuje kolíčkem dle obrázku (*Obrázek 43*). Nádoba se naplní vodou a popř. se kapalina obarví např. potravinářským barvivem pro lepší viditelnost průsaku cévou. Následně se umístí pod UCN kádinku. Nyní se může provést měření. Prosakovaná kapalina je jímána do připravené kádinky. Změří se doba průsaku v sekundách a odváží se množství kapaliny v kádince. Uvedená hodnota se zaznamená do tabulky. Následuje výpočet, ze kterého je patrné, kolik mililitrů kapaliny proteče centimetrem čtverečným za sekundu.

Stručné shrnutí pracovního postupu:

1. Nasazení umělé cévní náhrady na trubičku
2. Fixace z jedné strany o-kroužky
3. Utěsnění z druhé strany sponou a kolíčkem
4. Naplnění nádoby (obarvenou) kapalinou
5. Zvážení prosáklé kapaliny a změření času průsaku
6. Výpočet



Obrázek 43 Měření průsaku

5.4.2. Výsledky měření

Při měření průsaku se kapalina velmi rychle spotřebovala. I proto celé měření trvalo pouhých 4,2 sekundy. Domněnka, že by vysoký průtok byl způsoben poškozením cévy, se nepotvrdila. Obarvená kapalina protékala rovnoměrně celým obvodem cévy. Na spodní části se shlukla do jednoho pramene, který tekla do nádoby pod cévou viz. (Obrázek 43).

V následujících *tabulkách 5 a 6* jsou uvedeny výsledné hodnoty z měření průsaku a rozměry použité cévní náhrady.

Tabulka 5 Výsledky z měření průsaku

DATA Z MĚŘENÍ PRŮSAKU	
Čas t [s]	4,2
Tlak p [bar]	0,16
Množství zachycené kapaliny [g, ml]	187,3

Tabulka 6 Naměřené rozměry cévy při měření průsaku

ROZMĚRY UCN	
Délka cévy v místě měření l [mm]	65
Průměr vnější $d_{vnější}$ [mm]	66,8
Průměr vnitřní $d_{vnitřní}$ [mm]	55,7

Vypočtené hodnoty:

Střední průměr cévy [mm]:

$$d_s = \frac{(d_{vnější} + d_{vnitřní})}{2} = \frac{(6,8 + 5,7)}{2} = 6,25 \text{ mm}$$

Obvod cévy [cm]:

$$O = \pi \cdot d_s = 3,14 \cdot 0,625 = 1,963 \text{ cm}$$

Plocha cévy v místě měření [cm²]:

$$A = O \cdot l = 1,963 \cdot 6,5 = 12,76 \text{ cm}^2$$

Stanovení průsaku za minutu [ml.min⁻¹]:

$$Q = \frac{\text{Množství zachycené kap.}}{t} \cdot 60 = \frac{187,3}{4,2} \cdot 60 = 2675,7 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$$

Stanovení výsledného průsaku [ml.min⁻¹.cm⁻²]:

$$= \frac{Q}{A} = \frac{2675,7}{12,76} = 210 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$$

Z výsledků měření vyplývá, že nelze porovnávat hodnoty z měření prodyšnosti a průsaku. V případě elektrostaticky zvlákněné vrstvy tvořící UCN, byla naměřená

hodnota průsaku vody $210 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$. Tuto hodnotu je možné porovnat například s pletenou vrapovanou dvojitou vaskulární protézou vyrobenou z polyesteru, která má uvedený průsak $1900 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$. [23] Pletené cévní náhrady mají daleko otevřenější strukturu, a z tohoto důvodu je průsak pletené cévní náhrady výrazně vyšší. U tkané cévní protézy z tenkých polyesterových vláken je dán průsak $200 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$. [23] Tkané cévní protézy jsou hustě tkané, a proto je hodnota průsaku oproti pletené cévě nižší. Tkané protézy byly nahrazeny pletenými, které jsou pružnější a zajišťují lepší proliferaci buněk. Hodnota průsaku tkané cévy je takřka stejná, jako v případě UCN vyrobené elektrostatickým zvlákňováním. To ale neznamená, že si jsou cévy podobné. Obě mají odlišnou strukturu, která se liší zejména ve velikosti a počtu pórů. Vzhledem k tomu, že bylo provedeno pouze jedno měření k ověření funkčnosti zařízení, lze brát naměřenou hodnotu průsaku z experimentu jako orientační.

6. Diskuze

Na zhotoveném zařízení lze doporučit některé úpravy, ke kterým se dospělo na základě zkušeností získaných během měření. Vyšší opakovatelnost a reprodukovatelnost měření by bylo možno zajistit použitím elektronicky řízených regulátorů tlaku, které by zajistily požadovaný tlak i jeho nárůst v čase. Celé měření by pak mohlo být automatizováno připojením k PC s následným záznamem při sběru dat (datalogger).

V současném stavu není zajištěn řízený nárůst tlaku, který by přesně a plynule řídil tlak k cévě. Aktuálně se velikost tlaku řídí ručně – stupňovitě. Proto by bylo vhodné zaměnit ruční přesný regulační ventil za elektronicky říditelný.

Dále by bylo vhodné použít elektronický digitální tlakoměr. Rozsah pracovních tlaků u elektronického manometru je vyšší než u analogových přístrojů a zaznamenávají přesnější data na setiny či tisícinny baru. Tím zároveň odpadá nepřesné odečítání ze stupnice analogového manometru. Elektronický digitální tlakoměr bych volil s možností napojení na počítač. Tím by se zajistil sběr dat s následným uložením na disk či server. Výsledná data by také mohla být zaznamenána v čase do grafu, ze kterého lze určit maximální hodnotu tlaku, při které se měřená céva porušila.

Další úpravou by mohlo být osazení optického snímání, které by umožnilo posoudit a zhodnotit zvětšování cévy v reálném čase. Taková úprava by dostatečně zaznamenávala objem zvětšující se cévy vlivem vnitřního tlakového namáhání a vedla by k identifikaci vadné výroby.

V experimentu měření průsaku vody došlo k rychlému vyprázdnění nádoby s kapalinou. Současná nádoba má objem 500 ml, ale z důvodu umístění koncovek na vstupu i výstupu lze využít maximálně cca 350 ml. Z tohoto důvodu by bylo vhodné vyměnit nádobu za jinou o větším objemu a vhodnějšího umístění koncovek s hadičkami, které by objem kapaliny nikterak neovlivnily.

Při měření prodyšnosti byl zapůjčen průtokoměr Testo 6441, který vyhovoval podmínkám při měření, ale nebyl vhodný svou velikostí, protože nemohl být umístěn do zařízení. Vhodnou součástí by mohl být digitální rotametr SFAB-200U-WQ8-2SA-M12 (565395) od společnosti Festo, určený pro průtok vzduchu od $2 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ do $200 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ s možností upevnění na stěnu desky a datovým výstupem do počítače.

Bylo by vhodné provést zvýšení počtu otvorů v trnu pro měření prodyšnosti a průsaku UCN. Nedochovalo by tak k zvýšení odporu proudícího vzduchu či kapaliny

prouděním malým počet otvorů v trnu. Stávající trn je vhodný pouze pro měření vnitřního přetlaku UCN, kde je počet otvorů dostatečný, a to z důvodu velmi malé rychlosti proudícího média, kde dochází primárně ke zvyšování tlaku.

Poslední modifikací by mohlo být upravení přípravku pro nasazování o-kroužků. Nadměrným napínáním o-kroužků docházelo k častému praskání a to z důvodu příliš silné stěny stávajícího přípravku. Vhodné elasticitější o-kroužky nebyly době realizace dostupné, proto by bylo vhodné zmenšit vnější průměr přípravku, aby nedocházelo k tak velkému namáhání. Jako ideální řešení se jeví nahradit duralovou tyč tenkostěnnou nerezovou trubkou, která je oproti duralové mnohem pevnější a umožňuje snížit tloušťku stěny na minimum. Rozměry navrhované tenkostěnné trubky jsou 8 x 60 mm s tloušťkou stěny 0,2 mm ISO 1127. Pro lehké nasunutí o-kroužků by měl být jeden konec zaslepen a druhý konec ponechán bez úprav pro vložení trnu. Toto jednoduché provedení by zamezilo častému praskání o-kroužků.

7. Závěr

Cílem práce bylo navrhnout optimalizaci zařízení pro měření vlastností cévních náhrad při vnitřním přetlaku a následně provést jeho realizaci.

V rešeršní a teoretické části byly popsány metody stanovení tlaku v kapalinách a plynech. Zároveň byly vysvětleny způsoby měření textilních materiálů membránového typu, které vedly k návrhu experimentálního zařízení. Dále byla věnována pozornost měření tlaku, prodyšnosti a průsaku. Byl zmíněn princip výroby cévních náhrad elektrostatickým zvlákněním a zároveň vytvořen návrh měřicí metody o stanovení maximálního tlaku s možným výpočtem napětí.

V části Výchozí stav zařízení byla provedena dokumentace původního zařízení, které nebylo dokončeno. Jednotlivé komponenty byly vymontovány a překontrolovány, zda plní svou funkci. V části návrhu a popisu řešení bylo provedeno sestavení jednotlivých uzlů zařízení s následným návrhem konstrukce, která byla vytvořena v 3D programu Solid Edge. Finální návrh vizualizace splnil podmínky zadání a na jeho základě bylo možné sestavit zařízení pro měření odolnosti vůči vnitřnímu tlaku, prodyšnosti a průsaku. Realizace návrhu byla plně zdokumentována včetně součástí, kterými bylo zařízení osazeno.

Zařízení sestavené do funkční podoby bylo řádně zdokumentováno a popsáno v kapitole Realizace. Nicméně došlo k drobným změnám v porovnání s návrhem, které však nemá žádný vliv na funkčnost zařízení. Z důvodu finanční i časové náročnosti nebyl vyráběn zásobník kapaliny a byla použita nádoba vhodného tvaru a rozměrů. Tvar nádoby umožnil její umístění v zadní části zařízení a nebylo nutné vytvářet v čelním panelu otvor pro její průchod. Měření prodyšnosti bylo odzkoušeno se zapůjčeným průtokoměrem a bylo navrženo vhodné řešení. Vzhledem k vyšší ceně však nebylo realizováno.

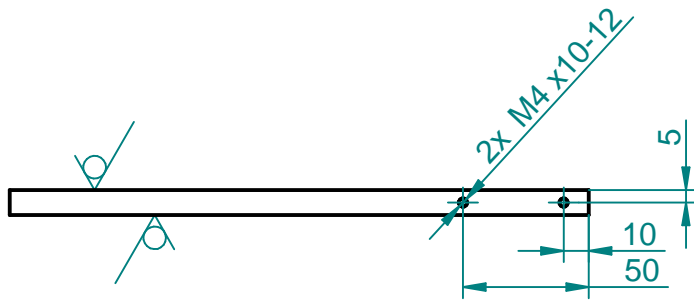
V experimentální části byly provedeny ověřovací zkoušky a zároveň byly navrženy a realizovány některé úpravy, které potvrdily funkčnost a použitelnost zařízení. V diskuzi byly popsány návrhy na další zlepšení, která však budou finančně náročná, získá se však efektivní a snadno obsluhovatelné zařízení.

8. Použitá literatura

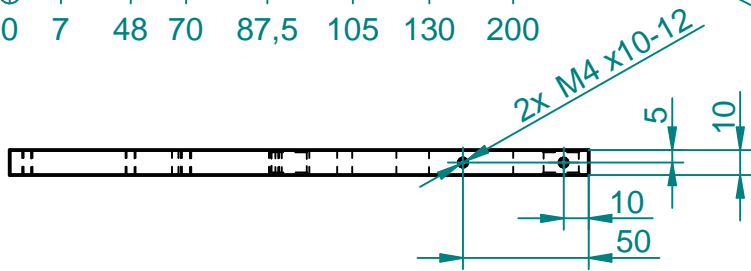
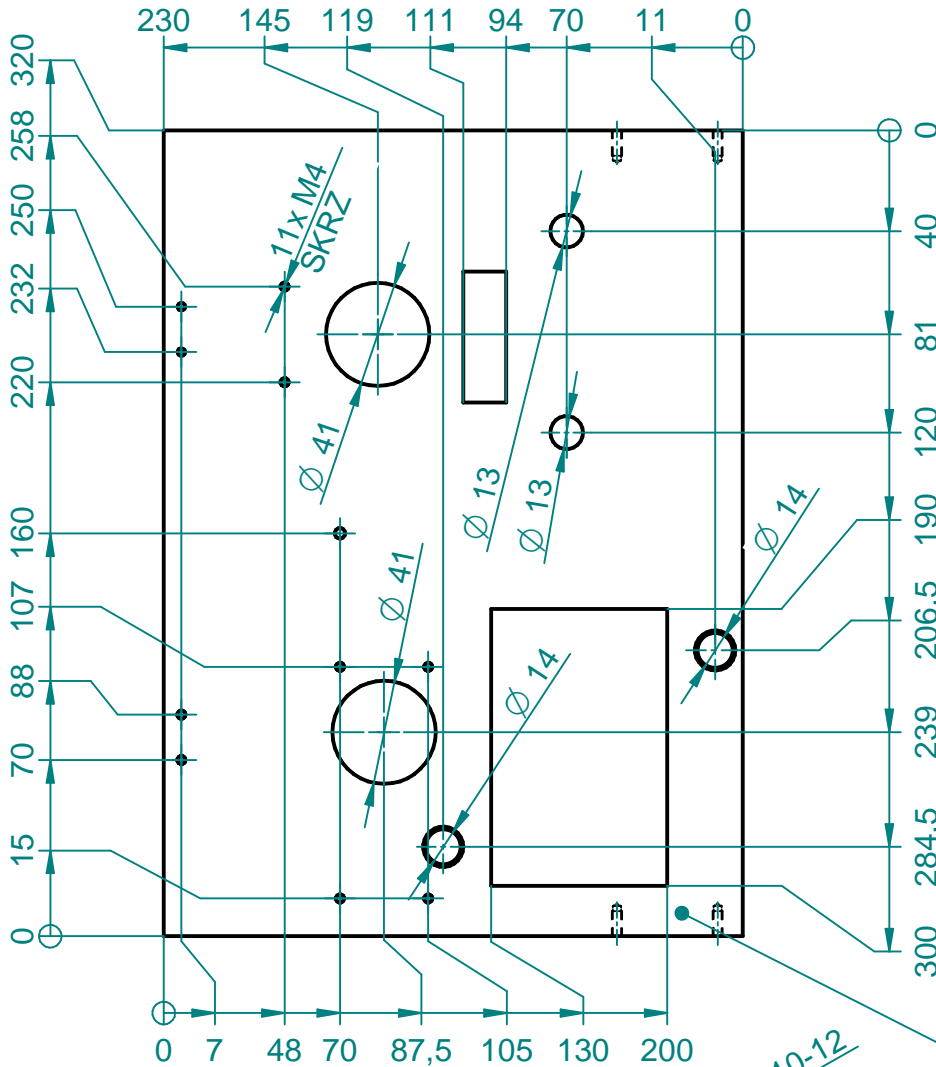
- [1] Bypass. Ordinace.cz [online]. [cit. 2016-05-03]. Dostupné z: <http://www.ordinace.cz/clanek/bypass/>
- [2] VANĚK, Ivan, et al. *Kardiovaskulární chirurgie*. 1. vydání. Praha: Karolinum, 2003. 236 s. ISBN 8024605236
- [3] CHOMIČ, Dimitrij. *Vliv mechanických vlastností cévních protéz na jejich klinické použití* [online]. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství, 2010 [cit. 2016-04-11]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/16950>.
Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství. Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky. Vedoucí práce Jiří Burša.
- [4] DRÁBKOVÁ, Sylva. *Mechanika tekutin*. Ostrava: Dostupné z: <http://www.338.vsb.cz/PDF/Drabkova-Mechanikatekutin.pdf>. Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2007. ISBN 978-80-248-1508-4.
- [5] JALÍK, J., ŠTÁVA, P.: *Mechanika tekutin, Skriptum*, Ostrava: Dostupné z: http://www.fsiforum.cz/upload/soubory/nezarazene/Mechanika_tekutin_--VSB_Ostrava--.pdf. VB-TU Ostrava, 2002. 124 S. ISBN 80-248-0038-1.
- [6] JAKUBEC, Jan. *Měření tlaku* [online]. Brno: [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=16195.
Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, 2009. Vedoucí práce Kamil Podaný.
- [7] *Měření tlaku*. Katedra oděvnictví [online]. [cit. 2016-05-03]. Dostupné z: http://www.kod.tul.cz/info_predmety/Aov/Vyuka/prednaska-kompresory_2cast.pdf
- [8] HNILIČKOVÁ, Veronika. *Měření průtoků plynů* [online]. Brno: [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=29194.
Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, 2010. Vedoucí práce Josef Štětina.
- [9] ISO 7198, *Cardiovascular implants - Tubular vascular prostheses*. 1998. First edition. Switzerland: International Organization for Standardization.

- [10] *Mezinárodní soustava jednotek SI*. Jihočeská univerzita České Budějovice [online]: [cit. 2016-05-03]. Dostupné z: http://home.pf.jcu.cz/~kriz/index.php?option=com_content&view=article&id=223:si&catid=55:fpr1&Itemid=27
- [11] DOUŠA, Martin. *Stanovení vlastností textilie pomocí víceosé napjatosti*. Studentská vědecká a odborná činnost 2015. Textil. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2015, 66-75.
- [12] *Zkouška hydraulickou metodou: Obrázek*. Textile learner [online]. [cit. 2016-05-03]. Dostupné z: <http://textilelearner.blogspot.cz/2012/02/bursting-strength-test-diaphragm-of.html>
- [13] Pevnost protržením. *Textilní zkušební ústav* [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <http://www.tzu.cz/pevnost-protrzenim>
- [14] YALCIN, I., J. HORAKOVA, P. MIKES, T. G. SADIKOGLU, R. DOMIN a D. LUKAS. *Design of Polycaprolactone Vascular Grafts*. *Journal of Industrial Textiles* [online]. 2016, 45(5), 813-833 [cit. 2016-04-11]. DOI: 10.1177/1528083714540701. ISSN 1528-0837. Dostupné z: <http://jit.sagepub.com/cgi/doi/10.1177/1528083714540701>
- [15] BERÁNEK, Vlastimil. *Studium a optimalizace návrhu svařovaných termoplastových konstrukcí ČOV* [online]. Ve Zlíně: [cit. 2016-04-25]. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2007. Vedoucí práce Oldřich Šuba. Dostupné z: http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/3844/bar%C3%A1nek_2007_dp.pdf?sequence=1.
- [16] *Katalog*. Festo.cz [online]. [cit. 2016-05-03]. Dostupné z: https://www.festo.com/cms/cs_cz/index.htm
- [17] MALÁČ, Jiří. *Gumárenská technooogie: Přísady* [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: https://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0ahUKEwiE1_C6tMfLAhXBa3IKHcCx38QFggiMAE&url=http%3A%2F%2Fwww.utb.cz%2Ffile%2F36215_1_1%2F&usg=AFQjCNHJTTdprQ3Dp8mUweTpxS SrdJF2hQ&sig2=HNPIWZFc1pMqVvt9nRNHow&bvm=bv.117218890,d.bGQ&cad=rja

- [18] NECHVÍLOVÁ, Kateřina. *Oxid křemičitý - vlastnosti a použití tzv. „bílých sazí“ a dalších sloučenin křemíku* [online]. Pardubice [cit. 2016-05-03]. Dostupné z: https://dk.upce.cz/bitstream/handle/10195/47492/NechvilovaK_OxidKremicity_AK_2012.pdf?sequence=2&isAllowed=y. Bakalářská práce. Univerzita Pardubice, 2012. Vedoucí práce Andréa Kalendová.
- [19] Čmelík, M., Machonský, L., Šíma, Z. *Fyzikální tabulky*. Liberec: TU Liberec, 2001
- [20] *Dynamic and Kinematic Viscosity*. The engineering toolbox [online]. [cit. 2016-05-03]. Dostupné z: http://www.engineeringtoolbox.com/water-dynamic-kinematic-viscosity-d_596.html
- [21] CHYSKÝ, Jaroslav a Karel HEMZAL. *Větrání a klimatizace*. 3., zcela přeprac. vyd. Brno: Bolit-B press, 1993. Česká matice technická (Bolit-B press). ISBN 80-901574-0-8.
- [22] *Pletené a tkané cévní protézy*. 2012. Nanoed.tul.cz: Zdravotnické textilie [online]. [cit. 2016-05-03]. Dostupné z: https://nanoed.tul.cz/pluginfile.php/4545/mod_resource/content/0/4%20prednaska%20new.pdf

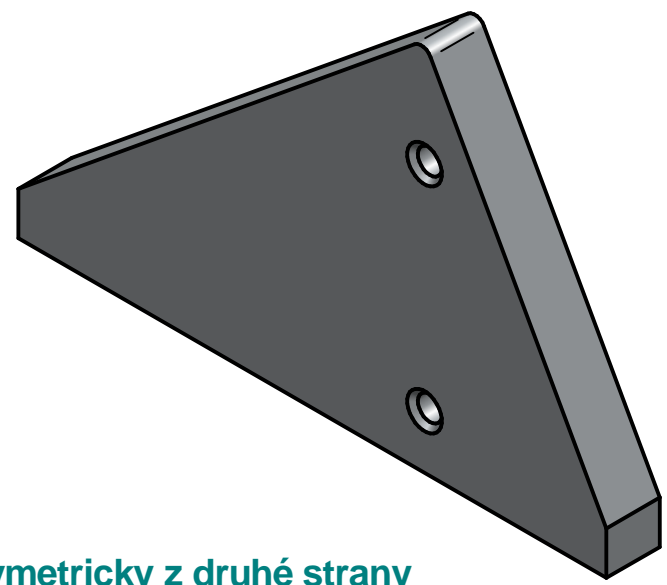
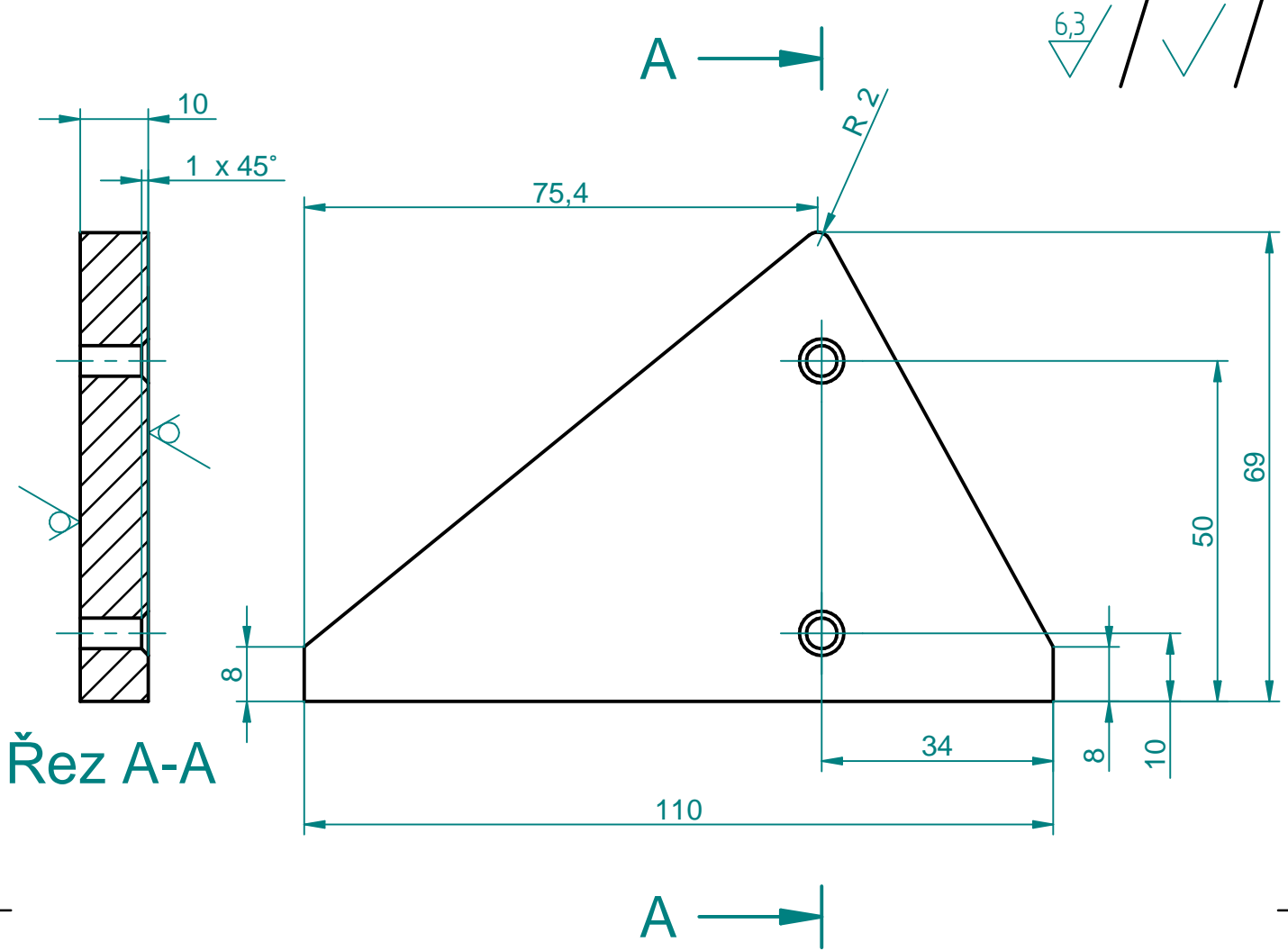


3,2 / / / /



Z ČELNÍ STRANY HRANY VŠECH ZÁVITOVÝCH OTVORŮ ZKOSENY 1x45°

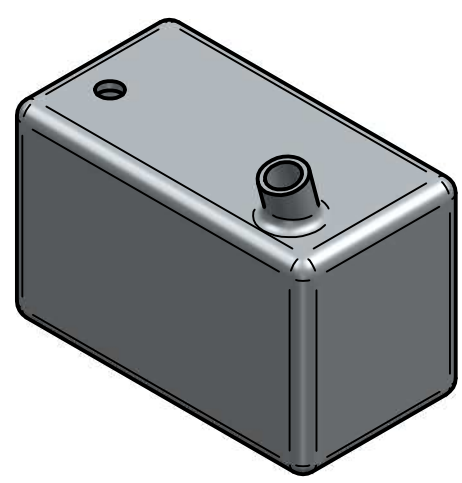
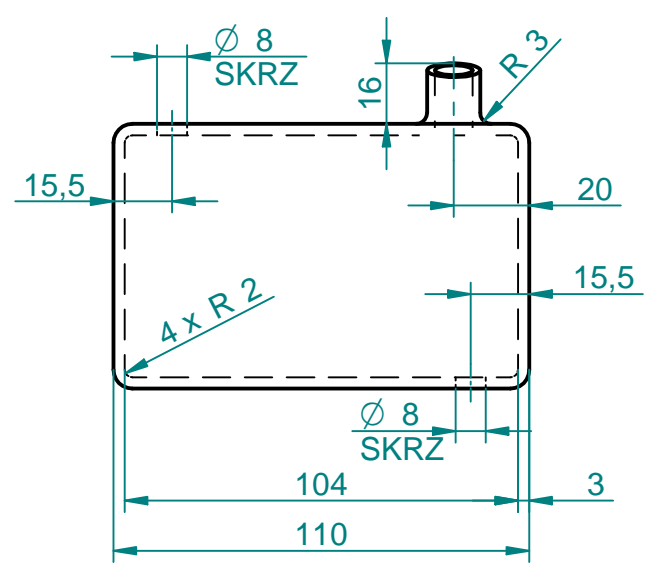
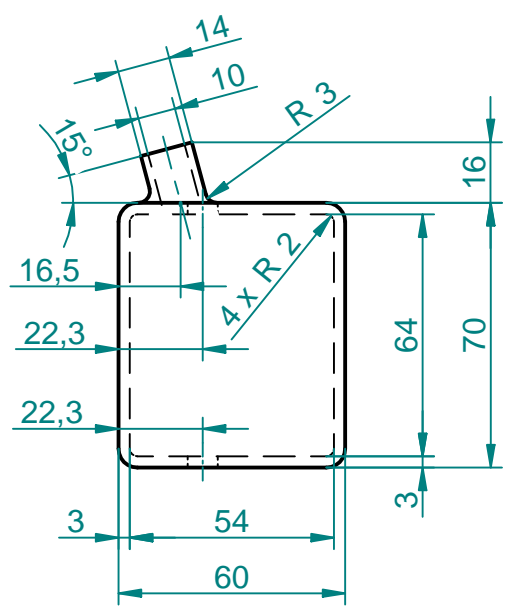
 Projection method: Právouhlé promítání: ISO 5456-2-Met.1 Unspecified tolerances: Nepředepsané tolerance: ISO 2768-mK Thread tolerances - M: Tolerance závitů - M: ISO 965-1 -6H/6g Roughness designation: Označení drsnosti: ISO 1302 - Ra Edges: Hrany: ISO 13715	Dimension / Rozměr:		Material std. / Rozměrová norma:	Material / Materiál: Plast	Weight netto / Čistá hm.:	Weight brutto / Hrubá hm.:	 TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI Fakulta textilní
	Scale / Měřítko: 1:3	Drawn / Kreslil: Němeček Ondřej		Type / Typ:	Quality standard / Standard kvality:		
	Checked / Kontroloval:		Approved / Schválil: 05.05.2016		Remarks / Poznámka:		
	Title / Název: Nosná deska				Drawing Number / Číslo výkresu:		
						Sheet / List: 1/1	Size / Formát: A4
						www.wikov.com	



Ubočnice 1 provést zkosení děr 1x45° symetricky z druhé strany

<p>Projection method: Pravouhlé promítání: ISO 5456-2-Met.1</p> <p>Unspecified tolerances: Nepředepsané tolerance: ISO 2768-mK</p> <p>Thread tolerances - M: Tolerance závítů - M: ISO 965-1 -6H/6g</p> <p>Roughness designation: Označení drsnosti: ISO 1302 - Ra</p> <p>Edges: Hrany: ISO 13715</p>	Dimension / Rozměr:		Material std. / Rozměrová norma:	Material / Materiál: Plast	Weight netto / Čistá hm.:	Weight brutto / Hrubá hm.:	<p>TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI Fakulta textilní</p>
	Scale / Měřítko: 1:1	Drawn / Kreslil: Němeček Ondřej		Type / Typ:	Quality standard / Standard kvality:		
	Checked / Kontroloval:		Approved / Schválil: 06.05.2016		Remarks / Poznámka:		
	Title / Název: Bočnice 2		Drawing Number / Číslo výkresu:		Revision / Revize:		
						Sheet / List: 1/1	Size / Formát: A4
						www.wikov.com	

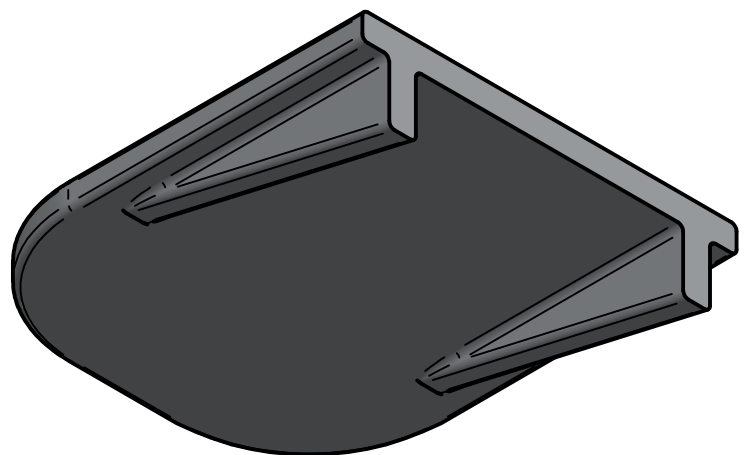
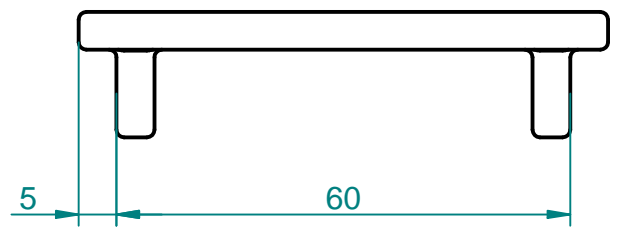
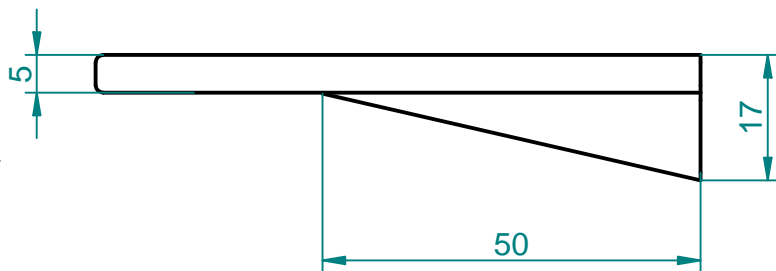
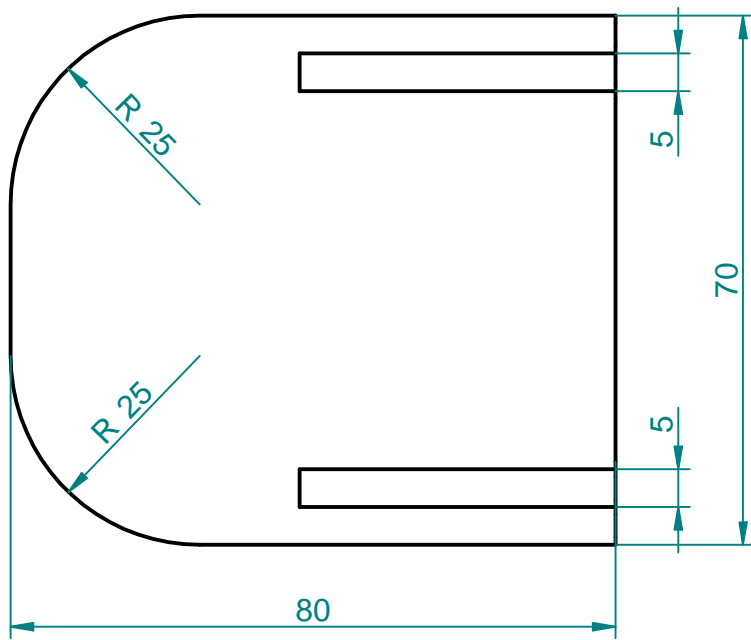
6,3 / ✓ / ✓ / ✓



Nekótované rádiusy R=5

<p>Projection method: Pravouhlé promítání: ISO 5456-2-Met.1</p> <p>Unspecified tolerances: Nepředepsané tolerance: ISO 2768-mK</p> <p>Thread tolerances - M: Tolerance závitu - M: ISO 965-1 -6H/6g</p> <p>Roughness designation: Označení drsnosti: ISO 1302 - Ra</p> <p>Edges: Hrany: ISO 13715</p>	Dimension / Rozměr:		Material std. / Rozměrová norma:	Material / Materiál: Plast	Weight netto / Čistá hm.:	Weight brutto / Hrubá hm.:	<p>TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI Fakulta textilní</p>	
	Scale / Měřítko: 1:2	Drawn / Kreslil: Němeček Ondřej		Type / Typ:				
		Checked / Kontroloval:		Quality standard / Standard kvality:				
		Approved / Schválil: 09.05.2016		Remarks / Poznámka:				
Title / Název: Nádoba pro kapalinu				Drawing Number / Číslo výkresu:		Revision / Revize:	Sheet / List: 1/1	
							Size / Formát: A4	
						www.wikov.com		

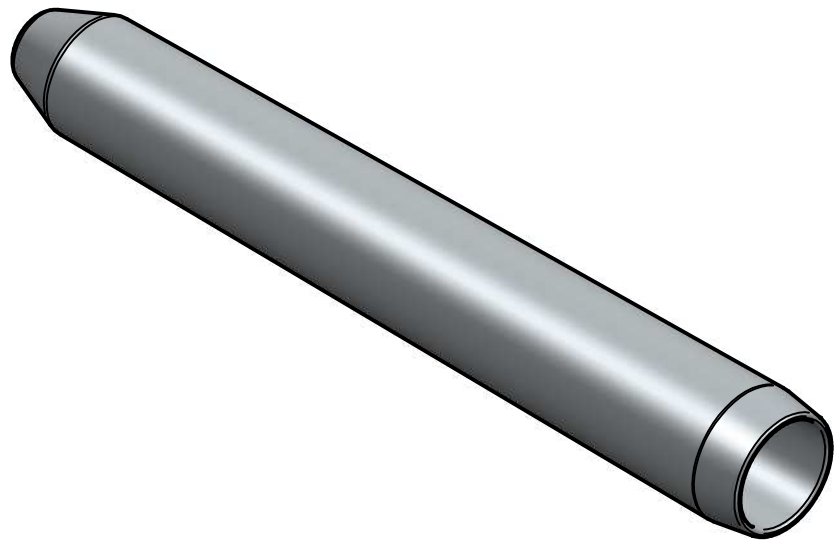
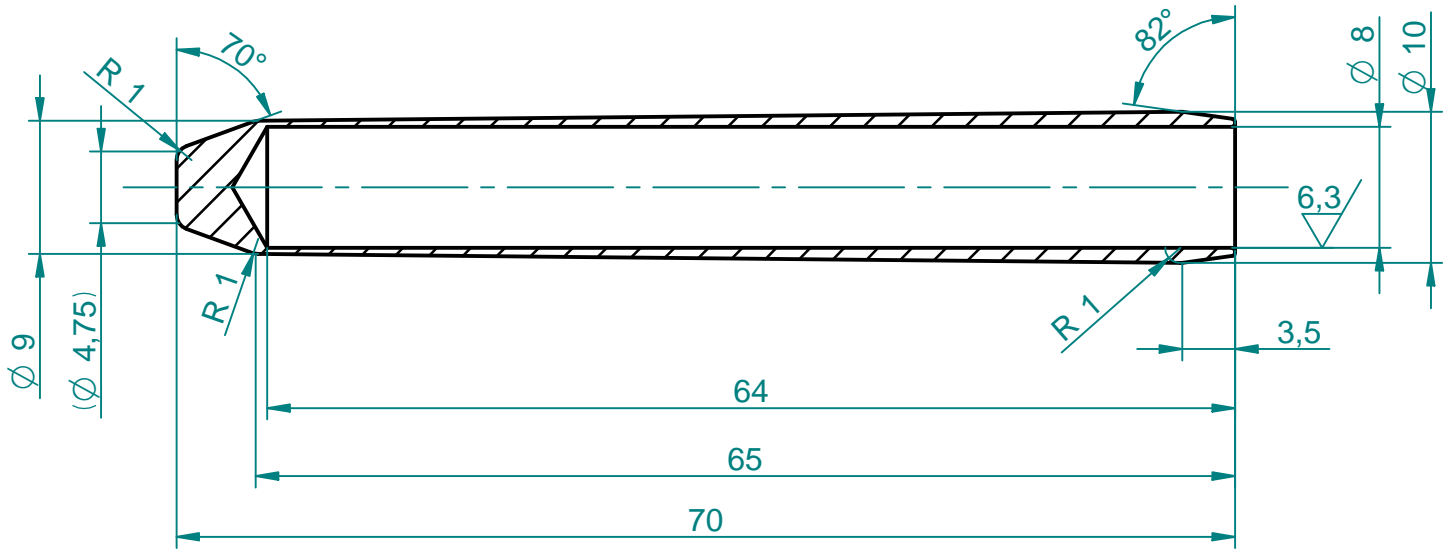
6,3 / ✓ / ✓ / ✓



Nekótované rádiusy R=1

<p>Projection method: Pravouhlé promítání: ISO 5456-2-Met.1</p> <p>Unspecified tolerances: Nepředepsané tolerance: ISO 2768-mK</p> <p>Thread tolerances - M: Tolerance závítů - M: ISO 965-1 -6H/6g</p> <p>Roughness designation: Označení drsnosti: ISO 1302 - Ra</p> <p>Edges: Hrany: $+0,5$ $-0,3$</p> <p>ISO 13715</p>	Dimension / Rozměr:		Material std. / Rozměrová norma:	Material / Materiál: Plast	Weight netto / Čistá hm.:	Weight brutto / Hrubá hm.:	<p>TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI Fakulta textilní</p>	
	Scale / Měřítko: 1:1	Drawn / Kreslil: Němeček Ondřej			Type / Typ:			
		Checked / Kontroloval:			Quality standard / Standard kvality:			
		Approved / Schválil: 09.05.2016			Remarks / Poznámka:			
Title / Název: Držák kádinky					Drawing Number / Číslo výkresu:		Revision / Revize:	Sheet / List: 1/1
							Size / Formát: A4	
www.wikov.com								

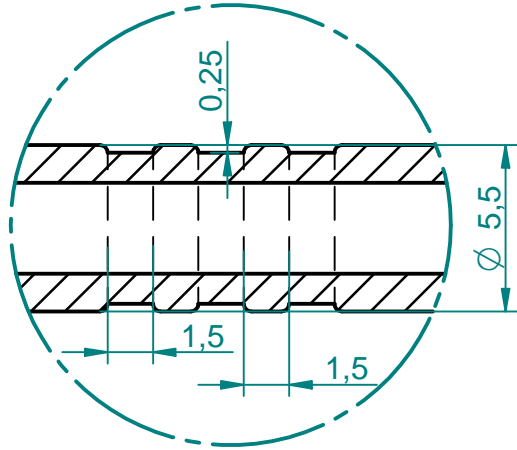
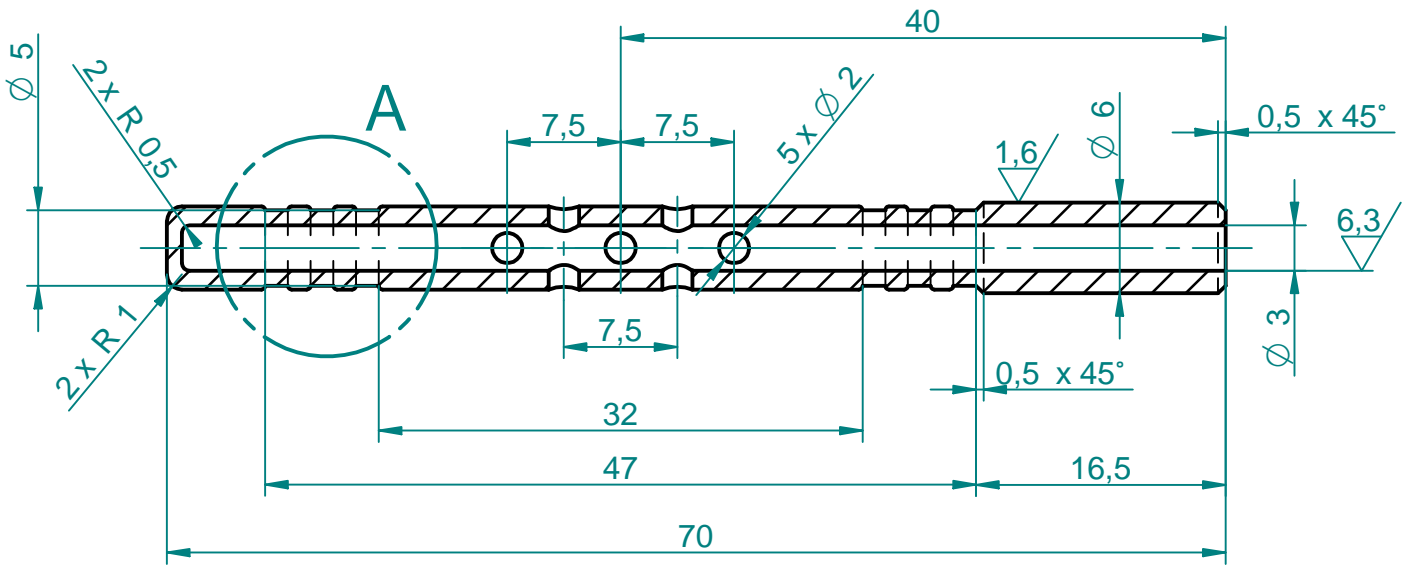
3,2 / ✓ / ✓



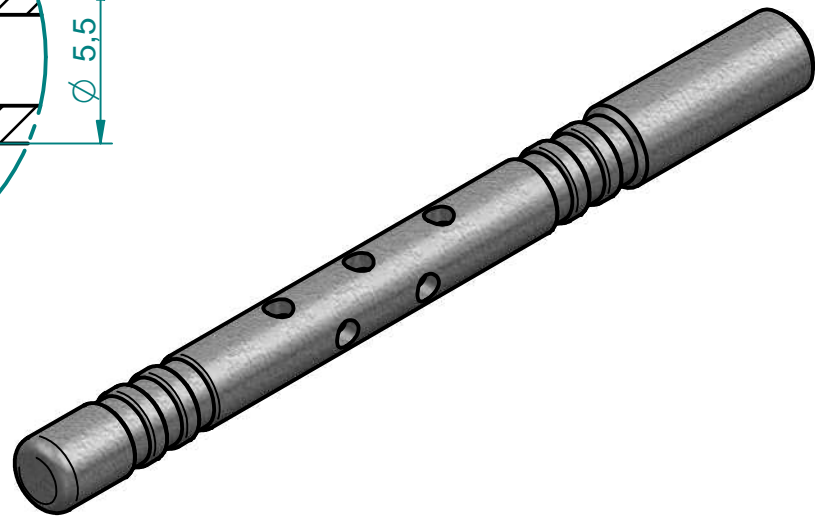
Nekotované rádiusy R=0,2

<p>Projection method: Pravouhlé promítání: ISO 5456-2-Met.1</p> <p>Unspecified tolerances: Nepředepsané tolerance: ISO 2768-mK</p> <p>Thread tolerances - M: Tolerance závítů - M: ISO 965-1 -6H/6g</p> <p>Roughness designation: Označení drsnosti: ISO 1302 - Ra</p> <p>Edges: Hrany: ISO 13715</p>	Dimension / Rozměr:		Material std. / Rozměrová norma:	Material / Materiál: Dural	Weight netto / Čistá hm.:	Weight brutto / Hrubá hm.:	<p>TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI Fakulta textilní</p>
	Scale / Měřítko: 2:1	Drawn / Kreslil: Němeček Ondřej		Type / Typ:	Quality standard / Standard kvality:		
	Checked / Kontroloval:		Approved / Schválil: 09.05.2016		Remarks / Poznámka:		
	Title / Název: Přípravek pro o-kroužky		Drawing Number / Číslo výkresu:		Revision / Revize:		
						Sheet / List: 1/1	Size / Formát: A4
						www.wikov.com	

32 / ✓ / ✓ / ✓

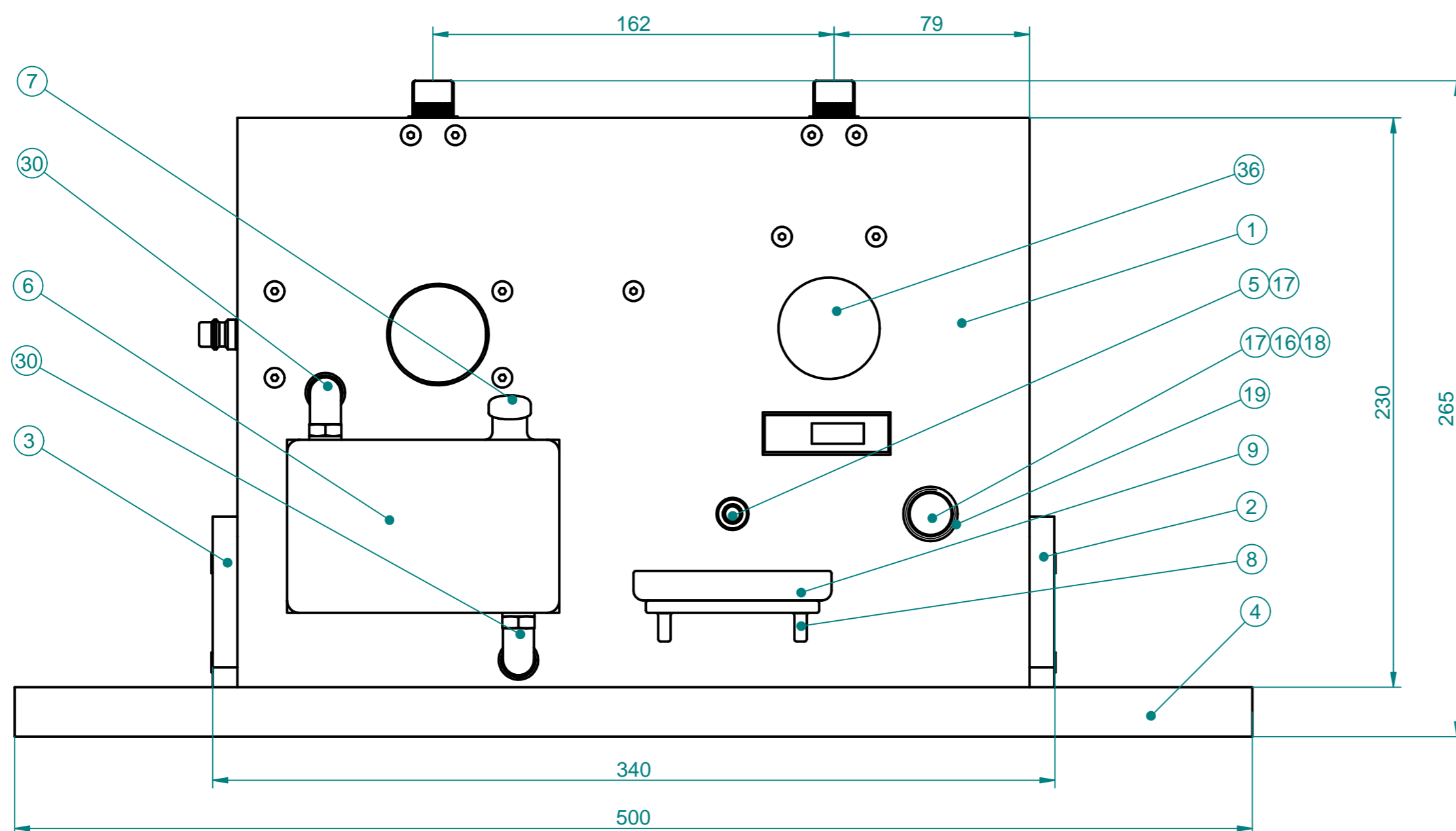
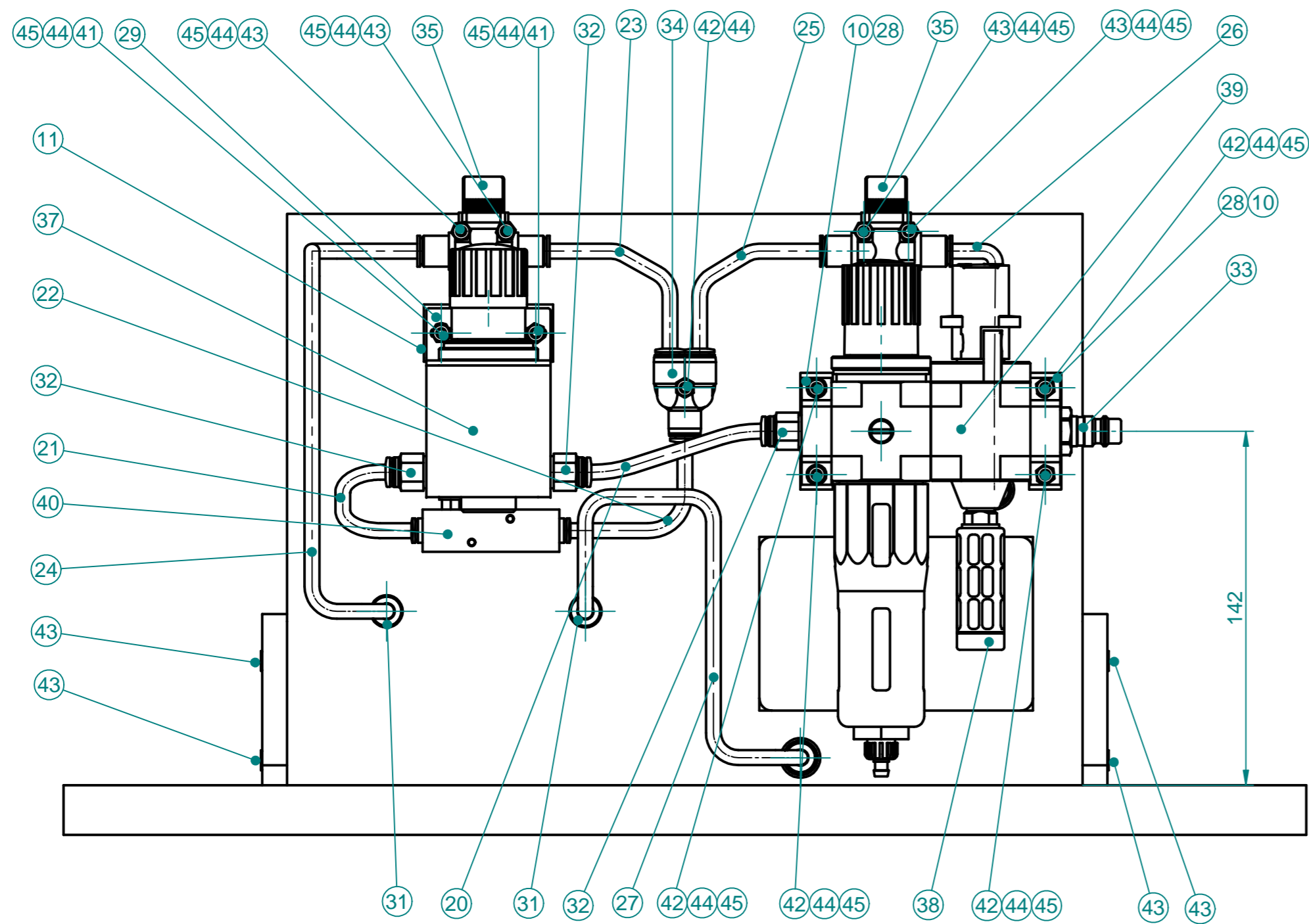


DETAIL A



NEKÓTOVANÉ RÁDIUSY R = 0,25mm

<p>Projection method: Pravouhlé promítání: ISO 5456-2-Met.1</p> <p>Unspecified tolerances: Nepředepsané tolerance: ISO 2768-mK</p> <p>Thread tolerances - Mt: Tolerance závitů - Mt: ISO 965-1 -6H/6g</p> <p>Roughness designation: Označení drsnosti: ISO 1302 - Ra</p> <p>Edges: Hrany: ISO 13715</p>	Dimension / Rozměr:		Material std. / Rozměrová norma:	Material / Materiál: Dural	Weight netto / Čistá hm.: 0,0 kg	Weight brutto / Hrubá hm.:	<p>TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI Fakulta textilní</p>
	Scale / Měřítko: 2:1	Drawn / Kreslil: Němeček Ondřej		Type / Typ:	Quality standard / Standard kvality: WQC		
	Checked / Kontroloval:		Approved / Schválil: 09.05.2016		Remarks / Poznámka:		
	Title / Název: Trn		Drawing Number / Číslo výkresu:		Revision / Revize: #		
						Sheet / List: 1/1	Size / Formát: A4



45	Podložka 4mm	Normalizovaná součást	11
44	Matice M4	Normalizovaná součást	11
43	Sroub M4x25-8	Normalizovaná součást	8
42	Sroub M4x35-8	Normalizovaná součást	5
41	Sroub M4x40-8	Normalizovaná součást	2
40	Průtokoměr	SFE3-F100-L-WQ6-2NB-K1	1
39	Čistič vzduchu s ventily	LFR-1/4-D-MINI-KC	1
38	Tlumič hluku	U-1/8	1
37	Presný regulátor	LRP-1/4-4	1
36	Manometr	MAP-40-6-1/8-EN	1
35	Uzavírací ventil	HE-3-QS-6	2
34	U-konektor	KS4-1/4-A	1
33	Spojovací konektor	KS4-1/4-A	1
32	Nastrčná koncovka 6HR	QS-G1/4-6	3
31	Nastrčná koncovka prima	QS-B-6-20	2
30	Nastrčná koncovka 90s.	QSL-B-1/4-6-20	2
29	Držák regulátoru	Plech	1
28	Držák čističe vzduchu	Plech	2
27	Hadice 8	PUN 6x1	1
26	Hadice 7	PUN 6x1	1
25	Hadice 6	PUN 6x1	1
24	Hadice 5	PUN 6x1	1
23	Hadice 4	PUN 6x1	1
22	Hadice 3	PUN 6x1	1
21	Hadice 2	PUN 6x1	1
20	Hadice 1	PUN 6x1	1
19	Víčko krytu	Plast	1
18	Kryt	Plast	1
17	O-kroužek	Guma	12
16	Balónek	Guma	1
15			
14			
13			
12			
11	Destička 2	Plast	1
10	Destička 1	Plast	2
9	Kadinka	Sklo	1
8	Držák kadinky	Plast	1
7	Víčko nádoby	Plast	1
6	Nádoba pro kapalinu	Plast	1
5	Trn	Dural	2
4	Podložka zařízení	Plast	1
3	Bočnice 2	Plast	1
2	Bočnice 1	Plast	1
1	Nosná deska	Plast	1
Číslo pozice	Název	Material / Označení	Množství

Projection method: Průhledné zobrazení: ISO 5456-2-Met.1	Material std. / Rozměrová norma:	Material / Materiál:	Weight netto / Čistá hmot.: 0,0 kg	Weight brutto / Hrubá hmot.:
Unspecified tolerances: Nejvýše přípustné tolerance: ISO 2768-mK	Scale / Měřítko: 1:2	Drawn / Kreslil: Němeček Ondřej	Type / Typ:	Checked / Kontroloval:
Thread tolerances - M: Tolerance závřítí - M: ISO 965-1 - 6H/6g	Approved / Schválil:	09.05.2016	Quality standard / Standard kvality:	Approved / Schválil:
Roughness designation: Označení drsnosti: ISO 1302 - Ra	Title / Název: SESTAVA ZAŘÍZENÍ		Drawing Number / Číslo výkresu:	Revision / Revize: #
Edges: Hrany: ISO 13715			Sheet / List: 1/1	Size / Formát: A2



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta textilní