

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**

**Fakulta elektrotechniky a informatiky**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**2015**

**Alžběta Straškrábová**

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**

**Fakulta elektrotechniky a informatiky**

**Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství**

**Měření mechanických vlastností infuzních setů (degradace) v závislosti  
na sterilizaci a počtu jejich použití**

**Measurement of mechanical properties of infusion sets (degradation),  
depending on the number of sterilization and their use**

**2015**

**Alžběta Straškrábová**

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

## Zadání bakalářské práce

Student: **Alžběta Straškrábová**

Studijní program: B2649 Elektrotechnika

Studijní obor: 3901R039 Biomedicínský technik

Téma: **Měření mechanických vlastností infuzních setů (degradace) v závislosti na sterilizaci a počtu jejich použití**  
**Measurement of Mechanical Properties of Infusion Sets (Degradation), Depending on the Number of Sterilization and Their Use**

Zásady pro vypracování:

1. Analýza používaných infuzních setů a materiálů, ze kterých jsou vyráběny.
2. Stanovení možného vlivu sterilizace na mechanické vlastnosti infuzních setů.
3. Provedení sady experimentálních měření s cílem určení vlivu sterilizace na mechanické vlastnosti infuzního setu z hlediska jejich vlivu na neurčitost dávkování.
4. Vyhodnocení experimentálních dat.
5. Zhodnocení vlivu sterilizace infuzního setu na kvalitu léčby z hlediska přesnosti a bezpečnosti.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] ČIHÁK, Josef a Martin AUGUSTYNEK. *Infuzní technika a hemodialyzační technika a technologie*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2013. 340 s. ISBN 978-80-248-3100-8.
- [2] B.BRAUN MEDICAL. *Rizika infuzní léčby*. B/Braun Medical,s.r.o., c2013. Dostupné z: <http://www.bbraun.cz/cps/rde/xchg/cw-bbraun-cs-cz/hs.xsl/products.html?id=00020741900000000009>
- [3] PAVELKOVÁ, Alena. *Infuzní technika ve zdravotnictví (řešeršní práce)*. Ostrava, 2009. Bakalářská práce. VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Katedra měřicí a řídicí techniky.
- [4] ROZMAN, Jiří. *Elektronické přístroje v lékařství*. Vyd. 1. Praha: Academia, 2006, 406 s., xxiv s. barev. obr. příl. Česká matice technická (Academia). ISBN 80-200-1308-3.
- [5] MÍSAŘ, Petr. Bezpečnější infuzní terapie – infuzní sety s novým regulátorem průtoku. *Braunoviny*. 2010, č. 4, s. 7. ISSN 1801-0342.

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

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Martin Augustynek, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2014

Datum odevzdání: 07.05.2015

doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.  
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty

**Prohlášení**

*Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně pod dohledem vedoucího bakalářské práce.*

*Uvedla jsem všechny literární zdroje, ze kterých jsem čerpala.*

*Alžběta Straškrábová*

*Datum odevzdání bakalářské práce: 7. 5. 2015*

*Alžběta Straškrábová*

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Martinu Augustynkovi, Ph.D. za čas, který obětoval konzultacím a cenné rady, které mi ochotně poskytnul při vypracování zadání.

Ráda bych také poděkovala paní Ing. Miladě Hlaváčkové, Ph.D., panu Ing. Zdeňku Porubovi, Ph.D. a panu RNDr. Josefu Čihákovi, kteří mi poskytli důležité informace pro vypracování této bakalářské práce.

## **Abstrakt**

V dnešní době je používání infuzní techniky nenahraditelnou součástí zdravotnických zařízení. Používá se pro intravenózní podávání léčiv, živin nebo fyziologických roztoků. Infuzní sety, sloužící pro převod těchto látek do těla pacienta, přicházejí do kontaktu s pacientovou tkání, krví a s použitými roztoky. Z toho důvodu je jasné, že jeden set nelze použít pro více pacientů. Každý infuzní set je tedy pouze pro jedno použití a to po dobu maximálně 24 hodin. Bohužel není vyloučeno, že na některých pracovištích jsou použité sety sterilizovány a následně opakovaně používány. Účelem této práce je experimentálním měřením zjistit vliv sterilizace a opakovaného použití jednoho setu na degradaci jeho mechanických vlastností. V závěru této práce bude vyhodnoceno, zda mohou být infuzní sety použity vícekrát bez negativního ovlivnění přesnosti dávkování.

## **Klíčová slova**

Infuzní set, mechanické vlastnosti PVC, sterilizace zdravotnických pomůcek, sterilizace párou

## **Abstract**

Infusion technics usage is irreplaceable component of medical devices in these days. It is mainly used for intravenous administration of drugs, nutrients and physiological solutions as well. Infusion sets that are applied for substances transition to patient's body, come into contact with patient's tissue, blood and with solution that have been used. It is therefore obvious why the set must not have been used for more patients than one. Every infusion set is designed for just one usage ongoing for 24 hours maximum. Sadly, sterilization and multiple set's usage is not out if the question on some clinics. This thesis object is to find an influence of the sterilization and multiple one set using on degradation of it is mechanical features using experimental measurement. At the very end of this thesis will be said whether it is possible to use the infusion set more than once with no negative effect on dosage accuracy.

## **Key words**

Infusion sets, mechanical properties of PVC, sterilization of medical devices mechanical, steam sterilization.

## Obsah

1. Úvod.....	1
2. Úvod do problematiky infuzní techniky.....	2
2.1 Gravitační infuze.....	2
2.2 Přetlaková infuze.....	3
2.2.1 Injekční dávkovače.....	3
2.2.2 Infuzní pumpy.....	4
3. Popis infuzních setů.....	7
3.1 Infuzní sety pro gravitační infuzi.....	7
3.2 Infuzní sety pro přetlakovou infuzi.....	8
3.3 Materiálové složení infuzních setů.....	8
3.4 Balení setů.....	9
4. Sterilizace dutých materiálů z PVC.....	10
4.1 Sterilizace párou pod tlakem.....	10
4.2 Sterilizace plazmatem.....	11
5. Předpokládaný vliv plazmové sterilizace a lineární pumpy na mechanické vlastnosti infuzních setů 13	
6. Experimentální měření.....	15
6.1 Návrh měřicího řetězce.....	15
6.2 Postup měření.....	17
6.3 Sterilizace infuzních setů.....	19
6.4 Mechanická zkouška pevnosti tahem.....	19
7. Vyhodnocení měřených dat.....	22
7.1 Závislost délky na počtu sterilizací.....	22
7.2 Závislost objemového průtoku na počtu měření.....	23
7.3 Závislost mechanických vlastností na počtu sterilizací.....	24
7.3.1 Závislost prodloužení na počtu sterilizací.....	25
7.3.2 Závislost síly na počtu sterilizací.....	26
7.3.3 Závislost modulu pružnosti na počtu sterilizací.....	27
7.4 Vnější změny infuzních setů.....	28

8.	Zhodnocení vlivu plazmové sterilizace a lineární pumpy na mechanické vlastnosti infuzních setů	30
9.	Závěr .....	32
10.	Seznam literatury.....	33
11.	Přílohy .....	35



## 1. Úvod

Ve chvílích, kdy pacient není schopen přijímat výživu či léčiva klasickým způsobem, hraje nezastupitelnou roli ve zdravotnické péči infuzní technika, která výrazně posunula klinický vývoj dopředu. Jedná se o technickou metodu podávání léčiv, výživy nebo anestetik do těla pacienta. V dnešní době je infuzní technika nenahraditelnou součástí zdravotnických zařízení na operačních sálech, pooperačních jednotkách intenzivní péče a anesteziologicko-resuscitačních odděleních. Hojně se však používá i na běžných lůžkových a ambulantních odděleních. Nově je snaha zavést infuzní léčbu také do domácí péče.

Jak je vidět, použití infuzní techniky je velmi rozsáhlé a s tím jsou spojené také vysoké náklady na součásti celého zařízení. Samotný dávkovač nebo infuzní pumpa, které pomáhají šíření tekutiny do těla pacienta, jsou zařízení, která nepřichází do přímého kontaktu s roztoky nebo s pacientovou tkání, lze je tedy používat opakovaně bez nutnosti sterilizace. Na druhou stranu infuzní technika by se neobešla bez součástí pro převod tekutiny do těla pacienta a to jsou infuzní sety s regulátorem průtoku a jehlou. Celým infuzním setem prochází podávaný roztok a pomocí jehly se pak set intravenózně zavede do těla pacienta. To znamená, že infuzní set nelze z hygienického hlediska a možnosti přenosu infekce používat opakovaně pro více pacientů. Každý infuzní set je pouze na jedno použití a to po dobu maximálně 24 hodin. Z toho plyne velká ekonomická zátěž pro lékařská zařízení, když vezmeme v potaz to, kolik infuzních setů se za den v nemocnici použije.

Proto se zde nabízí otázka, zda by nebylo možné infuzní set po každém použití resterilizovat vhodnou metodou a mít tak možnost použít infuzní set několikrát a tím výrazně snížit náklady na léčbu infuzní technikou. Bohužel přesný účinek sterilizace na materiál infuzního setu, tedy PVC však není znám. Pokud vezmeme v úvahu také namáhání materiálu v průběhu samotného dávkování při použití setu, nejsou zaručené nezměněné mechanické vlastnosti materiálu, které mají vliv na přesnost dávkování. Lze pouze předpokládat z logické úvahy, že by mohlo dojít ke ztrátě pevnosti materiálu. To by mělo přímý vliv na přesnost dávkování při infuzní terapii.

Úkolem této práce je výše popsanou problematiku ověřit. Tedy experimentálně zjistit vliv sterilizace a opakovaného použití na degradaci mechanických vlastností infuzního setu. Součástí této práce je teoretická část popisující infuzní techniku a infuzní sety. Dále popisuje nejčastěji využívané sterilizační metody v nemocničních zařízeních. Následuje sada experimentálních měření, ze kterých získáme informace o nepřesnosti dávkování, změnách mechanických vlastností materiálu jako jsou prodloužení a modul pružnosti při opakovaném použití a sterilizování setu. Na základě tohoto výsledku je určen vliv sterilizace infuzního setu na kvalitu léčby z hlediska přesnosti a bezpečnosti.

## 2. Úvod do problematiky infuzní techniky

Infuzí je chápáno vpravení většího množství léčiv, výživy nebo anestetik v kapalně formě do organismu intravenózní cestou. Účelem je obnovení acidobazické rovnováhy v těle pacienta, doplnit chybějící tekutiny při dehydrataci organismu nebo podat potřebné léčiva nebo výživu. Využití infuzní techniky je velmi široké. Pacienti se s ní mohou setkat na jednotkách intenzivní péče, anesteziologicko-resuscitační oddělení, operačních sálech, lůžkových zařízeních a v neposlední řadě také na ambulantních odděleních.

Obecně můžeme říci, že indikace pro zavedení infuzní terapie jsou diagnostické nebo terapeutické:

### a) diagnostické

- zaváděný roztok je nositelem diagnostické látky pro vyšetření konkrétního orgánu

### b) terapeutické

- vyrovnání rovnováhy vody a elektrolytů
- úprava acidobazické rovnováhy
- doplnění cirkulujícího objemu
- vyrovnání osmotické diurézy
- zajištění energetických potřeb organismu
- podání potřebných léků

Technické řešení infuzních řetězců je velmi rozsáhlé a variabilní. Základem infuzní soupravy je zásobník podávané tekutiny a hadičky pro vedení roztoku do těla pacienta. Hadičky nebo-li sety, mohou být různě dlouhé, opatřeny různými spojkami, rozdělovači, koncovkami, regulátory průtoku atd.. Zásobník s podávanou tekutinou byl v minulosti vyráběn ze skleněného materiálu. Tento systém měl však velkou nevýhodu. Bylo tu riziko roztržení skla a tím možnost vzniku poranění. Proto bylo nutné nahradit sklo jiným, bezpečnějším materiálem. V dnešní době sklo zcela zastoupily plastové materiály. Základem jakéhokoliv zásobníku na roztok je jeho průhlednost, aby obsluha mohla kontrolovat zbývající množství a aktuální stav tekutiny, aby nedošlo k ohrožení zdraví pacienta. Součástí infuzní soupravy také může být technické zařízení.

Podání infuzního roztoku do těla pacienta je možné dvěma způsoby: první možností je gravitační infuze, druhou možností je vpravení roztoku do těla pacienta pomocí mechanicky vyvolaného tlaku.

[6][7]

### 2.1 Gravitační infuze

Gravitační infuze je nejstarší, nejrozšířenější a nejprimitivnější způsob podání infuze. Principem gravitační infuze je vytvoření hydrostatického tlaku, který musí být vyšší než samotný tlak

krve pacienta. Potřebný vysoký hydrostatický tlak se zajistí umístěním vaku s infuzní kapalinou do dostatečné výšky nad místem zavedení infuzní soupravy do těla pacienta, proto je velmi důležitou součástí celého systému infuzní stojan. Dalším důležitým prvkem v soupravě je plastová kolečková tlačka, kterou se přiškrcením hadičky reguluje průtok. Tento čistě manuální způsob dávkování je však velice nepřesný. Celý infuzní komplet se skládá z těchto částí:

- vak s infuzním roztokem
- aplikační trn (pro propojení s vakem)
- ventil
- Martinova baňka (průhledná baňka válcovitého tvaru opatřená kapacím zařízením, slouží ke kontrole počtu kapek, zabraňuje nasátí vzduchu do setu)
- jezdec (tzv. tlačka regulující průtok, kolečko má různé barvy, viz. kapitola 3)
- převodová souprava a spojovací hadička
- standartní injekční jehla (při dlouhodobém zavedení se používá plastová kanyla nebo katetr)

[1][2][7]

## 2.2 Přetlaková infuze

V tomto případě je využito principu založeném na mechanicky vyvolaném přetlaku, který vhnání tekutinu do těla pacienta. Tento princip je realizován elektronickým zařízením, což zajišťuje vyšší přesnost dávkování a bezpečnost než u předchozího typu podání infuze. Přetlaková infuzní technika je velmi využívána v oblastech anestézie, chemoterapie, autotransfuze, pediatrie atd. V těchto odvětvích medicíny je velmi důležitá přesnost dávkování. Nahrazením gravitační infuze přetlakovou infuzí se zvýšila úspěšnost léčby právě pro zvýšenou přesnost dávkování a kontrolu nad podávanými léky. Druhou výhodou oproti gravitační infuzní technice je možnost dosáhnout vyššího tlaku než u gravitační infuze a zajistit tak vyšší dávkování. Toto se hojně využívá při podávání roztoků s vysokou hustotou skrz filtry. Z hlediska množství podávaného objemu můžeme rozdělit techniku pro přetlakovou infuzi na dvě zařízení:

- **injekční dávkovače** (vpravují do pacientů malé objemy)
- **infuzní pumpy** (vpravují velké objemy)

[2][7]

### 2.2.1 Injekční dávkovače

Injekční dávkovače, zvané také infuzní dávkovače, jsou přístroje pro vpravení přesného ale malého objemu infuzního roztoku. Dávkování je realizováno pomocí pohyblivého pístu, který stlačuje vloženou injekční stříkačku. Stlačením stříkačky dojde k vystříknutí tekutiny do infuzního setu, který

propojuje injekční dávkovač s tělem pacienta. Běžný injekční dávkovač od firmy B. Braun je na obrázku 2.1

[2][7]



**Obr. 2.1** Injekční dávkovač [9]

### 2.2.2 Infuzní pumpy

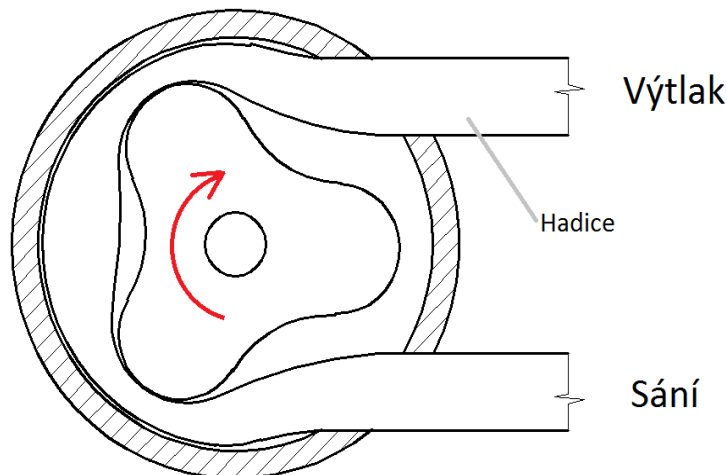
Infuzní pumpy slouží pro dávkování mnohem větších objemů do organismu, než umožňují injekční dávkovače. Infuzní pumpy pracují na principu pravidelného stlačování a uvolňování hadičky soupravy, která je upevněná uvnitř infuzní pumpy. Roztok je dávkován spojitě. Obsluha na přístroji nastaví přesný objem a čas, během kterého má být daný objem vpraven do těla pacienta. Infuzní pumpy, u kterých je rychlost dávkování nastavena zdravotnickou obsluhou a přístrojem je indikována jako objem za jednotku času, se nazývá volumetrická infuzní pumpa. Volumetrické infuzní pumpy se dle použitého typu čerpadla dělí do dvou skupin:

- **pumpy s rotačním peristaltickým čerpadlem**
- **pumpy s lineárním peristaltickým čerpadlem**

[2][7]

#### **Volumetrická infuzní pumpa s rotačním peristaltickým čerpadlem**

Označení peristaltické čerpadlo je odvozeno z lékařské terminologie, kdy způsob čerpání tekutiny je podobný peristaltice orgánů trávicí soustavy, např. tlustého nebo tenkého střeva. Celé zařízení funguje tak, že hadička infuzního setu je vložena přímo do peristaltického čerpadla mezi opěrnou stěnu a rotor. Na obvodu rotoru se nachází dvě nebo více okluzních válečků, které při rotačním pohybu stlačují hadičku infuzního setu. Tím vzniká podtlak, který nasává další tekutinu do čerpadla a zároveň okluzní válečky vytlačují tekutinu dopředu, směrem do těla pacienta. Princip funkce je znázorněn na obrázku 2.2.



**Obr. 2.2** Princip funkce peristaltického čerpadla[10]

Výhodou u peristaltických čerpadel je podtlak a tím vznikající funkce samonasávání. Čerpadlo nemusí být opatřeno ventilem proti zpětnému chodu kapaliny při zastavení čerpadla. Neméně důležitou vlastností je také tichý provoz a jednoduchost obsluhy přístroje.

Nevýhodou rotačních peristaltických čerpadel je nelineární průběh tlaku. Z principu činnosti čerpadla je zřejmé, že proud poháněné kapaliny bude mít pulsující průběh, což se projeví zejména při nízkých průtocích, kdy může docházet dokonce k přerušování toku kapaliny. Další nevýhodou je výrazné namáhání materiálu infuzního setu v místech stlačování okluzními válečky, které se projevuje natažením hadičky nebo dokonce prohnutím povrchu směrem dovnitř. Změna mechanických vlastností materiálu soupravy vede k dodávce jiného množství, než bylo obsluhou nastaveno.

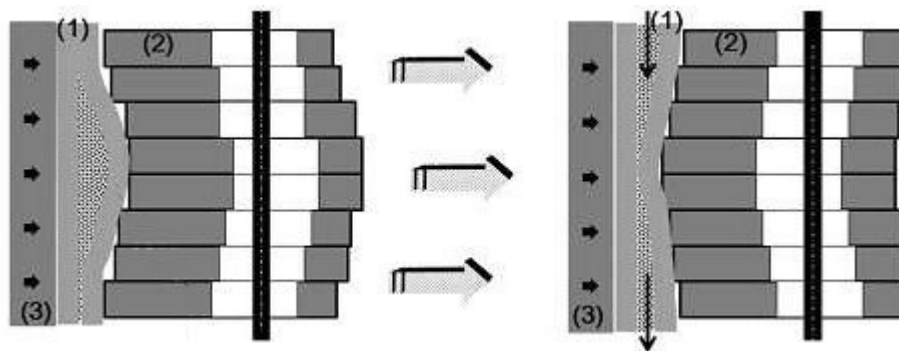
Rotační čerpadlo se díky velmi širokému rozsahu otáček a průtoků používá především při dialýze nebo při transfuzi krve.

[1][2][7]

### **Volumetrická infuzní pumpa s lineárním čerpadlem**

V dnešní době nejpoužívanější pumpy nepracují na základě rotačního pohybu, ale principem pohánění kapaliny vpřed je lineární pohyb. „Princip je založen na posuvné soustavě paralelních lamel, které jsou postupně vysouvány a zasouvány pomocí vačkového systému a řízeným způsobem stlačují nebo uvolňují čerpací segment tlakového setu.“ [1] Infuzní set se nachází mezi stěnou dvířek pumpy a lamelami, které těsně doléhají a vytváří tak trvalý přítlak na hadičku. Pohybem lamel ve tvaru sinusové vlny dochází k vytlačování kapaliny vpřed a na čerpací části se vytváří „kapsa“ objemu kapaliny, který je přesně definovaný konstrukčními parametry. Při uvolnění stisku lamel se set vrací do původního tvaru a tím nasává další kapalinu. V průběhu čerpání však dochází k únavě a degradaci materiálu. Hadička se pak při uvolnění přítlaku nevrací do svého původního stavu, tím nenasaje

množství tekutiny, které by měla a dochází k negativnímu ovlivnění přesnosti dávkování. Tato problematika je jedním z předmětů zkoumání této práce. Pohyb lamel je zajištěn elektromotorem, který pohání vačkový systém. Princip je znázorněn na obrázku 2.3.



**Obr. 2.3** Princip funkce lineární pumpy: (1) hadička setu, (2) lamely (3) dvířka pumpy [2]

Kromě soustav lamel jsou součástí lineární infuzní pumpy také bezpečnostní prvky. Snímač kapek, který se nasazuje na kapkovou komůrku a kontroluje průtok. Při přerušení nebo při nepravidelnosti odkapávání infuzní pumpy spustí alarm a zastaví čerpání. Dalším bezpečnostním opatřením je vzduchový detektor. Do vzduchového detektoru se vkládá samotný infuzní set. V případě přítomnosti vzduchových bublin pumpy opět spustí alarm a zastaví dávkování. Dalším alarmovým hlášením je vybitá baterie a nízký tlak v infuzním setu. Pumpu lze připojit na dálkový alarm, což usnadňuje práci obsluhujícímu personálu a zvyšuje bezpečnost pacienta. Na pumpě se nastavuje rychlost dávkování v ml/h, celkové množství dávkovaných ml a doba dávkování. Pumpy také umí přepočítat dobu dávkování v závislosti na nastavené rychlosti a potřebném množství dávkovaného roztoku.

Lineární infuzní pumpy nabízejí menší průtoky než peristaltická čerpadla. Vyskytují se na operačních sálech, odděleních JIP a ARO a ve vozech rychlé záchranné služby. Používají se pro podávání výživy, větších objemů léčiv, při anestezii a chemoterapii.

[1][2][7]

### 3. Popis infuzních setů

Samotné přístroje infuzní techniky by neměly žádný význam bez infuzních setů. Infuzní set slouží pro převod roztoku z přístroje do těla pacienta, proto je kladen velký důraz na přesnost, bezpečnost a kvalitu provedení. Hlavní zásadou je: „lze použít pouze infuzní set, který je pro daný typ přístroje schválen výrobcem, a že taková kombinace dvou zdravotnických prostředků: přístroje a speciálního spotřebního materiálu je funkční a bezpečná.“[1] To znamená, že každý výrobce infuzní techniky je povinen k danému přístroji garantovat infuzní sety, se kterými přístroj pracuje korektně z hlediska funkčnosti a bezpečnosti. Chceme-li, aby každý přístroj měl parametry zaručované výrobcem, musíme používat výrobcem předepsané infuzní soupravy. Bohužel toto pravidlo bývá velmi často podceňováno a nedodržováno zdravotnickou obsluhou z ekonomických důvodů. V dnešní době jsou některé přístroje řešeny tak, že při použití nesprávného infuzního setu přístroj zahlásí chybové hlášení. Toto slouží jako prevence před vystavením pacienta zbytečnému riziku.

Existuje nepřehledné množství variant infuzních setů. Liší se délkou, množstvím spojek, rozdělovačů, přípojovacích koncovek, typem regulátoru průtoku typem kapací komůrky a dalších částí. Hlavní část je plastová hadička průměru obvykle 4 mm, která je vyrobená nejčastěji z polyvinylchloridu nebo méně často z polyetyleny. Bývá většinou transparentní, vyjma setů pro podávání fotosenzitivních preparátů.

V zásadě můžeme rozdělit infuzní soupravy do dvou skupin:

- **infuzní sety pro gravitační infuzi**
- **infuzní sety pro přetlakovou infuzi**

[1][2][3][5][7]

#### 3.1 Infuzní sety pro gravitační infuzi

Sety pro gravitační infuzi jsou předurčeny na jedno použití u jednoho pacienta po maximální dobu 24 hodin. Opakované použití je protizákonné. Dodávány jsou ve sterilním balení. Popis částí tohoto setu je v textu výše v kapitole 2.1. Barva kolečka jezdecky je bílá. Tento typ setu může být použit pouze pro gravitační infuzi, v žádném případě nesmí být zaměněn za set pro přetlakovou infuzi. Při záměně by došlo k velké nepřesnosti v dávkování, jež je způsobené vyšší tvrdostí materiálu, ze kterého je gravitační infuzní set vyroben. Stejně tak, kdyby tento set byl použit v přístroji pro přetlakovou infuzi, docházelo by k nedokonalému sevření okluzních válečků v peristaltickém čerpadle nebo lamel a dvířek u lineárního čerpadla. Tím dojde k naprosto nekontrolovatelnému dávkování, které může pacienta silně ohrozit.

[1][2][4]

### 3.2 Infuzní sety pro přetlakovou infuzi

Infuzní sety pro přetlakovou infuzi se používají pro infuzní pumpy (peristaltické či lineární) nebo pro lineární dávkovač. Použití je stejné jako u gravitačního setu, to znamená pouze pro jedno použití u jednoho pacienta po dobu maximálně 24 hodin. Opakované použití je protizákonné. Složením jsou podobné gravitačním setům, pouze některé části jsou odlišné. Hlavní odlišností od gravitačního setu je oranžová barva kolečka v tlačce. Na rozdíl od gravitačního setu jsou velmi důležité mechanické vlastnosti materiálu a tvrdost materiálu, které opotřebením degradují daleko více než u gravitační soupravy. Především je potřeba dbát zvýšenou pozornost na vnitřní a vnější průměr hadičky, protože tyto parametry velmi ovlivňují přesnost dávkování. Tyto údaje by se měly pohybovat v rozsahu, který udává výrobce. Další odlišností od gravitačního setu je silikonový čerpací segment, který se vkládá do infuzní pumpy a je pravidelně stlačován. Velmi důležité je správné založení setu do přístroje. Set nesmí být napínán. Při delším použití lineární pumpy se osvědčilo občasné vyjmutí a pootočení hadičky, tím dojde k eliminaci paměti mechanické deformace.

Příklad infuzního setu je znázorněn na obrázku číslo 2.4. Jedná se o set typu Infracix® SafeSet od firmy B Braun. Na totožných setech je prováděno měření v rámci této bakalářské práce.

[1][2][4]



Obr. 2.4 Infuzní set [9]

### 3.3 Materiálové složení infuzních setů

Materiálem hadičky je nejčastěji měkčené PVC. Tento materiál je velice výhodný, protože je pevný, lehký, nepropustný, chemicky i biologicky inertní, odolný a snadno se udržuje. Bohužel pro ještě lepší vlastnosti se do PVC přidává změkčovadlo Bis(2-ethylhexyl) ftalát anglicky označovaný



jako DEHP. Tato látka je zařazena mezi látky toxické a byl prokázán negativní vliv na lidské zdraví. Proto množství použití těchto změkčovadel podléhá přísným normám tak, aby se zamezilo toxickému ohrožení pacienta. V dnešní době se již vyrábí i bezftalátové infuzní sety, tzv. „DEHP free“[4], které jsou šetrnější k lidskému tělu.

Nevýhodou těchto nových materiálů především pro výrobce infuzních pump je větší tuhost, což klade vyšší nároky na výkon pump. Další podstatnou otázkou je životnost těchto hadiček při jejich mechanickém namáhání uvnitř infuzních pump. Permanentní stlačování hadičky vede k degradaci materiálu a ke změně výrobních parametrů. Tento jev se projevuje i u měkčených materiálů, proto se zavedlo užívání tzv. pumpových segmentů ze silikonového materiálu v místech, která jsou uvnitř pumpy vystavena pravidelnému stlačování. Tímto se původní problém degradace materiálu vyřešil. Na druhou stranu však došlo ke zdražení infuzních setů, což nelze z ekonomického hlediska přehlédnout, protože se jedná o materiál s vysokou mírou spotřeby.

[2][4][7]

### **3.4 Balení setů**

Každý infuzní set je výrobcem dodáván ve sterilním obalu. Obal je z jedné strany průhledný plastový a z druhé strany papírový. Na papírové straně je uvedeno několik informací, které jsou velmi důležité při výběru konkrétních infuzních setů. Základní informací je název a typ setu. Výrazně vyznačeno je určení použití setu (pro použití v tlakové infuzní soupravě nebo pro gravitační infuzi). Následují značky, které popisují obsažené bezpečnostní prvky, jako jsou Air Stop (membrána, která brání vniku vzduchu do hadičky infuzního setu), Prime Stop (krytka koncového konektoru infuzního setu, která brání vykapávání roztoku z hadičky). Dále jsou na obalu symboly vyjadřující složení materiálu hadičky (například bez přidaných změkčovadel DEHP nebo latexu). V neposlední řadě na obalu můžeme najít informace o délce, vnějším a vnitřním průřezu hadičky, maximální teplotě a tlaku, kterým může být materiál vystaven. Poslední podstatná informace je o sterilizační metodě, kterou set prošel při výrobě. Vzhledem k tomu, že se jedná o dutý materiál, mohou být použity pouze takové metody, které umožňují sterilizovat duté předměty. V současné době se pro takové účely používá chemická metoda sterilizace ethylenoxidem a fyzikální metody za pomoci plazmy a páry pod tlakem. Podrobněji je sterilizace dutých nástrojů popsána v následující kapitole.

[20]

## 4. Sterilizace dutých materiálů z PVC

Sterilizace je velmi důležitým krokem pro prevenci pacienta před nebezpečným nakažením infekcí. Dalším důvodem proč je používání sterilizace tak podstatné je možnost vícenásobného použití materiálů, tedy snížení množství odpadu v nemocnicích a také snížení ekonomických nákladů na používaný materiál. Jak již bylo zmíněno v úvodu práce, právě náklady spojené s infuzní léčbou a infuzními sety jsou velmi vysoké. Proto je třeba zjistit, zda má sterilizační proces na materiál infuzních setů negativní vliv či nikoliv a v jak velké míře. Pro lepší pochopení problematiky jsou v této kapitole popsány nejpoužívanější metody sterilizace pro duté předměty z materiálu PVC. Z principu daných metod lze předpokládat jejich vliv na degradaci materiálu, tato problematika je zmíněná v další kapitole a v praktické části je ověřena.

Pojem sterilizace je souhrn opatření, kterými se ničí nežádoucí mikroorganismy z předmětů, které sterilizujeme. Sterilizace musí být tak účinná, aby z jednoho milionu sterilizovaných předmětů zůstal maximálně jeden nesterilní. V dnešní době je sterilizace zajištěná v tzv. centrálních sterilizacích, které se nachází ve spádových nemocnicích. Materiál použitý v této práci je sterilizovaný ve Fakultní nemocnici v Ostravě.

Obecně se sterilizace dělí na dva hlavní okruhy:

### a) fyzikální

- parní
- plazmou
- horkovzdušná
- radiační

### b) chemická

- ethylenoxidem
- formaldehydem

Neexistuje jediná metoda, která by byla ideální pro všechny materiály sterilizované v nemocnicích. Pro sterilizaci dutých předmětů z PVC je nejvhodnější sterilizace párou, plazmatem a ethylenoxidem. Vzhledem k tomu, že Fakultní nemocnice v Ostravě neumožňuje sterilizaci ethylenoxidem, podrobněji budou popsány pouze sterilizace párou a plazmatem.

[1] [5] [12] [13] [16]

### 4.1 Sterilizace párou pod tlakem

Sterilizace párou je jeden z nejstarších a nejpoužívanějších druhů sterilizace. Obecně lze popsat tuto metodu jako sterilizaci vlhkým teplem. U malých stolních sterilizátorů se sytá vodní pára produkuje přímo uvnitř sterilizační komory. Součástí velkých sterilizátorů je pára tvořena ve vyvíječi

páry odkud prochází do sterilizační komory. Účinek sterilizace je závislý na teplotě, tlaku a na době expozice předmětu. Teplota syté vodní páry roste zároveň s jejím tlakem, například při tlaku 2 atmosféry má pára teplotu 121°C a při tlaku 3 atmosféry má 134°C. Sterilizace je účinná od teploty 105°C. Čím vyšší teplota, resp. tlak je použit, tím je kratší doba potřebná pro úspěšnou sterilizaci. Například pro teplotu 121°C při tlaku 2 atmosféry je běžně používaná doba expozice 20 minut.

Princip likvidace nežádoucích mikroorganismů spočívá v tom, že jakmile se pára dostane do styku s chladnějšími předměty, kondenzuje za současného uvolnění velkého množství tepla, které způsobí denaturaci přítomných bílkovin.

Z výše popsaného postupu je zřejmé, že tento typ sterilizace je velmi jednoduchý a finančně dostupný. I přesto je sterilizace párou stále spolehlivá, netoxická a velmi účinná. Sterilizovat se však může pouze materiál, který snese teploty do 140°C na dobu 30 minut, jinak dojde k jeho poškození. Pro představu je na obrázku číslo 4.1 zobrazen parní sterilizátor firmy BMT.



**Obr. 4.1** Parní sterilizátor BMT Sterident® [18]

[12] [13] [15]

## 4.2 Sterilizace plazmatem

Sterilizace plazmatem je nejnovější druh sterilizace, který se hojně používá pro sterilizaci plastových hadiček. Plazma je kvazineutrální ionizovaný plyn o stejném množství kladného a záporného náboje, který vzniká zahřátím látky na velmi vysokou teplotu nebo působením silného elektrického pole. Často se plazma označuje jako čtvrté skupenství hmoty.

Princip je založený na interakci nízkoteplotního plazmatu a par peroxidu vodíku ve vysokofrekvenčním elektromagnetickém poli. Působením plazmatu na peroxid vodíku dojde ke vzniku velmi reaktivních volných radikálů peroxidu vodíku. Tyto volné radikály reagují s molekulami živé

hmoty, s patogeny na sterilizovaných předmětech. Nevyužité radikály zreagují spolu navzájem a vznikne tak voda a kyslík. Může se stát, že vznikne opět peroxid vodíku, proto jsou přístroje opatřeny filtrem, aby se škodlivý peroxid nedostal do ovzduší. Je zřejmé, že se nejedná o přímé působení plazmatu na sterilizované předměty. Plazma je zde především pro vytvoření reaktivních částic, které disponují sterilizačními účinky. Teplota v průběhu sterilizace dosahuje pouze 50°C.

Sterilizace plazmou je nízkoteplotní, suchý a netoxický sterilizační proces, který trvá přibližně hodinu. Nízkoteplotní plazma proniká do velmi malé vrstvy (hloubka několika atomů), nedochází proto k přímému ovlivnění celkových vlastností materiálu. Touto metodou lze sterilizovat materiál citlivý na vysoké teploty. Plazmou se však mohou sterilizovat pouze předměty, které jsou dokonale suché. Plazmový sterilizátor od firmy Stericool je na obrázku 4.2.



**Obr. 4.2** Plazmový sterilizátor Stericool plus A110SF [19]

[12] [13] [14]

## **5. Předpokládaný vliv plazmové sterilizace a lineární pumpy na mechanické vlastnosti infuzních setů**

Životnost infuzních setů je určena jejich kvalitativním zpracováním, které určují použité materiály a výrobní technologie. Výrobce ve spolupráci s notifikovanou osobou pak určí, jak dlouho lze infuzní set používat a jakým způsobem. Omezená doba použití infuzních setů vychází z jevu stárnutí a únavy materiálu. Stárnutí je nežádoucí vlastnost materiálu, která je spojená s poklesem pevnosti nebo nárůstem křehkosti. Změny způsobené stárnutím jsou zřetelné z povrchu předmětu, vznikají rýhy, povrch zdrsí nebo změní barvu. Proces stárnutí nelze nijak eliminovat. Lze pouze sledovat, kdy nastanou viditelné změny a určit tak maximální dobu použití z hlediska stárnutí materiálu. Pro tuto práci je však podstatná problematika únavy materiálu. Únava materiálu je způsobena mechanickým namáháním. Jestliže jsou sety opakovaně vkládány a používány v infuzní pumpě lamelového typu, která pracuje na principu postupného mechanického stlačování hadičky, což zajišťuje pohyb kapaliny vpřed, je jasné, že zde dochází k výraznému namáhání materiálu. Takový mechanický vliv způsobí drobná poškození uvnitř struktury materiálu, která výrazně změní mechanické vlastnosti hadičky. V praxi by k eliminaci tohoto jevu byly hadičky při každém měření vkládány do infuzní pumpy jiným úsekem. Předěšlo by se tak opakovanému mechanickému namáhání stejné části setu. Předmětem této práce však je, zjistit vliv počtu použití infuzního setu na jeho mechanické vlastnosti. Proto jsou sety vkládány do infuzní pumpy vždy stejnou částí, aby se dal zjistit vliv z pohledu četnosti použití.

Pro tuto práci byla po konzultaci s vedoucím práce vybrána metoda sterilizace plazmou. Při výběru jsme přihlíželi především na nežádoucí účinky sterilizační metody na vnitřní struktury materiálu. Při jakékoliv sterilizaci dochází vždy k určitému znehodnocení materiálu. Materiál může být kontaminován karcinogenními látkami, může také dojít ke změnám jeho struktur. Proto se v praxi používají takové metody, které umožňují kvalitně vysterilizovat, ale zároveň co nejméně poškodit sterilizovaný materiál. Sterilizace plazmatem je jedna z mála metod, která tomuto kompromisu vyhovuje. Její hlavní výhodou je použití nízkých teplot po poměrně krátkou dobu, tím se sníží míra působení nežádoucích účinků na minimum. Ve srovnání s ostatními nízkoteplotními metodami nezanechává na předmětech chemická rezidua. Žádná sterilizace však není dokonalá. Stále při sterilizačním procesu plazmou působí na materiál chemická sloučenina peroxid vodíku, který může způsobit změnu fyzikálních vlastností materiálu. Dá se předpokládat, že by materiál hadiček mohl změnit svoji tuhost. To by mělo přímý vliv na přesnost dávkování infuzní pumpou. Bohužel v žádných literárních zdrojích není uvedeno jaký konkrétní účinek plazmy a peroxidu vodíku se dá očekávat a v jaké míře.

Je také potřeba zamyslet se nad vlivem ethanolu, zda by také tato chemická sloučenina nemohla změnit fyzikální vlastnosti setu. Dle RNDr. Josefa Čiháka, by ethanol neměl mít vliv na materiál setu, takže může být použit pro lepší vysušení hadiček.

Z tohoto souhrnu nyní lze stanovit předpokládaný vliv všech zmíněných činitelů na materiál infuzních setů:

- **Zvýšení elasticity materiálu**
- **Snížení pevnosti materiálu**
- **Snížení přesnosti dávkování infuzní pumpou**
- **Změna celkové délky se nepředpokládá**

[1] [14] [17]

## 6. Experimentální měření

Praktická část této práce se skládá ze tří částí. Nejdříve byly sety použity v infuzní pumpě po dobu 12 hodin s nastavenou rychlostí dávkování 50 ml/h. Tato fáze simuluje skutečné použití setu v praxi. Následovala sterilizace setů plazmou ve Fakultní Nemocnici v Ostravě. Poté byly vybrané vzorky testovány mechanickou zkouškou tahem. Z mechanických zkoušek se získala důležitá data pro závěrečné vyhodnocení vlivu sterilizace a infuzní pumpy na materiál infuzního setu. Každá tato fáze experimentálního měření je podrobněji popsána v následujících podkapitolách.

### 6.1 Návrh měřicího řetězce

Sestava pro podání infuzí v nemocničním zařízení má několik důležitých částí, bez kterých není možné vykonávat infuzní terapii. První je láhev nebo vak, ve které je podávána kapalina. Další část tvoří infuzní pumpa. Láhev i přístroj jsou připevněny na stojanu, který má na svém dolním konci kolečka pro lepší manipulaci. Transport roztoku do těla pacienta zajišťuje infuzní set, který je napojen na láhev, prochází infuzní pumpou a intravenózně je ukončen pomocí jehly. Protože funkce setu a pumpy výrazně ovlivňují přesnost dávkování a tím i zdraví pacienta, je nutné používat správné, kalibrované sety. Každý výrobce pumpy uvádí typ setu, který je pro konkrétní pumpu určen. Také infuzní přístroj musí být kalibrován a musí projít bezpečnostní technickou kontrolou.

Měřicí řetězec pro tuto práci je sestaven z infuzní pumpy Argus 400 lamelového typu uvedené na obrázku číslo 6.1. Parametry infuzní pumpy popisuje tabulka č. 6.2. Manuál k pumpě je součástí příloh. Stejně jako ve zdravotnictví je použita infuzní láhev. Pro měření však není potřebné použít fyziologický roztok, postačí obyčejná voda. Použité infuzní sety jsou od firmy BBraun Infracix® SafeSet. Základní parametry použitých infuzních setů jsou v tabulce č. 6.1. Set není zakončen jehlou, ale je vyveden do odměrné nádoby, ve které se shromažďuje voda, která projde soupravou v průběhu měření. Model měřicí soupravy je znázorněn na obrázku č. 6.2.

Tab. č. 6.1 Parametry infuzních setů BBraun Infracix® SafeSet

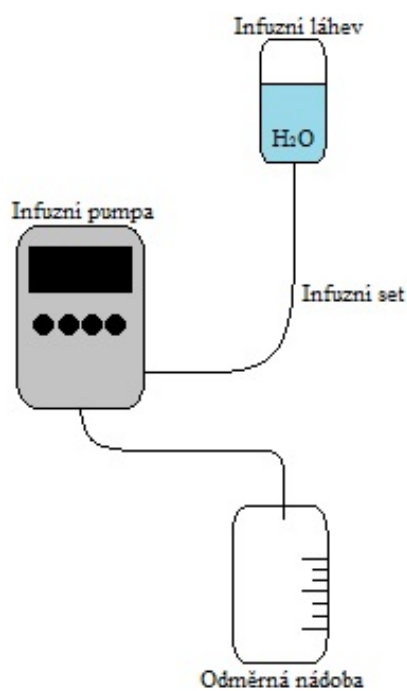
<b>Parametry BBraun Infracix® SafeSet</b>	<b>Hodnoty parametrů</b>
<b>Typ setu</b>	Tlakový
<b>Délka</b>	180 cm
<b>Vnější průměr</b>	4 mm
<b>Vnitřní průměr</b>	3 mm
<b>Maximální teplota</b>	40°C
<b>Maximální tlak</b>	2 bary
<b>Sterilizační metoda</b>	Plazma
<b>Bez DEHP</b>	Ano

Tab. č. 6.2 Parametry infuzní pumpy Argus 400 Profesional

Parametry Argus 400 Profesional	Hodnoty parametrů
Systém	Peristaltický s lineárním výstupem
Maximální objem infuze	9999 ml
Maximální dávkovací rychlost	999 ml/h
Interval nastavení dávkování	1 ml/h
Přesnost dávkování	±5%
Kompatibilní infuzní set	Běžný PVC
KVO	< 3 ml
Alarmy	Kapkový detektor, vzduchové bubliny, vybitá baterie
Spotřeba energie	9 W
Bateriový provoz	5 h (při rychlosti dávkování 60 ml/h)
Napájení	AC 230V/50Hz
Rozměry (š - v - h)	145 – 225 – 220 mm
Hmotnost	3,5 kg



Obr. 6.1 Infuzní pampa Argus 400



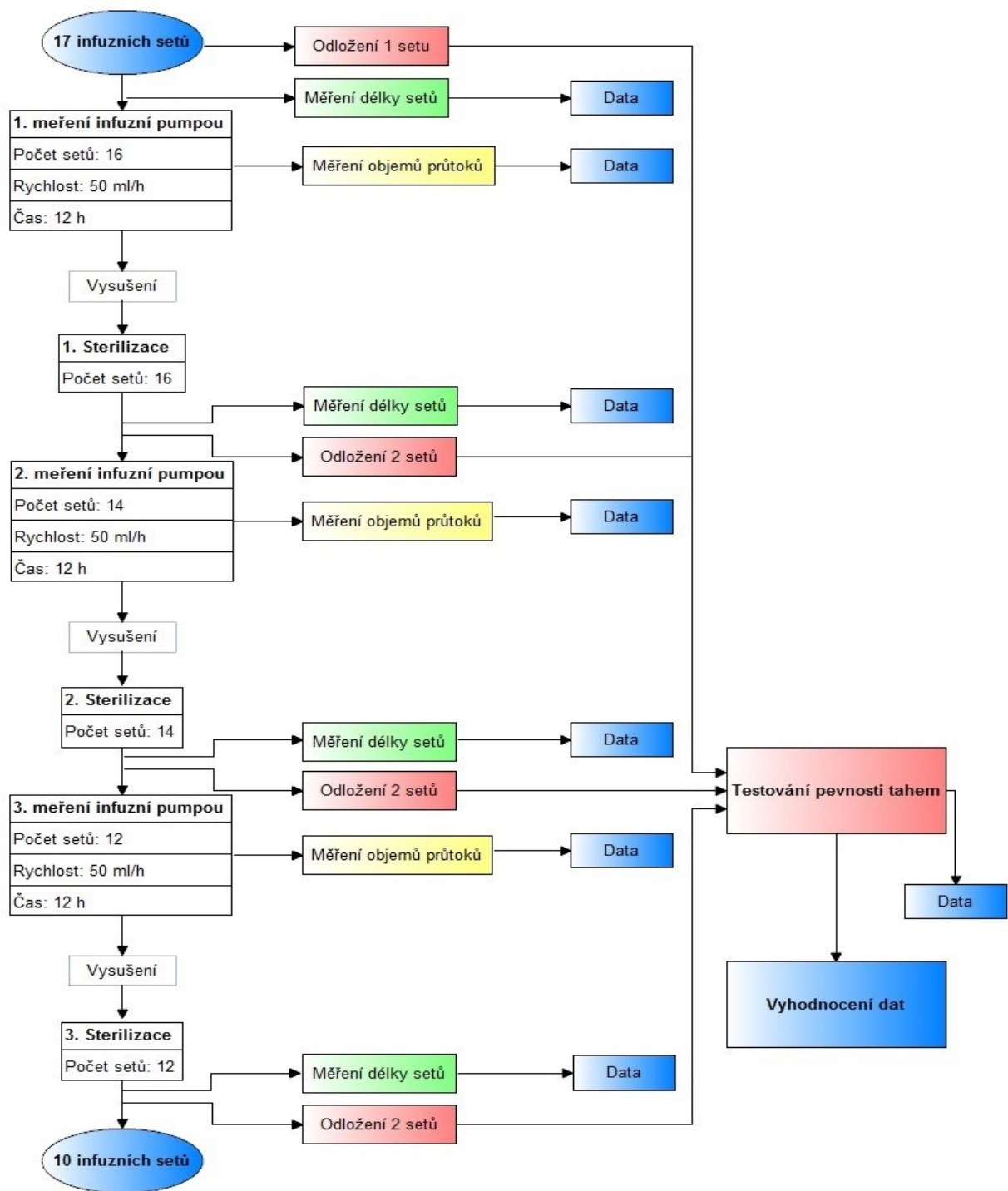
Obr. 6.2 Model měřicí soupravy



## 6.2 Postup měření

Na obrázku 6.2 je graficky zobrazen průběh měření formou vývojového diagramu. Ještě před použitím je zaznamenána délka infuzního setu. Experiment probíhá v prostředí o stálé hodnotě tlaku, teploty a vlhkosti. Tímto je zajištěna možnost opakovaného měření bez změny vlivů vnějšího prostředí na výsledné hodnoty. Průtok infuzní pumpou je nastaven na rychlost 50ml za hodinu. Jedno měření probíhá po dobu 12 hodin. Po této době by objem vody v odměrné nádobě na konci soustavy měl být 600ml. Skutečné množství bude odměřeno a zaznamenáno pro následné porovnání s referenční hodnotou. Pak následuje fáze vysušení setu před sterilizací pomocí ethanolu a vzduchu vháněném do hadičky pod tlakem 2 bary. Důvod tohoto kroku je popsán v další podkapitole 6.3. Po této fázi se set nechá odvětrat. Nyní jsou sety připraveny pro sterilizaci plazmou ve Fakultní nemocnici v Ostravě. Následuje opětovné přeměření délky setu, hodnota se zaznamená. Po sterilizaci je set na univerzitě testován mechanickou zkouškou pevnosti tahem. Mechanické zkoušky jsou níže popsány ve zvláštní podkapitole 6.4. Pro experiment je použito 17 vzorků setů stejného typu. Se 16-ti sety se výše popsáný postup provádí celkem 3x a 1 set zůstane nepoužitý. Na tomto setu se provedou pouze mechanické zkoušky. Po každé sterilizaci se odloží vždy 2 sety pro mechanické testování. To znamená, že pro první sterilizaci je k dispozici všech 16 vzorků setů, na druhou pak 14 a při třetí sterilizaci je 12 setů. Na konci zůstane 10 neotestovaných setů, které jsou 3x vloženy do infuzní pumpy a 3x sterilizovány. Všechny hodnoty objemů a délek po každém cyklu jsou pečlivě zaznamenány do tabulek a grafů.

[2] [11]



Obr. 6.2 Vývojový diagram postupu praktického měření

### 6.3 Sterilizace infuzních setů

Princip plazmové sterilizace je podrobně popsán v podkapitole 4.2. Je zde zmíněno, že plazmou se mohou sterilizovat pouze předměty, které jsou dokonale suché. Před každým zahájením procesu sterilizátor za pomoci speciální kapsle otestuje vlhkost předmětů uvnitř sterilizační komory. Pokud vyhodnotí předměty jako vlhké, celý postup se přeruší a je nutno sterilizaci zahájit od začátku. Tato kapsle je velmi drahá, proto je důležité, aby byly infuzní sety skutečně suché a tím se snížil počet použitých kapslí na nezbytné minimum. Po konzultaci s vedoucím práce jsme vysušení setů vyřešili pomocí ethanolu. Infuzní set se jím propláchne, tím se docílí snížení hustoty kapaliny uvnitř setu, to napomůže snazšímu vysušení profouknutím hadičky vzduchem vháněným pod tlakem 2 bary. Po profouknutí se sety nechají odvětrat, ethanol bude vzlínat a docílí se tak dokonalého prosušení vnitřních prostor hadičky.

### 6.4 Mechanická zkouška pevnosti tahem

Mechanické zkoušky pevnosti tahem byly provedeny na Fakultě strojní na přístroji Testometric M500-50CT. Pro lepší představu na obrázku č. 6.3 je mechanická zkouška zdokumentována. Přístrojem byla testována ta část, která byla vystavena mechanickému namáhání lamelami infuzní pumpy o délce 10 cm. Vzorek však musí být ustříhnut delší, aby mohl být na každém konci upevněn do svorek testovacího zařízení. Po zasunutí testované části setu, se na počítači v příslušném softwaru nastavila délka vzorku  $l$  (10 cm), vnější průměr vzorku  $r_1$  (4 mm), vnitřní průměr vzorku  $r_2$  (3 mm) a rychlost, kterou má být předmět natahován (50 mm/min). Pak je testování spuštěno. Přístroj roztahuje infuzní set do té chvíle, než dojde k jeho přetrhnutí. To znamená, než dojde k překročení meze pevnosti materiálu.



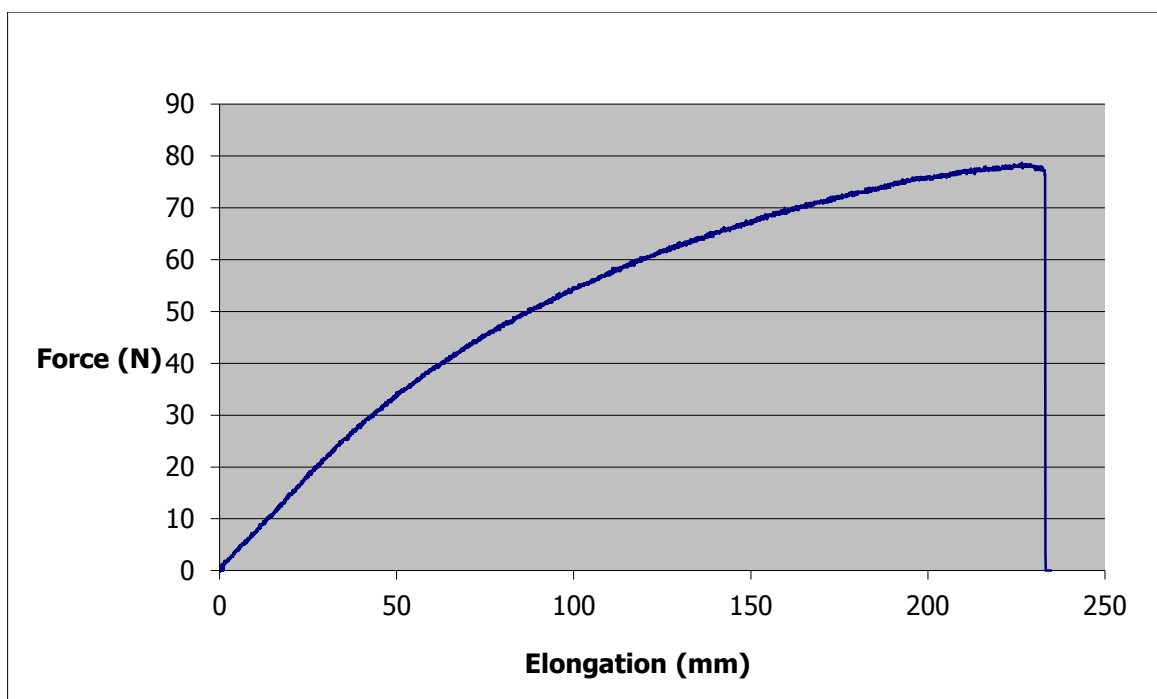
Obr. 6.3 Mechanická zkouška pevnosti tahem

Tento průběh je v počítači zobrazován ve formě grafu závislosti síly na prodloužení, viz. graf číslo 6.1. V tabulce číslo 6.3 je uveden příklad hodnot získaných z mechanických zkoušek. Všechny protokoly z mechanických zkoušek jsou uvedeny v příloze.

**Tab. č. 6.3** Hodnoty exportované při mechanických zkouškách

Test No	Elong. @ Peak (mm)	Force @ Peak (N)	Strain @ Break (%)	Strain @ Peak (%)	Stress @ 0,200 % Proof (MPa)	Youngs Modulus (MPa)	Stress @ Peak (MPa)	Width (mm)	Thickness (mm)
1	226,518	78,700	234,822	226,518		1036,781	14,315	3,000	3,000

**Graf. č. 6.1** Graf průběhu mechanických zkoušek



Poté se exportují hodnoty prodloužení  $\Delta l$ , o kterou se vzorek infuzního setu natáhnul, relativního prodloužení  $\varepsilon$ , síly  $S$  potřebné pro přetrhnutí materiálu a modul pružnosti v tahu  $E$ .

Dalším krokem je ověřit správnost výsledného modulu pružnosti v tahu výpočtem z ostatních získaných hodnot. Při výpočtu se vychází z Hookova zákona:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E}$$

Kde  $\varepsilon$  je relativní prodloužení,  $\sigma$  je normálové napětí a  $E$  je modul pružnosti v tahu.

Normálové napětí  $\sigma$  je definováno jako síla  $F$  působící kolmo na jednotku plochy  $S$ :

$$\sigma = \frac{F}{S}$$

Infuzní set je dutý předmět, proto plochu průřezu tvoří mezikruží o vnějším poloměru  $r_1$  a vnitřním poloměru  $r_2$ . Při výpočtu celkového obsahu se vychází z výpočtu obsahů dvou kruhů. Jeden o poloměru  $r_1$  a druhý o poloměru  $r_2$ . Rozdílem těchto obsahů získáme obsah daného mezikruží:

$$S = S_1 - S_2 = \pi r_1^2 - \pi r_2^2$$

Relativní prodloužení  $\varepsilon$  získáme ze vztahu prodloužení  $\Delta l$  a původní délku  $l$ :

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$$

Nyní lze stanovit úplné znění Hookova zákona: relativní prodloužení je přímo úměrné normálovému napětí, pokud namáhání nepřekročí mez pevnosti. Tuto definici lze vyjádřit vztahem:

$$\frac{\Delta l}{l} = \frac{\sigma}{E} = \varepsilon$$

Úpravou předchozích vztahů získáme rovnici pro výpočet modulu pružnosti v tahu:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{F}{S} \cdot \frac{l}{\Delta l}$$

Modul pružnosti v tahu, nazývaný také Youngův modul, je konstanta, která vyjadřuje pružnost materiálu při namáhání v tahu. Číselné vyjádření je rovno velikosti napětí, které by danou délku prodloužilo na dvojnásobek původní délky. Čím vyšší je hodnota modulu pružnosti, tím větší napětí je nutné pro natažení vzorku.

Z hodnoty modulu pružnosti tedy zjistíme změny v pružnosti materiálu způsobené sterilizací a mechanickým působením infuzní pumpy. Předpokládá se zvýšení pružnosti materiálu, tedy snížení modulu pružnosti a zároveň zvýšení prodloužení, viz. kapitola 5. Ověření tohoto předpokladu za použití výše zmíněných vztahů se věnuje 3. podkapitola v následující kapitole.

## 7. Vyhodnocení měřených dat

Data pro konečné vyhodnocování byly získávány jednak v průběhu měření, ale také pomocí softwaru při mechanickém testování. Souhrn všech zdrojů dat je znázorněn pomocí vývojového diagramu na obrázku č. 6.2. U každého setu byla zaznamenána jeho délka [mm] a to před začátkem měření a pak po každé jeho sterilizaci. Dále byl u každého setu měřen objem vody [ml], který jím protekl. Z mechanických zkoušek jsme získali hodnoty prodloužení [mm], Youngova modulu pružnosti v tahu [MPa] a síly [N], při které se infuzní set přetrhnul. V dalších podkapitolách jsou tyto hodnoty zpracovány a jejich závislosti jsou vyneseny do grafů, vždy jako závislost počtu sterilizace na další získané veličině. Myslí se tím však také vliv infuzní pumpy na další měřené veličiny.

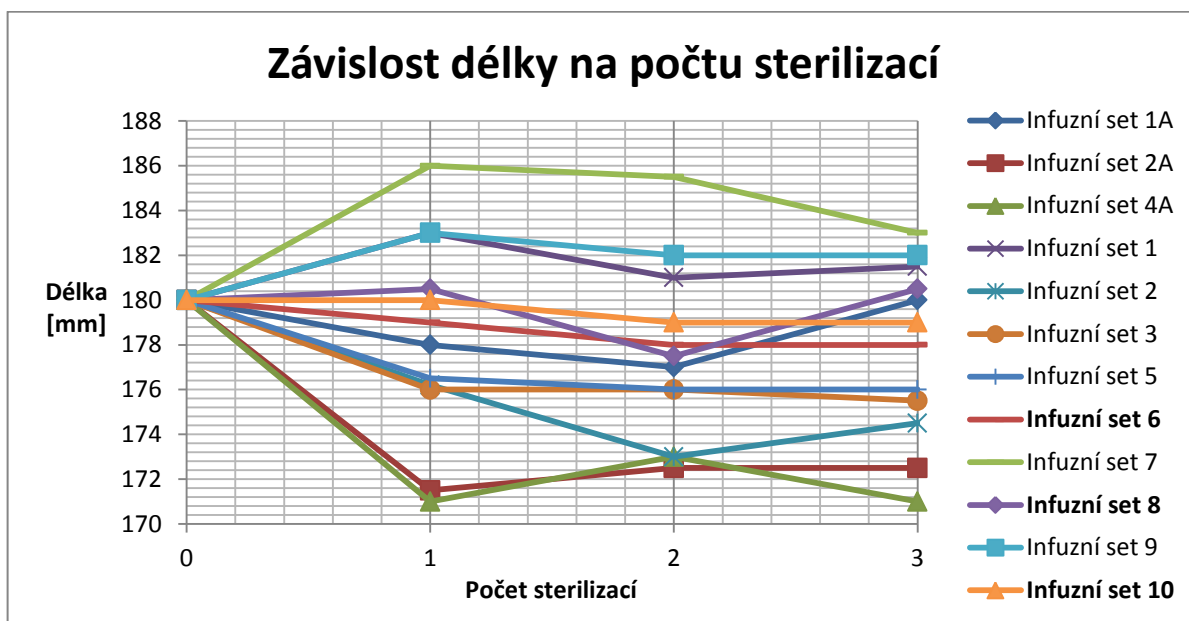
### 7.1 Závislost délky na počtu sterilizací

V tabulce č. 7.1 jsou zaznamenány hodnoty délek infuzních setů před použitím a následně po každé sterilizaci. Do tabulky byly použity délky pouze těch setů, které byly použity a vysterilizovány třikrát. Infuzní sety, které byly po některé ze sterilizací odloženy pro mechanické testování byly sice změřeny, ale nejsou v této tabulce uvedeny pro celistvost výsledků. Ideálně by set svoji délku měnit neměl, bohužel tomu tak není. Změny délek jsou také uvedeny v grafu číslo 7.1. Na ose x je vynesena počet sterilizací, které sety podstoupily před tím, než byla změřena jejich délka, která je vynesena na ose y. V grafickém zobrazení by ideálně měla být pouze jedna přímka v hodnotě 180 mm na ose y u každého setu. Z grafu je jasně zřetelné, že ani u jednoho setu tomu tak není. Ideálnímu průběhu se nejvíce přiblížily, tzn. nejméně vlivem sterilizace změnily délku, sety s označením 10, ten se zkrátil o pouhý 1 cm, set číslo 8 se po sterilizaci o 1 cm prodloužil a set číslo 6, se zkrátil o 2 cm. Tyto sety jsou v legendě označeny tučně. Nejvíce se po třech sterilizacích zkrátil set označený číslem 4A a to o 9 cm. Naopak největší prodloužení způsobené sterilizací bylo zaznamenáno u setu číslo 7 o 6 cm.

Tab. č. 7.1 Závislost délky na počtu sterilizací infuzních setů

Označení setu	1A	2A	4A	1	2	3	5	6	7	8	9	10
Délka před použitím [mm]	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180
Délka po 1. sterilizaci [mm]	178	172	171	183	176	176	177	179	186	181	183	180
Délka po 2. sterilizaci [mm]	177	173	173	181	173	176	176	178	186	178	182	179
Délka po 3. sterilizaci [mm]	180	173	171	182	175	176	176	178	183	181	182	179

**Graf č. 7.1** Závislost délky na počtu sterilizací infuzních setů



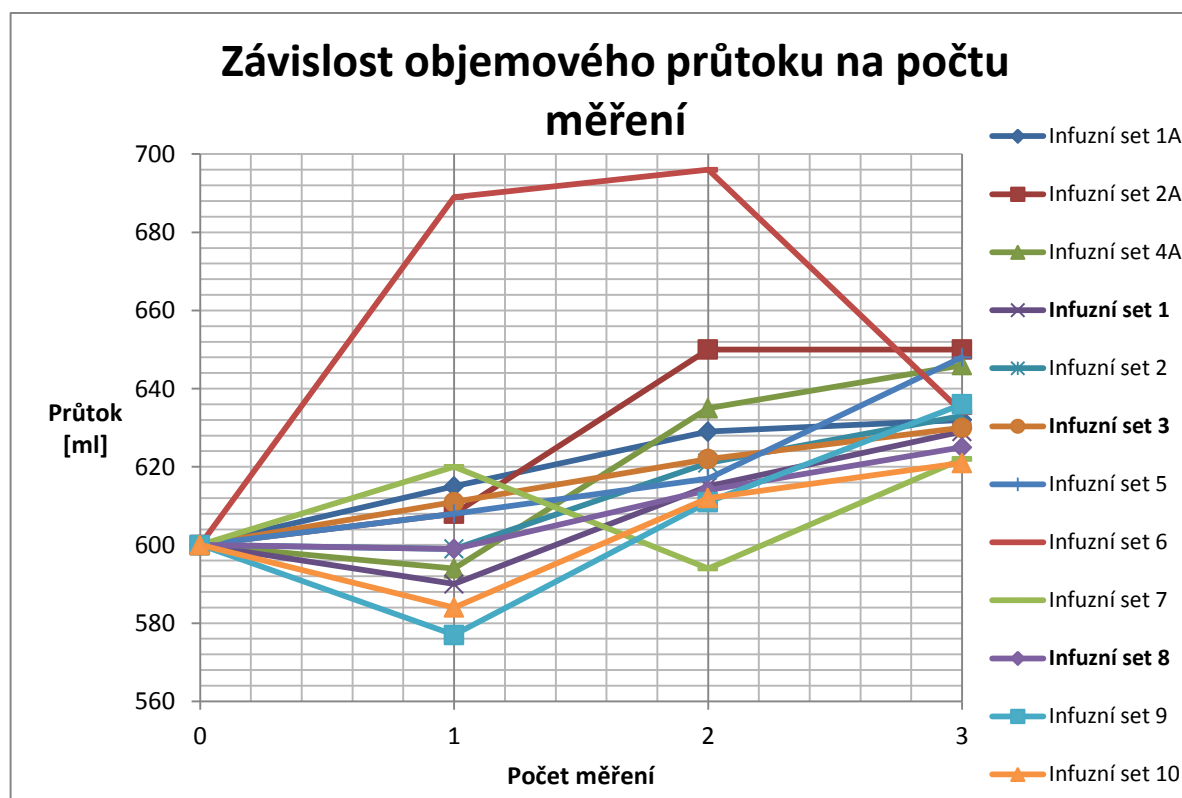
## 7.2 Závislost objemového průtoku na počtu měření

V tabulce č. 7.2 jsou zaznamenány hodnoty objemů, které protekly každým infuzním setem během třech měření s infuzní pumpou. Do tabulky byly opět použity hodnoty pouze těch setů, které byly použity a vysterilizovány třikrát. Infuzní sety, které byly po některé ze sterilizací odloženy na mechanické testování, byly sice minimálně jednou použity v infuzní pumpě, takže alespoň jedna hodnota objemu u nich zaznamenána je, ale nejsou v této tabulce uvedeny pro úplnost výsledků. V grafickém vyjádření závislosti v grafu číslo 7.2 je na ose x vyneseno číslo měření, ve kterém byl změřen objem vyneseny na ose y. V ideálním případě, by během 12 hodin rychlostí 50 ml/h mělo setem protéct přesně 600 ml. V grafu by opět měla být pouze rovná přímka z hodnoty 600 ml na ose y u každého vzorku bez odchylek. Tato referenční hodnota je zaznamenána v bodě 0 na ose x, pro snazší porovnání odchylek skutečně naměřených objemů. Jak je jasně vidět v tabulce i v grafu, ani u jednoho setu tomu tak není. Celkově lze říci, že pouze při prvním měření infuzní pumpou prošlo u některých setů menší množství objemu než mělo. U dalších měření se většinou dávkování zvyšovalo. Až na jednu výjimku. U setu číslo 7 hodnoty objemu kolísají shora dolů kolem referenční hodnoty 600 ml. Největší odchylka nastala u setu číslo 6 a to o 96 ml více. Nejpresnější hodnoty objemu byly změřeny u setu číslo 8, který se při prvním měření nejvíce přiblížil referenční hodnotě a při dalším měření odchylky nebyly tak velké jako u ostatních. Nejvyrovnanější nepřesnost dávkování se projevila u setu číslo 3, jehož odchylky postupují vzhůru téměř lineárně. Jeden z přesnějších infuzních setů je také set s označením 1. Tyto tři nejméně chybné sety jsou opět v legendě tučně zvýrazněné.

Tab. č. 7.2 Závislost objemového průtoku na počtu sterilizací infuzní pumpy

Označení setu	1A	2A	4A	1	2	3	5	6	7	8	9	10
Správná hodnota	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600
1. měření [ml]	615	608	594	590	599	611	608	689	620	599	577	584
2. měření [ml]	629	650	635	615	621	622	617	696	594	614	611	612
3. měření [ml]	632	650	646	629	633	630	648	634	622	625	636	621

Graf č. 7.2 Závislost objemového průtoku na počtu sterilizací infuzní pumpy



### 7.3 Závislost mechanických vlastností na počtu sterilizací

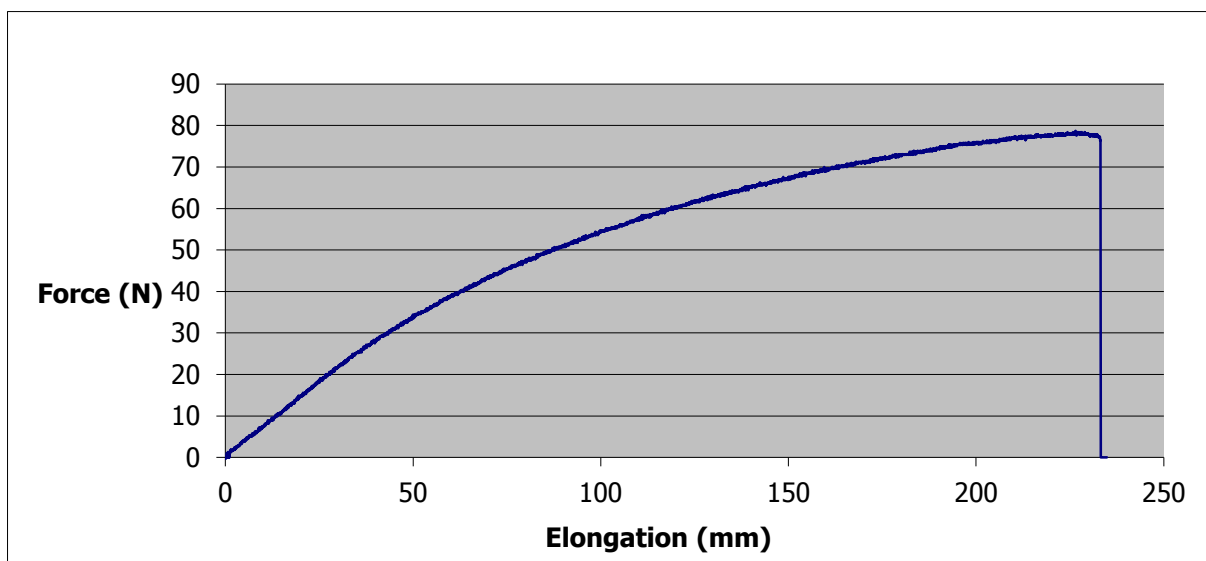
Do následujících tabulek jsou zaznamenávány hodnoty získané z mechanických zkoušek pevnosti. To znamená, že v těchto tabulkách a grafech jsou hodnoty náležící těm setům, které byly podrobeny tahovým zkouškám. Tedy ty, které nejsou zaznamenány v grafech výše. Pro každou sterilizaci jsou vkládány hodnoty dvou setů. Dále data jednoho nepoužitého a nesterilizovaného setu, s jehož hodnotami budou ostatní srovnány. Celkem je v této podkapitole srovnáváno vždy 7 setů.



Sledovanými veličinami jsou zde opět počet sterilizací, resp. počet použití v infuzní pumpě, prodloužení při testování tahem, síla potřebná k přetržení testovaného vzorku, tedy k překročení meze pevnosti materiálu a výsledný Youngův modul pružnosti v tahu.

Cílem této části bylo použití vztahů pro Hookův zákon a výpočet modulu pružnosti popsané v podkapitole 6.4 a tím ověřit modul pružnosti získaný softwarem při mechanických zkouškách. Hookův zákon však platí pouze pro lineární závislosti při namáhání v tahu. Při testování v rámci této bakalářské práce však ani v jednom případě průběh namáhání vzorku nebyl lineární, resp. byl pouze na velmi krátkém úseku na začátku měření. Zde by Hookův zákon platil. Tento úsek je však okem téměř nepostřehnutelný, tyto hodnoty proto nemohou být uvažovány. Nelze tedy správně dopočítat hodnoty modulu pružnosti a v dalším zpracování jsou používány pouze hodnoty získané z protokolů mechanických zkoušek. Tento fakt je způsoben elasticitou a poddajností materiálu infuzních setů, která způsobuje zúžení průměru vzorku a tedy snižuje obsah průřezu materiálu. To znamená, že obsah v průběhu testování není konstantní. Nelze tedy výše zmíněné vztahy považovat za relevantní. Příklad nelineárního průběhu namáhání je v grafu č. 7.3 získaný při exportování dat z mechanických zkoušek. Jedná se o průběh prodloužení infuzního setu při působící síle. Z grafu lze konstatovat, že s narůstajícím prodloužením roste také síla. Všechny protokoly z mechanických zkoušek s hodnotami, ze kterých se v následujících postupech vycházelo, jsou uvedeny v příloze.

**Graf č. 7.3** Závislost prodloužení na síle, graf exportovaný z mechanického testování



### 7.3.1 Závislost prodloužení na počtu sterilizací

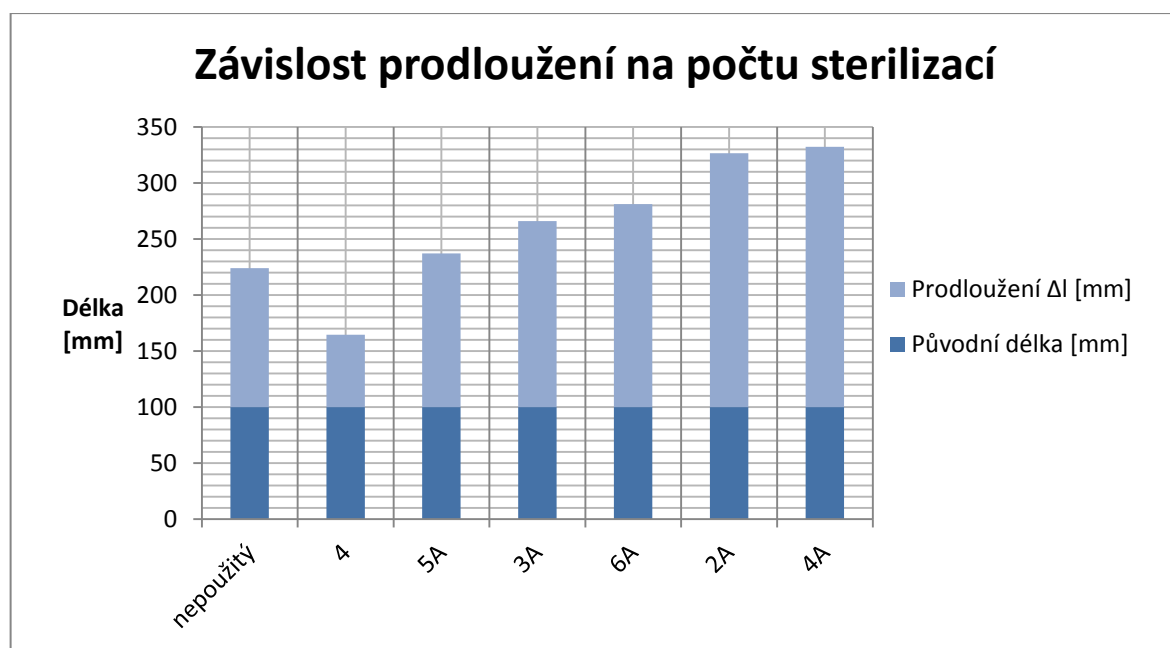
V těchto tabulkách a grafech č. 7.4 jsou zaznamenány dvě hodnoty u každého setu. Jednak původní délka vzorku, který byl vložen do testovacího přístroje, dále hodnota prodloužení o kolik se testovaná část infuzního setu natáhla, než se přetrhla. Použitý skládaný sloupcový graf názorně

vyjadřuje, jak se každý set natáhnul. Infuzní set číslo 4 nejvíce vybočuje z řady, jde nejspíš o vadu z výroby. Ostatní hodnoty prodloužení setů lineárně stoupají od hodnoty nepoužitého setu tak, jak byly sterilizovány, resp. použity. Čím více byly sety sterilizovány, resp. namáhány infuzní pumpou, tím více se natáhly. Z těchto naměřených dat lze říci, že vícenásobným použitím a sterilizováním se materiál infuzního setu stává pružnějším, to může mít negativní vliv na přesnost dávkování.

**Tab. č. 7.3** Závislost prodloužení na počtu sterilizací

Označení setu	nepoužitý	Po 1. sterilizaci		Po 2. sterilizaci		Po 3. sterilizaci	
		4	5A	3A	6A	2A	4A
Původní délka [mm]	100	100	100	100	100	100	100
Prodloužení $\Delta l$ [mm]	123,941	64,577	137,003	165,824	181,097	226,518	232,207

**Graf č. 7.4** Závislost prodloužení na počtu sterilizací



### 7.3.2 Závislost síly na počtu sterilizací

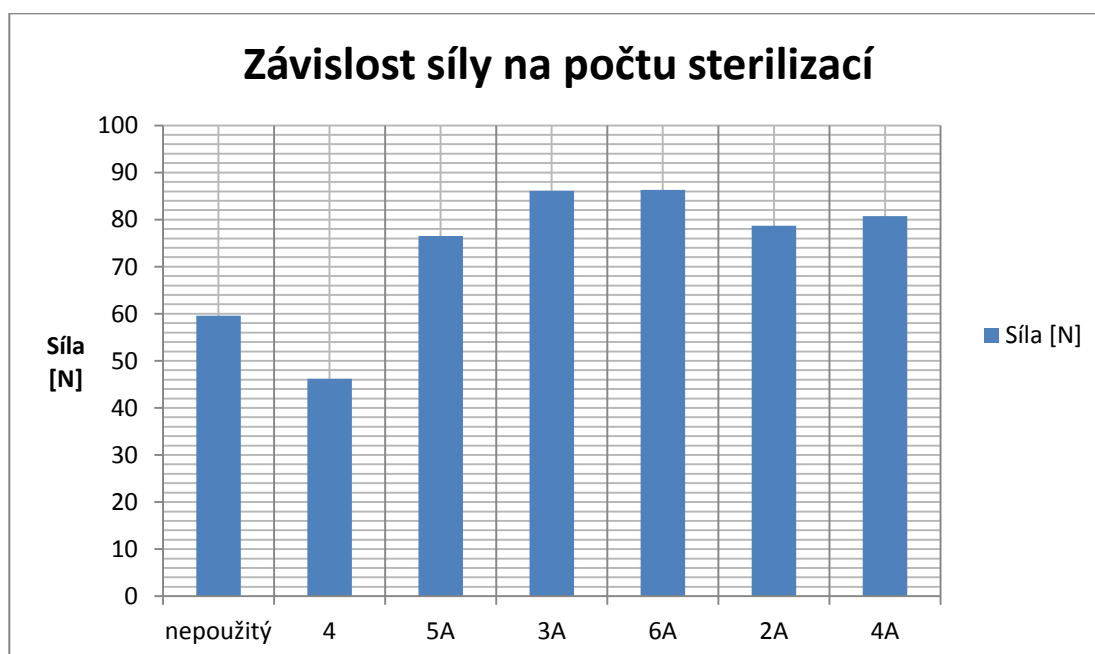
V těchto závislostech v tabulce č. 7.4 a grafu č. 7.5 jsou zapsány pouze hodnoty sil potřebných k přetržení každého vzorku setu. Opět použitý sloupcový graf názorně demonstruje, jak velká síla byla při roztahování každého setu vyvinuta. Infuzní set označený číslem 4 opět silně vybočuje z řady, evidentně se jedná o špatný kus. Je zřejmé, že byla potřebná větší síla k přetržení infuzního setu než u srovnávacího kusu. U setů, které byly použity dvakrát a třikrát, jsou hodnoty sil v příslušné dvojici

vždy téměř totožné, materiál se u nich změnil srovnatelně. Bohužel zde ale nelze konstatovat lineární závislost počtu sterilizace, či použití na materiál infuzních setů.

**Tab. č. 7.4** Závislost síly na počtu sterilizací

Označení setu	nepoužitý	Po 1. sterilizaci		Po 2. sterilizaci		Po 3. sterilizaci	
		4	5A	3A	6A	2A	4A
Síla [N]	59,6	46,2	76,5	86,1	86,3	78,7	80,7

**Graf č. 7.5** Závislost síly na počtu sterilizací



### 7.3.3 Závislost modulu pružnosti na počtu sterilizací

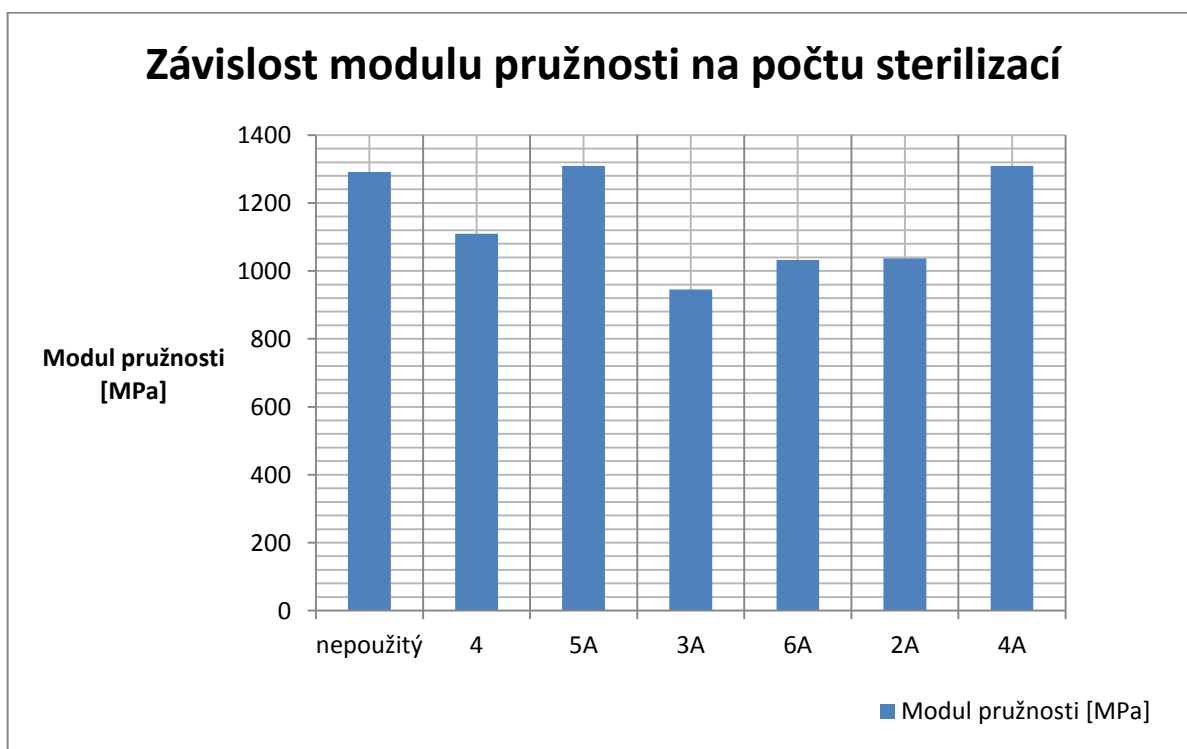
V tabulce č. 7.5 jsou pro každý set uvedeny hodnoty získané z mechanického testování. V sloupcovém grafu č. 7.6 jsou opět vyneseny hodnoty modulů pružnosti setů tak, jak byly postupně sterilizovány. Vycházejme z předpokladu, že čím vyšší je modul pružnosti, tím je materiál tužší. To znamená, že je třeba vyšší napětí pro natažení vzorku. Pak můžeme říci, že infuzní set 5A a 4A jsou po měření tužší a naopak sety 4, 3A, 6A a 2A lze natáhnout snadněji. Bohužel zde neplatí žádná lineární závislost na počtu sterilizací, resp. počtu použití. Protože set 5A byl sterilizován pouze jednou a set 4A třikrát a mají zcela stejné hodnoty modulů pružnosti v tahu. Neplatí zde dokonce ani podobnost v příslušných testovaných dvojicích, které mají stejný počet sterilizace. Pouze u druhé sterilizace lze

konstatovat, že oba sety ztratily svoji tuhost, hodnoty modulu pružnosti jsou v obou případech menší než hodnota srovnávacího vzorku.

**Tab. č. 7.5** Závislost modulu pružnosti na počtu sterilizací

Označení setu	nepoužitý	Po 1. sterilizaci		Po 2. sterilizaci		Po 3. sterilizaci	
		4	5A	3A	6A	2A	4A
Modul pružnosti [MPa]	1291,429	1109,537	1309,618	945,835	1032,036	1036,781	1309,618

**Graf č. 7.6** Závislost modulu pružnosti na počtu sterilizací



#### 7.4 Vnější změny infuzních setů

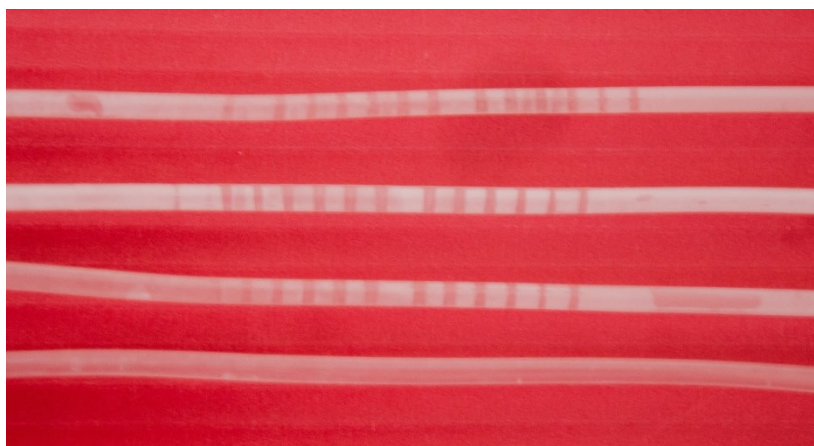
Kromě změn ve vnitřních strukturách infuzních setů nastaly také změny povrchové, okem pozorovatelné. Tyto změny byly způsobeny jednak působením lamel uvnitř infuzní pumpy a také sterilizační metodou. Ta u některých setů způsobila mléčné zbarvení, snížila průsvitnost setu. Tyto jevy však byly náhodné, nestupňovaly se ani nijak nesouvisely s počtem použití či počtem sterilizací. Jsou tedy uvedeny pouze tři příklady na obrázcích č. 7.1, 7.2 a 7.3.



**Obr. č. 7.1** Příklad deformace způsobené infuzní pumpou



**Obr. č. 7.2** Příklad zbarvení setu po sterilizaci



**Obr. č. 7.3** Příklad zbarvení setu po sterilizaci v místě přitlaku lamel infuzní pumpy

## **8. Zhodnocení vlivu plazmové sterilizace a lineární pumpy na mechanické vlastnosti infuzních setů**

V předchozí kapitole jsou posuzovány vlivy sterilizace a lineární pumpy na jednotlivé mechanické vlastnosti infuzních setů. Mechanickými vlastnostmi se zde rozumí hodnoty získané z mechanických tahových zkoušek a jsou to síla tahu, při které byla překročena mez pevnosti materiálu, dále prodloužení, o které se testovaný vzorek vlivem působící síly natáhnul a celkový modul pružnosti materiálu, který charakterizuje pružnost vzorku. V kapitole 5 byl stanoven předpoklad, že materiál infuzních setů po opakovaném namáhání změkne, ztratí svoji pevnost, stane se pružnější. To znamená, že hodnoty prodloužení by měly stoupat s narůstajícím počtem sterilizací, resp. použití. Naopak modul pružnosti by měl postupně klesat. Síla vždy roste současně s prodloužením (viz. graf a vysvětlení v podkapitole 7.3).

K testování byly použity tři dvojice infuzních setů. Jedna dvojice byla sterilizována, resp. použita infuzní pumpou jednou (sety s označením 4 a 5A), další dvakrát (sety s označením 3A a 6A) a třetí dvojice celý postup podstoupila třikrát (sety s označením 2A a 4A). Jako zdroj referenčních hodnot byl také otestován infuzní set, který nebyl ani jednou sterilizován, resp. použit infuzní pumpou (označený jako nepoužitý).

Z dvojice infuzních setů po jedné sterilizaci set č. 4 vybočuje z normálu (zmíněno již v 7. kapitole, vada z výroby). U setu s označením 5A lze konstatovat nejmenší změnu mechanických vlastností materiálu. Tento infuzní set se prodloužil o 137,003 mm a ve srovnání s nepoužitým vzorkem (prodloužení o 123,941 mm) se prodloužil pouze o 13 mm. Hodnota modulu pružnosti (1309,618 MPa) tohoto setu je velmi blízká hodnotě srovnávacího kusu (1291,429 MPa). Po dvou sterilizacích se podařilo potvrdit výše uvedený předpoklad pro oba infuzní sety. Oba se přibližně shodně prodloužily více než nepoužitý vzorek a u obou setů poklesl modul pružnosti v tahu. Také u setu 2A z dvojice pro tři sterilizace se výše popsany předpoklad podařilo potvrdit. Tento infuzní set se vlivem působící tažné síly prodloužil ještě více než v předchozím případě (o 226,518 mm) a také došlo k poklesu modulu pružnosti v tahu. V porovnání s nepoužitým infuzním setem (prodloužení o 123,941 mm) svoji délku prodloužil o 102,5 mm, což je nárůst téměř dvojnásobný. Tyto změny však nastaly za působení menší síly než u dvojice setů po dvou sterilizacích. Infuzní set se tedy více prodloužil, avšak menší silou. Z tohoto jasně vyplývá, že u setu 2A došlo k výraznému snížení pevnosti materiálu. Určitou změnu mechanických vlastností také vykazuje set číslo 4A. V tomto případě došlo k největšímu prodloužení a to o 232,207 mm, nedošlo však k poklesu modulu pružnosti. Takové chování se nepředpokládalo.

Můžeme tedy konstatovat, že mechanické vlastnosti infuzních setů se změnilo po první sterilizaci minimálně. Po druhé sterilizaci již nastaly výraznější změny jak v prodloužení, tak v modulu pružnosti. Po třetí sterilizaci u jednoho setu došlo k výraznému snížení pevnosti materiálu

vyplývající z prodloužení a působící síly. U druhého z dvojice setů po třetí sterilizaci vlivem působení infuzní pumpy a sterilizační metody nastalo zcela nestandardní chování.

Zkoumané mechanické vlastnosti mají přímý vliv na přesnost dávkování infuzní pumpou. Z hlediska bezpečnosti pacienta je vyžadována co nejvyšší přesnost. Infuzní pumpa Argus 400, která je použita v této práci, má v technických parametrech určenou dovolenou odchylku  $\pm 5\%$ . Samozřejmě za předpokladu použití výrobcem doporučeného infuzního setu. Odchylky v procentech byly vypočítány dle vzorce:

$$\text{odchylka} = \left| \left( \frac{\text{naměřená hodnota}}{\text{správná hodnota}} \cdot 100 \right) - 100 \right|$$

V tabulce č. 8.1 jsou vypočítané chyby dávkování pro každé měření celkem pro 12 setů, se kterými byly provedeny 3 měření a 3 sterilizace. Hodnoty, které překročily dovolenou odchylku  $\pm 5\%$  jsou označeny červeně. Při prvním měření, kdy infuzní sety byly nové, 11 infuzních setů z celkových 12 splňuje dovolenou odchylku. Set číslo 6 má při prvním použití odchylku 14,83% což je zcela nepřijatelná hodnota, která je způsobena pravděpodobně vadou z výroby. Při druhém měření, tedy po jedné sterilizaci 9 setů z 12 stále splňuje limit. Dovolenou odchylku nespĺňuje opět set číslo 6 a nově sety 2A a 4A. Po třetím měření však pouze čtyři infuzní sety splňují podmínku, z toho dva jen velmi těšně, jsou označeny oranžovou barvou. Celkem 8 setů celku překročilo dovolenou odchylku  $\pm 5\%$ .

**Tab. č. 8.1** Odchylky dávkování

<b>Označení setu</b>	<b>1A</b>	<b>2A</b>	<b>4A</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
<b>Správná hodnota</b>	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600
<b>1. měření [ml]</b>	615	608	594	590	599	611	608	689	620	599	577	584
<b>2. měření [ml]</b>	629	650	635	615	621	622	617	696	594	614	611	612
<b>3. měření [ml]</b>	632	650	646	629	633	630	648	634	622	625	636	621
<b>Odchylka při 1. měření [%]</b>	2,50	1,33	1,00	1,67	0,17	1,83	1,33	14,83	3,33	0,17	3,83	2,67
<b>Odchylka při 2. měření [%]</b>	4,83	8,33	5,83	2,50	3,50	3,67	2,83	16,00	1,00	2,33	1,83	2,00
<b>Odchylka při 3. měření [%]</b>	5,33	8,33	7,67	4,83	5,50	5,00	8,00	5,67	3,67	4,17	6,00	3,50

Další měřenou veličinou byla délka setu, která je podrobně rozepsána v podkapitole číslo 7.1. Nejvýraznější změny v celkové délce setů nastaly po prvním použití, po první sterilizaci. Po dalších použitích a sterilizacích se délky setů měnily, avšak v menší míře. Tento jev se nepředpokládal.

Z výsledků testování mechanických zkoušek se zjistilo, že pouze první sterilizace příliš neovlivnila přesnost dávkování, další sterilizace mají na dávkování výrazný vliv. Po druhé sterilizaci téměř všechny vzorky překročily povolenou hodnotu, další měření dávkování tedy nemělo smysl provádět.

## 9. Závěr

Úkolem této bakalářské práce bylo ověřit mechanické vlastnosti infuzních setů (jejich degradaci) v závislosti na sterilizaci a počtu jejich použití. Infuzní technika je velmi rozšířená a náklady na materiál infuzních setů jsou proto velmi vysoké, protože jde o jednorázové zdravotnické pomůcky. A právě tato problematika byla podnětem pro vypracování této práce. Úkolem je tedy stanovit, zda je nebo není možné použít infuzní sety vícekrát bez negativního vlivu na přesnost dávkování.

Prvním bodem práce bylo seznámení se s problematikou infuzní techniky, výběr a analýza materiálu infuzních setů a infuzní pumpy. Dalším krokem bylo stanovení vhodné sterilizační metody. Následně byl sestaven měřicí řetězec, který simuloval průběh infuzní terapie stejně jako v nemocnici. Soustava tří dvanáctihodinových měření měla ověřit vliv počtu použití infuzního setu na mechanické vlastnosti materiálu, ze kterého jsou sety vyráběny. Na konci měření se odebral objem vody, který protekl infuzním setem, změřil se a následně se stanovily odchylky dávkování od správné hodnoty, tedy chyby v dávkování. Po každém měření byly infuzní sety sterilizovány plazmovou metodou. Komplikací v tomto bodě byla skutečnost, že danou sterilizační metodou nelze sterilizovat vlhké materiály. Bylo tedy potřeba zajistit dokonalé vysušení vnitřních prostor hadičky setu. Po sterilizaci následovalo přeměření a zaznamenání délky infuzních setů a opětovné měření infuzní pumpou. Po každé sterilizaci byly odebrány vždy dva vzorky setu pro mechanické testování tahem na Strojní fakultě naší univerzity. Z testů byla získána důležitá data prodloužení, modulu pružnosti a síly. Ze všech získaných hodnot se ve vyhodnocení práce stanovily příslušné závislosti. Jednak byly graficky znázorněny změny délek po každé sterilizaci a také změny dávkování při každém měření. Další grafické znázornění bylo vynesení závislostí prodloužení, síly a modulu pružnosti na počtu sterilizací. Následně se stanovil vliv sterilizace a počtu použití na mechanické vlastnosti infuzních setů.

Závěrem této práce je potvrzení stanoveného předpokladu, že sterilizace a mechanické namáhání infuzní pumpou způsobí snížení pevnosti materiálu a zvýšení pružnosti. Toto především od druhé sterilizace velmi negativně ovlivňuje přesnost dávkování. První sterilizace způsobí pouze drobné změny mechanických vlastností setu a příliš neovlivní přesnost dávkování infuzní pumpou. V budoucnu by tedy infuzní sety nemusely být pouze jednorázovým materiálem, jako je tomu dnes. Toto je však potřeba podložit dalším testováním a především stanovit možná rizika. Jedním rizikem by mohlo být uvolňování nežádoucích látek do podávaného roztoku způsobené sterilizačním procesem. Tato problematika může být předmětem dalšího výzkumu.



## 10. Seznam literatury

- [1] ČIHÁK, Josef a Martin AUGUSTYNEK. *Infuzní technika a hemodialyzační technika a technologie*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2013, 373 s. ISBN 978-80-248-3100-8.
- [2] HOCHMAN, Vojtěch. *Interakce infuzního setu a volumetrické infuzní pumpy a jejich vliv na kvalitu léčby*. 2014. Diplomová práce. VŠB - Technická univerzita Ostrava. Vedoucí práce Ing. Martin Augustynek.
- [3] PAVELKOVÁ, Alena. *Infuzní technika ve zdravotnictví (rešeršní práce)*. Bakalářská práce. VŠB - Technická univerzita Ostrava. Vedoucí práce Mgr. Petr Tiefenbach.
- [4] MÍSAŘ, P. Bezpečnější infuzní terapie - Infuzní sety s novým regulátorem průtoku. *Braunoviny*, 2010, č. 4, s. 7. ISSN 1801-0342.
- [5] MASSEY, Liesl K. *The effects of sterilization methods on plastics and elastomers: the definitive user's guide and databook*. 2nd ed. Norwich, NY: William Andrew Pub., c2005, s. 229-236. ISBN 978-0-8155-1505-0.
- [6] DVOŘÁKOVÁ, Kateřina. *Prevence kontaminace během infuzní terapie*. 2011. 119 l. Diplomová práce. Masarykova univerzita. Vedoucí práce PhDr. Andrea Pokorná, Ph.D.
- [7] PESLAR, Jiří. *Konstrukce peristaltického čerpadla*. 2009. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. David Paloušek, Ph.D.
- [8] ČSN EN ISO 8536-8. *Infuzní přístroje pro zdravotnické použití - Část 8: Infuzní přístroje pro použití s tlakovým infuzním zařízením*. 2005.
- [9] B. Braun: Přehled produktů. [online]. [cit. 2015-04-05]. Dostupné z: <http://www.bbraun.cz/cps/rde/xchg/cw-bbraun-cs-cz/hs.xsl/products.html?id=00020741900000000266&prid=PRID00001142>
- [10] Peristaltická čerpadla. [online]. [cit. 2014-11-30]. Dostupné z: <http://icerpadlo.cz/rozdeleni-cerpadel/peristalticka-cerpadla/>
- [11] CHMELARĚ, Milan. *Infuzní pumpy a infuzní dávkovače*. Skripta Medica, Tomus 71, supplement 5, Brno, 1997.
- [12] PATEL, Mehul. *Medical sterilization methods*. In: [online]. LEMO USA, INC, 2003 [cit. 2015-01-20]. Dostupné z: [http://www.lemo.de/downloads/misc/P\\_series\\_whitepaper.pdf](http://www.lemo.de/downloads/misc/P_series_whitepaper.pdf)

- [13] CHALUPOVÁ, Lenka. *Nové způsoby sterilizace zdravotnického materiálu s přihlédnutím na plazmovou sterilizaci*. Brno, 2007. Bakalářská práce. Masarykova univerzita. Vedoucí práce prof. RNDr. Janu Jančovi, DrSc.
- [14] ROGERS, W.J. *Sterilisation techniques for polymers. Sterilisation of Biomaterials and Medical Devices* [online]. Elsevier, 2012, s. 151 [cit. 2014-11-29]. DOI: 10.1533/9780857096265.151.
- [15] ROGERS, W.J. *Steam and dry heat sterilization of biomaterials and medical devices. Sterilisation of Biomaterials and Medical Devices* [online]. Elsevier, 2012, s. 20 [cit. 2014-11-29]. DOI: 10.1533/9780857096265.20.
- [16] Fakultní nemocnice Ostrava: Oddělení centrální sterilizace. [online]. [cit. 2015-01-20]. Dostupné z: <http://www.fno.cz/oddeleni-centralni-sterilizace>
- [17] MEURER, Susanne, Ernst DENNHOFER a Markus MEURER. *Základy parní sterilizace*. In: [online]. Scherex [cit. 2015-01-20]. Dostupné z: <http://www.scherex.cz/files/downloads/ZakladyParniSterilizace.pdf>
- [18] Parní sterilizátor BMT Sterident. [online]. [cit. 2015-04-05]. Dostupné z: <http://www.bmt.cz/sterident137>
- [19] Stericool Products. [online]. [cit. 2015-04-05]. Dostupné z: <http://www.stericool.com/products.html>
- [20] BBraun: Intrafix® SafeSet. [online]. [cit. 2015-04-28]. Dostupné z: <http://www.bbraun.cz/cps/rde/xchg/cw-bbraun-cs-cz/hs.xsl/products.html?id=00020741900000000266&prid=PRID00001142>

## **11. Přílohy**

Příloha na CD

Obsah CD:

- Manuál – Argus 400
- 1 sterilizace – set č. 4
- 1 sterilizace – set č. 5A
- 2 sterilizace – set č. 3A
- 2 sterilizace – set č. 6A
- 3 sterilizace – set č. 2A
- 3 sterilizace – set č. 4A
- Nepoužitý