



Bakalářská práce

Přesnost dávkování infuzních pump v závislosti na použitém infuzním setu

Studijní program:

B3944 Biomedicínská technika

Studijní obor:

Biomedicínská technika

Autor práce:

David Mareš

Vedoucí práce:

Ing. Jakub Kašpar

Fakulta zdravotnických studií

Liberec 2023



Zadání bakalářské práce

Přesnost dávkování infuzních pump v závislosti na použitém infuzním setu

<i>Jméno a příjmení:</i>	David Mareš
<i>Osobní číslo:</i>	D19000014
<i>Studijní program:</i>	B3944 Biomedicínská technika
<i>Studijní obor:</i>	Biomedicínská technika
<i>Zadávací katedra:</i>	Fakulta zdravotnických studií
<i>Akademický rok:</i>	2021/2022

Zásady pro vypracování:

Cíle:

1. Popsat základní princip infuzní pumpy
2. Popsat materiály, typy a provedení infuzních setů.
3. Pro různé rychlosti dávkování otestovat přesnost dávkování vybraných typů pump a setů
4. Definovat časový interval, pro který je vhodné používat daný infuzní set, aby bylo dosaženo maximální přesnosti dávkování
5. Získané údaje porovnat s doporučením výrobců infuzních pump a setů
6. Definovat možné nepřesnosti dávkování při nedodržení výrobcem doporučených postupů

Teoretická východiska:

Infuzní pumpa je zdravotnický prostředek, určený ke kontinuální aplikaci infuzních roztoků do těla pacienta, přičemž se může jednat o několikahodinové až několikadenní dávkování. Z tohoto důvodu se infuzní sety vyrábí z odlišných materiálů s různými vlastnostmi, od kterých se odvíjí doba použitelnosti a přesnost dávkování. Ve zdravotnickém provozu dochází často k překračování právě doby použitelnosti infuzního setu, což může mít za následek zvýšení nepřesnosti dávkování.

Cílem této bakalářské práce je ověření výrobcem udávaných přesností dávkování, spolu s doporučením pro zdravotnický personál a upozorněním na vznik možné nepřesnosti dávkování při nedodržení doporučených postupů.

Výzkumné předpoklady:

1. Předpokládáme, že reálná přesnost dávkování odpovídá výrobcem deklarované přesnosti.
2. Předpokládáme, že při krátkodobém dávkování bude nižší přesnost dávkování, než je udávaná výrobcem.
3. Předpokládáme, že při překročení doporučené doby použitelnosti setu bude nižší přesnost dávkování, než je udávaná výrobcem.
4. Předpokládáme, že rychlost dávkování má vliv na přesnost dávkování.

Metoda:

Kvantitativní

Technika práce, vyhodnocení dat:

Experiment. Získaná data budou zaznamenána do grafů a tabulek pomocí programu Microsoft Office.

Místo a čas realizace výzkumu:

Nemocnice Jablonec nad Nisou. Listopad 2021 – Leden 2022.

Vzorek:

Vybrané infuzní pumpy a sety

Rozsah práce:

Rozsah bakalářské práce činí 50-70 stran (tzn. 1/3 teoretická část, 2/3 výzkumná část)

Forma zpracování kvalifikační práce:

Tištěná a elektronická

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování práce:

Jazyk práce:

tištěná/elektronická

Čeština

Seznam odborné literatury:

1. BENEŠ, J., J. KYMPLOVÁ a F. VÍTEK. 2015. *Základy fyziky pro lékařské a zdravotnické obory: pro studium i praxi*. Praha: Grada. ISBN 978-80-247-4712-5.
2. Infusion systems – Publications – GOV.UK. *Guidance for healthcare professions on using and managing infusion systems*[online]. 2013 [cit. 2015-03-31]. Dostupné z: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/832481/Infusion_systems_2013.pdf
3. PENHAKER, Marek a Martin AUGUSTYNEK. *Zdravotnické elektrické přístroje 1*. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2013. ISBN 978-80-248-3107-7.
4. PHILLIPS, L. Dianne a Lisa A. GORSKI. *Manual of i. v. Therapeutics: Evidence-Based. Practice for Infusion Therapy*. 2014. ISBN 978-080-3638-464.
5. SVOBODA, M., M. GANGUR a K. MIČUDOVÁ. 2019. *Statistické zpracování dat*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni. ISBN 978-80-2610-883-2.
6. PENHAKER, Marek a Jan KUBÍČEK. 2014. *Snímače a senzory v biomedicíně*. Opava: Slezská univerzita v Opavě. ISBN 978-80-7248-943-5.
7. POLÁK, Martin. 2013. *Mechanika tekutin*. Praha: Česká zemědělská univerzita, Technická fakulta. ISBN 978-80-213-2365-0.
8. WOJNAR, Jiří. *Mechanika pevných látek a tekutin*. Karviná: [Jiří Wojnar], 2021. ISBN 978-80-11-00104-9.
9. *Frank's Hospital Workshop* [online]. Copyright © [cit. 27.10.2021]. Dostupné z: http://www.frankshospitalworkshop.com/equipment/documents/infusion_pumps/service_manuals/B.Braun_Infusomat_P_-_Service_manual.pdf
10. KRŠKA, Z., 2011. *Techniky a technologie v chirurgických oborech: vybrané kapitoly*. Praha: Grada, 264 s. ISBN 978-80-247-3815-4.
11. MISAŘ, P. Infuzní sety a příslušenství bez rizika, Braunoviny [on-line]. 3/2010, s. 31, [cit. 1. 10. 2012]. ISSN 1801-0342, Dostupné z: <http://braunoviny.bbraun.cz/starsi-cisla-v-pdf/2010/>

Vedoucí práce:

Ing. Jakub Kašpar

Fakulta zdravotnických studií

Datum zadání práce:

30. listopadu 2021

Předpokládaný termín odevzdání: 29. července 2022

L.S.

prof. MUDr. Karel Cvachovec, CSc.,

MBA

děkan

Rozhodnutí o žádosti studenta

Jiný typ žádosti, uveďte se cílem žádosti ručně

Jméno a příjmení: **David Mareš**

Osobní číslo: **D19000014**

Datum podání žádosti **28.07.2022**

Rozhodnutí děkana ze dne 17.08.2022 :

VYHOVĚL

Odůvodnění

Poučení

Rozhodnutí nemá odvolání.

Rozhodnutí rektora ze dne

NEUVEDENO

Odůvodnění:

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Jsem si vědom toho, 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 nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

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

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má bakalářská práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědom následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

Poděkování

V rámci této bakalářské práce bych rád poděkoval panu Ing. Jakobovi Kašparovi za cenné rady, trpělivost, ochotu při prováděném měření, odborný dohled a čas věnovaný konzultacím při tvorbě bakalářské práce. Rád bych také poděkoval svým nejbližším a rodině za podporu během studia a psaní bakalářské práce.

Anotace

Autor: David Mareš

Instituce: Technická univerzita v Liberci, Fakulta zdravotnických studií

Název práce: Přesnost dávkování infuzních pump v závislosti na použitém infuzním setu

Vedoucí práce: Ing. Jakub Kašpar

Počet stran: 81

Počet příloh: 12

Rok obhajoby: 2023

Anotace: Infuzní pumpa je zdravotnický přístroj, který se používá k přesnému nadávkování požadovaného objemu infuzního roztoku, léčiva nebo výživy pacientovi. Může se jednat o hodinové až několikadenní dávkování. Z toho důvodu se infuzní sety vyrábějí z různých typů materiálů s odlišnými vlastnostmi, od kterých se dále odvíjí doba použitelnosti a přesnost dávkování. Právě přesnost je v takovémto odvětví léčby velmi důležitou vlastností. Nesmí, nebo by minimálně nemělo docházet k jakýmkoliv odchylkám. Odchylky při dávkování může způsobit mnoho faktorů. Mezi hlavní faktory patří materiály, ze kterých jsou infuzní sety vyrobeny a doba, po kterou jsou infuzní sety používány v infuzní pumpě při dávkování. Práce je určena k popisu a porovnání rozdílů mezi údaji danými výrobcem s údaji danými infuzními pumpami získané v reálném čase během testovacího měření a zjištění, jak velký vliv bude mít degradace různých materiálů na výsledné přesnosti dávkování. Celé vyhodnocení bude popsáno slovy a schematicky pomocí grafů. Závěrem celé práce je přesně definovaný časový interval pro každou infuzní pumpu, během kterého bude nejvhodnější použití infuzní pumpy s daným infuzním setem, a doporučení pro zdravotnický personál s upozorněním na vznik možných nepřesností dávkování při nedodržení doporučených postupů.

Anotation

Author: David Mareš

Institution: Technical University of Liberec, fakulty of Medical Studies

Title: Accuracy of infusion pump dosing depending on used infusion set

Supervisor: Ing. Jakub Kašpar

Pages: 81

Apendix: 12

Year: 2023

Anotation: An infusion pump is a medical device that is used to accurately deliver the required volume of infusion solution, medicines or nutrients to the patient. This may be an hourly to multiple dose. For this reason, infusion sets are made from different types of materials with different properties, from which the shelf life and accuracy of dosing are further derived. Accuracy is a very important characteristic in this type of treatment. There must be, or at least should be, no deviations of any kind. Deviations in dosage, can cause a lot of factors. The main factors include the materials from which the infusion sets are made and the length of time the infusion sets are based in the infusion pump during dosing. The work is designed to describe and compare the differences between the manufacturers' data with the real-time data of the infusion pumps during the test measurement, and to see how much the degradation of different materials will affect the resulting accuracy. The full evaluation will be described in words and schematically using graphs. The conclusion of the entire work is a precisely defined time interval for each infusion pump, during which the use of the infusion pump with the given infusion set will be most appropriate, and recommendations for healthcare professionals warning of potential dosing inaccuracies in the absence of the recommended procedures.

Obsah

Seznam použitých zkratk	6
1. Úvod	7
2. Teoretická část	8
2.1 Infuzní pumpa	8
2.1.1. Základní vlastnosti infuzní pumpy	8
2.1.2. Princip infuzní pumpy	9
2.1.3. Kapkový senzor	14
2.1.4. Vzduchový detektor	15
2.1.5. Tlakový senzor	17
2.1.6. Typy použitých motorů v infuzních pumpách	19
2.2 Infuzní sety	20
2.2.1. Základní vlastnosti infuzních setů	20
2.2.2. Materiálové složení infuzních setů	21
2.2.3. PVC infuzní sety	22
2.2.4. Infuzní sety pro gravitační infuzi	23
2.2.5. Problematika užívání změkčovadel	23
2.2.6. Fyzikální vlivy působící na infuzní set	24
3. Výzkumná část	27
3.1. Základní přehled infuzních pump použitých při měření	27
3.2. Cíle práce	29
3.3. Metodika práce	29
3.4. Parametry užitých infuzních pump	30
3.4.1. Infusomat P	30
3.4.2. Argus 707	30
3.4.3. Infusomat Fms	31

3.4.4. Fresenius Agilia VP	31
3.5 Parametry užitých infuzních setů	31
3.5.1. Infusomat SafeSet	31
3.5.2. Infusomat Space Line	31
3.5.3. Volumat line VL ST00	32
3.5.4. Margomed TYP IS	32
3.6. Analýza naměřených dat	32
3.6.1. Infusomat P	34
3.6.2. Argus 707	37
3.6.3. Infusomat Fms.....	40
3.6.4. Fresenius Agilia VP	42
3.6.5. Infusomat P s infuzním setem určeným pro gravitační infuzi	44
3.7. Analýza cílů a předpokladů	45
3.7.1. Infusomat P	45
3.7.2 Argus 707	45
3.7.3. Infusomat Fms.....	46
3.7.4. Fresenius Agilia	47
3.7.5. Infusomat P s infuzním setem určeným pro gravitační infuzi	48
3.7.6. Intervaly přesností pro každou infuzní pumpu	49
4. Diskuze.....	53
5. Závěr	56
Seznam použité literatury	59
Seznam příloh.....	61

Seznam použitých zkratek

PVC	Polyvinylchlorid
DEHP	Bis(2-ethylhexyl) - ftalát
LED	Light-Emitting diode, Elektroluminiscenční dioda
PE	Polyethylen
ARO	Anesteziologicko-resuscitační oddělení
JIP	Jednotka intenzivní péče
PA	Polyamid
PE	Polyethylen
NaCl	Chlorid sodný (fyziologický roztok)
ml/h	mililitr za hodinu
hod	hodina
cm	centimetr

1. Úvod

Infuzní pumpa je přístroj sloužící k přesnému nadávkování potřebného objemu infuzního roztoku, léků nebo živin do cévního řečiště. Důležitou vlastností při dávkování je přesnost. Nesmí totiž docházet k větším výkyvům v následně nadávkovaném objemu. To může ovlivnit mnoho faktorů. Mezi hlavní faktory lze zahrnout především dobu použití infuzních setů a použití správného druhu setu. Dalšími ovlivňujícími faktory mohou být například materiály, ze kterých jsou infuzní sety vyrobeny a následné fyzikální vlastnosti těchto materiálů. Důležitou roli zde hrají také konstrukční vlastnosti infuzních pump. Jelikož pumpy užívají různý princip dopravy infuzního roztoku, liší se také jejich nastavení. To souvisí s následnou obsluhou přístroje. Ovšem i přesto je nejdůležitější, jaký infuzní set je zakládán, jak dlouho je set založen a po jakou dobu pumpa dávákuje.

Cílem této bakalářské práce je najít nejlepší časový interval, na užívání vybraných typů infuzních setů pro infuzní pumpy, které jsou určeny pro krátkodobé a dlouhodobé podávání infuzí, léků nebo živin do těla pacienta, při kterém je dávkování nejpřesnější, a nedochází tudíž k větším výkyvům nadávkovaného objemu. Mezi použité infuzní sety spadají sety z PVC a PVC sety se silikonovým segmentem. Práce má popsat a porovnat rozdíly mezi přesností, kterou udává výrobce, a přesností, se kterou infuzní pumpy reálně dávkuje.

Závěrem celého porovnání je přesně definovaný časový interval, pro každou infuzní pumpu, během kterého bude nejvhodnější užití právě každé z vybraných pump v návaznosti na užitý infuzní set, aby nedocházelo k většímu rozdílu v dávkování, a přesnost zůstala stále co nejvyšší. Celé porovnání bude popsáno slovy i schematicky za pomoci grafů.

Nejdůležitějším přínosem této práce je analýza naměřených hodnot a následně definovaný časový interval, který bude sloužit obsluze infuzních pump. Jedná se tudíž o praktické otestování informací, které udává výrobce.

2. Teoretická část

2.1 Infuzní pumpa

2.1.1. Základní vlastnosti infuzní pumpy

Infuzní pumpa je zdravotnický prostředek sloužící k regulaci průtoků kapalin do cévního řečiště pacienta. Hlavním účelem při užívání infuzní pumpy je přesné a bezpečné dávkování léčiv, krve nebo parentální výživy za pomoci infuzního setu. Mezi základní funkce infuzní pumpy patří nastavitelná rychlost průtoku kapaliny, přesné ukázání celkového podaného objemu kapaliny a také možnost změny rychlosti při podávání infuze bez přerušení celkové infuze a podávání bolusu. Může se jednat o akutní nebo definovaný objem, který se má vybolusovat. Součástí každé infuzní pumpy je akustická a optická signalizace, nejčastěji vytvořená pomocí LED kontrolky a jednoduchých symbolů na displeji. To upozorní obsluhu a ošetřující personál pacienta vždy, když dojde k problému s odkapáváním kapek v kapkové komůrce, když se objeví vzduchová bublina v setu nebo pokud se zvýší tlak. Ten se může zvýšit například z důvodu neprůchodnosti podávaného roztoku. Ať už v infuzním setu nebo v patientském portu. Infuzní pumpa dokáže i sama vypočítat správnou rychlost infuze pro danou kapalinu v jednotkách ml/hod. Má široké využití na mnoha odděleních lékařských zařízení. Nejčastěji se nachází u pacientů na oddělení ARO, JIP, operačních sálech či ve vozech rychlé záchranné pomoci. [2][13][15]

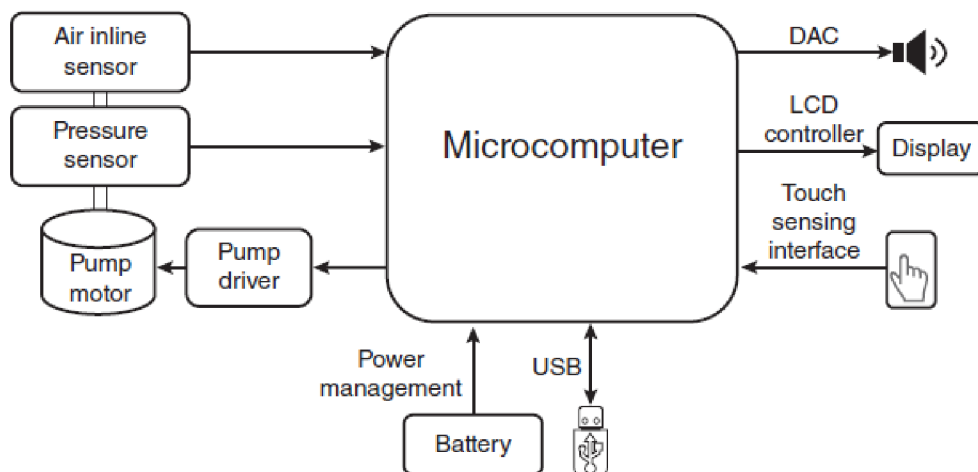
Infuzní pumpa se nejčastěji skládá z membránového pohonu, detektoru bublin, senzoru okluzního tlaku, detektoru kapek a záložního zdroje napětí. Alarmy se následně dělí na alarmy kapkové, vzduchové, tlakové, otevřená dvířka, akumulátorové a pohotovostní režimy. Všechny součástky jsou při jejich výrobě a následné instalaci pečlivě kalibrovány či kontrolovány a tím zaručují chod pumpy bez jakýchkoliv problémů. [13][15]

2.1.2. Princip infuzní pumpy

Všechny infuzní komplety se vždy skládají ze tří částí. První částí je zásobník tekutiny. Ve všech případech se jedná o vak či plastovou nebo skleněnou lahev s léčivem. Druhou částí je systém hadiček a kanálů – infuzní set, sloužící pro přenos tekutin do těla pacienta. Poslední částí je samotná infuzní pumpa, která má v sobě zabudované elektrické i mechanické součástky, které mají za úkol regulovat průtok tekutiny. Jedna z nejdůležitějších mechanických součástí je motor, který zajišťuje hnací sílu potřebnou k pohybu kapaliny v setu. Pohyb, který pohybuje kapalinou se nazývá peristaltický. Peristaltický pohyb je rytmický pohyb stěn některých dutých orgánů, který slouží k pohybu obsahu jedním směrem. Takový mechanismus vpravuje kapalinu do žíly pacienta pod tlakem. Vedlejšími elektromechanickými součástkami jsou například vzduchový a kapkový senzor, které slouží pro hlášení nekorektních stavů při podávání infuze pacientovi. Všechny tyto části jsou mezi sebou propojeny softwarovým systémem, který vyhodnocuje data, potřebná ke správnému a přesnému nadávkování předem daného a později nastaveného objemu. Účelem je, aby obsluha pumpy byla schopna regulovat rychlost a objem tekutiny podávané pacientovi. [6][13]

Dalším komponentem, které se na pumpě nachází, jsou alarmy. Ty jsou jak akustické, tak i vizuální. Alarmy jsou vždy aktivovány, pokud jsou nalezeny potencionálně nebezpečné anomálie. Jedná se například o vzduchové bubliny v hadičce setu, nepravidelnost kapání v odkapávací komůrce, zda dojde k vyprázdnění zásobníku (vak, lahev) s tekutinou nebo pokud dojde k poruše vlastní infuzní pumpy. Všechny tyto bezpečnostní prvky mají tedy za úkol včas informovat obsluhu zdravotnického přístroje a tím zajistit včasnou ochranu proti nepříznivými událostmi.[13]

Jak již bylo zmíněno, celý komplet obsahuje vak s tekutinou (případně lahev). Ten je z pravidla umístěn mnohem výše, než se nachází pumpa a pacient. Je tak učiněno, kvůli snazšímu chodu a pohybu tekutiny, kvůli hydrostatickému tlaku. Pokud by byla pumpa umístěna výše než vak, mohlo by docházet ke zpětnému pohybu kapaliny v setu.

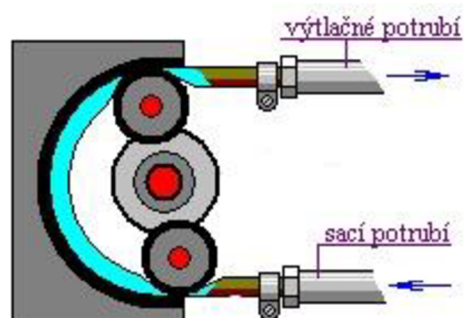


Obr. 1 Blokové schéma volumetrické infuzní pumpy [9]

Na blokovém schématu je patrné, z jakých komponentů se celý systém infuzní pumpy skládá. Během chodu mikrokontroler přijímá od motoru a od všech detektorů a senzorů signály, které se vyhodnocují a upravují tak, aby výstupní parametry souhlasily se vstupními parametry navolené personálem. Mikrokontroler využívá AD a DA převodníky na převod signálu z analogické do digitální oblasti a naopak. Ten následně ovlivňuje regulaci proudu, tak aby byl zacílen výsledný proud k pohonu motoru a docházelo opět k navození požadovaných hodnot. Jsou zde také velmi důležité zesilovače, jelikož vstupní signály mají nízkou amplitudu. Ze schématu lze vyčíst, že je možné i přidání externího zařízení pro vložení nebo stažení dat. Dají se takto nahrát například nastavení pumpy nebo knihovnu léčiv pacienta. Což je výhodou zejména pro obsluhu, která nemusí pumpu v takovou chvíli nijak sami nastavovat. V druhé řadě se jedná o výhodu časovou, jelikož se nemusí vše ručně nastavovat. V neposlední řadě je vidět, že je pumpa napájena baterií. Lze ji však mít zapojenou přímo do sítě. [10][12][13]

2.1.2.1 Peristaltické čerpadlo

Princip peristaltického čerpadla je založen na střídavém stlačení a uvolnění hadičky s kapalinou. Okluzní válečky přitlačí vždy hadičku s kapalinou k tělesu čerpadla. Hadička je vedena po kruhové dráze. Tím, jak se hadička přitlačí na těleso vznikne uzavřený objem kapaliny. Jakmile rotor čerpadla posune tento uzavřený objem v určité délce hadičky, začne se kapalina posouvat požadovaným směrem v hadičce, která vede například do pacienta. Na přívodní straně se uvolní vnější tlak působící na hadičku a tím vznikne podtlak, který opět nasaje kapalinu z infuzní lahve nebo vaku. Vždy po jednom otočení se hadice vrátí zpět do původního stavu. Tento cyklus je za pomoci rotoru periodicky opakován, čímž dochází ke konstantnímu protékání kapaliny hadičkou. Princip lze vidět na Obr. 2. [3][13][14]



Obr. 2 Peristaltické čerpadlo [7]

Výhodou je široký interval rychlosti, které může obsluha nastavit a také těsnost, která vzniká díky kontaktu kapaliny pouze s hadičkou. Nevýhodou je naopak nelineární průběh tlaku a tím pulsující proud kapaliny. Ten se projeví při výstupu z válečku rotoru a při nízkých průtocích. Hraje zde svou podstatnou roli i mechanická degradace hadičky, která způsobuje časovou omezenost, po kterou je nejvhodnější užití infuzního setu. [3][14]

Velikost průtoku lze spočítat z této rovnice, pokud jsou známy veličiny jako je objem kapaliny a počet otáček čerpadla v infuzní pumpě.

$$Q = V \cdot n$$

Rovnice 1. Výpočet velikosti průtoku [18]

Za veličinu V se v tomto případě dosazuje rovnice:

$$V = D \cdot S$$

Rovnice 2. Výpočet objemu kapaliny [18]

Za veličinu S se dosazuje rovnice:

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$$

Rovnice 3. Výpočet vnitřního průřezu infuzní hadičky [18]

Po dosazení do první rovnice dostaneme výsledný vztah, pro výpočet velikosti průtoku:

$$Q = \frac{D \cdot \pi \cdot d^2 \cdot n}{4}$$

Rovnice 4. Výsledná rovnice výpočtu velikosti průtoku [18]

- Q – průtok kapaliny [ml/min]
- V – objem kapaliny [ml]
- n – počet otáček čerpadla
- D – vzdálenost mezi dvěma okluzními válečky v čerpadle [mm]
- S – vnitřní průřez infuzní hadičky [mm²]
- d – vnitřní průměr infuzní hadičky [mm]

Z Rovnice 4. lze následně také spočítat rychlost proudění.

$$v = \frac{Q}{S}$$

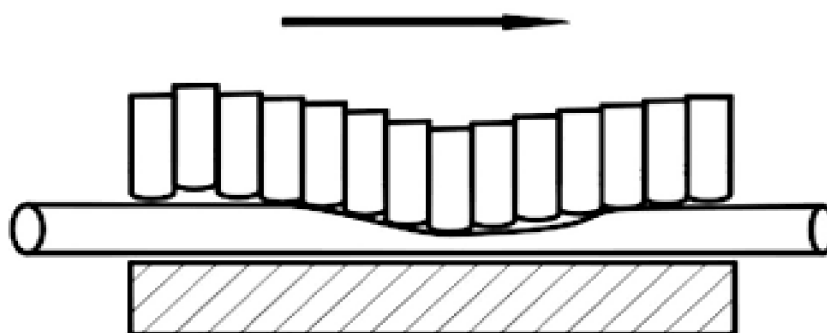
Rovnice 5. Výpočet rychlosti proudění [18]

- v – průtok kapaliny [ml/min]
- Q – objem kapaliny [ml/min]
- S – vnitřní průřez hadičky [mm²]

2.1.2.2 Lineární peristaltické čerpadlo

Lineární peristaltické čerpadlo je složeno ze soustavy posuvných paralelních lamel. Ty jsou zasouvány a vysouvány pomocí systému, který je řízen elektromotorem. Ten totiž

otáčí s vačkovou hřídelí, u které je uložena sada lamel. Hřídel svým točivým pohybem způsobí, že se sada lamel začne pohybovat lineárně a jednotlivé lamely se vysouvají a zasouvají. Takovýto pohyb zajišťuje posun kapaliny v hadičce. Tímto způsobem dochází stejně jako u peristaltického čerpadla k uzavřenému objemu. Objem je primárně závislí na velikosti průměru infuzního setu. Rychlost průtoku kapaliny se u tohoto typu čerpadla dá regulovat za pomoci otáček motoru, díky kterému se reguluje rychlost zasouvání a vysouvání lamelové sady. Princip lineárního peristaltického čerpadla lze vidět na Obr. 3. [4][12][14]



Obr. 3 Princip lineárního peristaltického čerpadla [4]

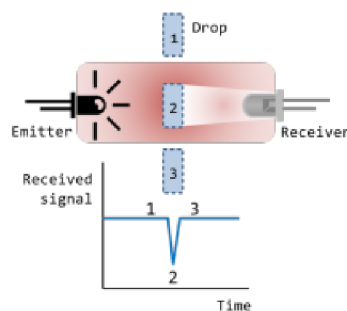
Dnes se setkáváme s lamelovými pumpami sekvenčního typu. Princip čerpadla je téměř stejný jako předchozí. Vše zůstává stejné jen pohyb lamel je změněn ze sinusového pohybu na pohyb sekvenční. To lze vysvětlit tak, že se v čerpadle nacházejí dva páry uzavíratelných širokých lamel a jeden pár úzkých uzavíratelných lamel. Užší, nebo také krajní lamely, se vykonávají funkci zaškrcování. Široké lamely mají funkci výtlačovou. U takového čerpadla tudíž nedochází k úplnému stlačení hadičky, ale pouze k částečnému sevření. V praxi to znamená, že hadička není tolik mechanicky zatěžována a k degradaci dochází mnohem později, což zvyšuje životnost infuzního setu. Takovéto čerpadlo je přesnější než předchozí typy. Přesnost takového čerpadla se pohybuje v rozmezí $\pm 3\%$. Jiné typy čerpadel mají přesnost $\pm 5\%$. [4][14]

Důležitou výhodou je zde přesnější dávkování objemu kapaliny. Nevýhodou je postupná degradace mechanických vlastností hadičky. Tím dochází následně k narušení přesnosti průtoku. Je zde ovšem jednodušší vkládání setu do pumpy a snadnější užití sensorů. Užití sensorů se v tomto případě myslím ve smyslu snadného nasazení a jednoduché manipulace. Snadnější užití v tom smyslu, že v každé infuzní pumpě se nachází

vzduchový a kapkový senzor. U kapkového senzoru je užití vyřešeno tak, že na baňce setu je vytvořeno místo, kde se senzor připevňuje a snímá kapky daného roztoku. Tento senzor se nachází mimo hlavní konstrukci pumpy. Naopak vzduchový senzor, je umístěn vždy až za čerpadlem. Je tak učiněno proto, že snímá, zda se v setu nacházejí vzduchové bublinky. Pod kontrolou těchto senzorů je zajištěna kontrola správně nadávkovaného objemu a také zda se v setu nachází vzduchové bublinky. Všechny informace jsou zobrazeny na displeji pumpy. Pokud detektory zaznamenají anomálii, je dávkování pozastaveno a obsluha je ihned informována vizuálním i akustickým signálem o závadě při podávání léčiva pacientovi. [10][13][14]

2.1.3. Kapkový senzor

Kapkový senzor je umístěn na odkapávací komůrce, která je na každém infuzním setu. Senzor se skládá z řady LED diod a fototranzistorů. Fototranzistor je polovodičová součástka využívající fotoelektrický jev. Dopadající světlo z LED diod způsobuje otevření průchodu mezi bází a emitorem. Fototranzistor se následně otevře a prochází jím proud. Tím generuje signál pokaždé, když zónou snímání projde kapka, jelikož je světelný tok přerušen. Signál je veden přes zesilovače do mikrokontroleru, kde je vyhodnocen. Tento signál slouží k napočítání počtu kapek a poskytování zpětné vazby toku pro automatické nastavení rychlosti dávkování. Také je to důležité pro finální zjištění celkově nadávkovaného objemu. Pokud se stane, že by v prostoru pro měření nepadla kapka po delší dobu nebo vůbec, je dávkování pozastaveno a obsluha je varována akustickým i vizuálním signálem. Obecně tedy kapkový senzor slouží ke kontrole průtoku a dávkování. [18]

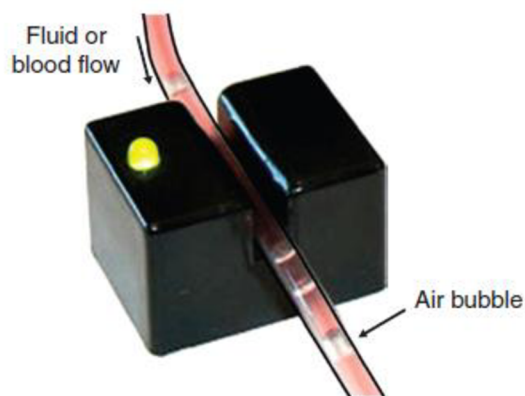


Obr. 7 Schéma kapkového senzoru [10]

Na Obr. 7 lze vidět postavení přijímače a vysílače proti sobě. Z obrázku je patrné, že pokud je padající kapka v postavení přesně mezi těmito součástkami, tak se vysílání paprsku přeruší a tím dojde k výkyvu signálu a mikrokontroler započítá propadající kapku do celkového objemu. To lze vidět na grafu Obr. 7 pod schématem.

2.1.4. Vzduchový detektor

Slouží ke sledování, zda jsou v kapalině protékající setem přítomny vzduchové bubliny. Ty jsou pro pacienta nebezpečné, a proto hraje takový detektor zásadní bezpečnostní roli, jelikož má zabránit vzniku vzduchové embolie. Bubliny vzduchu vznikají v setu, například při manipulaci a jsou přenášeny proudící kapalinou. Ke vzniku bublin může přijít například při přípravě infuzního setu a následného zakládání do infuzní pumpy. Ve chvíli zjištění vzduchové bubliny v setu, je dávkování pozastaveno a obsluha je o tomto kroku informována akustickým a vizuálním signálem. Z tohoto důvodu je důležité, aby se v celém setu nacházela kapalina. [6][13][18]



Obr. 8 Vzduchový detektor se světelným zdrojem a fotodetektořem [10]

Vzduchové detektory mohou být založeny na různých fyzikálních principech. Tím nejjednodušším a nejpoužívanějším principem je použití světelného zdroje a fotodetektoru. Světelný zdroj a fotodetektor jsou umístěny naproti sobě. Mezi nimi je prostor pro infuzní set, kterým protéká kapalina. Světelný zdroj vysílá paprsek světla, který přijímá a snímá fotodetektor. Tudíž je varovný signál spuštěn v tom případě, když je v setu vzduchová bublina, která přeruší paprsek světla. Konkrétně se tedy změní intenzita dopadajícího světla. Tato metoda je schopna zaznamenat bubliny o průměru 1 mm a větší. Využívají se i jiné metody. Například kapacitní a ultrazvuková metoda.

kapacitní metoda je založena na principu změny kapacity mezi dvěma deskami kondenzátoru, které jsou umístěny naproti sobě. Kapaliny mají vyšší dielektrickou hodnotu, než má plyn. Z toho vyplývá, že pokud v setu bude vzduchová bublina, kapacita se v tu chvíli sníží a výstupní napětí se zvýší. V tu chvíli dojde k pozastavení dávkování. Určitou výhodou je, že taková metoda je přesná, a hlavně je schopna detekovat i mikrobublinky. [12][18]

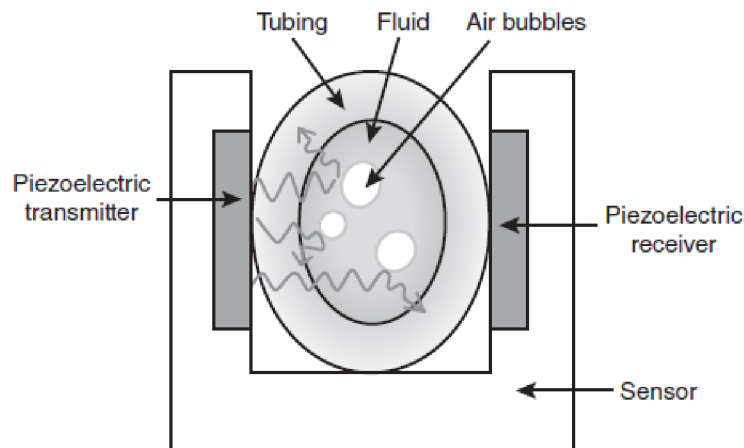
$$C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_r S}{d}$$

Rovnice 5. Výpočet kapacity [5]

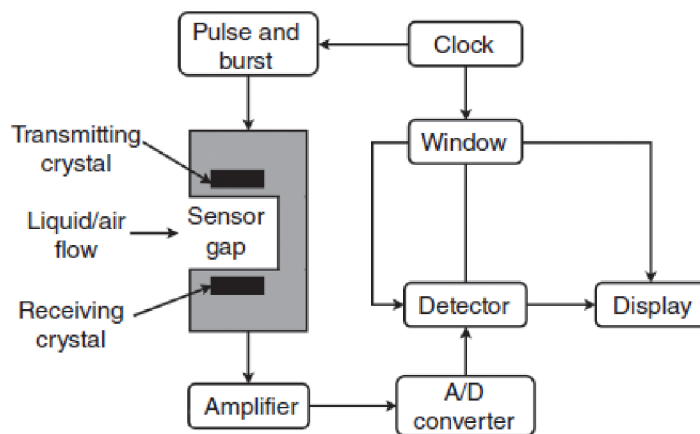
- ε_0 – relativní permitivita vakua ($8,854 \cdot 10^{-12} \text{ Fm}^{-1}$)
- ε_r – relativní permitivita vybraných látek (voda – $80,4 \text{ Fm}^{-1}$, vzduch – $1,00054 \text{ Fm}^{-1}$)
- S – plocha elektrod [m^2]
- d – vzdálenost mezi plochami [m]

Ultrazvuková metoda je založena na měření doby střídavě přenášených a následně přijímaných ultrazvukových vln. Čidlo je založeno na nekontaktní detekci bublin skrz stěnu hadičky. Princip je takový, že senzor se skládá ze dvou piezoelektrických ultrazvukových snímačů. Jeden z nich má funkci vysílací (aktivní) a ten druhý přijímací (pasivní). Vysílací snímač přeměňuje elektrickou energii na ultrazvukovou. Vytváří vysokofrekvenční ultrazvukové vlny. Tyto vlny putují po stěně senzoru, který je v kontaktu s hadičkou, kterou proudí kapalina. Vlna následně prochází skrz hadičku s kapalinou a je přijata pasivním snímačem. Ten převede ultrazvukovou energii zpět na elektrickou. Detekce bublin je tedy založen na velkém akustickém impedančním rozdílu. V případě zaznamenání bubliny vzduchu, dojde k vychýlení. Takové vychýlení mezi vzduchem a kapalinou vytváří akustické zrcadlo, které odrazí vlnu zpět ve směru vysílače. Regulátor konstantně měří intenzitu ultrazvukových vln. Pokud je tato intenzita nižší než práh, detekuje bublinu. Je to kvůli tomu, že energie vlny nedosáhne až k přijímacímu senzoru, čímž se začne indikovat bublina. Ultrazvuk se u takovéto metody používá jako přenosový signál, který se skládá z krátkých pulsů ultrazvukové energie. Takové pulsy vytváří právě zmíněný signál, který je zpětně analyzován v časovém intervalu. Časový interval odpovídá době, po kterou procházejí vlny hadičkou. Signál je přerušen ve chvíli,

kdy je v průchodu bublina vzduchu. Nevýhodou je zde, že vlny nejsou schopny detekovat bubliny o velmi malém průměru, ani detekovat jednotlivé bubliny, pokud jsou blízko u sebe. Tyto problémy jsou řešeny tak, že se hadička zakládá do kanálu senzoru, který hadici stlačí do čtvercového tvaru. Tím se minimalizují slepá místa. Takovéto ultrazvukové vlny jsou nejpoužívanější metodou užívanou ve vzduchových detektorech právě na již zmíněných infuzních pumpách. [2][18]



Obr. 9 Ultrazvukový detektor vzduchových bublin [10]



Obr. 10 Blokový diagram ultrazvukového detektoru vzduchových bublin [10]

2.1.5. Tlakový senzor

Základním prvkem u tlakového senzoru je pružná membrána, která funguje jako hranice mezi siloměrem a hadičkou s kapalinou, uvnitř které se měří tlak. Senzor je součástí polovodičového čipu. Na membráně následně jsou umístěny polovodičové tenzometry. Tenzometry jsou součástky k měření mechanického napětí na povrchu hadice,

prostřednictvím její deformace. Skládá se z tenkého drátu nebo z tenké fólie vyrobené z elektricky vodivého materiálu. Tenzometr využívá závislost deformace tuhého tělesa od mechanického napětí. Pro příklad u infuzních pump od výrobce Braun je tlak přenášen skrz osu na jádro cívky, který se následně v cívce pohybuje a mění se tím indukčnost [18]

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

Rovnice 6. Hookův zákon [20]

- ε – relativní prodloužení
- σ – normálové mechanické napětí [Pa]
- E – modul pružnosti materiálu [N/mm²]

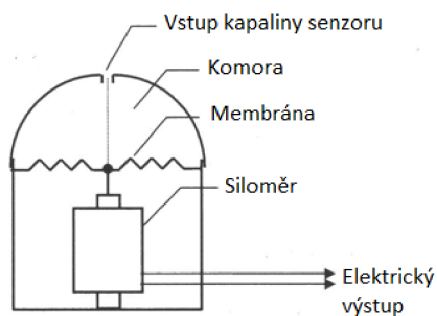
V principu využívá Hookův zákon. Dále se řeší elektrický odpor materiálu, který je použit v drátu senzoru.

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

Rovnice 7. Elektrický odpor materiálu v tenzometru [1]

- R – elektrický odpor [Ω]
- ρ – měrný elektrický odpor materiálu [$\Omega \cdot m$]
- l – délka vodiče [m]
- S – průřez vodiče [m²]

Z toho vyplývá, že nasnímaná velikost napětí se odvíjí od velikosti tlaku uvnitř hadice. Je patrné, že napětí na povrchu a tlak uvnitř hadice jsou navzájem přímo úměrné. Při měření je však důležité, aby teplota okolí byla konstantní. Pokud se teplota mění v průběhu měření, dochází k relativní chybě měření. Konstantní teplota v řádu jednotek je však zajištěna teplotou kapaliny, která proudí hadicí založenou v tlakovém senzoru. V čipu se nacházejí také mikro elektrické obvody, které slouží pouze na analýzu a zpracování výstupního signálu. Důležitou podmínkou měření tlaku je kontakt setu s membránou. [17]



Obr. 11 Schéma tlakového senzoru [10]

2.1.6. Typy použitých motorů v infuzních pumpách

K řízení infuzních pump se používají stejnosměrné nebo krokové motory. Ty zajišťují hnací sílu kapaliny, která se nachází v hadičce v čerpadle. Stejnosměrný motor se převážně používá v injekčních čerpadlech a ten krokový naopak u infuzních pump. Oba typy jsou tvořeny dvěma hlavními částmi. Rotorem (pohyblivá část) a statorem (nepohyblivá část). [18]

Krokový motor je napájený stejnosměrným proudem. Vytváří magnetické pole, které se vytváří vždy napájením pólových dvojic. Pohyblivá část motoru, se pohybuje v krocích vždy v určitém úhlu. Počet kroků, je dán počtem pólových dvojic. (například 4 pólové dvojice = 4 kroky). Tento motor je ovládán speciálním elektrickým obvodem, který generuje impulsy o určité velikosti a délce. Rozdílem oproti stejnosměrnému motoru je tedy v pohybu. Zde se rotor otáčí vždy po zmíněných krocích a u stejnosměrného motoru se rotor točí stále. [17][18]

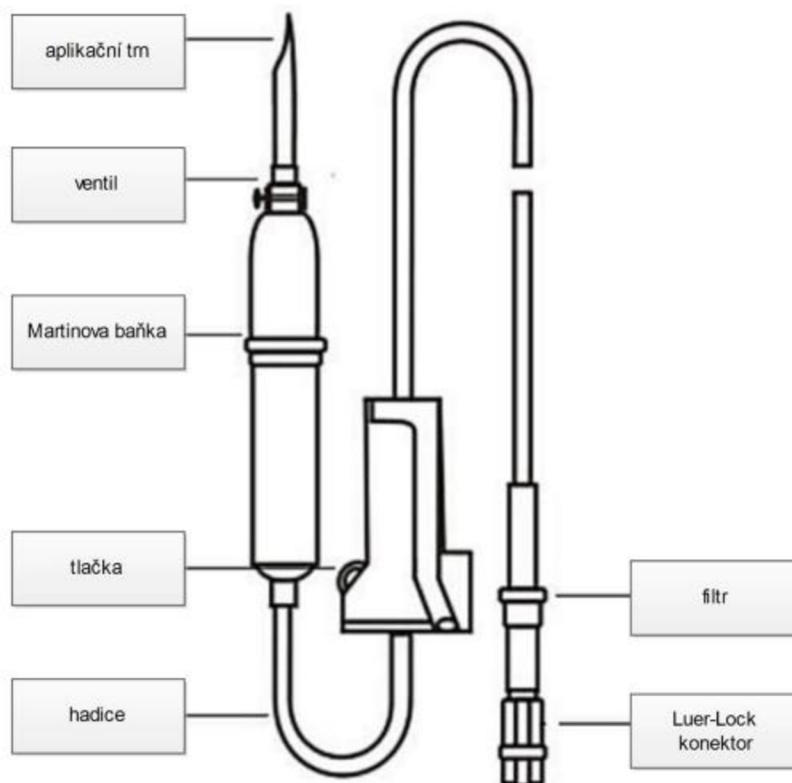
Stejnosměrný motor je také napájen stejnosměrným proudem. U tohoto typu se zde nachází komutátor. Ten mechanicky přepíná polaritu v cívkách. Principem je tedy, že rotor se otáčí, díky stálému měnění polarity cívek, kdy stejné póly se odpuzují a opačné naopak přitahují. Tím vzniká točivý moment. Čím rychleji komutátor otáčí polarity, tím rychleji se otáčí rotor. Pokud by nedošlo k přepólování komutátorem, rotor by se zastavil.

2.2 Infuzní sety

2.2.1. Základní vlastnosti infuzních setů

Nedílnou součástí při užití infuzní techniky je kromě infuzní pumpy také infuzní set. Nejdůležitější pravidlem je použití správného infuzního setu, který je pro danou infuzní pumpu definován a schválen výrobcem. Při měření v rámci obsahu této bakalářské práce jsme užívali především dva typy infuzních setů. Jeden typ infuzního setu byl vyroben z PVC. Z PVC je u toho typu vyrobena hadička, která je zavedena v infuzní pumpě, ale byl zde také užit PE, ze kterého je vyrobena odkapávací komůrka. Druhým typem je opět skoro stejný set jako předchozí, ale nachází se zde silikonový segment, který je založen v infuzní pumpě. Ten je zde užit proto, že silikon má lepší mechanické vlastnosti, tudíž je takový set vhodný na dávkování při delším časovém intervalu. Set se skládá nejčastěji z aplikačního trnu, který se zavádí do vaku nebo lahve s roztoky. Dále se na setu nachází Martinova baňka s filtrem, hadice, tlačka, pojistný ventil, filtr a je ukončen Luer-Lok konektorem, na který se připojuje například jehla nebo katetr. [2][11][12]

- 1) Aplikační trn – silná, krátká jehla s otvorem, která se zavádí do vaku s léčivou
- 2) Ventil – má pouze odvzdušňovací funkci
- 3) Martinova baňka – průhledná baňka, ve které prokapává kapalina, která je kontrolována kapkovým senzorem, je zde zadržen i menší objem kapaliny, který brání nasátí vzduchu do setu
- 4) Tlačka – umožňuje omezit průchod kapaliny
- 5) Luer-Lok konektor – konečná část setu, na kterou lze nasadit jehlu nebo různé typy kanyl



Obr. 12 Základní části infuzního setu [4]

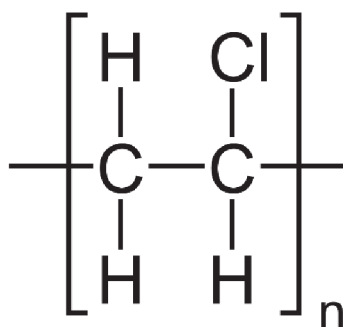
2.2.2. Materiálové složení infuzních setů

Hlavním materiálem, který je při výrobě užit je již několikrát zmíněný PVC (polyvinylchlorid). Společně s ním má hojně zastoupení i silikon, který je naopak hojně využíván pro segmenty nebo také části, které se určeny pro vklad do infuzní pumpy. Je tak učiněno z důvodu, že takovéto sety a pumpy se z principu použijí v případě, kdy je dávkování nastaveno na delší časový interval než 24 hodin. Dalším materiálem užitý při výrobě je i PE (polyethylen) a PA (polyamid). Tyto polymery charakterizuje jejich odolnost vůči chemickým činidlům a rozpouštědlům. Zaručují také vysokou pružnost a pevnost. Z PVC jsou převážně vyráběny hadičky a z PE a PA se vyrábějí kapkové komůrky a hadičky. V celém výrobním procesu je také použit DEHP (Bis(2-ethylhexyl) – ftalát). Ten má funkci změkčovadla. Takovéto změkčovadlo však podléhá vysoké míře kontroly a přísným normám, aby nedocházelo k toxickému ohrožení. [3]

2.2.3. PVC infuzní sety

PVC patří mezi takzvané termoplasty. To jsou plasty, které po zahřátí změknou a jsou pružnější a tím pádem mnohem lépe tvarovatelné. Po zchladnutí opět ztvrdnou. Lze je však zcela roztavit. PVC je plast, při jehož užívání a výrobě dochází k různým únikům toxických látek. Skládá se především z chlóru a ethenu, ale může obsahovat i určité těžké kovy, jako je například olovo. Tyto veškeré látky a jejich vlastnosti zaručují požadované vlastnosti, jako je průhlednost, zpracovatelnost, ohebnost, odolnost nebo pružnost. Jsou zde užívána také změkčovadla. Z názvu vyplývá, že se užívají především k změkčení plastu. V našem případě ke změkčení PVC. To navodí takové podmínky, že je možné je užít například při zakládání setů do pumpy, kdy je důležité, aby byl materiál ohebný, měkký, odolný vůči mechanické námaze, delší životnosti a odolnosti vůči teplotním výkyvům. Mezi ty patří nejčastěji estery kyseliny ftalové. Únik těchto látek je zřejmý při používání zdravotnických pomůcek, jako jsou v našem případě infuzní sety, a jsou již prokázány škodlivé účinky na lidský organismus. Mohou způsobit kardiovaskulární problémy, neplodnost a poškozují játra. U zdravotnických prostředků, konkrétně u infuzních pump, se PVC používá v intravenózní léčbě, parentální a enterální výživě a při podání krevních transfuzí.

PVC vzniká řetězením molekuly vinylchloridu. Ten se v řetězci opakuje mnohokrát, a proto se jedná o polymer. Vinylchlorid je složen z atomů uhlíku, vodíku a chlóru. Největší výhodou PVC je jeho cena. Ta je totiž nízká, tudíž není finančně nákladná na výrobu ani na prodej. Má také spoustu využití. Používá se například jako materiál k výrobě plášťů kabelů, potrubí atd. Aby polyvinylchlorid měl dobré mechanické vlastnosti, je zapotřebí při výrobě přidat potřebné látky. Po přidání potřebných látek má značnou chemickou, tepelnou, světelnou a biologickou odolnost, výbornou elektroinstalační odolnost, odolnost vůči ultrafialovému záření, výborná pružnost, vysoká tvrdost, vysoká pevnost a nízká propustnost pro vodní páry, kyslíku a další organické páry. Lze najít i některé nevýhody. Mezi ty lze zahrnout nízkou odolnost vůči chlorovaným rozpouštědlům, obtížné zpracování a křehkost při nižších teplotách. V poměru vychází více výhod, a to učinilo PVC jako nejpoužívanější a nejrozšířenější plast po celém světě. [3]



Obr. 13 Základní jednotka polyvinylchloridu [3]

V rámci této bakalářské práce jsou použity při měření infuzní sety vyrobené právě z polyvinylchloridu a pro vybrané pumpy byly použity sety se silikonovým segmentem. Ty jsou u takového setu užity proto, že jsou určeny pro dávkování v mnohem delším časovém intervalu. Silikon je totiž stejně jako PVC polymer, ale má takové mechanické vlastnosti, které vydrží lépe tlak od čerpadla pumpy. Jeho vlastnosti jsou podobné jako u polyvinylchloridu, avšak při výrobě je atom chloridu zastoupen atomem křemíku. To dává silikonu pružnost a menší náchylnost k degradaci při delším čase mechanického namáhání. Silikony jsou vodoodpudivé, schopné vzdorovat oleji, elektricky nevodivé, nehořlavé, odolné vůči ultrafialovému záření, tepelně a chemicky odolné. [11]

2.2.4. Infuzní sety pro gravitační infuzi

Takový typ setu je užit v infuzi, ve které se nenachází infuzní pumpa, ale pohyb kapaliny je zajištěn pouze gravitací. Jedná se o zdravotnický prostředek, který se musí po každé infuzi použít nový. Nejdůležitějším rozdílem mezi infuzním setem pro gravitační a přetlakovou infuzi je barevné rozlišení. To je potvrzeno i normou a nesmí dojít k jejich záměně, jelikož by mohlo dojít k vysoké nepřesnosti dávkování, kvůli různé tvrdosti jednotlivých setů. Gravitační set je měkčí než set pro přetlakovou infuzi.

2.2.5. Problematika užívání změkčovadel

Změkčovadel je plná řada, avšak nás nejvíce zajímají změkčovadla, která si používají při výrobě zdravotnického materiálu. Konkrétně při výrobě infuzního setu je nejvíce využívaným změkčovadlem je v tomto odvětví látka zvaná DEHP.

DEHP je zkrácený název pro di-ethylhexylftalát (Ester kyseliny ftalové). Vzhledově se jedná o olejovitou, netěkavou a bezbarvou kapalinu. Zřídka se může vyskytovat s

lehce nažloutlou barvou. Nejčastěji se využívá jako plastifikátor PVC (Změkčovadlo PVC). V měkčeném PVC tvoří změkčovadla 20-60% celkové hmotnosti. U infuzních a dialyzačních setu je to 25% hmotnosti. [19]

DEHP je klasifikován jako toxická látka. Z toho důvodu, pokud se nachází v celkovém složení, ve více než 0,5 %, musí být přípravek označen jako „jedovatý“. Většina toxických účinků je popsána na základě pokusů na zvířatech. Je zjištěno, že díky ftalátům, dochází k narušení reprodukční schopnosti a zdravý vývoj plodu. Zasahují do vývoje reprodukčních orgánů a také reprodukčních schopností mužů. Dále jsou karcinogenní (způsobují karcinom jater), teratogenní (vlastnost vnějšího faktoru, který může vyvolat u plodu vrozenou vývojovou vadu) a mají přímé toxické působení. [19]

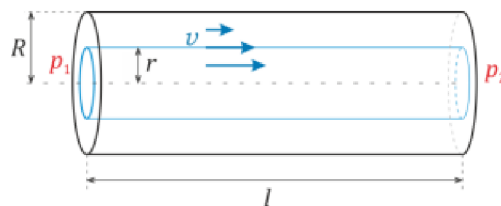
Úřad pro kontrolu potravin a léčiv povolují méně než 0,6 mg/kg/den u dospělých a méně než 0,4 mg/kg/den u dětí. Ze studií vyplývá, že při užití běžných dialyzačních setů měkčených PVC je tato dávka překročena více než desetinásobně. Z toho důvodu se začaly používat ve zdravotnictví non-DEHP sety. U těch bylo registrováno zlepšení anemie a klesla spotřeba erythropoetinu. [19]

2.2.6. Fyzikální vlivy působící na infuzní set

Během měření působí na infuzní sety fyzikální a nečekané ojedinělé jevy, které ovlivňují přesnost dávkování. Mezi fyzikální vlastnosti neboli vlivy, které ovlivňují samotné měření, můžeme zařadit druh spotřebního materiálu (PVC, silikon), průsvit spotřebního materiálu (je rozdíl, pokud je hadička setu průsvitná nebo jestli je zatmavená). Samotný průchod světla může totiž ovlivnit dávkování, jelikož pokud je hadička průsvitná, může materiál reagovat na intenzitu osvětlení. Spíše tedy než materiál, ze kterého je set vyroben je větší šance, že na průchod světla může reagovat léčivo proudící uvnitř setu. Intenzita světla může způsobit chemickou reakci. Naopak při ztmavené hadičce, může docházet k nadměrnému přehřívání, kdy materiál mění své vlastnosti, ale nadměrné teplo může také ovlivnit podávanou látku nacházející se uvnitř setu. Z toho důvodu jsou zatmavené sety spíše ojedinělost a jejich využití je hlavně na zabránění průchodu světla. Doba užití infuzního setu – měl by se striktně dodržovat časový interval daný výrobcem pro užití jednotlivých setů a nepřekračovat doporučenou dobu užití jednotlivých infuzních setů, jelikož právě po překročení dochází k nepřesnému dávkování léků, kvůli

deformaci hadičky. Dále se může jednat například o výšku, ve které je zavěšen infuzní vak a také jaká léčiva jsou podány. Jestli se jedná o onkologická, či látky nebo výživa, která proudí setem.

Při zkoumání fyzikálního principu, který se vyskytuje při měření je nutno zde také zahrnout, že tekutina, protékající setem má určitou viskozitu a hustotu. Tyto veličiny následně souvisí s třením, které vzniká okolo stěny setu. Právě u stěny hadičky je rychlost proudění nejpomalejší a směrem k ose hadice je rychlost vyšší. Dá se říci, že přesně ve středu hadičky je rychlost nejvyšší. Je třeba zahrnout i faktor, že proudění kapaliny je stacionární a laminární. Stacionární proudění je takové, při kterém se v daném místě kapaliny nemění její rychlost v závislosti na čase. Laminární proudění je, když se vrstvy tekutiny po sobě pravidelně posouvají. Zejména se jedná o malé rychlosti proudění. [18][21]



Obr. 14 Schéma proudění kapaliny v trubici [16]

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{\pi R^4}{8l\tau} (p_1 - p_2)$$

Rovnice 8. Poiseuillův zákon [8]

- τ – tečné napětí [Pa]
- R – poloměr hadice [m]
- $(p_1 - p_2)$ – rozdíl tlaků na začátku a na konci trubice [Pa]
- l – délka hadice [m]
- ΔV – změna objemu [m³]
- Δt – změna teploty [°C]

Poiseuillův zákon vyjadřuje vztah mezi průtokem kapaliny v dlouhé úzké trubici (v našem případě infuzní set), viskozitou kapaliny a poloměrem trubice. Lze z něj vyčíst, že průtok

kapaliny je nepřímo závislý na délce hadice a na viskozitě kapaliny. Dále je přímo úměrný čtvrté mocnině poloměru hadice a rozdílu tlaků na začátku a na konci hadice. Zákon, ze kterého je patrné, jaký rozdíl tlaků je potřebný, a zdali chceme, aby trubicí protekl určitý objem kapaliny za jednotku času. Z tohoto zákona vyplývá, že pokud má trubka malý průměr, špatně jí kapalina prochází a naopak, pokud má průměr větší, kapaliny protéká snadněji. [8][15][17]

Během dávkování dochází k mechanickému namáhání materiálu, ze kterého je zhotoven set. Nejčastěji se jedná o stlačování tlakem, který se vyskytuje převážně jen na čerpadle v infuzní pumpě, kdy okluzní válečky nebo lamely dosedají na set a tím způsobují pohyb kapaliny v trubicí. Tímto tlakem dojde k zúžení setu vždy na krátký čas, během kterého dochází ke stlačení setu a tím neprůchodnost kapaliny. To způsobuje, že po celou dobu infuze se stává opotřebeným. Degradace infuzního setu je závislá na čase, po kterém je set založen a využíván.[16][21]

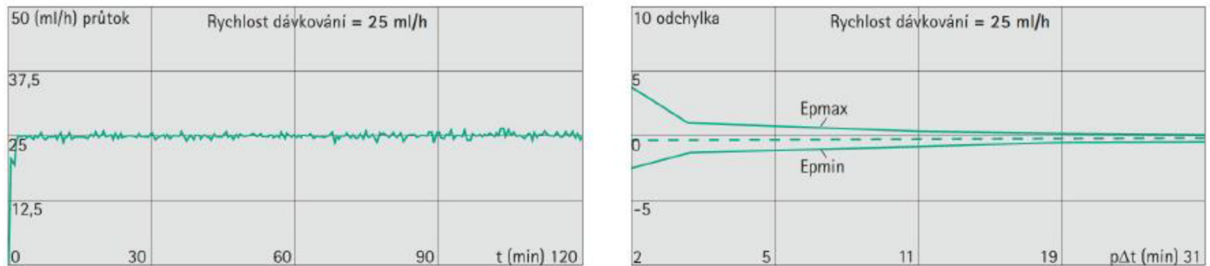
3. Výzkumná část

3.1. Základní přehled infuzních pump použitých při měření

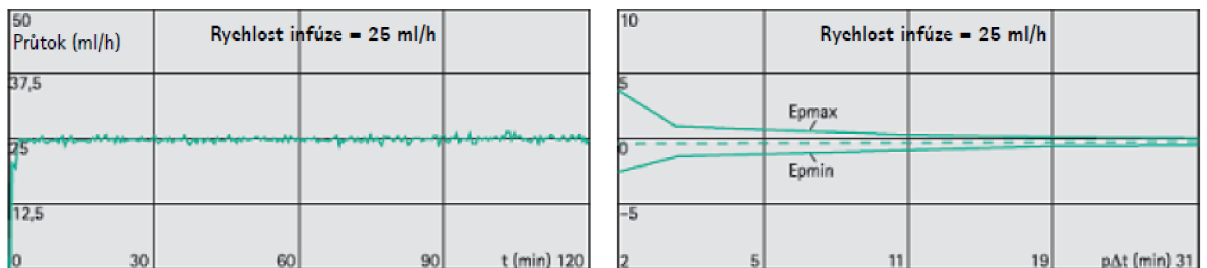
V rámci této bakalářské práce byli užity infuzní pumpy Infusomat P, Argus 707, Infusomat Fms a Fresenius Agilia VP.

Pro Infusomat P (výrobce B. Braun) byl vybrán, díky doporučení výrobce, infuzní set Intrafix SafeSet, což je PVC set. Tento infuzní set má daný časový interval použití 24 hodin. Ovšem prvních 8 hodin je výrobcem garantována přesnost dávkování $\pm 5 \%$. Po této době je výrobcem doporučeno vyměnit infuzní set. V této práci se řeší problematika, jak velká bude přesnost nebo naopak nepřesnost, po překročení právě 8 hodin používání setu. Tento set byl použit i u pumpy Argus 707. Bylo tak učiněno, jelikož výrobcem doporučený set nebyl ve chvíli měření k dispozici, ale infuzní set Intrafix SafeSet od firmy B. Braun je též výrobcem infuzní pumpy Codan Argus pro tuto pumpu schválen, a tím pádem ho bylo možno takto nahradit. Od výrobce je zaručená přesnost $\pm 5 \%$. Stejná přesnost je zaručena pro všechny infuzní pumpy užití při měření. To je zaručeno tím, že každá pumpa dávkuje konstantně. Dávkování závisí primárně na vlastnostech setů. U setu totiž může dojít k vymačkání, což způsobí, že nejdříve setem prochází větší množství kapaliny, ale po čase začne set mechanicky degradovat, což vede v určité chvíli k ustálení dávkování a odchylka měření se dostane na hodnotu 0 %. Postupem času je degradace čím dál větší a to způsobuje, že se dávkování zpomaluje. U pumpy Argus 707 a Infusomat P se předpokládá, že se dávkování začne zpomalovat po 8 hodinách. V tomto časovém úseku je dávkování nejpřesnější a později se tedy začne zpomalovat. Je proto doporučeno od výrobce po této době vyměnit infuzní set, z důvodu že není již garantována přesnost, jíž výrobce udává. Infuzní pumpa Infusomat Fms (výrobce B Braun) je definovaná pro nejpřesnější dávkování v intervalu do 96 hodin. Využívá se zde sety se silikonovým segmentem a konkrétně tedy Infusomat Space Line. Poslední infuzní pumpa, na které probíhalo měření je Fresenius Agilia VP (výrobce Fresenius Kabi). Stejně jako u předchozí pumpy je zde totožný interval zaručené přesnosti a to do 96 hodin. Infuzní set, který se zde využívá a je přesně definován od výrobce – jedná se o typ VL ST00. Platí zde stejná pravidla jako u pump určených pro kratší doby dávkování. Je dán interval do 96 hodin, kde je přesnost od výrobce zaručena

a ověřena na $\pm 5\%$. Po překročení doporučené doby se přesnost zhorší a dochází ke zpomalení dávkování. Z tohoto důvodu by se měl opět nejpozději do 96 hodin zavést nový infuzní set.

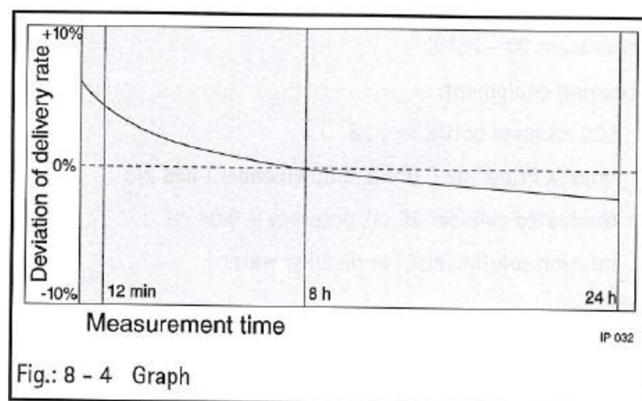


Obr. 15 Graf spuštění dávkování (vlevo) a trumpetové křivky (vpravo) Infusomat P



Obr. 16 Graf spuštění dávkování (vlevo) a trumpetové křivky (vpravo) Infusomat Fms

Oba grafy vlevo znázorňují zpoždění nástupu průtoku kapaliny při začátku infuze. Oba grafy vpravo naopak zobrazují právě tu přesnost dodání kapaliny během časového intervalu. Trumpetová křivka je složena ze dvou křivek, vrchní poukazuje na maximální chyby a spodní na minimální chyby. Mezi nimi se poté nachází lineární průměr.



Obr. 17 Graf přesnosti měření po dobu 24 hodin

Graf v Obr. 6 zobrazuje přesnost měření po dobu 24 hodin. Svislá osa ukazuje přesnost v procentech a vodorovná čas v hodinách. Na první pohled lze vidět, že se přesnost

postupem času mění. S nejvyšší odchylkou se setkávám hned po zahájení dávkování. To se projevuje zvýšeným objemem nadávkované kapaliny. Po 8 hodinách se přesnost začne snižovat až na takovou míru, kdy se objem snižuje a ve výsledném součtu je odchylka rovna 0 %. To znamená že v tomto bodě je přesnost dávkování nejvyšší. Ke konci měření je výsledný reálný objem odlišný od reálného tím, že se odchylka zmenšuje až do záporných hodnot. V praxi se to projevuje tím, že se reálný objem začne dávkovat v menším množství. Ke konci intervalu daného měření se může jednat i o desítky mililitrů.

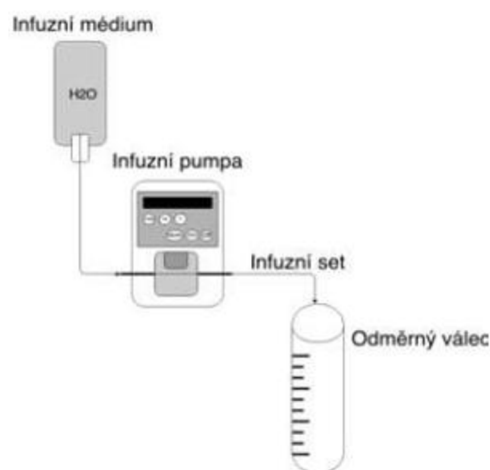
3.2. Cíle práce

Pro tuto práci byly stanoveny tyto cíle:

- Popsat základní princip infuzní pumpy
- Popsat materiály, typy a provedení infuzních setů
- Pro různé rychlosti dávkování otestovat přesnost dávkování vybraných typů pump a setů
- Definovat časový interval, pro který je vhodné používat daný infuzní set, aby bylo dosaženo maximální přesnosti
- Získané údaje porovnat s doporučením výrobců infuzních pump a setů
- Definovat možné nepřesnosti dávkování při nedodržení výrobcem doporučených postupů

3.3. Metodika práce

V rámci této bakalářské práce byly použity čtyři různé typy infuzních pump, a to Infusomat P, Argus 707, Infusomat Fms a Fresenius Agilia VP. Měření bylo rozděleno na dva páry infuzních pump. První pár byl měřen s pumpami Infusomat P a Argus 707. Druhý pár byl měřen s pumpami Infusomat Fms a Fresenius Agilia VP. Podmínky byly pro všechny pumpy naprosto totožné. Měření probíhalo v řadě sérií experimentálního měření. Konkrétně tedy pro první pár bylo měření rozděleno na pět sérií a pro druhý pár na tři série pro každou rychlost. Pro každou sadu sérií byla určena právě jiná rychlost dávkování. Pro infuzní pumpy Infusomat P a Argus 707 bylo určeny rychlosti 25, 50 a 125 ml/hod. Pro Infusomat Fms a Fresenius Agilia VP to byly rychlosti pouze 25 a 125 ml/hod.



Obr. 18 Schéma experimentálního měření [6]

V rámci experimentu byl použit fyziologický roztok NaCl (chlorid sodný).

3.4. Parametry užitých infuzních pump

3.4.1. Infusomat P

Infusomat P	
Třída (podle směrnice 93/42 EHS)	II b
Ochranná třída	II
Provozní teplota	18 ° C ... 35 ° C
Přesnost nastavení rychlosti	± 5 % s infuzním setem Intrafix SafeSet P
Rozsah rychlosti	0,1 ... 999,9 ml/hod SafeSet
Předvolba objemu	0,1 ... 9999,9 ml/hod SafeSet

3.4.2. Argus 707

Argus 707	
Třída (podle směrnice 93/42 EHS)	II b
Ochranná třída	II
Provozní teplota	5 ° C ... 40 ° C
Odchylka rychlosti dávkování	± 5 % pro rozsah rychlosti
Rozsah rychlosti	0.1–999.9 ml/h
Předvolba objemu	0.1–999.9 ml/h

3.4.3. Infusomat Fms

Infusomat Fms	
Třída	II b
Ochranná třída	II
Provozní teplota	10 °C ... 40 °C
Přesnost nastavení rychlosti	± 5 % pro rozsah rychlosti
Rozsah rychlosti	0,1 ... 999,9 ml/hod
Předvolba objemu	0,1 ... 9999,9 ml/hod

3.4.4. Fresenius Agilia VP

Fresenius Agilia VP	
Třída	II b
Ochranná třída	II
Provozní teplota	5 °C ... 40 °C
Přesnost rychlosti průtoku	± 5 % pro rozsah rychlosti
Rozsah rychlosti	0,1 ... 999,9 ml/hod
Předvolba objemu	0,1 ... 9999,9 ml/hod

3.5 Parametry užitých infuzních setů

3.5.1. Infusomat SafeSet

Infusomat SafeSet	
Typ infuzního setu	Přetlaková infuze
Materiál	PVC
Délka	180 cm

3.5.2. Infusomat Space Line

Infusomat Space Line	
Typ infuzního setu	Přetlaková infuze
Materiál	PVC, Silikon
Délka	250 cm

3.5.3. Volumat Line VL ST00

Volumat Line VL ST00	
Typ infuzního setu	Přetlaková infuze
Materiál	PVC, silikon
Délka	285 cm

3.5.4. Margomed TYP IS

Margomed TYP IS	
Typ infuzního setu	Gravitační infuze
Materiál	PVC
Délka	255 cm

3.6. Analýza naměřených dat

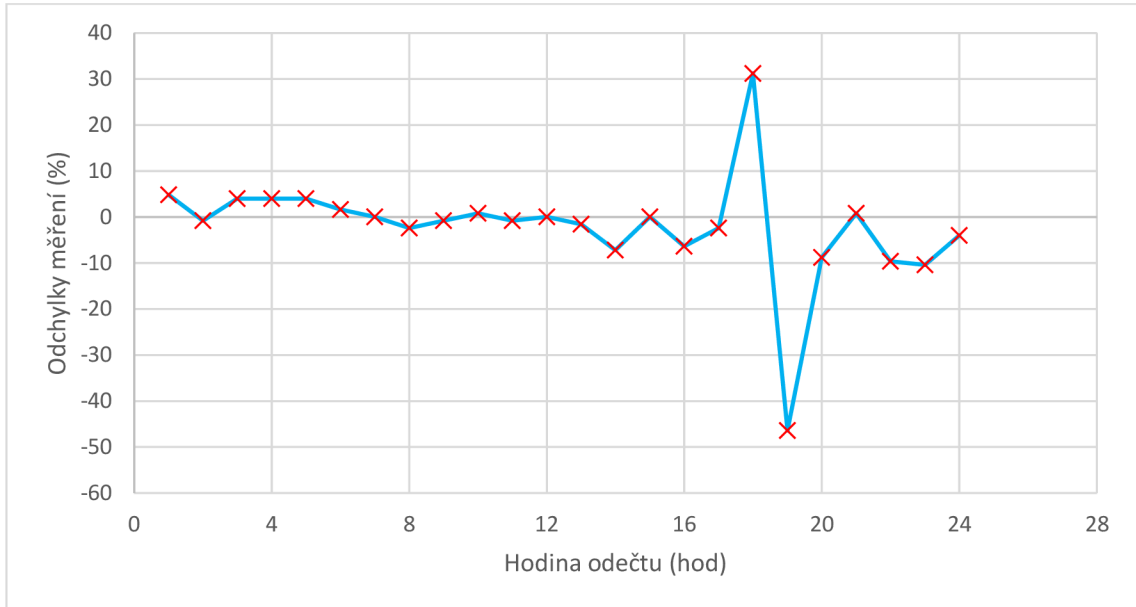
V rámci veškerého měření byl vždy použit fyziologický roztok – chlorid sodný (NaCl). Pro následnou a konečnou analýzu výsledků, byli vytvořeny intervaly odchylek, dle kterých bylo možno definovat, kdy jednotlivé pumpy dávkovali nejpřesněji a kdy naopak měly vyšší odchylky.

Intervaly odchylek	
Nejpřesnější měření 0 %	Green
Zanedbatelné odchylky 0,1 - 1,5 %	Light Green
Méně přesné 1,6 - 3,0 %	Yellow
Větší odchylky 3,1 - 5,0 %	Orange
Vyšší nepřesnost 5,1 - 10 %	Dark Orange
Nejvyšší nepřesnost 10,1 - 15 %	Red
15,1 % a více	Dark Red

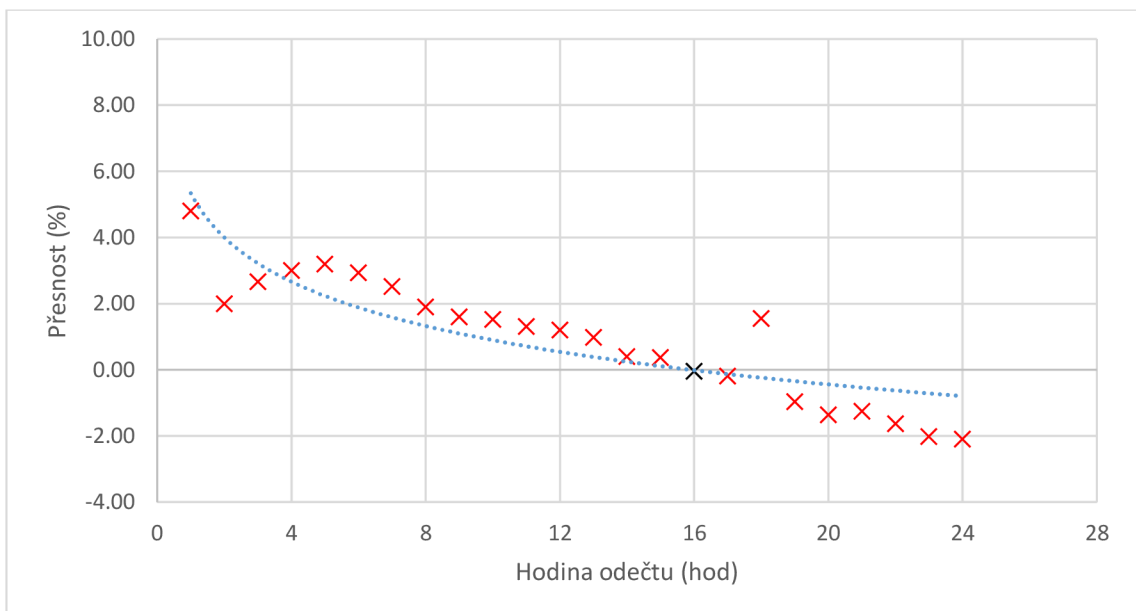
Tyto intervaly byly určeny na základě hraniční hodnoty přesnosti $\pm 5 \%$, kterou udávají výrobci pro každou infuzní pumpu v návodech pro obsluhu. Proto byly vytvořeny intervaly pod a nad tuto hranici, aby bylo možné ve statistickém zhodnocení vytvářet grafy a následně vytvořit závěr, jak moc se infuzní pumpy této hodnoty drží a zda je infuzní pumpa dávkuje přesněji nebo naopak hůře, než garantují výrobci.

3.6.1. Infusomat P

3.6.1.1. Rychlost dávkování 25 ml/hod

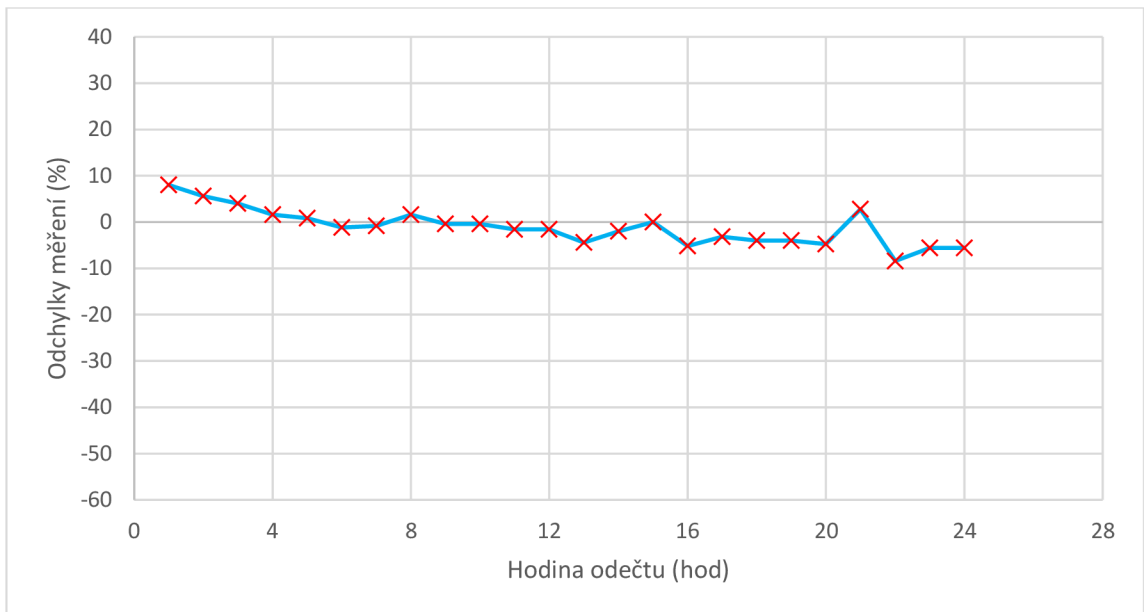


Graf 1. Odchylky měření v jednotlivých hodinových intervalech (25 ml/hod)

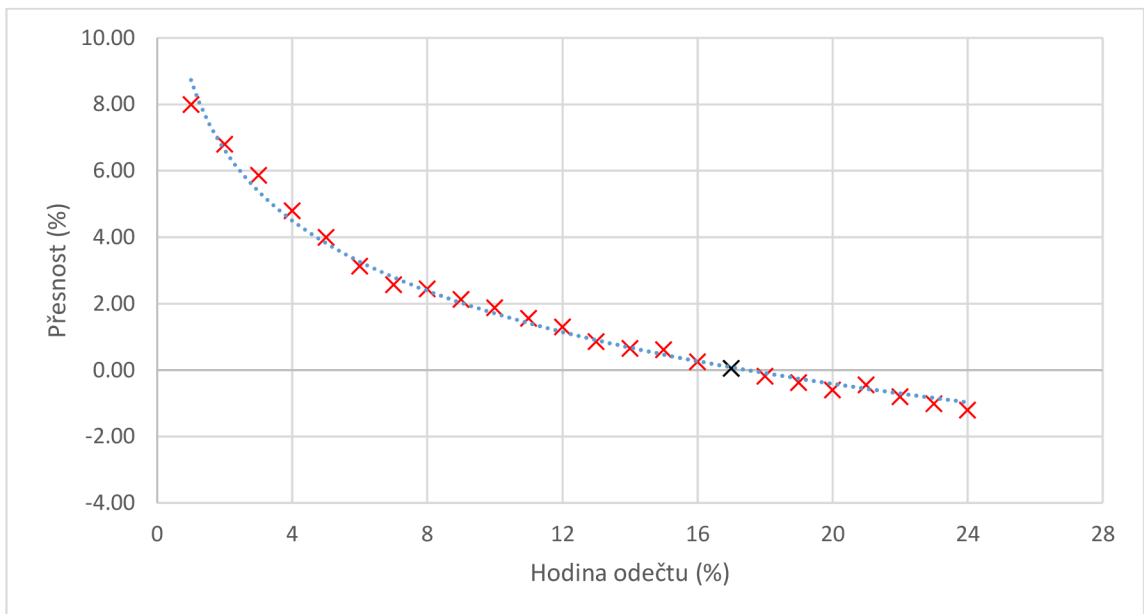


Graf 2. Přesnost měření v každé hodině odečtu (25 ml/hod)

3.6.1.2 Rychlost dávkování 50 ml/hod

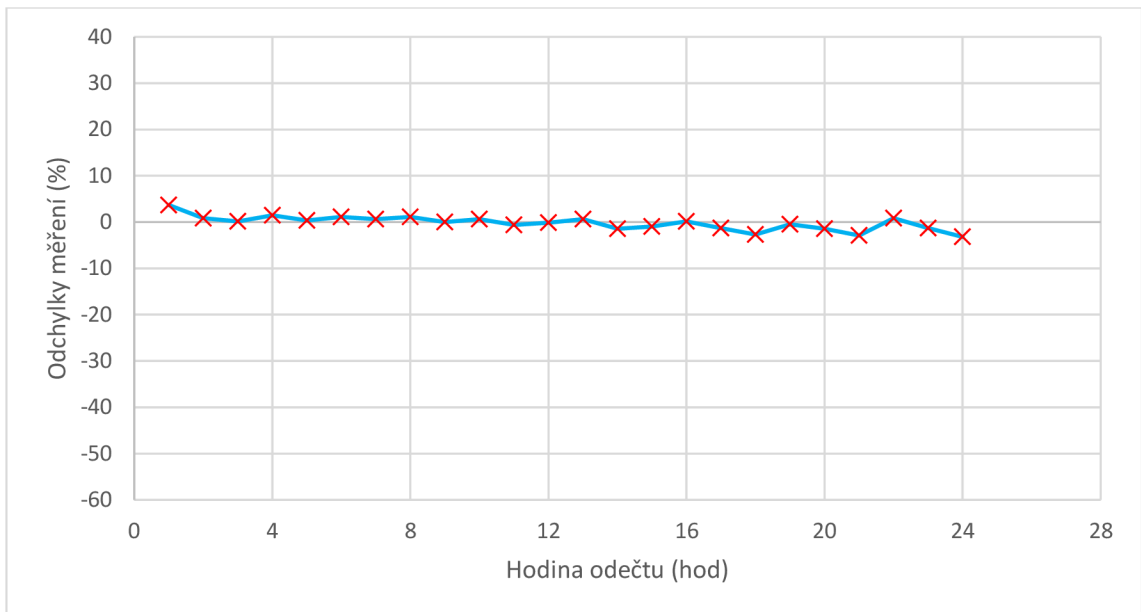


Graf 3. Odchylky měření v jednotlivých hodinových intervalech (50 ml/hod)

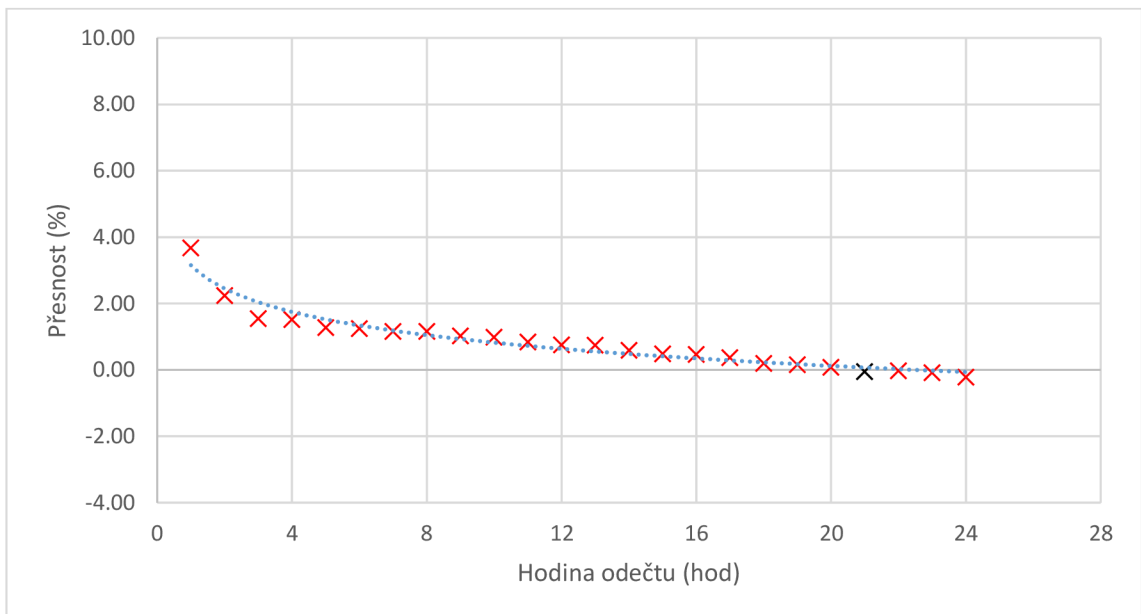


Graf 4. Přesnost měření v každé hodině odečtu (50 ml/hod)

3.6.1.3 Rychlost dávkování 125 ml/hod



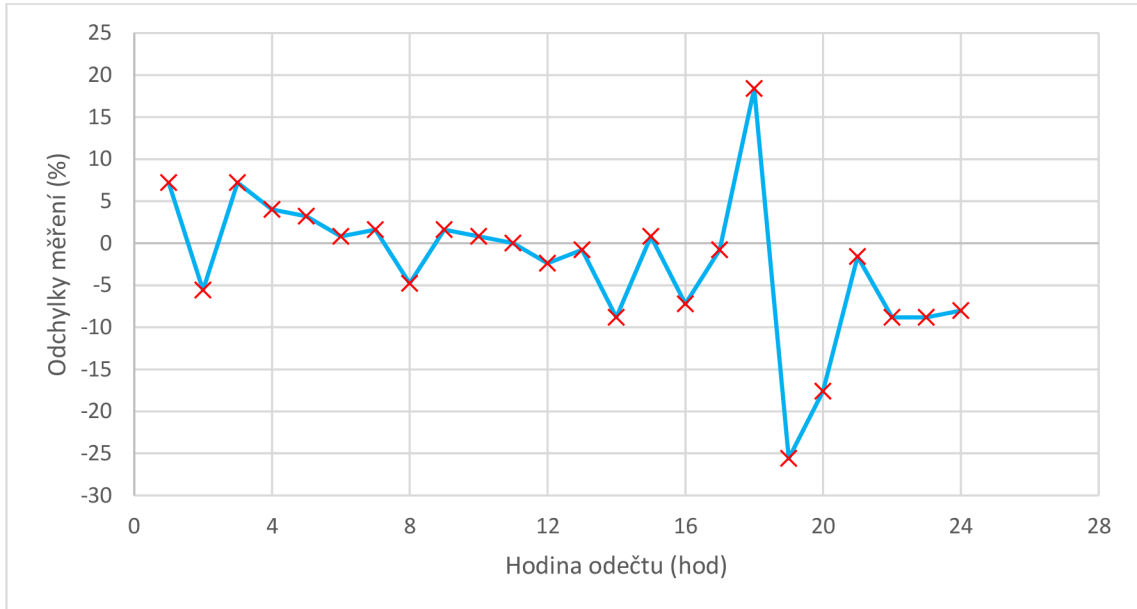
Graf 5. Odchylyky měření v jednotlivých hodinových intervalech (125 ml/hod)



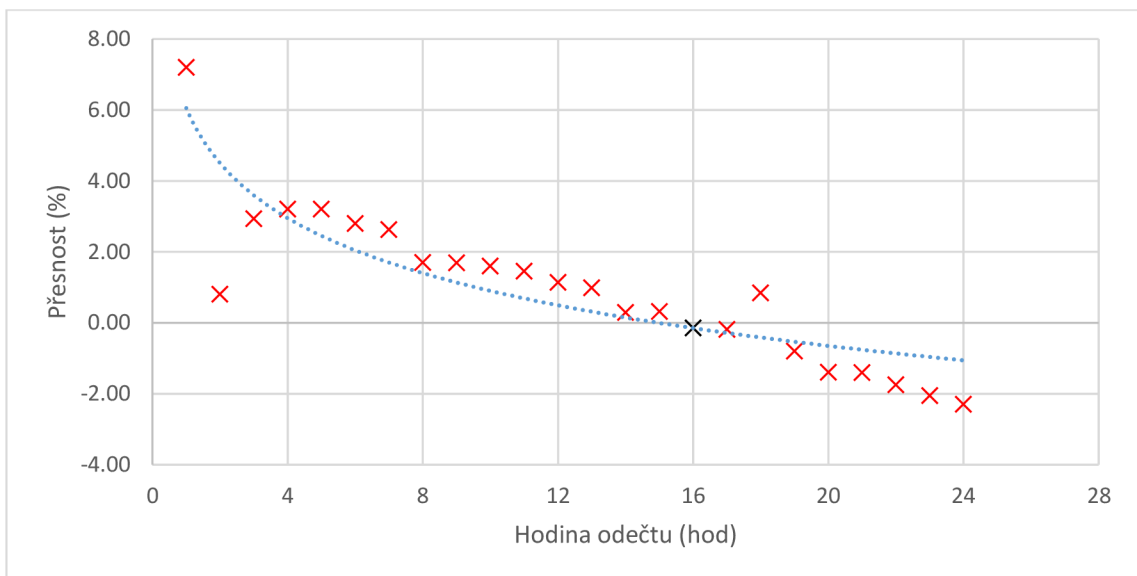
Graf 6. Přesnost měření v každé hodině odečtu (125 ml/hod)

3.6.2. Argus 707

3.6.2.1. Rychlost dávkování 25 ml/hod

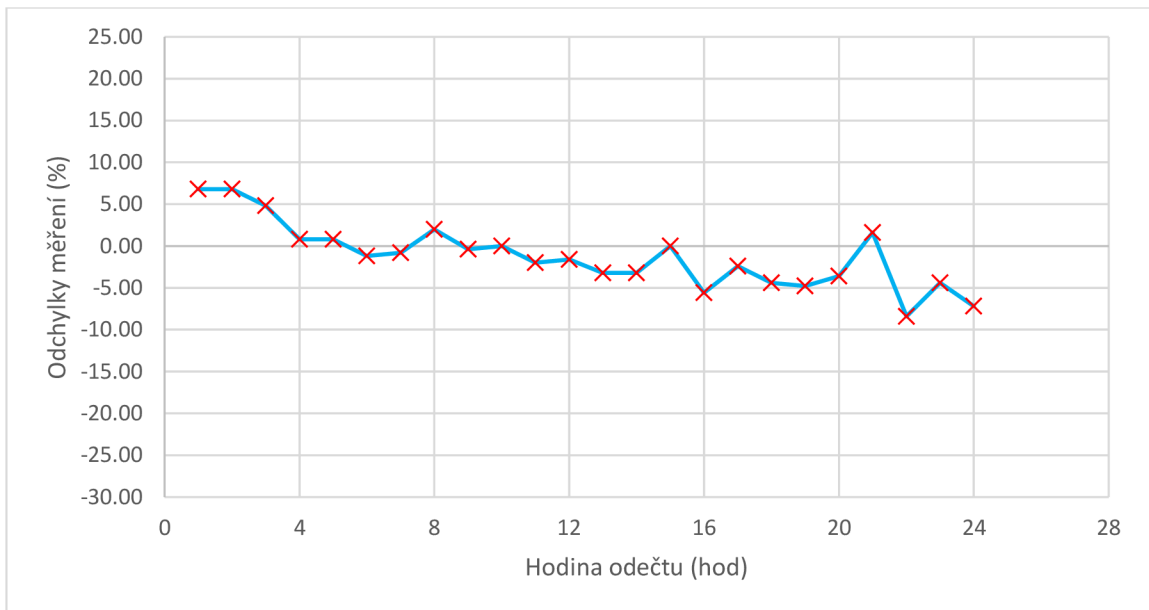


Graf 7. Odchylky měření v jednotlivých hodinových intervalech (25 ml/hod)

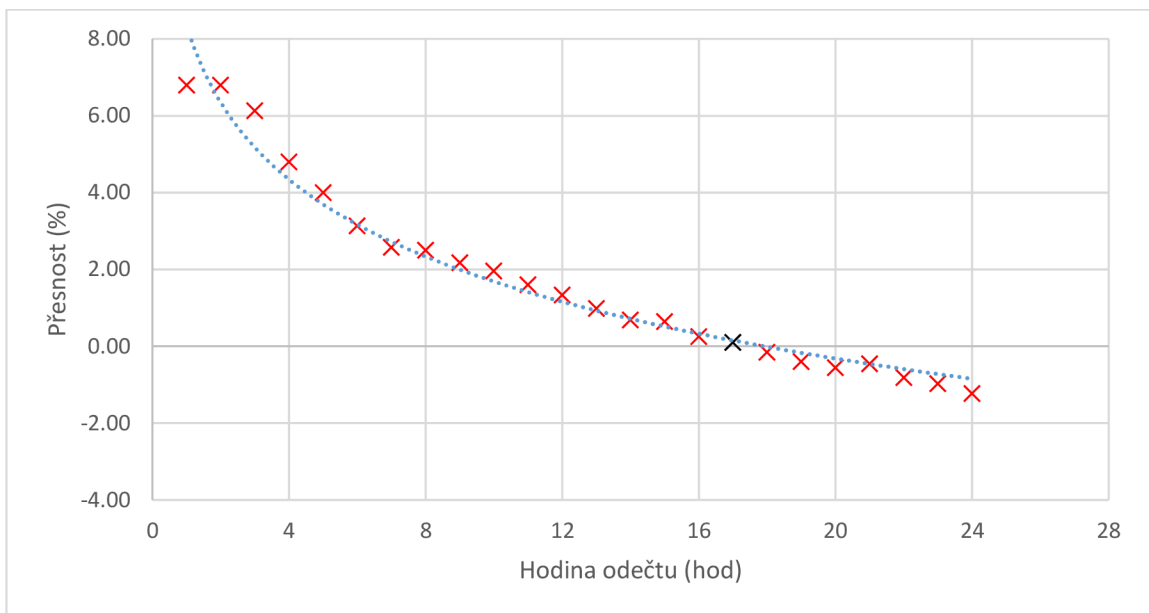


Graf 8. Přesnost měření v každé hodině odečtu (25 ml/hod)

3.6.2.2. Rychlost dávkování 50 ml/hod

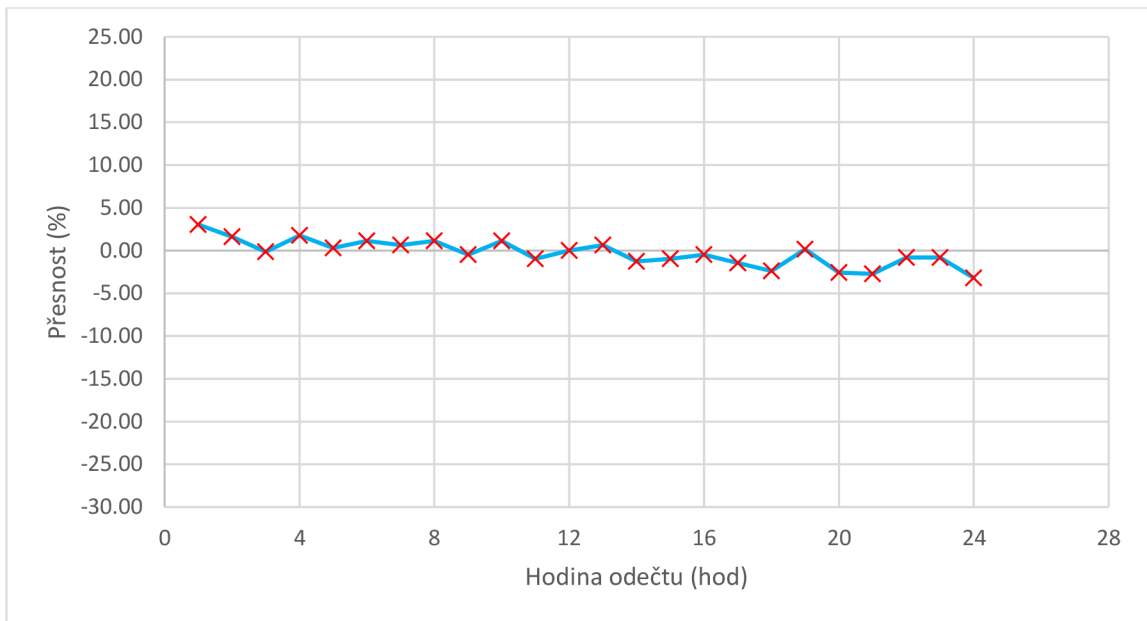


Graf 9. Odchylky měření v jednotlivých hodinových intervalech (50 ml/hod)

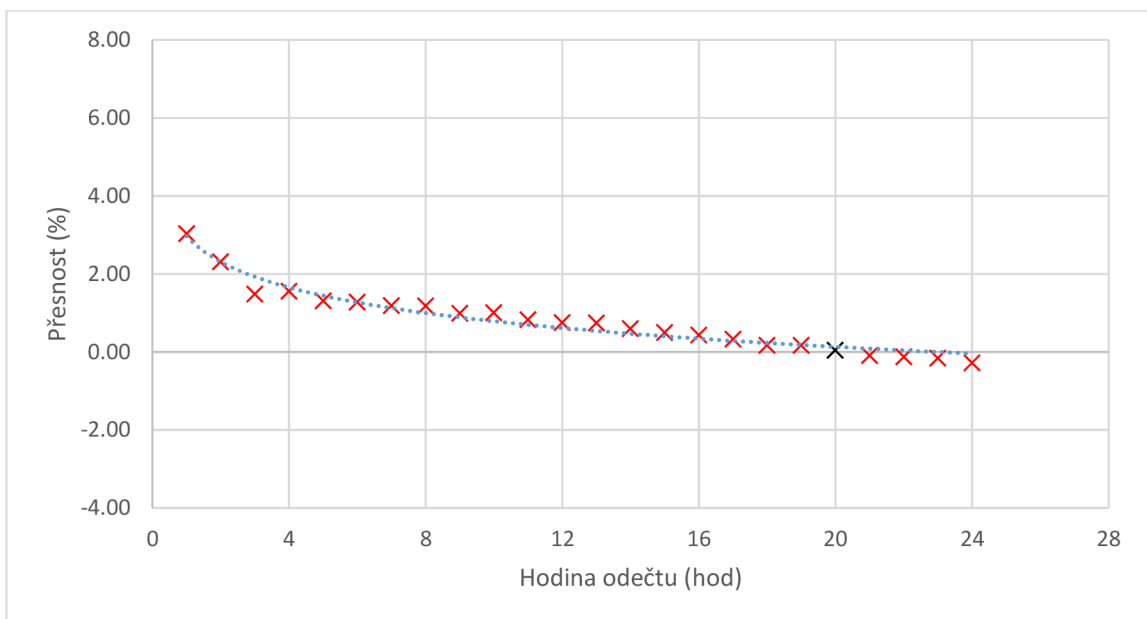


Graf 10. Přesnost měření v každé hodině odečtu (50 ml/hod)

3.6.2.3. Rychlost dávkování 125 ml/hod



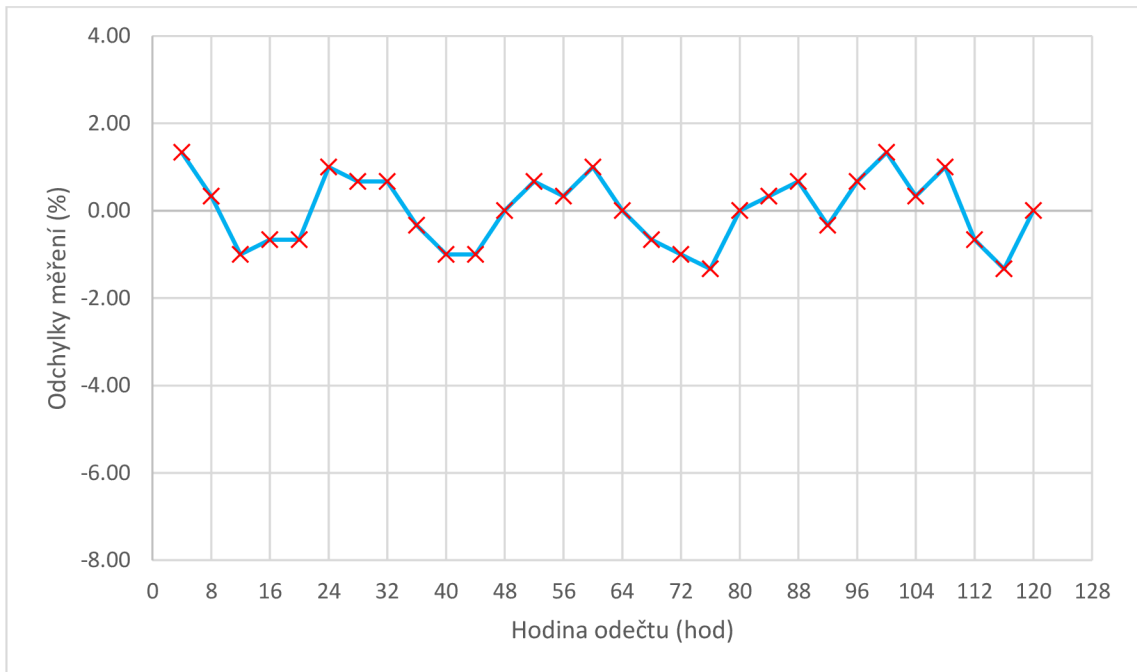
Graf 11. Odchylky měření v jednotlivých hodinových intervalech (125 ml/hod)



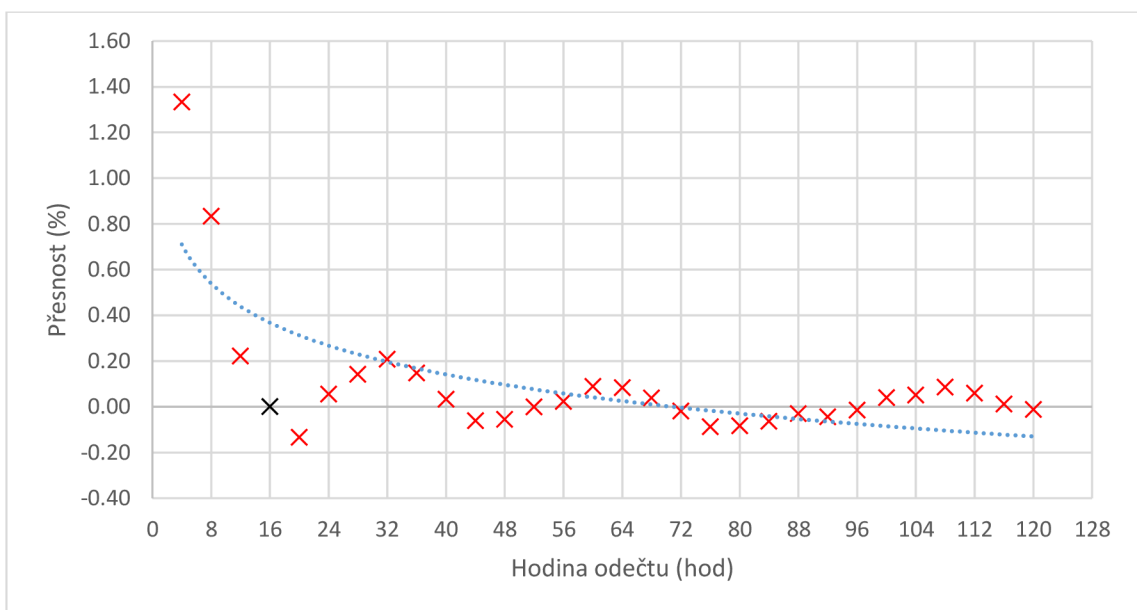
Graf 12. Přesnost měření v každé hodině odečtu (125 ml/hod)

3.6.3. Infusomat Fms

3.6.3.1. Rychlost dávkování 25 ml/hod

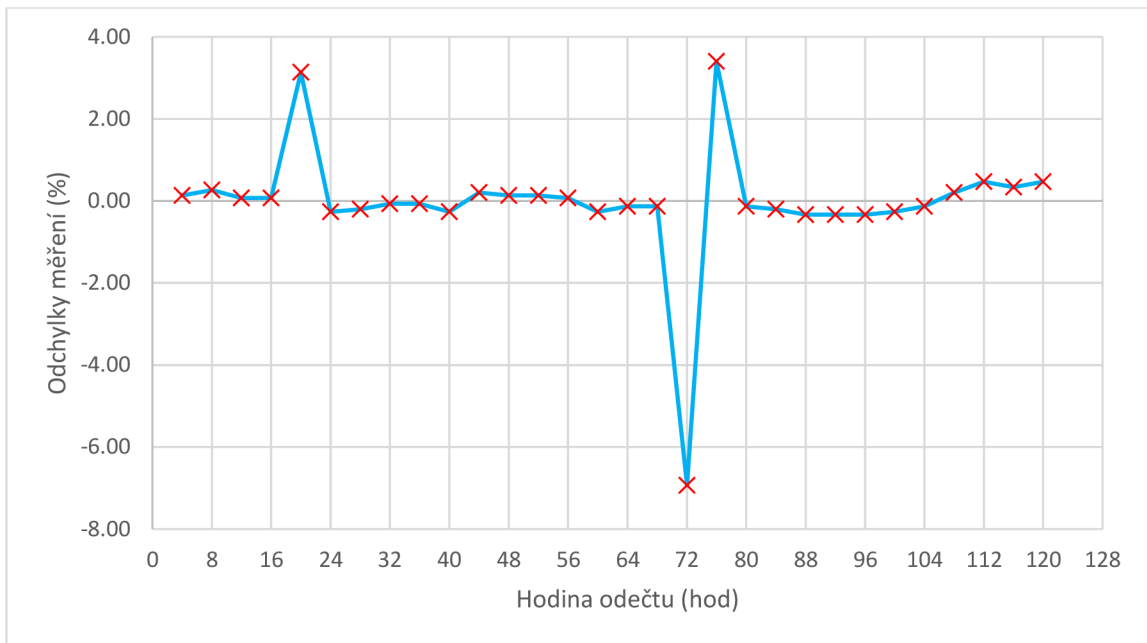


Graf 13. Odchylky měření v jednotlivých hodinových intervalech (25 ml/hod)

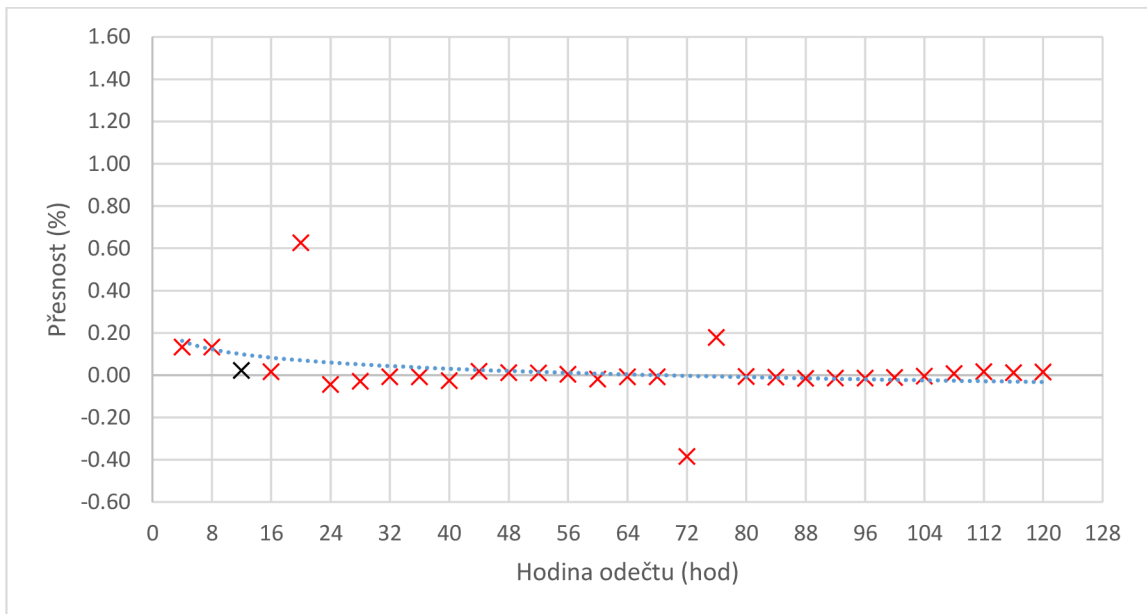


Graf 14. Přesnost měření v každé hodině odečtu (25 ml/hod)

3.6.3.2. Rychlost dávkování 125 ml/hod



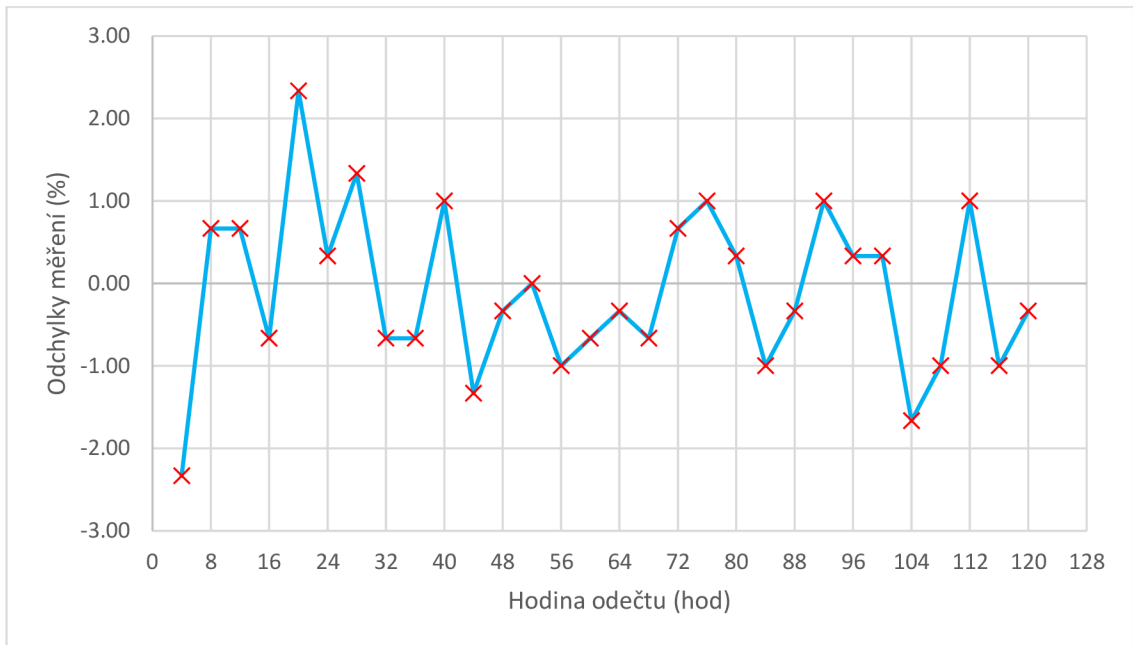
Graf 15. Odchyly měření v jednotlivých hodinových intervalech (125 ml/hod)



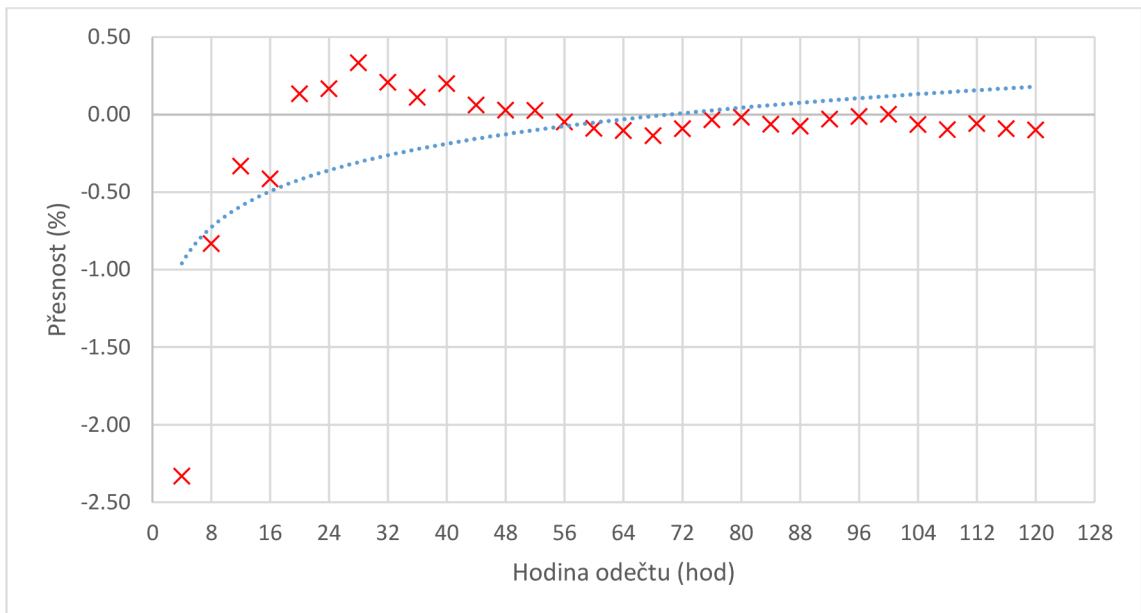
Graf 16. Přesnost měření v každé hodině odečtu (125 ml/hod)

3.6.4. Fresenius Agilia VP

3.6.4.1. Rychlost dávkování 25 ml/hod

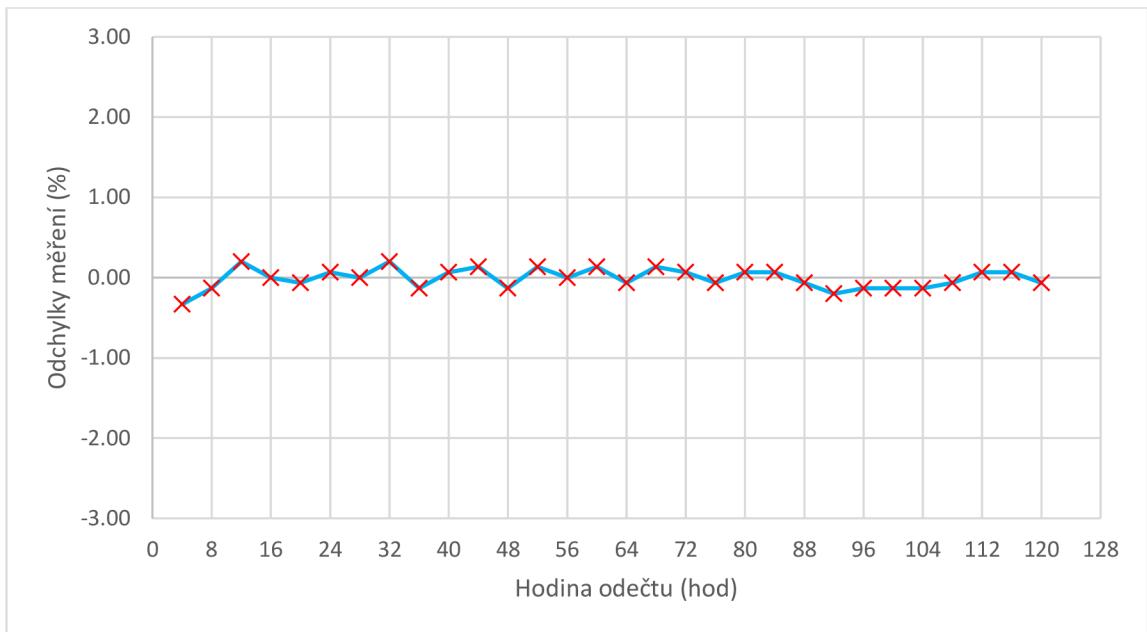


Graf 17. Odchylky měření v jednotlivých hodinových intervalech (25 ml/hod)

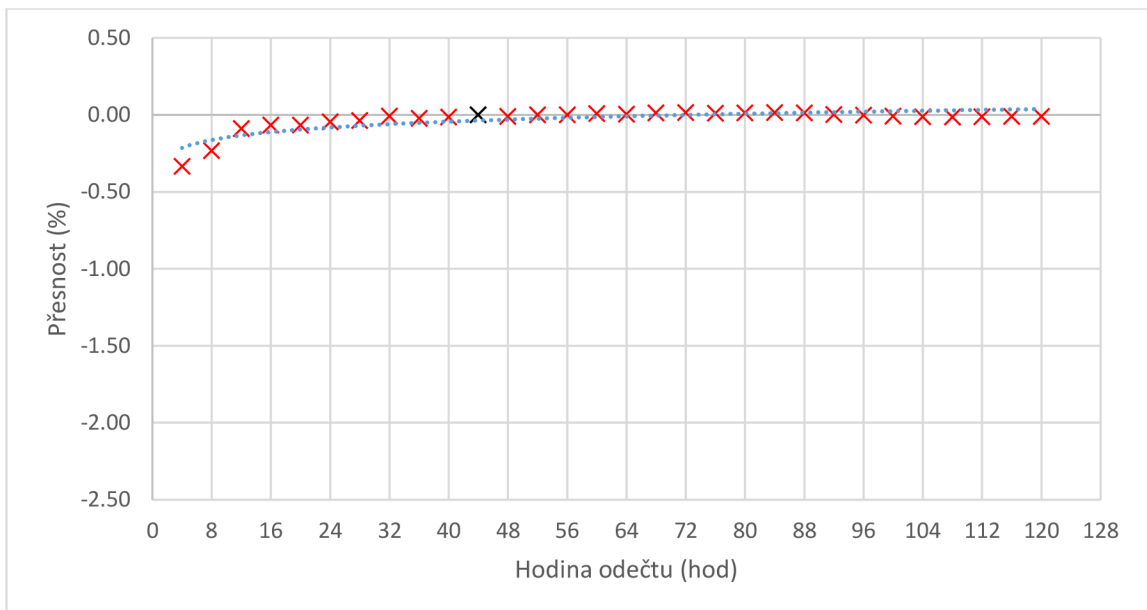


Graf 18. Přesnost měření v každé hodině odečtu (25 ml/hod)

3.6.4.2. Rychlost dávkování 125 ml/hod



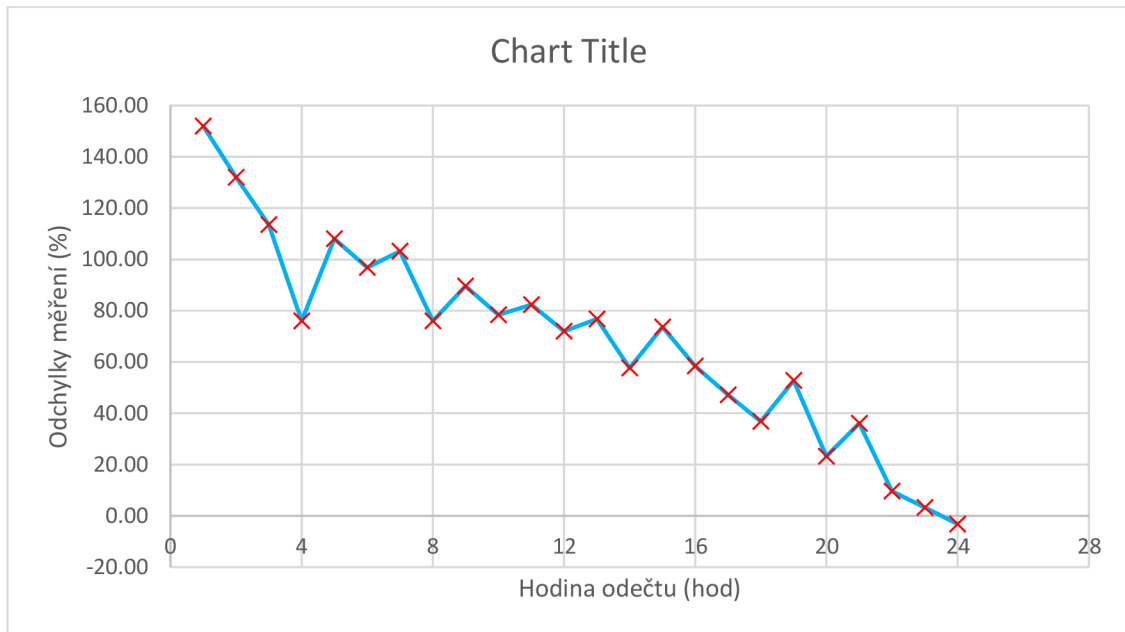
Graf 19. Odchylky měření v jednotlivých hodinových intervalech (125 ml/hod)



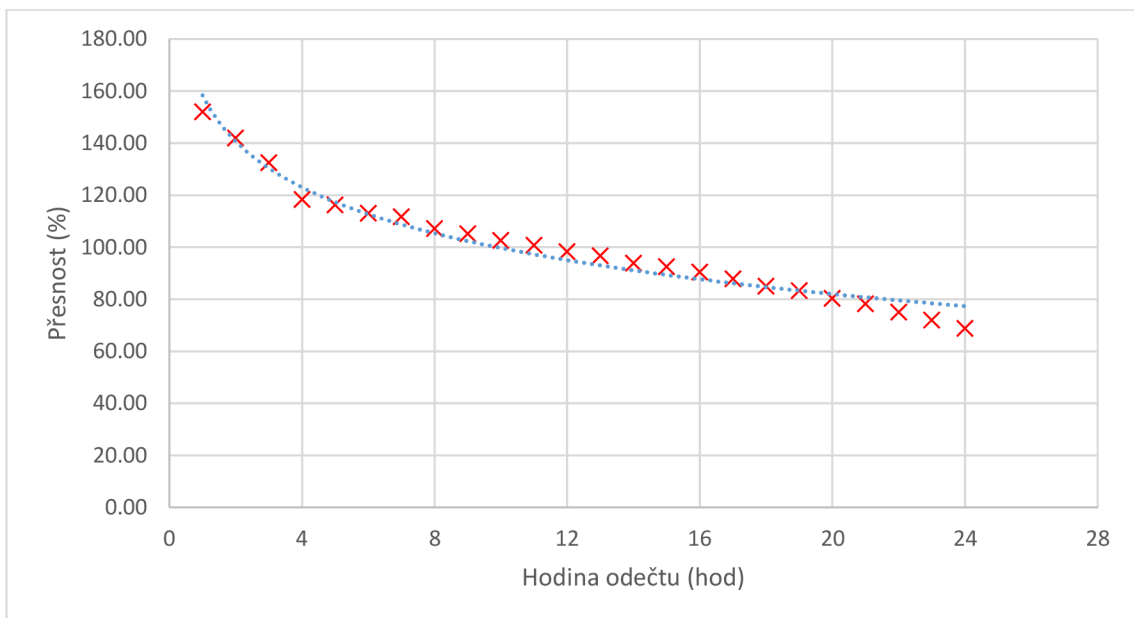
Graf 20. Přesnost měření v každé hodině odečtu (125 ml/hod)

3.6.5. Infusomat P s infuzním setem určeným pro gravitační infuzi

3.6.5.1. Rychlost dávkování 25 ml/hod



Graf 21. Odchyly měření v jednotlivých hodinových intervalech (25 ml/hod)



Graf 22. Přesnost měření v každé hodině odečtu (25 ml/hod)

3.7. Analýza cílů a předpokladů

3.7.1. Infusomat P

Hod.	25 ml/hod				50 ml/hod				125 ml/hod			
	Průměr	Směro.od	Přesnost	Odchylka	Průměr	Směro.od	Přesnost	Odchylka	Průměr	Směro.od	Přesnost	Odchylka
1	26,20	0,45	4,80	4,80	54,00	1,00	8,00	8,00	129,60	1,14	3,68	3,68
2	51,00	0,00	2,00	-0,80	106,80	0,45	6,80	5,60	255,60	0,55	2,24	0,80
3	77,00	0,71	2,67	4,00	158,80	0,84	5,87	4,00	380,80	0,45	1,55	0,16
4	103,00	0,71	3,00	4,00	209,60	0,55	4,80	1,60	507,60	0,55	1,52	1,44
5	129,00	0,71	3,20	4,00	260,00	0,00	4,00	0,80	633,00	1,73	1,28	0,32
6	154,40	0,55	2,93	1,60	309,40	0,89	3,13	-1,20	759,40	0,55	1,25	1,12
7	179,40	0,55	2,51	0,00	359,00	0,71	2,57	-0,80	885,20	0,84	1,17	0,64
8	203,80	0,45	1,90	-2,40	409,80	0,45	2,45	1,60	1011,60	0,55	1,16	1,12
9	228,60	0,55	1,60	-0,80	459,60	0,55	2,13	-0,40	1136,60	0,55	1,03	0,00
10	253,80	0,45	1,52	0,80	509,40	0,55	1,88	-0,40	1262,40	0,55	0,99	0,64
11	278,60	0,55	1,31	-0,80	558,60	0,55	1,56	-1,60	1386,60	0,55	0,84	-0,64
12	303,60	0,55	1,20	0,00	607,80	0,45	1,30	-1,60	1511,40	0,55	0,76	-0,16
13	328,20	0,45	0,98	-1,60	655,60	2,07	0,86	-4,40	1637,20	0,84	0,75	0,64
14	351,40	0,55	0,40	-7,20	704,60	0,55	0,66	-2,00	1760,40	0,55	0,59	-1,44
15	376,40	0,55	0,37	0,00	754,60	0,55	0,61	0,00	1884,20	0,84	0,49	-0,96
16	399,80	0,45	-0,05	-6,40	802,00	1,22	0,25	-5,20	2009,40	0,89	0,47	0,16
17	424,20	0,45	-0,19	-2,40	850,40	0,55	0,05	-3,20	2132,80	1,64	0,37	-1,28
18	457,00	0,71	1,56	31,20	898,40	0,55	-0,18	-4,00	2254,40	1,95	0,20	-2,72
19	470,40	0,55	-0,97	-46,40	946,40	0,55	-0,38	-4,00	2378,80	1,30	0,16	-0,48
20	493,20	0,45	-1,36	-8,80	994,00	1,22	-0,60	-4,80	2502,00	0,71	0,08	-1,44
21	518,40	0,55	-1,26	0,80	1045,40	0,55	-0,44	2,80	2623,40	1,34	-0,06	-2,88
22	541,00	0,00	-1,64	-9,60	1091,20	0,45	-0,80	-8,40	2749,40	0,55	-0,02	0,80
23	563,40	0,55	-2,02	-10,40	1138,40	0,55	-1,01	-5,60	2872,80	1,10	-0,08	-1,28
24	587,40	0,55	-2,10	-4,00	1185,60	1,52	-1,20	-5,60	2993,40	1,95	-0,22	-3,52
Průměr			0,93	-2,10			1,76	-1,20			0,84	-0,22

3.7.2 Argus 707

Hod.	25 ml/hod				50 ml/hod				125 ml/hod			
	Průměr	Směro.od	Přesnost	Odchylka	Průměr	Směro.od	Přesnost	Odchylka	Průměr	Směro.od	Přesnost	Odchylka
1	26,80	0,45	7,20	7,20	53,40	0,55	6,80	6,80	128,80	0,45	3,04	3,04
2	50,40	0,55	0,80	-5,60	106,80	0,45	6,80	6,80	255,80	0,45	2,32	1,60
3	77,20	0,45	2,93	7,20	159,20	0,84	6,13	4,80	380,60	0,55	1,49	-0,16
4	103,20	0,45	3,20	4,00	209,60	0,55	4,80	0,80	507,80	0,45	1,56	1,76
5	129,00	0,71	3,20	3,20	260,00	0,00	4,00	0,80	633,20	0,45	1,31	0,32
6	154,20	0,45	2,80	0,80	309,40	0,89	3,13	-1,20	759,60	0,55	1,28	1,12
7	179,60	0,55	2,63	1,60	359,00	0,71	2,57	-0,80	885,40	0,55	1,19	0,64
8	203,40	0,55	1,70	-4,80	410,00	0,71	2,50	2,00	1011,80	0,45	1,18	1,12
9	228,80	0,45	1,69	1,60	459,80	0,45	2,18	-0,40	1136,20	0,45	1,00	-0,48
10	254,00	0,00	1,60	0,80	509,80	0,45	1,96	0,00	1262,60	0,55	1,01	1,12
11	279,00	0,00	1,45	0,00	558,80	0,45	1,60	-2,00	1386,40	0,55	0,83	-0,96
12	303,40	0,55	1,13	-2,40	608,00	0,00	1,33	-1,60	1511,40	0,55	0,76	0,00
13	328,20	0,45	0,98	-0,80	656,40	0,55	0,98	-3,20	1637,20	0,45	0,75	0,64
14	351,00	0,71	0,29	-8,80	704,80	0,45	0,69	-3,20	1760,60	0,55	0,61	-1,28
15	376,20	0,45	0,32	0,80	754,80	0,45	0,64	0,00	1884,40	0,55	0,50	-0,96
16	399,40	0,55	-0,15	-7,20	802,00	0,00	0,25	-5,60	2008,80	0,45	0,44	-0,48
17	424,20	0,84	-0,19	-0,80	850,80	0,45	0,09	-2,40	2132,00	1,00	0,33	-1,44
18	453,80	0,84	0,84	18,40	898,60	0,55	-0,16	-4,40	2254,00	1,22	0,18	-2,40
19	472,40	1,52	-0,55	-25,60	946,20	0,45	-0,40	-4,80	2379,20	0,45	0,18	0,16
20	493,00	0,71	-1,40	-17,60	994,40	0,55	-0,56	-3,60	2501,00	1,00	0,04	-2,56
21	517,60	0,55	-1,41	-1,60	1045,20	0,45	-0,46	1,60	2622,60	0,89	-0,09	-2,72
22	540,40	0,55	-1,75	-8,80	1091,00	0,00	-0,82	-8,40	2746,60	1,14	-0,12	-0,80
23	563,20	0,84	-2,05	-8,80	1138,80	0,45	-0,97	-4,40	2870,60	0,55	-0,15	-0,80
24	586,20	1,48	-2,30	-8,00	1185,20	2,49	-1,23	-7,20	2991,60	1,52	-0,28	-3,20
Průměr			0,96	-2,30			1,74	-1,23			0,81	-0,28

3.7.3. Infusomat Fms

Hod.	25 ml/hod					125 ml/hod				
	Průměr	Směro.od	Přesnost	Odchylka		Průměr	Směro.od	Přesnost	Odchylka	
4	101,33	0,58	1,33	1,33		500,67	0,58	0,13	0,13	
8	201,67	0,58	0,83	0,33		1001,33	0,58	0,13	0,27	
12	300,67	0,58	0,22	-1,00		1500,33	0,58	0,02	0,07	
16	400,00	0,00	0,00	-0,67		2000,33	1,53	0,02	0,07	
20	499,33	0,58	-0,13	-0,67		2515,67	28,01	0,63	3,13	
24	600,33	0,58	0,06	1,00		2998,67	0,58	-0,04	-0,27	
28	701,00	0,00	0,14	0,67		3499,00	0,00	-0,03	-0,20	
32	801,67	0,58	0,21	0,67		3999,67	0,58	-0,01	-0,07	
36	901,33	0,58	0,15	-0,33		4499,67	1,15	-0,01	-0,07	
40	1000,33	0,58	0,03	-1,00		4998,67	2,08	-0,03	-0,27	
44	1099,33	1,15	-0,06	-1,00		5501,00	1,73	0,02	0,20	
48	1199,33	0,58	-0,06	0,00		6000,67	2,31	0,01	0,13	
52	1300,00	0,00	0,00	0,67		6500,67	1,53	0,01	0,13	
56	1400,33	0,58	0,02	0,33		7000,33	1,53	0,00	0,07	
60	1501,33	0,58	0,09	1,00		7498,67	1,15	-0,02	-0,27	
64	1601,33	1,15	0,08	0,00		7999,33	0,58	-0,01	-0,13	
68	1700,67	0,58	0,04	-0,67		8499,33	1,15	-0,01	-0,13	
72	1799,67	0,58	-0,02	-1,00		8965,33	58,31	-0,39	-6,93	
76	1898,33	0,58	-0,09	-1,33		9517,00	27,73	0,18	3,40	
80	1998,33	0,58	-0,08	0,00		9999,33	1,15	-0,01	-0,13	
84	2098,67	0,58	-0,06	0,33		10499,00	1,00	-0,01	-0,20	
88	2199,33	0,58	-0,03	0,67		10998,33	0,58	-0,02	-0,33	
92	2299,00	0,00	-0,04	-0,33		11498,33	0,58	-0,01	-0,33	
96	2399,67	0,58	-0,01	0,67		11998,33	0,58	-0,01	-0,33	
100	2501,00	1,00	0,04	1,33		12498,67	0,58	-0,01	-0,27	
104	2601,33	0,58	0,05	0,33		12999,33	0,58	-0,01	-0,13	
108	2702,33	0,58	0,09	1,00		13501,00	1,00	0,01	0,20	
112	2801,67	0,58	0,06	-0,67		14002,33	0,58	0,02	0,47	
116	2900,33	0,58	0,01	-1,33		14501,67	0,58	0,01	0,33	
120	2999,67	1,15	-0,01	-0,67		15002,33	0,58	0,02	0,47	
Průměr			0,10	-0,01				0,02	-0,03	

3.7.4. Fresenius Agilia

Hod.	25 ml/hod				125 ml/hod				
	Průměr	Směro.od	Přesnost	Odchylka	Průměr	Směro.od	Přesnost	Odchylka	
4	97,67	0,58	-2,33	-2,33	498,33	0,58	-0,33	-0,33	
8	198,33	0,58	-0,83	0,67	997,67	0,58	-0,23	-0,13	
12	299,00	0,00	-0,33	0,67	1498,67	0,58	-0,09	0,20	
16	398,33	0,58	-0,42	-0,67	1998,67	0,58	-0,07	0,00	
20	500,67	0,58	0,13	2,33	2498,33	0,58	-0,07	-0,07	
24	601,00	0,00	0,17	0,33	2998,67	0,58	-0,04	0,07	
28	702,33	0,58	0,33	1,33	3498,67	0,58	-0,04	0,00	
32	801,67	0,58	0,21	-0,67	3999,67	0,58	-0,01	0,20	
36	901,00	0,00	0,11	-0,67	4499,00	0,00	-0,02	-0,13	
40	1002,00	0,00	0,20	1,00	4999,33	0,58	-0,01	0,07	
44	1100,67	0,58	0,06	-1,33	5500,00	0,00	0,00	0,13	
48	1200,33	0,58	0,03	-0,33	5999,33	0,58	-0,01	-0,13	
52	1300,33	0,58	0,03	0,00	6500,00	0,00	0,00	0,13	
56	1399,33	0,58	-0,05	-1,00	7000,00	0,00	0,00	0,00	
60	1498,67	0,58	-0,09	-0,67	7500,67	0,58	0,01	0,13	
64	1598,33	0,58	-0,10	-0,33	8000,33	0,58	0,00	-0,07	
68	1697,67	0,58	-0,14	-0,67	8501,00	0,00	0,01	0,13	
72	1798,33	0,58	-0,09	0,67	9001,33	1,15	0,01	0,07	
76	1899,33	0,58	-0,04	1,00	9501,00	0,00	0,01	-0,07	
80	1999,67	0,58	-0,02	0,33	10001,33	0,58	0,01	0,07	
84	2098,67	0,58	-0,06	-1,00	10501,67	0,58	0,02	0,07	
88	2198,33	0,58	-0,08	-0,33	11001,33	0,58	0,01	-0,07	
92	2299,33	0,58	-0,03	1,00	11500,33	0,58	0,00	-0,20	
96	2399,67	0,58	-0,01	0,33	11999,67	0,58	0,00	-0,13	
100	2500,00	0,00	0,00	0,33	12499,00	0,00	-0,01	-0,13	
104	2598,33	0,58	-0,06	-1,67	12998,33	0,58	-0,01	-0,13	
108	2697,33	0,58	-0,10	-1,00	13498,00	1,00	-0,01	-0,07	
112	2798,33	0,58	-0,06	1,00	13998,33	0,58	-0,01	0,07	
116	2897,33	0,58	-0,09	-1,00	14498,67	0,58	-0,01	0,07	
120	2997,00	1,00	-0,10	-0,33	14998,33	0,58	-0,01	-0,07	
Průměr			-0,13	-0,10			-0,03	-0,01	

3.7.5. Infusomat P s infuzním setem určeným pro gravitační infuzi

	25 ml/hod				
Hod. odečtu	Průměr měření	Směro.od	Přesnost	Odchylka	Graf. vyhodnocení
1	63,00	2,45	152,00	152,00	[Red background]
2	121,00	2,65	142,00	132,00	
3	174,40	3,13	132,53	113,60	
4	218,40	0,89	118,40	76,00	
5	270,40	2,61	116,32	108,00	
6	319,60	1,52	113,07	96,80	
7	370,40	2,70	111,66	103,20	
8	414,40	1,34	107,20	76,00	
9	461,80	1,64	105,24	89,60	
10	506,40	1,67	102,56	78,40	
11	552,00	1,22	100,73	82,40	
12	595,00	0,71	98,33	72,00	
13	639,20	1,30	96,68	76,80	
14	678,60	0,89	93,89	57,60	
15	722,00	1,87	92,53	73,60	
16	761,60	1,34	90,40	58,40	
17	798,40	1,52	87,86	47,20	
18	832,60	1,82	85,02	36,80	
19	870,80	1,92	83,33	52,80	
20	901,60	1,14	80,32	23,20	
21	935,60	1,82	78,21	36,00	
22	963,00	1,73	75,09	9,60	
23	988,80	1,30	71,97	3,20	
24	1013,00	2,00	68,83	-3,20	
Průměr			100,17	68,83	[Yellow background]

3.7.6. Intervaly přesností pro každou infuzní pumpu

		Časový interval nejpřesnějšího dávkování	
Typ pumpy:		Infusomat P	Argus 707
Rychlost dávkování:	25 ml/hod	7 - 12 hod.	10 - 17 hod.
	50 ml/hod	5 - 10 hod.	4 - 15 hod
	125 ml/hod	2 - 17 hod.	5 - 17 hod
		Časový interval nejpřesnějšího dávkování	
Typ pumpy:		Infusomat Fms	Fresenius Agilia
Rychlost dávkování:	25 ml/hod	4 - 120 hod	24 - 100 hod
	125 ml/hod	4 - 68 hod	4 - 120 hod
		Časový interval nejpřesnějšího dávkování	
Typ pumpy:		Infusomat P - gravitační set	
Rychlost dávkování:	25 ml/hod	xxxxxxxx	

		Hodina, kdy nastane nejpřesnější dávkování			
Typ pumpy:		Infusomat P	Výrobce	Argus 707	Výrobce
Rychlost dávkování:	25 ml/hod	16 hod	8 hod	16 hod	8 hod
	50 ml/hod	17 hod	xxxxxxxx	17 hod	xxxxxxxx
	125 ml/hod	20 hod	xxxxxxxx	20 hod	xxxxxxxx
Typ pumpy:		Infusomat Fms	Výrobce	Fresenius Agilia	Výrobce
Rychlost dávkování:	25 ml/hod	16 - 120 hod	96 hod	16/20 - 120hod	96 hod
	125 ml/hod	12 - 120hod	xxxxxxxx	44 - 120hod	xxxxxxxx
Typ pumpy:		Infusomat P - gravitační set		Výrobce	
Rychlost dávkování:	25 ml/hod	xxxxxxxx		xxxxxxxx	

V rámci praktické části byly vytvořeny tabulky s přesnostmi měření a jejich grafického shrnutí, kdy byly definovány časové intervaly, kdy infuzní pumpa dávkuje nejpřesněji. V závěru analýzy cílů v rámci zadání této bakalářské práce, byla vytvořena tabulka, kde jsou vypsány všechny infuzní pumpy, které byly použity ve výzkumné části, rychlosti dávkování a následně časové intervaly. To bylo také jedním z cílů. Další tabulka porovnává hodnoty, které byly reálně naměřeny a získány po statistickém zpracování. Jedná se o hodnoty, kdy nastalo nejpřesnější dávkování, tudíž v té hodině měla infuzní pumpa přesnost hodnotu 0 %. U infuzních pump pro krátkodobé měření byl zjištěn vždy bod, kdy se měření dostalo právě na hodnotu odchylky 0 %. Na rozdíl od tohoto páru pump, u infuzních pump pro dlouhodobé měření došlo k tomu, že dávkování se dostalo

také na hodnotu odchylky 0 %, od tohoto okamžiku se kolem nulové odchylky držely velmi blízko. Vše lze vidět na grafech i na statistickém zpracování. V tabulce o nejpřesnějším dávkování jsou proto tyto hodiny zaznamenány do časového intervalu, kdy první časový údaj udává hodinu, kdy nastalo nejpřesnější dávkování. Druhý časový údaj poukazuje pouze na to, do kdy velmi přesné měření trvalo. Data jsou porovnávána s daty, které udávají výrobci. Veškerá data byla zpracována v programu Microsoft Excel.

Infuzní pumpy Infusomat P a Argus 707 byly měřeny vždy po dobu 24 hodin (1 den) a hodnoty byly odečítány v hodinových intervalech. U těchto dvou typů probíhalo měření se třemi rychlostmi dávkování. 25, 50 a 125 ml/hod. Každá rychlost se následně měřila pětkrát. Z toho vyplývá, že měření pro jednu rychlost trvalo celkem 5 dní. Celkem 15 dní jedna pumpa. Infuzní pumpy Infusomat Fms a Fresenius Agilia byly měřeny v delším časovém horizontu, a to konkrétně po dobu 120 hodin (5 dní). Hodnoty byly odečítány ve čtyřhodinových intervalech. Na rozdíl od předchozích dvou typů, se zde měřilo jen s dvěma rychlostmi dávkování. 25 a 125 ml/hod. Z časových důvodů se zde měření opakovalo již pouze třikrát. Měření u těchto pump probíhalo celkem 15 dní pro každou rychlost zvlášť. Celkem tedy 30 dní jedna pumpa. Tyto časy byly zvoleny za účelem ověření, jak moc se bude přesnost dávkování zhoršovat po překročení doporučené hranice, kdy má být infuzní set vyměněn. U prvního páru pump se jednalo o hranici 8 hodin a druhého 96 hodin. První dvě pumpy jsou tedy určeny výhradně pro krátkodobé dávkování. Druhé pumpy jsou naopak určeny pro mnohem delší až několikadenní dávkování.

Přesnosti byly vypočítané za pomoci vzorce, který je uveden níže.

$$P = 100 * \frac{RN - IN}{IN} [\%]$$

Rovnice 9. Výpočet přesnosti měření

- P – přesnost [%]
- RN – reálně nadávkovaný celkový objem [ml/hod]
- IN – ideálně nadávkovaný celkový objem [ml/hod]

$$O = \frac{RR - IR}{1\% \text{ rychlosti dávkování}}$$

Rovnice 10. Výpočet odchylky měření

- O – odchylka měření [%]
- RR – reálně nadávkovaný dílčí objem [ml/hod]
- IR – ideální nadávkovaný dílčí objem [ml/hod]

V rovnici 9. se jedná o výpočet přesnosti měření při celkově nadávkovaném objemu. Zjednodušeně jsou to přesnosti pro každý postupně odečtený objem za celou dosavadní dobu dávkování. Tyto přesnosti jsou vždy vyobrazeny na druhém grafu pro každé vyhodnocení. Na rozdíl od výpočtu Rovnice 10., kde se jedná o odchylky pro každý dílčí objem za daný časový interval. Odchylky jsou znázorněny vždy v prvním grafu pro každé vyhodnocení.

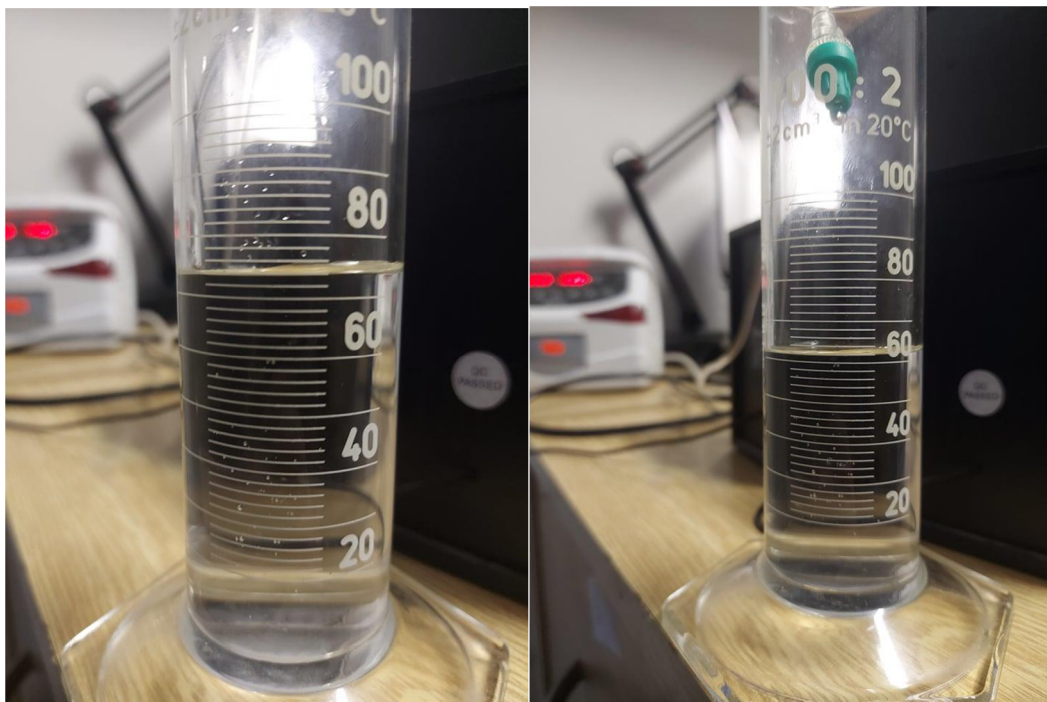
Po výpočtu přesnosti, byly graficky rozřazené dle předem vytvořené tabulky intervalů přesností. Po takovémto grafickém rozřazení, bylo možné vidět, kdy pumpa dávkovala přesněji a kdy naopak zase ne. Následně bylo možné vytvořit kompletně časové intervaly, kdy infuzní pumpy dávkovali nejpřesněji.

Výběrová směrodatná odchylka byla vypočítána v programu Microsoft Excel pomocí funkce SMODCH.VÝBĚR. Směrodatná odchylka nám určuje, jak moc jsou naměřená data od sebe odchýlena nebo naopak rozptýlena. Hodnoty takové odchylky nám následně vypoví dost o tom nakolik se od sebe hodnoty navzájem liší nebo jak velké rozdíly jsou mezi naměřenými daty. Čím je vypočtená hodnota nižší, tím víc jsou si hodnoty podobné. Naopak čím je hodnota vyšší, tím větší rozdíly a odchylky se v datech nacházejí. U veškerých měření vyšly směrodatné odchylky v poměrně malých hodnotách, tudíž bylo ověřeno, že naměřené hodnoty jsou velmi podobné a jen v ojedinělých případech se objeví větší výkyv.

Samotné měření probíhalo vždy jedné místnosti, kde se po celou dobu pohybovala teplota od 19 ° C do 24 ° C. Což znamená, že dle provozních podmínek každé z pump,

byla teplota vyhovující a nemohla nijak výrazně ovlivnit výsledně naměřená data. Celá měřicí aparatura byla zavěšená na infuzním stojanu. Nejvýše zavěšený se nacházel infuzní vak s fyziologickým roztokem. Vak se nacházel vždy ve výšce 115 cm od infuzní pumpy. Pod infuzní pumpou byly odměrné válce, ze kterých se odečítaly hodnoty nadávkovaného objemu. Odměrné válce byly použity tři a používali se podle typu rychlosti dávkování. Jednalo se odměrné válce o objemu 50, 100, 500 a 1000 ml. Celou aparaturu pak vždy spojoval infuzní set, který byl vždy pro každou použitou pumpu schválen samotným výrobcem.

Samotné odečítání bylo uskutečněno za pomoci videokamery a následně pořízených videozáznamů.



Obr. 19 Měření infuzní pumpy Argus 707 – rychlost dávkování 25 ml/hod

4. Diskuze

V rámci měření infuzní pumpy Infusomat P, do které byl vždy založen infuzní set Intrafix SafeSet a byla měřena se třemi rychlostmi dávkování, konkrétně 25, 50 a 125 ml/hod, byli zjištěny přesné hodinové intervaly, kdy pumpa dávkovala nejpřesněji. Pro rychlost 25 ml/hod se jedná o interval od 7 do 12 hodiny, u rychlosti 50 ml/hod se jedná o interval od 5 do 10 hodiny a pro rychlost 125 ml/hod se jedná o interval od 2 do 17 hodiny měření. Zhodnocením bylo patrné, že s nejvyšší přesností dávkovala pumpa při rychlosti 125 ml/hod. Po překročení těchto intervalů se postupem času začala přesnost zhoršovat. V grafech lze vidět, že se přesnost začala zhoršovat po protnutí nulové osy, která znázorňuje nulovou odchylku a zároveň dobu, kdy pumpa dochází k nejpřesnějšímu měření. U rychlosti 25 ml/hod výrobce udává, že pumpa protne tuto osu po 8 hodinách dávkování. To je doba, kdy výrobce garantuje přesné dávkování a po překročení této hranice, by se měl infuzní set vyměnit. V tomto experimentu bylo zjištěno, že pumpa při stejné rychlosti dávkování protнула nulovou osu přesnosti po 16 hodinách, kdy se přesnost začala výrazně zhoršovat.

Pro infuzní pumpu Argus 707 byl použit stejný infuzní set jako u předchozí pumpy. Bylo tak učiněno, jelikož výrobcem doporučený set nebyl ve chvíli měření k dispozici, ale infuzní set Intrafix SafeSet od firmy B. Braun je též výrobcem Codan Argus pro tuto pumpu schválen a tím pádem ho bylo možno použít jako náhradu. V tomto případě se měřilo i se stejnými rychlostmi dávkování. 25, 50 a 125 ml/hod. Výsledkem měření byly časové intervaly, kdy pro rychlost 25 ml/hod se jedná o interval od 10 do 17 hodiny, pro rychlost 50 ml/hod o interval od 4 do 15 hodiny a pro rychlost 125 ml/hod byl zjištěn interval nejpřesnějšího dávkování od 5 do 17 hodiny. Stejně jako u první pumpy vyšlo, že po zhodnocení dat dávkovala pumpa nejpřesněji při rychlosti dávkování 125 ml/hod.

U infuzní pumpy Infusomat Fms byl použit infuzní set Infusomat Space Line. Zde se již jedná o set se silikonovým segmentem, který splňuje podmínky pro mnohonásobně delší dávkování. Zde měření probíhalo již jen se dvěma rychlostmi dávkování. Jednalo se o rychlost 25 ml/hod a 125 ml/hod. U rychlosti 25 ml/hod byl zjištěn časový interval, kdy pumpa dávkovala nejpřesněji od 4 do 120 hodiny. Poprvé zde křivka protнула hranici

s nulovou přesností (bod, kdy je dávkování nejpřesnější) v 16 hodině. Křivka se u této rychlosti dávkování pak ustálila po 72 hodině, kdy se pohybovala blízko nulové přesnosti. U rychlost 125 ml/hod se pak jednalo o interval od 4 do 68 hodiny. Zde křivka protнула hranici s nulovou přesností ve 32 hodině. Po této hodině se křivka dávkování ustálila a držela se téměř přesně u hranice s nulovou přesností.

U poslední infuzní pumpy Fresenius Agilia VP byl použit infuzní set VL ST00. Měřené rychlosti byly totožné s předchozí infuzní pumpou. Pro rychlost 25 ml/hod byl zjištěn interval nejpřesnějšího měření od 24 do 100 hodiny. Křivka dávkování protнула hranici s nulovou přesností ve 48 hodině. Poté se křivka opět ustálí a pouze na lehčí, nepatrné výkyvy se dále pohybuje okolo hranice s nulovou přesností. Pro rychlost 125 ml/hod od 4 do 120 hodiny. Křivka dávkování protнула hranici s nulovou přesností ve 32 hodině a poté se téměř nejpřesněji ze všech infuzních pump držela právě již zmíněné hranice. U této rychlosti se tudíž jednalo o nejpřesnější dávkování po celou dobu měření v porovnání s ostatními pumpami.

Posledním typem měření byla infuzní pumpa Infusomat P, ve které byl založen infuzní set určený pro gravitační infuzi Margomed TYP IS. Bylo tak učiněno pro zajímavost, ale hlavně pro to, aby bylo zjištěno, jak moc nepřesné nebo naopak přesné by bylo měření, kdyby například z nedbalosti nebo omylem obsluha infuzní pumpy založila právě set pro gravitační infuzi. Výsledkem tohoto měření bylo zjištění, že takovýto krok by vedl k velmi nepřesnému měření. To lze vyčíst z přiložených grafů i z výsledné tabulky. V tabulce lze totiž vidět, že pumpa začala dávkovat téměř o trojnásobek více, než by v ideálním případě měla. Následným dávkováním se odchylka postupem času snižovala a přesnost zvyšovala. To celé až do bodu, kdy mezi 23. a 24. hodinou infuzní pumpa nadávkovala správný dílčí objem. Celkově nadávkovaný objem byl ve skutečnosti o zhruba 70 % větší, než by měl v ideálním případě být. Z toho vyplývá, že takovýto set není absolutně vhodný k tomu, aby byl založen v jakékoli infuzní pumpě a následně podána takovouto infuzí pacientovi léčiva.

U všech typů pump garantovali výrobci stejnou přesnost rychlosti dávkování. Jedná se o odchylku $\pm 5\%$ pro rozsah rychlosti. Tato přesnost je garantována, pokud je v pumpě založen správný infuzní set. V případě výzkumu této bakalářské byly vždy použity správné a schválené sety od výrobců. Rozsah přesností byl u veškerých měření dodržen

a všechny celkové přesnosti se pohybovali do 5 %. Nejvyšší průměrná odchylka byla zaznamenána u infuzní pumpy Argus 707 při rychlosti dávkování 25 ml/hod. Odchylka tohoto měření byla 2,30 %. Všechny ostatní infuzní pumpy se pohybovaly v rámci měření právě pod touto hranicí průměrné odchylky 2,30 %. Nejmenší průměrná odchylka byla zaznamenána u infuzní pumpy Fresenius Agilia VP při rychlosti 125 ml/hod. Přesnost tohoto měření byla 0,01 %.

5. Závěr

Bakalářská práce je postavena na tématu přesnosti dávkování infuzních pump v závislosti na použitém infuzním setu. Je zde pojednávána tematika o tom, jaký vliv na přesnost dávkování bude mít překročení doporučené časové hranice, které udává výrobce a také, jak velké nepřesnosti způsobí užití jiného infuzního setu, který není výrobcem schválen k použití. Práce je rozdělena do teoretické a praktické části. Teoretická část popisuje v první části základní funkční princip infuzní pumpy. Součásti, které jsou nutně potřebné ke správně podané infuzi. Jedná se o typy čerpadel, typy senzorů, detektorů a motůrků. V druhé části jsou charakterizovány infuzní sety. Konkrétně jejich materiálové složení a druhy setů. Jsou zde popsány součásti, které se nacházejí na infuzním setu, a i fyzikální vlivy, které působí na infuzní set v době dávkování a také problematika užívání změkčovadel.

Ve výzkumné části je prakticky ověřeno, jak moc je ovlivněna přesnost dávkování, pokud se překročí doporučen čas, kdy by se měl infuzní set vyměnit za nový. U infuzních pump určených pro krátkodobé dávkování, je tato doporučená hranice definovaná na 8 hodin. Po tuto dobu je garantována nejvyšší přesnost. Infuzní pumpy určený pro dlouhodobé dávkování mají garantovanou hranici do 96 hodin. Zde byla hranice překročena z 8 na 24 hodin a z 96 na 120 hodin.

Po statistickém a grafickém vyhodnocení lze konstatovat, že hranice, kdy se začne přesnost skutečně zhoršovat, nastane podstatně déle, než uvádí výrobce. Výrobci těchto infuzních pump udávali, že tuto hranici překročí pumpa již po 8 hodině. Ve skutečnosti bylo dosaženo závěru, že tyto infuzní pumpy hranici nuly překročily pro rychlost dávkování 25 ml/hod v 16 hodině měření, pro rychlost 50 ml/hod v 17 hodině měření a pro rychlost 125 ml/hod až v 20 hodině měření. Tyto hodnoty byly totožné pro oba dva typy infuzních pump, určených pro krátkodobé dávkování (Infusomat P, Argus 707). Z toho lze vyčíst, že pumpy dávkovaly ze začátku s nejvyšší odchylkou, která se postupem času snižovala. V praxi se to projevilo tím, že nejprve pumpa dávkovala větší objemy infuzního roztoku a postupem času měření se naměřené objemy každou hodinu začaly snižovat. Tím je dokázané, že hranice udávané výrobcem, tedy hranice, kdy má pumpa nejlepší přesnost měření (8 hod), při rychlosti dávkování 25 ml/hod, nebyla prokázána,

a tudíž se nepotvrdila. Infuzní pumpy Infusomat P a Argus 707 dosáhly této hranice až v 16. hod měření.

Naopak u pump pro dlouhodobé měření, byly v přesnosti výrazně vyšší. Nulové hranice zde byly protnuty po 16 hodině při rychlosti dávkování 25 ml/hod (Infusomat Fms), ve 32 hodině při rychlosti 125 ml/hod (Infusomat Fms), ve 48 hodině při rychlosti dávkování 25 ml/hod (Fresenius Agilia VP) a ve 32 hodině při rychlosti dávkování 125 ml/hod (Fresenius Agilia VP). Poté se přesnosti pohybovaly až na výjimky a drobné výkyvy okolo hranice s nulovou přesností. Po překročení doporučeného času výměny, tedy 96 hodin, zůstala přesnost stále velmi vysoká. Nedocházelo k větším výkyvům nebo jiným abnormalitám.

Poslední experiment se zabíral tím, jak moc ovlivní přesnost dávkování, když je založen nesprávný set. V případě této práce se jednalo o infuzní set určený pro gravitační infuzi. Tento set byl založen do infuzní pumpy Infusomat P. Po vyhodnocení bylo zjištěno, že tento set je absolutně nevhodný k takovému použití, jelikož v průběhu měření docházelo místy k téměř trojnásobnému nadávkování nadefinovaného objemu, který měl být reálně nadávkován. Z toho důvodu lze konstatovat, že by takovýto druh setu neměl být za žádné situace založen do infuzní pumpy.

Všechny tyto typy použitých infuzních pump mají garantované přesnosti dávkování pro rozsah rychlostí vždy $\pm 5\%$. Tuto přesnost splnily všechny použité infuzní pumpy pro zvolené rychlosti dávkování, jelikož se během měření pohybovaly právě v rozmezí $\pm 5\%$. Tím potvrzujeme, že informace o přesnostech dávkování, které udávají výrobci, jsou pravdivá. Jedinou výjimkou byla infuzní pumpa Infusomat P se založeným infuzním setem, určeným pro gravitační infuzi.

Výsledkem práce bylo tedy ověření, že pumpy, na kterých jsou nastaveny vyšší rychlosti dávkování, v řádu stovek mililitrů je přesnost vyšší a odchylky nižší. Dále byly definovány časové intervaly, kdy je dávkování nejpřesnější, a to pro každý typ infuzní pumpy. Tyto intervaly mohou sloužit obsluze k informaci, jak dlouho mohou dané pumpy užívat v provozu, s jakými přesnostmi budou v danou chvíli dávkovat, a jak velké odchylky mohou nastat. Výrobce udávají, že nulové hranice přesnosti dávkování se protne při dávkování výrazně dřív, než bylo v praktické části reálně zjištěno. Po překročení časového intervalu výměny setu bylo ověřeno, že u pump na dlouhodobé dávkování, se

přesnost nijak výrazně nezhorší. U pump pro krátkodobé dávkování se tato přesnost začne zhoršovat výrazně později, ale stále je zachována garantovaná přesnost 5 %. Dávkování mohou ovlivnit i vedlejší faktory, jako je například nesprávný set, který nebyl výrobcem infuzní pumpy schválen k použití. Nesprávný set může totiž ovlivnit dávkování natolik, že by mohl následně ovlivnit i zdravotní stav pacienta, jelikož objem léčiva podaný pacientovi se může dávkovat mnohdy i v násobně vyšším množství.

V praxi a reálném využití, které by mohlo pomoci obsluze infuzních pump, tato práce dodává informace, že i když jsou dané striktní hodnoty od výrobců, jsou infuzní sety vyrobené a nadimenzované na delší použití. V tom případě, překročení doporučené doby použití setu nebude mít zásadní dopad na pacientovu léčbu. To vše, pokud se jedná o velmi krátké překročení doporučené hranice. Stále by se měly vždy i přes tato zjištění, dodržovat výrobcem dané postupy a časové intervaly.

Seznam použité literatury

- [1] BRTNÍK, Bohumil. *Teoretická elektrotechnika*. Praha: BEN – technická literatura, 2017. ISBN 978-80-7300-547-4.
- [2] 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.
- [3] DUCHÁČEK, Vratislav. *Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Vyd. 2. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2006. ISBN 80-7080-617-6.
- [4] FRANKE, Rolf a Otto BERGMANN. Background Information on Infusion Therapy [online]. 8. Melsungen: B.Braun, 2001 [cit. 2016-01-03]. Dostupné z: http://www.bbraun.com/documents/Knowledge/Script_Infusion_Therapy_complete.pdf
- [5] HALLIDAY, David, Robert RESNICK a Jearl WALKER. *Fyzika: vysokoškolská učebnice obecné fyziky*. Brno: VUTIUM, 2000. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 80-214-1868-0
- [6] HOCHMAN, Vojtěch. *Interakce infuzního setu a volumetrické infuzní pumpy a jejich vliv na kvalitu léčby* [online]. Ostrava, 2014 [cit. 2022-10-25]. Dostupné z <https://core.ac.uk/download/pdf/94758569.pdf>. Diplomová práce. Technická univerzita Ostrava. Ing. Martin Augustynek.
- [7] <http://mve.energetika.cz/jineturbiny/peristalticke-cerpadlo.htm>. [online]. [cit. 2013–10-21].
- [8] CHMELÍK, František. *Skripta k předmětu Fyzika I* [online]. [cit. 2010-06-18].
- [9] Infuzní sety. B. Braun [online]. 2015 [cit. 2016-01-02]. Dostupné z: <http://www.bbraun.cz/cps/rde/xchg/cw-bbraun-cscz/hs.xsl/products.html?id=00020741900000000048>
- [10] Khandpur, Raghbir Singh. *Compendium of Biomedical Instrumentation*. John Wiley & Sons, Inc., 2020.
- [11] MISARŮ, Petr. *Infuzní sety a příslušenství bez rizika* [on-line]. 3/2010, [cit. 1. 10. 2012]. ISSN 1801-0342, Dostupné z: <https://www.braunoviny.cz/infuzni-sety-a-prislusenstvi-bez-rizika>
- [12] PENHAKER, Marek a Jan KUBÍČEK. *Snímače a senzory v biomedicíně*. Opava: Slezská univerzita v Opavě, 2014. ISBN 978-80-7248-943-5.
- [13] PENHAKER, Marek a Martin AUGUSTYNEK. *Zdravotnické elektrické přístroje 1*. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2013. 978-80-248-3107-7.

- [14] PESLAR, Jiří. *Konstrukce peristaltického čerpadla*. Brno, 2009. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. David Paloušek, Ph.D.
- [15] PODLUCKÝ, Jan. *Infuzní pumpa*. Brno, 2005. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Pavel Ždímal, CSc.
- [16] RAČEK, Jiří. *Technická mechanika: Mechanika tekutin a termomechanika*. Vyd. 6. Brno: Novpress, 2014. ISBN 978-80-214-4990-9.
- [17] ROZMAN, Jiří. *Elektronické přístroje v lékařství*. Vyd. 1. Praha: Academia, 2006. ISBN 80-200-1308-3.
- [18] SVOBODA, Emanuel. 2006. *Přehled středoškolské fyziky*. 4. vyd. Praha: Prometheus. ISBN 80-7196-307-0.
- [19] SVOBODA, Lukáš. 2013. DEHP – ftaláty, které představují riziko toxicity nejen pro dialyzované pacienty. Braunoviny [online]. Praha: B. Braun [cit. 2022-05-07]. Dostupné z: <https://www.braunoviny.cz/dehp-ftalaty-ktere-predstavuji-riziko-toxicity-nejen-prodialyzovane-pacienty>
- [20] ŠÁMAL, Oldřich. *Technická mechanika*. Praha: Informatorium, 2021. ISBN 9788073331412.
- [21] WOJNAR, Jiří. *Mechanika pevných látek a tekutin*. Karviná: [Jiří Wojnar], 2021. ISBN 978-80-11-00104-9.

Seznam příloh

Příloha A	Infusomat P – Měření při rychlosti 25 ml/hod
Příloha B	Infusomat P – Měření při rychlosti 50 ml/hod
Příloha C	Infusomat P – Měření při rychlosti 125 ml/hod
Příloha D	Argus 707 – Měření při rychlosti 25 ml/hod Příloha E
Příloha E	Argus 707 – Měření při rychlosti 50 ml/hod
Příloha F	Argus 707 – Měření při rychlosti 125 ml/hod Příloha H
Příloha G	Infusomat Fms – Měření při rychlosti 25 ml/hod
Příloha H	Infusomat Fms – Měření při rychlosti 125 ml/hod
Příloha I	Fresenius Agilia VP – Měření při rychlosti 25 ml/hod
Příloha J	Fresenius Agilia VP – Měření při rychlosti 125 ml/hod
Příloha K	Infusomat P – Měření při rychlosti 25 ml/hod se založeným gravitačním setem

Příloha A Infusomat P – Měření při rychlosti 25 ml/hod

Hodina kontroly:	1.	2.	3.	4.	5.
1	26	27	26	26	26
2	51	51	51	51	51
3	77	78	77	76	77
4	103	102	103	104	103
5	129	130	129	129	128
6	154	155	154	155	154
7	179	180	179	180	179
8	204	204	203	204	204
9	229	229	228	228	229
10	254	254	253	254	254
11	279	279	278	278	279
12	304	303	303	304	304
13	328	328	328	329	328
14	352	351	351	351	352
15	376	376	376	377	377
16	400	400	400	400	399
17	424	424	424	424	425
18	457	456	457	457	458
19	470	470	470	471	471
20	494	493	493	493	493
21	518	518	518	519	519
22	541	541	541	541	541
23	564	564	563	563	563
24	587	587	588	588	587

Příloha B Infusomat P – Měření při rychlosti 50 ml/hod

Hodina kontroly:	1.	2.	3.	4.	5.
1	53	54	55	55	53
2	106	107	107	107	107
3	158	159	160	158	159
4	209	210	210	209	210
5	260	260	260	260	260
6	310	309	310	310	308
7	360	359	359	359	358
8	410	410	410	410	409
9	460	460	460	459	459
10	509	510	510	509	509
11	558	559	559	558	559
12	608	607	608	608	608
13	656	656	657	652	657
14	705	705	704	704	705
15	755	755	755	754	754
16	802	803	803	800	802
17	850	851	851	850	850
18	899	898	899	898	898
19	947	946	947	946	946
20	995	992	995	994	994
21	1046	1045	1046	1045	1045
22	1091	1091	1092	1091	1091
23	1139	1139	1138	1138	1138
24	1187	1187	1184	1184	1186

Příloha C Infusomat P – Měření při rychlosti 125 ml/hod

Hodina kontroly:	1.	2.	3.	4.	5.
1	130	128	131	129	130
2	255	256	256	255	256
3	381	381	381	380	381
4	507	508	508	507	508
5	634	634	633	630	634
6	760	760	759	759	759
7	886	884	886	885	885
8	1012	1012	1011	1011	1012
9	1137	1136	1136	1137	1137
10	1262	1262	1263	1263	1262
11	1386	1387	1386	1387	1387
12	1511	1511	1512	1512	1511
13	1637	1636	1638	1638	1637
14	1760	1760	1760	1761	1761
15	1884	1885	1884	1883	1885
16	2009	2008	2010	2010	2010
17	2133	2133	2134	2134	2130
18	2251	2255	2255	2255	2256
19	2378	2377	2379	2380	2380
20	2502	2502	2502	2501	2503
21	2622	2622	2624	2624	2625
22	2749	2749	2750	2750	2749
23	2873	2871	2873	2873	2874
24	2995	2994	2994	2990	2994

Příloha D Argus 707 – Měření při rychlosti 25 ml/hod

Hodina kontroly:	1.	2.	3.	4.	5.
1	26	27	27	27	27
2	50	50	51	51	50
3	77	77	78	77	77
4	103	103	104	103	103
5	129	130	129	129	128
6	154	155	154	154	154
7	179	180	180	180	179
8	204	204	203	203	203
9	229	229	228	229	229
10	254	254	254	254	254
11	279	279	279	279	279
12	304	303	303	303	304
13	328	328	328	329	328
14	351	351	350	351	352
15	376	376	376	376	377
16	400	400	399	399	399
17	424	424	425	425	423
18	453	454	455	453	454
19	470	473	472	474	473
20	492	494	493	493	493
21	518	518	518	517	517
22	541	540	541	540	540
23	564	562	563	564	563
24	584	586	588	586	587

Příloha E Argus 707 – Měření při rychlosti 50 ml/hod

Hodina kontroly:	1.	2.	3.	4.	5.
1	53	54	54	53	53
2	106	107	107	107	107
3	159	159	160	158	160
4	209	210	210	209	210
5	260	260	260	260	260
6	310	309	310	310	308
7	360	359	359	359	358
8	411	410	410	410	409
9	460	460	460	460	459
10	510	510	510	510	509
11	558	559	559	559	559
12	608	608	608	608	608
13	656	656	657	656	657
14	705	705	704	705	705
15	755	755	755	755	754
16	802	802	802	802	802
17	850	851	851	851	851
18	899	898	899	898	899
19	947	946	946	946	946
20	995	994	994	994	995
21	1046	1045	1045	1045	1045
22	1091	1091	1091	1091	1091
23	1139	1139	1139	1138	1139
24	1187	1187	1183	1182	1187

Příloha F Argus 707 – Měření při rychlosti 125 ml/hod

Hodina kontroly:	1.	2.	3.	4.	5.
1	129	129	129	129	128
2	255	256	256	256	256
3	381	381	381	380	380
4	508	508	508	507	508
5	634	633	633	633	633
6	760	760	759	759	760
7	886	886	885	885	885
8	1012	1012	1011	1012	1012
9	1137	1136	1136	1136	1136
10	1262	1262	1263	1263	1263
11	1386	1386	1386	1387	1387
12	1511	1511	1511	1512	1512
13	1637	1637	1637	1638	1637
14	1760	1760	1761	1761	1761
15	1884	1884	1884	1885	1885
16	2008	2009	2009	2009	2009
17	2131	2131	2133	2133	2132
18	2254	2254	2252	2255	2255
19	2379	2380	2379	2379	2379
20	2501	2500	2500	2502	2502
21	2622	2622	2622	2623	2624
22	2745	2748	2746	2747	2747
23	2871	2871	2870	2870	2871
24	2992	2990	2993	2990	2993

Příloha G Infusomat Fms – Měření při rychlosti 25 ml/hod

Hodina kontroly:	1.	2.	3.
4	101	101	102
8	201	202	202
12	300	301	301
16	400	400	400
20	499	500	499
24	601	600	600
28	701	701	701
32	802	801	802
36	901	901	902
40	1000	1000	1001
44	1098	1100	1100
48	1199	1199	1200
52	1300	1300	1300
56	1401	1400	1400
60	1502	1501	1501
64	1602	1602	1600
68	1701	1701	1700
72	1800	1800	1799
76	1899	1898	1898
80	1999	1998	1998
84	2099	2099	2098
88	2200	2199	2199
92	2299	2299	2299
96	2400	2400	2399
100	2501	2502	2500
104	2601	2602	2601
108	2702	2703	2702
112	2801	2802	2802
116	2900	2900	2901

120	3001	2999	2999
------------	------	------	------

Příloha H Infusomat Fms – Měření při rychlosti 125 ml/hod

Hodina kontroly:	1.	2.	3.
4	501	501	500
8	1002	1001	1001
12	1501	1500	1500
16	2000	2002	1999
20	2500	2500	2499
24	2999	2999	2998
28	3499	3499	3499
32	4000	3999	4000
36	4499	4499	4501
40	4999	4997	5001
44	5500	5502	5502
48	5998	6002	6002
52	6499	6502	6501
56	6999	7002	7000
60	7498	7500	7498
64	7999	8000	7999
68	8500	8500	8500
72	8999	8999	8898
76	9500	9502	9549
80	10000	10000	9999
84	10499	10500	10498
88	10998	10999	10998
92	11499	11499	11498
96	11999	11999	11998
100	12498	12499	12499
104	12999	13000	13000
108	13500	13501	13502
112	14002	14002	14003
116	14502	14501	14502

120	15001	15002	15002
------------	-------	-------	-------

Příloha I Fresenius Agilia VP – Měření při rychlosti 25 ml/hod

Hodina kontroly:	1.	2.	3.
4	97	98	98
8	198	198	199
12	299	299	299
16	398	399	398
20	500	501	501
24	601	601	601
28	702	702	703
32	802	801	802
36	901	901	901
40	1002	1002	1002
44	1101	1101	1100
48	1200	1201	1200
52	1300	1301	1300
56	1399	1400	1399
60	1498	1499	1499
64	1599	1598	1598
68	1698	1697	1698
72	1799	1798	1798
76	1900	1899	1899
80	2000	2000	1999
84	2099	2099	2098
88	2198	2198	2199
92	2299	2299	2300
96	2400	2400	2399
100	2500	2500	2500
104	2599	2598	2598
108	2698	2697	2697
112	2798	2799	2798
116	2897	2897	2898

120	2998	2996	2997
------------	------	------	------

Příloha J Fresenius Agilia VP – Měření při rychlosti 125 ml/hod

Hodina kontroly:	1.	2.	3.
4	498	498	499
8	997	998	998
12	1498	1499	1499
16	1999	1999	1998
20	2498	2499	2498
24	2999	2998	2999
28	3499	3498	3499
32	4000	3999	4000
36	4499	4499	4499
40	4999	4999	5000
44	5500	5500	5500
48	5999	5999	6000
52	6500	6500	6500
56	7000	7000	7000
60	7501	7501	7500
64	8000	8001	8000
68	8501	8501	8501
72	9002	9002	9000
76	9501	9501	9501
80	10002	10001	10001
84	10501	10502	10502
88	11001	11001	11002
92	11500	11500	11501
96	12000	11999	12000
100	12499	12499	12499
104	12998	12998	12999
108	13499	13498	13497
112	13998	13999	13998
116	14499	14499	14498

120	14999	14998	14998
------------	-------	-------	-------

Příloha K Infusomat P – Měření při rychlosti 25 ml/hod se založeným infuzním setem

Hodina kontroly:	1.	2.	3.	4.	5.
1	60	62	65	62	66
2	118	120	120	122	125
3	171	179	175	175	172
4	220	218	218	218	218
5	268	268	270	274	272
6	319	320	319	318	322
7	368	369	370	375	370
8	413	415	415	416	413
9	461	461	460	463	464
10	506	504	506	508	508
11	551	552	552	554	551
12	594	595	596	595	595
13	638	638	640	639	641
14	680	679	678	678	678
15	720	725	722	721	722
16	761	764	761	761	761
17	798	801	798	797	798
18	833	835	833	830	832
19	869	874	870	870	871
20	901	903	900	902	902
21	934	938	934	937	935
22	962	966	962	962	963
23	987	988	990	989	990
24	1011	1011	1013	1015	1015