

Laboratorní úloha - měření výkonu peristaltického krevního čerpadla

Laboratory Task - Measurement of Peristaltic Blood Pump Performance

Lukáš Hertl

Bakalářská práce

Vedoucí práce: doc. Ing. Martin Augustynek, Ph.D.

Ostrava, 2021

ABSTRAKT

Cílem mé práce je zhotovit laboratorní úlohu pro měření výkonu peristaltického čerpadla a navrhnout postup a měřicí řetězec za pomoci desky NI ELVIS II a softwaru NI Labview. Řízení motoru pumpy obstará obvod (H – můstek) na desce NI ELVIS II a software NI Labview, které zároveň se postará o zpracování dat, které byly získány senzorem průtoku umístěným na výstupní části čerpadla.

Klíčová slova: Peristaltická pumpa, Měření výkonu peristaltické pumpy

ABSTRACT

The main focus of my work is to create a laboratory task for measuring the performance of a peristaltic pump. To design a procedure and a measuring chain, using the NI ELVIS II board and NI Labview software. The engine control of the pump will provide the circuit (H – bridge) on the NI ELVIS II board and the NI Labview software, which will also take care of the processing of data obtained by the flow sensor located on the pump outlet.

Keywords: Peristaltic pump, Power measurement of peristaltic pump

Poděkování

Rád bych poděkoval doc. Ing. Martinu Augustynkovi, Ph.D. za vstřícnost při konzultacích, cenné rady a odborné vedení mé bakalářské práce.

Obsah

Seznam ilustrací, tabulek a rovnic	6
Úvod	9
1. Rešerše	10
1.1. Literární rešerše	10
1.2. Patentová rešerše	14
2. Peristaltické čerpadlo	19
2.1. Konstrukce čerpadla	19
2.2. Výkon peristaltického čerpadla.....	20
2.3. Okluzní přítlak.....	20
2.4. Fáze čerpadla	21
3. Senzory průtoku.....	23
3.1. Druhy průtokových senzorů a metody	23
3.2. Průtokoměry turbínové a lopatkové.....	26
4. Návrh měřícího řetězce.....	28
4.1. měřící řetězec.....	28
4.2. NI ELVIS II	29
4.3. Průtokoměr	29
4.4. Otáčkoměr	32
4.5. H-můstek	33
4.6. Deska plošného spoje	34
4.7. Peristaltické čerpadlo	36
5. Software	37
5.1. Řízení peristaltického čerpadla	37
5.2. Čtení a zpracování naměřených dat	40
5.3. Grafické uživatelské rozhraní.....	43
6. Návrh laboratorní úlohy pro měření výkonu peristaltického čerpadla	47
6.1. Cíl úlohy.....	47
6.2. Zadání	47
6.3. Předpokládané znalosti.....	47
6.4. Použité vybavení	47
6.5. Teoretický rozbor	47
6.6. Pracovní postup	50
6.7. Úloha č. 1. měření průtoku pomocí objemové, hmotnostní, rychlostní metody a vztahu pro výpočet výkonu na peristaltickém čerpadle	55
6.8. Úloha č. 2. měřte průtok za pomoci průtokoměru	56
6.9. Úloha č. 3. proveďte analýzu naměřených dat	56
6.10. Kontrolní otázky	56
7. Vzorový protokol.....	57
7.1. Úloha č. 1.	57
7.2. Úloha č. 2.	58

7.3. Úloha č. 3.	59
7.4. Kontrolní otázky	60
Závěr	61
Literatura.....	62
Přílohy	65

Seznam obrázků

Obrázek 1. - Peristaltické čerpadlo INTLLAB DP-385-DIY [8].....	15
Obrázek 2. - PERISTALTICKÉ DÁVKOVACÍ ČERPADLO IPS3 [9]	16
Obrázek 3. - PERISTALTICKÉ DÁVKOVACÍ ČERPADLO IPS3 [9]	16
Obrázek 4. - Čerpadlo OEM JT03 SN25 [10]	17
Obrázek 5. - PERISTALTICKÉ ČERPADLO ŘADY 810 [11]	18
Obrázek 6. - PERISTALTICKÉ ČERPADLO ŘADY 810 [11]	18
Obrázek 7. - Konstrukce peristaltického čerpadla, 1. kostra čerpadla, 2. úchyty čerpacího segmentu, 3. detektor uzavření čerpadla, 4. hadička [12].....	19
Obrázek 8. – Okluzní přítlak [12]	20
Obrázek 9. - První fáze peristaltického čerpadla [19]	21
Obrázek 10. - Druhá fáze peristaltického čerpadla [19]	22
Obrázek 11. - Třetí fáze peristaltického čerpadla [19]	22
Obrázek 12. - Turbínový senzor průtoku [20]	26
Obrázek 13. - Lopatkový průtokoměr [20]	27
Obrázek 14. - Blokové schéma měřícího řetězce.	28
Obrázek 15 - Vývojová desky NI Elvis II [14].....	29
Obrázek 16. - Průtokoměr FCH-m-POM-LC od firmy B.I.O Tech [15].....	30
Obrázek 17 – Zapojení průtokoměru [16].....	30
Obrázek 18. - Naměřený výstupní signál průtokoměru pomocí osciloskopu Agilent DSO-X 2024a	31
Obrázek 19 - Reflexní optočlen CNY 70 [17]	32
Obrázek 20. – Schéma senzoru pro měření otáček.....	32
Obrázek 21. - Naměřený výstupní signál senzoru otáček pomocí osciloskopu.....	33
Obrázek 22. - Integrovaný obvod H-můstku L298N MULTIWATT15 [19]	33
Obrázek 23. - Schéma H-můstku.	34
Obrázek 24. - Návrh desky plošného spoje (zadní část DPS vlevo, přední část DPS vpravo)	35
Obrázek 25. - 3D model desky plošného spoje	35
Obrázek 26. - Peristaltické Čerpadlo Řady 810 [11]	36
Obrázek 27. - Fotodokumentace Peristaltického čerpadla s připevněným senzorem otáček.....	36
Obrázek 28. - Softwarová část zodpovědná za řízení peristaltické pumpy	37
Obrázek 29. - Diagram řídicí části SW	38
Obrázek 30. - Funkce DAQ.mx Create Channel v NI Labview.....	38
Obrázek 31. - Funkce DAQ.mx Timing v NI Labview.....	38
Obrázek 32. - Funkce DAQ.mx Start Task v NI Labview.....	39
Obrázek 33. - Funkce DAQ.mx Write v NI Labview	39
Obrázek 34. - Funkce DAQ.mx Is Task Done v NI Labview	39
Obrázek 35. - Funkce DAQ.mx Clear Task v NI Labview	39
Obrázek 36. - Funkce Simple Error Handler v NI Labview	39
Obrázek 37. - Softwarová část zodpovědná za čtení a zpracování signálu	40
Obrázek 38. - Diagram části pro čtení a zpracování dat.....	41
Obrázek 39. - Funkce DAQ Assistant v NI Labview.....	41
Obrázek 40. - Funkce Timing and Transition Measurements v NI Labview	42
Obrázek 41. - Funkce Write to Measurement File v NI labview.....	43

Obrázek 42. - Čelní panel virtuálního přístroje s příkladnými hodnotami	43
Obrázek 43. - Posuvník pro hodnotu Duty Cycle.....	44
Obrázek 44. - Přepínač k určení směru otáčení.....	44
Obrázek 45. - Přepínač pro vypnutí a zapnutí motoru pumpy.....	44
Obrázek 46. - Tlačítko STOP.....	44
Obrázek 47. - Indikátory aktuálních hodnot pro Ot/min nahoře a ml/min dole.....	45
Obrázek 48. - Grafický indikátor průběhu otáček v čase.....	45
Obrázek 49. - Grafický indikátor pro průtok v ml/min	46
Obrázek 50. - Konstrukce peristaltického čerpadla, 1. kostra čerpadla, 2. úchyty čerpacího segmentu, 3. detektor uzavření čerpadla, 4. hadička	48
Obrázek 51. - Schéma zapojení Senzoru otáček.....	51
Obrázek 52. - Schéma zapojení senzoru průtoku.....	51
Obrázek 53. - Značení pinů konektoru H-můstku.....	52
Obrázek 54. - Čelní panel Softwaru v NI labview	53
Obrázek 55. - Posuvník pro hodnotu Duty Cycle.....	53
Obrázek 56. - Přepínač k určení směru otáčení.....	53
Obrázek 57. - Přepínač pro vypnutí a zapnutí motoru pumpy.....	53
Obrázek 58. - Tlačítko STOP.....	54
Obrázek 59. - Indikátory aktuálních hodnot pro Ot/min nahoře a ml/min dole.....	54
Obrázek 60. - Grafický indikátor průběhu otáček v čase.....	54
Obrázek 61. - Grafický indikátor pro průtok v ml/min	55
Obrázek 62. - Fotodokumentace všech pomocných obvodů	66
Obrázek 63. - Fotodokumentace H – Můstku	66
Obrázek 64. - Fotodokumentace zapojení senzoru průtoku.....	67
Obrázek 65. - Fotodokumentace senzoru průtoku	67
Obrázek 66. - Fotodokumentace zapojení senzoru otáček.....	68
Obrázek 67. - Fotodokumentace senzoru otáček umístěný na peristaltickém čerpadle.....	68
Obrázek 68. - Fotodokumentace měřícího řetězce.....	69

Seznam grafů

Graf 1. - Výstupní signál průtokoměru definován výrobcem	31
Graf 2. - Krabicový graf naměřených hodnot průtoku	59

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Tabulka vybraných parametrů senzoru průtoku FCH-M-POM-LC [16].....	30
Tabulka 2. - Vzorová tabulka výsledků pro úlohu č.1.....	56
Tabulka 3. - Vzorová tabulka výsledku pro úlohu č.2.....	56
Tabulka 4. - Tabulka pro hodnoty objemové metody	57
Tabulka 5. - Tabulka pro hodnoty hmotnostní metody	57
Tabulka 6. - Tabulka pro hodnoty rychlostní metody	57
Tabulka 7. - Tabulka pro hodnoty ze vztahu pro výpočet výkonu peristaltického čerpadla	58
Tabulka 8. - Tabulka pro hodnoty z průtokoměru.....	58
Tabulka 9. - Objem čerpacího segmentu z naměřených hodnot	59

Seznam rovnic

Rovnice 1. - Vztah pro výpočet průtoku peristaltického čerpadla	20
Rovnice 2. - Vztah pro výpočet objemu čerpacího segmentu.....	21
Rovnice 3. - Vztah pro výpočet objemového množství	23
Rovnice 4. - Vztah pro výpočet hmotnostního množství	23
Rovnice 5. - Vztah pro výpočet objemového množství, objemová metoda.....	24
Rovnice 6. - Vztah pro výpočet hmotnostního množství, objemová metoda	24
Rovnice 7. - Vztah pro výpočet hmotnostního množství, hmotnostní metoda	24
Rovnice 8. - Vztah pro výpočet objemového množství, rychlostní metoda.....	24
Rovnice 9. - Vztah pro výpočet hmotnostního množství, rychlostní metoda	24
Rovnice 10. - Závislost frekvence na otáčení na otáčení turbínového a lopatkového průtokoměru ...	26
Rovnice 11. - Vztah pro výpočet otáček z frekvence senzoru otáček	42
Rovnice 12. - Vztah pro výpočet průtoku z frekvence senzoru průtoku	42
Rovnice 13. - Vztah pro výpočet průtoku peristaltického čerpadla	48
Rovnice 14. - Vztah pro výpočet objemového množství, objemová metoda.....	49
Rovnice 15. - Vztah pro výpočet hmotnostního množství, objemová metoda.....	49
Rovnice 16. - Vztah pro výpočet hmotnostního množství, hmotnostní metoda	49
Rovnice 17. - Vztah pro výpočet objemového množství, rychlostní metoda.....	50
Rovnice 18. - Vztah pro výpočet hmotnostního množství, rychlostní metoda	50
Rovnice 19. - Vztah pro výpočet rychlosti otáčení	50

Úvod

Peristaltická čerpadla se dnes využívají mnoha odvětvích, např. v průmyslu a laboratořích pro přenos nebo přesné dávkování těkavých nebo jinak rizikových látek, které by běžným čerpadlem nebylo možné nijak přečerpát. Zejména tento typ čerpadla si našel uplatnění v odvětví zdravotnictví, kde ho můžeme nalézt např. v dialyzačních přístrojích nebo v jakémkoliv jiném systému kde je zapotřebí zajistit průtok krve mimo tělo.

Cílem mé práce je ověřit výkon peristaltického čerpadla na základě naměřených hodnot a hodnot vypočítaných s hodnotou danou výrobcem, a také vytvořit z naměřených dat charakteristiku čerpadla. Také je zapotřebí vybrat čerpadlo, na kterém by bylo možné s dostupnými senzory průtoku provést dané měření a navrhnout měřicí řetězec. Z toho důvodu je zde obsažena rešerše, která mi pomohla získat informace o tom, jestli se někdo touto problematikou zabýval a mohlo by to pomoci k mému vlastnímu řešení mé práce.

Teoretickou část tvoří informace o peristaltickém čerpadle, funkčnosti a jeho vlastnostech. Dále se zde nacházejí informace o možném pohonu a řízení čerpadla. V praktické části se nacházejí schémata navrhnutého měřicího řetězce, řídicího obvodu a sestaveného programu.

1. Rešerše

1.1. Literární Rešerše

Klíčová slova: Peristaltické čerpadlo, Hadicové čerpadlo, Peristaltic pump

Jazykové vymezení: Čeština, Angličtina.

Časové rozmezí: 2010 - 2019

Zdroje: Science Direct, IEEE Xplore

Celkový počet záznamů: 7

[1] YAMATSUTA, Eitaro, Sze PING BEH, Kaoru UESUGI, Hidenobu TSUJIMURA a Keisuke MORISHIMA. A Micro Peristaltic Pump Using an Optically Controllable Bioactuator. *Engineering* [online]. 2019 [cit. 2019-05-15]. DOI: 10.1016/j.eng.2018.11.033. ISSN 20958099. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2095809917307683>

Název článku:

Mikro peristaltická pumpa používající opticky ovládaný bioaktuátor

Abstrakt:

Peristaltika je široce viděna v přírodě, protože tato čerpací akce je důležitá v trávicích systémech pro dopravu výživy do každého koutu těla. V tomto článku navrhujeme svalově poháněné trubkové mikro čerpadlo, které zajišťuje peristaltickou dopravu. Využili jsme larvy *Drosophila melanogaster*, které exprimují channelrhodopsin-2 (ChR2) na buněčné membráně kosterních svalů za účelem získání svalové tkáně reagující na světlo. Larvy byly nuceny kontrahovat za stimulace modrým světlem. Při změně rychlosti stimulace světlem, jsme pozorovali posun na povrchu kontraktilních svalových tkání. Získali jsme peristaltickou pumpu z larev, jejich disekcí do tubulárních struktur. Průměrný vnitřní průměr trubkovitých struktur byl asi 400 μm a průměrný vnější průměr byl asi 750 μm . Kontrakce této tubulární struktury může být řízena stejnou stimulací, pomocí modrého světla. Aby byl vnitřní tok viditelný, umístili jsme do peristaltické pumpy mikrokuličky. Tím jsme zjistili, že pumpa může transportovat látku rychlostí 120 $\mu\text{m s}^{-1}$.

Závěr:

Tento článek se zabývá návrhem nového typu peristaltického čerpadla za pomoci larev reagujících na modré světlo jako zdroje mechanické práce. Popisuje princip, řízení a také krátce porovnává s peristaltickým čerpadlem využívaným v průmyslu nebo ve zdravotnictví. Tento článek je velmi zajímavý, ale pro mou závěrečnou práci by nenašel žádné uplatnění.

[2] KOMMU, Aruna, Raghavendra Rao KANCHI a Naveen Kumar UTTARKAR. Design and development of microcontroller based peristaltic pump for automatic potentiometric titration. In: *2014 International Conference on Communication and Signal Processing*[online]. IEEE, 2014, 2014, s. 157-161 [cit. 2019-05-15]. DOI: 10.1109/ICCSP.2014.6949819. ISBN 978-1-4799-3358-7. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6949819/>

Název článku:

Návrh a vývoj peristaltického čerpadla na bázi mikrokontroleru pro automatickou potenciometrickou titraci

Abstrakt:

Tento článek prezentuje návrh a vývoj peristaltického čerpadla na bázi mikrokontroleru, které se používá k čerpání různých typů kapalin při různých rychlostech. V tomto článku jsou také diskutovány základní principy, konstrukce a práce peristaltického čerpadla. Celý systém je postaven na pokročilé 32bitové architektuře RISC procesorů s nízkým výkonem ARM7TDMI (LPC2148). Mikrokontroler řídí krokový motor, který zase řídí rychlost přivádění kapaliny. Hardware a software je vyvíjen v laboratoři s využitím dostupných komponent. Hardware je integrován na univerzální PCB, software je vyvinut v jazyce C, za účelem otáčení krokového motoru v různých krocích s různými rychlostmi. Celý systém je kalibrován pro různé průtoky. Systém vyvinutý v laboratoři je levný, jednoduchý a spolehlivý. Cílem návrhu je provést automatickou potenciometrickou titraci pro měření pH titrací kyselých bází, která je součástí budoucí studie.

Závěr:

Článek obsahuje návrh peristaltického čerpadla určeného pro automatickou potenciometrickou titraci. V úvodu článek popisuje princip funkce peristaltického čerpadla. Je zde popsán návrh čerpadla řízeného procesorem ARM programovaným v jazyce C. Také obsahuje podrobné schéma zapojení a vývojový diagram, který popisuje průběh programu. Celý tento návrh je sestaven pomocí běžně dostupných komponentů. Tento článek je velmi užitečný a mohl by přispět k tvorbě závěrečné práce.

[3] LOTH, Andreas a Ralf FORSTER. Disposable high pressure peristaltic micro pump for standalone and on-chip applications. In: *2016 IEEE 11th Annual International Conference on Nano/Micro Engineered and Molecular Systems (NEMS)* [online]. IEEE, 2016, 2016, s. 29-33 [cit. 2019-05-15]. DOI: 10.1109/NEMS.2016.7758193. ISBN 978-1-5090-1947-2. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7758193/>

Název článku:

Jedno tlakové peristaltické mikro čerpadlo pro samostatné a on-čipové aplikace na jedno použití

Abstrakt:

Byla vyvinuta nová jednorázová vysokotlaká peristaltická mikro pumpa, která umožňuje přesné dávkování jednotlivých objemů v rozsahu nano litrů. Trubka je integrována do jednorázové kazety, která nabízí mnoho výhod. Může generovat vysoký tlak, zatímco malý vnitřní objem poskytuje příležitost k manipulaci s drahými nebo vzácnými tekutinami. Jeho malá velikost umožňuje implementaci do biočipů nebo mikro fluidních systémů. Samostatné řešení může být připojeno k polo pružným hadičkám nebo k hadičkám klasickým. Byly stanoveny fluidní vlastnosti čerpadla a deklarován maximální tlak. Byla ověřena odolnost kazety proti únavě. Jeho jednoduchá struktura nabízí potenciál pro masovou výrobu.

Závěr:

Článek se zabývá problémem přesného dávkování látek a k řešení využívá peristaltické čerpadlo. Popisuje návrh vysokotlakého peristaltického mikro čerpadla pro přesné dávkování látek v řádech nL. Je zde také popsán celý koncept, řešení a výsledek. Článek, by mohl být užitečný pro tvorbu mé závěrečné práce.

[4] STORK, M. a D. MAYER. Peristaltic Pump With Magnetoelastic Drive. *IEEE Transactions on Magnetics* [online]. 2018, **54**(5), 1-4 [cit. 2019-05-15]. DOI: 10.1109/TMAG.2018.2804331. ISSN 0018-9464. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/8306274/>

Název článku:

Peristaltická pumpa s Magnet elastickou pohonnou jednotkou

Abstrakt:

Tato práce se zabývá novým typem čerpadla pro kapaliny. Na rozdíl od stávajících peristaltických čerpadel je pohon popsaného čerpadla založen na fyzikálních vlastnostech magnetické kapaliny nebo magnetoelastických vlastnostech pevných struktur. Sací a výtlačný účinek čerpadla zajišťuje běžící magnetickou vlnu. Čerpadlo je popsáno v lineárním i kruhovém uspořádání. Na rozdíl od stávajících typů čerpadel má popsané čerpadlo některé výhodné vlastnosti.

Závěr:

Článek popisuje peristaltické čerpadlo poháněné nekonvenčním způsobem oproti běžně využívaným čerpadlům ve zdravotnictví nebo průmyslu. Pohon nevyužívá žádné mechanické komponenty, ale využívá magnetickou energii k rozpohybování látek. Je zde popsáno řešení v lineární nebo kruhové podobě, článek také obsahuje matematický model čerpadla. Tento článek by mohl být užitečný k závěrečné práci.

[5] KLESPITZ, Jozsef a Levente KOVACS. Identification and control of peristaltic pumps in hemodialysis machines. In: *2013 IEEE 14th International Symposium on Computational Intelligence and Informatics (CINTI)* [online]. IEEE, 2013, 2013, s. 83-87 [cit. 2019-06-16]. DOI: 10.1109/CINTI.2013.6705169. ISBN 978-1-4799-0197-5. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6705169/>

Název článku:

Identifikace a kontrola peristaltických čerpadel v hemodialyzačních strojích

Abstrakt:

V hemodialyzačních strojích jsou za přenos tekutin zodpovědná peristaltická čerpadla. Hlavní charakteristikou těchto čerpadel je, že mohou přepravovat látky s významnou chybou. Toto závisí na odchylce segmentu trubky, způsobené výrobou. Vzhledem k tomu, že v lékařství tekutina představuje léky a současně je nutné kontrolovat rovnováhu látek u pacienta, je důležité tyto látky přenášet co nejpřesněji. Cílem příspěvku je navrhnout regulátor, který splňuje uvedené požadavky. Nejprve je identifikace systému realizována metodou klasického klouzavého průměru (ARX) následovanou návrhem dvou regulátorů: klasického PID a fuzzy regulátoru. Po porovnání jejich simulačních výsledků byla nejvhodnější metoda implementována v praxi.

Závěr:

Článek se zabývá regulací peristaltického čerpadla jako dávkovače. Zkoumá 4 metody a také dva typy regulátoru. Článek se přímo nezabývá funkcí, ale pouze porovnává jednotlivé typy.

[6] CETIN, Ipek, Gorkem YILMAZ, Hande HALILIBRAHIMOGLU a Ceyhun E. KIRIMLI. Do It Yourself" Peristaltic Pump and Flowcell for QCM Biosensor. In: *2017 21st National Biomedical Engineering Meeting (BIYOMUT)* [online]. IEEE, 2017, 2017, i-iv [cit. 2019-05-16]. DOI: 10.1109/BIYOMUT.2017.8479100. ISBN 978-1-5386-5340-1. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8479100/>

Název článku:

"Udělej si sám" Peristaltická Pumpa a průtoková buňka pro QCM bio senzor

Abstrakt:

Cílem této studie je navrhnout a vyrobit peristaltické čerpadlo (DIY) a průtokovou kyvetu pro bio senzor QCM. Výsledkem návrhu je naučit se navrhovat 3D objekty a upravovat parametry tisku, aby bylo možné úspěšně vyrobit peristaltické čerpadlo a průtokovou buňku. Výstupy výrobního procesu zahrnují naučit se přenášet data do a z vestavěného systému ovládajícího čerpadlo a jak navrhovat uživatelské rozhraní spuštěné na počítači. První fáze projektu spočívala v návrhu, kde byl 3D návrhový program použit k nakreslení 3D náčrtu součástí; druhá fáze zahrnovala 3D tisk a aplikaci funkčních testů průtoku a rychlosti otáčení. Závěrečná fáze zahrnovala kalibraci průtokových a čerpadlových parametrů pro trubky různých vnitřních průměrů.

Závěr:

Článek obsahuje jak návrh, tak i zpracování peristaltického čerpadla poháněného krokovým motorem a řízeného pomocí řídicí jednoty (HY-DIV268N-5A). Článek také obsahuje výpočty pro kalibraci. Tento článek by mohl posloužit jako inspirace pro mou závěrečnou práci.

[7] KLESPITZ, Jozsef a Levente KOVACS. Peristaltic pumps — A review on working and control possibilities. In: *2014 IEEE 12th International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMI)*[online]. IEEE, 2014, 2014, s. 191-194 [cit. 2019-06-16]. DOI: 10.1109/SAMI.2014.6822404. ISBN 978-1-4799-3442-3. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6822404/>

Název článku:

Peristaltická čerpadla – přezkoumání pracovních a kontrolních možností

Abstrakt:

Peristaltická čerpadla jsou pozitivní náhradou čerpadel, běžně používaných při transportech kapalin. Toto čerpadlo nekontaminuje přepravovanou tekutinu, je nenáročné a je ideální pro agresivní kapaliny. Díky širokému spektru jejich použití existuje mnoho variant těchto čerpadel na základě jejich speciálních potřeb, jako je potřeba vysokého tlaku, dlouhá životnost potrubí nebo nízká tlaková odchylka. Cílem práce je shrnout nejdůležitější vlastnosti těchto čerpadel a představit některá speciální řešení těchto čerpadel se zaměřením na možnosti řízení.

Závěr:

Článek popisuje princip funkce peristaltického čerpadla a také jednotlivé typy. Tento článek mimo jiné rozebírá jednotlivé výhody či nevýhody peristaltických čerpadel, jejich aplikaci a jejich způsob řízení. Tento článek by mohl být využit při tvorbě mé závěrečné práce.

Závěr literární rešerše

Nejvíce užitečným článkem se ukázal článek [7], kde jsou popsány principy funkce čerpadla. Články [2] a [6] by mohly posloužit jako inspirace při tvorbě mé závěrečné práce. Články [3] a [4] by mohly být užitečné v případě, že bych se zabýval sestavením peristaltického čerpadla. Článek [5] by mohl přispět z hlediska typu řízení peristaltického čerpadla. Článek [1] by nijak nepřispěl k mé závěrečné práci. Článek [7] použiji jako jeden z možných zdrojů do teoretického rozboru mé práce.

1.2. Patentová rešerše

Klíčová slova: Peristaltické čerpadlo, Hadicové čerpadlo

Jazykové vymezení: Čeština

Časové rozmezí: 2010-2019

Celkový počet patentů: 4

[8] INTLLAB DP-385-DIY Peristaltické čerpadlo 12V. *Www.laskarduino.cz* [online]. Rychnov nad Kněžnou: laskarduino.cz, c2020 [cit. 2020-01-03]. Dostupné z: https://www.laskarduino.cz/intllab-dp-385-diy-peristalticke-cerpadlo-12v/?gclid=EAlalQobChMIypfs_O3n5glVw513Ch2ezADdEAQYAIBEGKi5vD_BwE

Název:

INTLLAB DP-385-DIY Peristaltické čerpadlo 12 V

Specifikace:

Vnější průměr hadičky:	4,5 mm	Vnitřní průměr hadičky:	2,5 mm
Proud:	300 mA	DC Napětí:	12 V
Průtok:	16-70 ml/min	Rozměry motoru:	38x26 mm
Cena:	348 Kč	Rozměry čerpadla:	20x32 mm



Obrázek 1. - Peristaltické čerpadlo INTLLAB DP-385-DIY [8]

Závěr:

Čerpadlo obsahuje elektrický motor napájený 12VDC, který oproti, ku příkladu krokovému motoru, má výhodu, že pro jeho řízení není třeba více než jeden H-můstek. Z toho vyplývá, že cena za součástky pro řídicí obvod by byla nižší. Toto čerpadlo vyhovuje dostupnému senzoru průtoku o rozsahu 0,015-0,8 ml.

[9] Peristaltická dávkovací čerpadla: Peristaltická čerpadla s konstantním průtokem. *Dmychadla a náhradní díly* [online]. Všešary-Bříza: Dmychadla a náhradní díly, c2020 [cit. 2020-01-03]. Dostupné z: <http://www.covdily.cz/data/listy/Peristalticka-davkovaci-cerpadla.pdf>

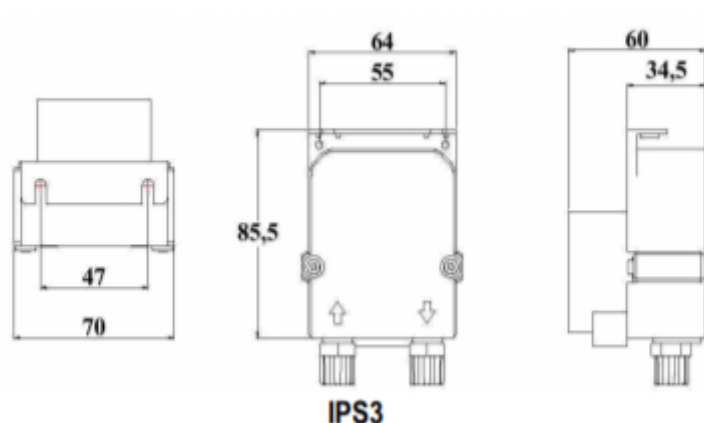
Název:

Peristaltické dávkovací čerpadlo IPS3

Specifikace:

Napětí: 230 V AC, 50 Hz
Průtok: 0-3 l/h
Výtlač: 1 bar
Příkon: 5 W
Obousměrný chod: Ne
Připojení hadičky 5,8 x 9,3 mm

Materiál hadičky: Teknoprene® TPV
Materiál čerpadla: PP se skelnými vlákny
Materiál konektoru: PP se skelnými vlákny
Rozměry čerpadla: 70 x 86 x 60 mm
Váha: 0,6 Kg
Cena: 1 312,40 Kč



Obrázek 2. - PERISTALTICKÉ DÁVKOVACÍ ČERPADLO IPS3 [9]



Obrázek 3. - PERISTALTICKÉ DÁVKOVACÍ ČERPADLO IPS3 [9]

Závěr:

Toto čerpadlo má poměrně využitelný průtok, na kterém by se případné změny v průtoku sledovaly dobře pomocí dostupného senzoru. Nicméně toto čerpadlo využívá elektrický motor na střídavé napětí ze sítě, který by mohl působit potíže s NI ELVIS II. Také bych nemohl využít případného napájení z desky NI ELVIS II.

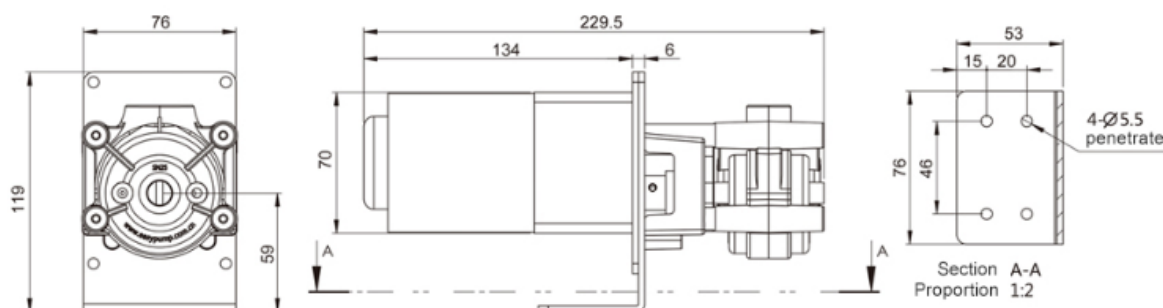
[10] Čerpadlo OEM JT03 SN25, 220V AC 1500 ml/min, 1 hlava 25#. Create Flow [online]. Poříčany: Create Flow, c2020 [cit. 2020-01-03]. Dostupné z: <https://www.createflow.cz/hadicova-peristalticka-čerpadla-oem/peristalticke-hadicove-čerpadlo/>

Název:

Čerpadlo OEM JT03 SN25

Specifikace:

Napětí:	110/220 V AC	Maximální teplota:	0°C až +40°C
Průtok:	0,25-1500 ml/min	Maximální vlhkost:	< 80%
Otáčky:	60-417 ot/min	Rozměry čerpadla:	229,5 x 76,6 x 119 mm
Příkon:	10 W	Váha:	0,2 kg
Materiál hadičky:	Silikon	Cena:	10 000 Kč
Velikost hadičky:	6,4 x 2,4 mm		



Obrázek 4. - Čerpadlo OEM JT03 SN25 [10]

Závěr:

Čerpadlo má průtok, na kterém by s dostupným senzorem šly měřit změny v průtoku. Čerpadlo využívá elektrický motor na střídavé napěti ze sítě, který by mohl působit potíže s NI ELVIS II. Také bych nemohl využít případného napájení z desky NI ELVIS II. Čerpadlo má poměrně vysokou cenu.

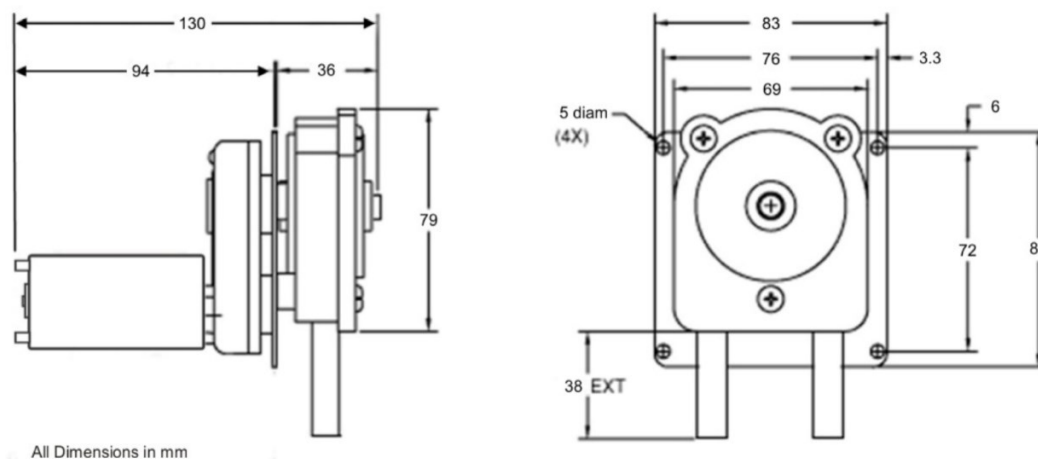
[11] Mbm technik. *PERISTALTICKÉ ČERPADLO ŘADY 810*. Brno, 2019.

Název:

PERISTALTICKÉ ČERPADLO ŘADY 810

Specifikace:

Napětí:	24 VDC	Materiál hadičky:	Silikon nebo Santopren
Průtok:	1 l/h	Rozměry čerpadla:	83 x 83 x 130 mm
Vnitřní průměr hadičky:	6,4 mm	Cena:	2960 Kč



Obrázek 5. - PERISTALTICKÉ ČERPADLO ŘADY 810 [11]



Obrázek 6. - PERISTALTICKÉ ČERPADLO ŘADY 810 [11]

ZÁVĚR:

Čerpadlo je poháněno elektrickým motorem na 24 VDC. Bylo by potřeba využití externího zdroje napětí. Toto čerpadlo má průtok, který vyhovuje dostupnému senzoru průtoku.

Závěr patentové rešerše

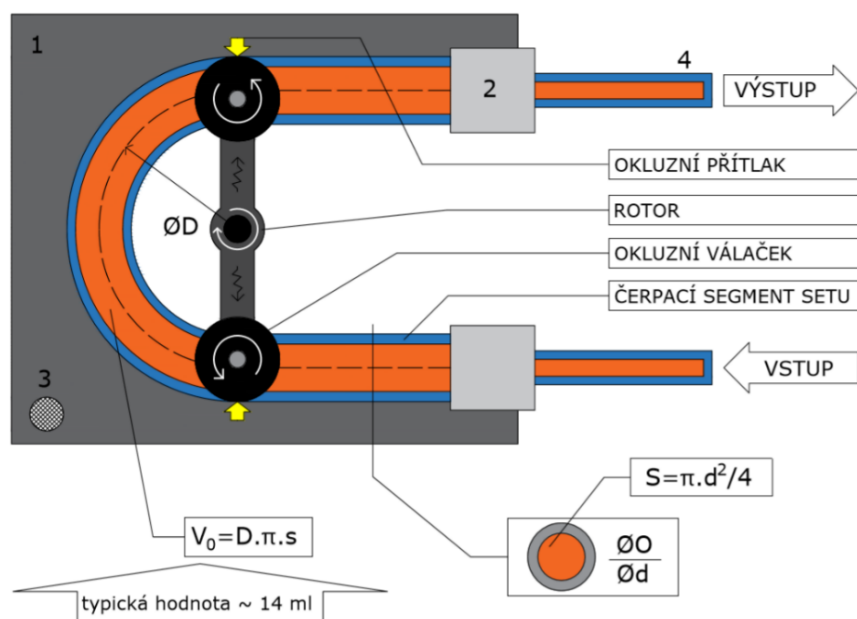
Všechny čerpadla, se nacházejí v měřitelném pásmu 0,015-0,8 ml dostupného senzoru průtoku. čerpadlo [8] má možnost napájení z desky NI ELVIS II. Čerpadla [9] a [10], jsou oproti čerpadlům [8] a [11], napájeny napětím ze sítě. U čerpadel [9],[10] a [11] se nenaskýtá možnost využití napětí z desky. U čerpadla [9] je cena razantně vyšší než u ostatních zvolených čerpadel. Nejnižší cenu má čerpadlo [8] a také má všechny potřebné náležitosti, ale tohle čerpadlo není konstruováno pro nepřetržitý provoz a to znamená, že spolehlivost toho čerpadla je nižší než u čerpadlo [11], které je určeno na průmyslové využití. Přestože má čerpadlo [11] dvojnásobně vyšší napájecí napětí a o něco vyšší cenu, bylo zvoleno toto čerpadlo, z důvodu jeho spolehlivosti a vyhnutí se potencionálním potížím v průběhu měření.

2. Peristaltické čerpadlo

Jedná se o technickou součástku objevenou v USA, kde také byla v roce 1855 patentována. Od čerpadla je odvozeno mnoho technických modifikací, z těch významných je to např. uplatnění v medicíně, chemickém průmyslu apod. V medicíně se především peristaltické čerpadlo používá jako krevní pumpa nebo také čerpadlo pro substituční roztok a také jako infuzní pumpa. Peristaltické čerpadlo se dnes málokdy objeví samostatně, vždy jde o součástku v přístrojové technice (hemodialyzační monitor pro dialyzační terapie, přístroj určený k zajištění mimotělního oběhu krve, přístroj určený k odběru krve) [12].

2.1. Konstrukce čerpadla

Součástí čerpadla jsou čerpací segmenty, které jsou pro samotnou funkci čerpadla důležité, protože vlastnosti těchto segmentů ovlivňují parametry čerpadla samotného. Princip funkce čerpadla spočívá ve vytváření uzavřených objemů, pomocí okluzních válců, tyto válce pevně přitlačí hadičku čerpadla a uzavřou daný objem v segmentu. Výkon čerpadla je závislý konstrukci a fyzikálních vlastnostech [12].



Obrázek 7. - Konstrukce peristaltického čerpadla, 1. kostra čerpadla, 2. úchyty čerpacího segmentu, 3. detektor uzavření čerpadla, 4. hadička [12]

2.2. Výkon peristaltického čerpadla

Výkon peristaltického čerpadla vyjádříme vztahem:

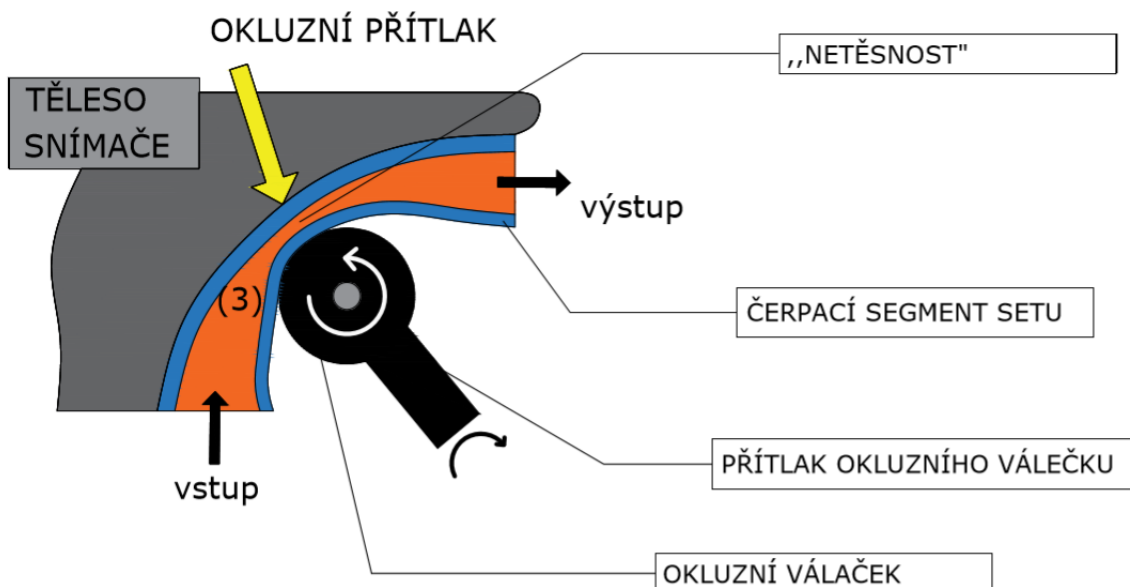
$$Q_b = V_0 \cdot n = D \cdot \pi \cdot S \cdot n \quad (1)$$

Q_b	průtok kapaliny v [ml / min],
$V_0 = D \cdot \pi \cdot S$	objem čerpacího segmentu v [ml], vymezen okluzními válečky,
D	průměr středové osy čerpacího segmentu v [mm],
$S = \pi \cdot d^2 / 4$	vnitřní průřez čerpacího segmentu v [mm ²],
d	vnitřní průměr čerpacího segmentu v [mm],
n	počet otáček rotoru

Výkon čerpadla ovlivňuje mnoho faktorů viz. vzorec výše, ale ne všechny jsou zde uvedeny, některé z nich mohou být brány jako podmínky pro správnou funkci čerpadla např. samotný technický stav, pohonná jednotka a jeho řídicí jednotka, okluzní přítlak [12].

2.3. Okluzní přítlak

Jelikož přítlak okluzních válečků není dokonalý, dochází tak k netěsnostem. V praxi to znamená, že čerpací segment není plně uzavřen a dochází tak k odchylkám, které se projevují na samotném reálném výkonu čerpadla. V praxi nejsme nikdy schopni dosáhnout dokonalé těsnosti, ale prostor v hadičce, po přitlačení válečku, musí být tak malý, abychom zabránili zpětnému proudění kapaliny. Tento přítlak je možno u většiny čerpadel, zejména těch ve zdravotnictví, nastavovat [12].



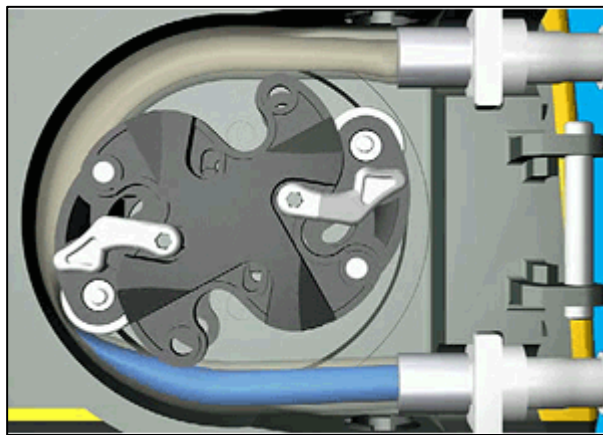
Obrázek 8. – Okluzní přítlak [12]

Okluzní přítlak, který je zmíněn v odstavci výše je graficky znázorňuje obrázek (Obrázek 8.). Okluzní váleček stlačuje hadičku a společně s dalším okluzním válečkem utváří čerpací segment. Jak bylo zmíněno v odstavci výše tento přítlak není ve skutečnosti dokonalý, to znamená, že dochází k netěsnostem, které ovlivňují hlavní funkci čerpadla a tou je přečerpání kapaliny. Čím menší je okluzní přítlak, tím menší bude generovaný průtok čerpadlem.

2.4. Fáze peristaltického čerpadla

Jednotlivé fáze peristaltického čerpadla jsou typické pro jednotlivé využití a jsou důležité pro posouzení funkčnosti čerpadla během jeho provozu. Také mezi faktory ovlivňující funkčnosti se řadí kvalita a funkčnost okluze [12].

Obecně můžeme celý cyklus peristaltického čerpadla rozdělit na tři samostatné fáze. V první fázi dochází k postupnému nasátí kapaliny do komory čerpadla. Dále v druhé fázi dochází k vytvoření tzv. čerpacího segmentu, ten vzniká téměř nepropustným uzavřením trubice pomocí okluzních válečků. Ve fázi třetí dochází k otevření čerpacího segmentu ve směru otáčení a následnému vypuštění objemu tohoto segmentu do ústí trubice v komoře čerpadla.

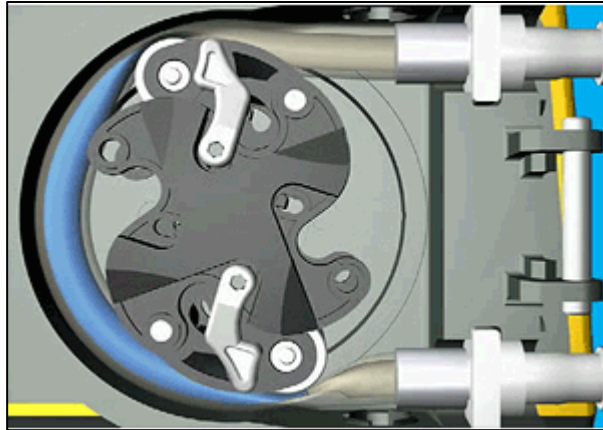


Obrázek 9. - První fáze peristaltického čerpadla [19]

V první fázi (Obrázek 9.) dochází k postupnému načerpání kapaliny do komory čerpadla (vyznačeno modrou barvou), dokud nedosáhne maximálního objemu čerpacího segmentu, vyjádřený vztahem:

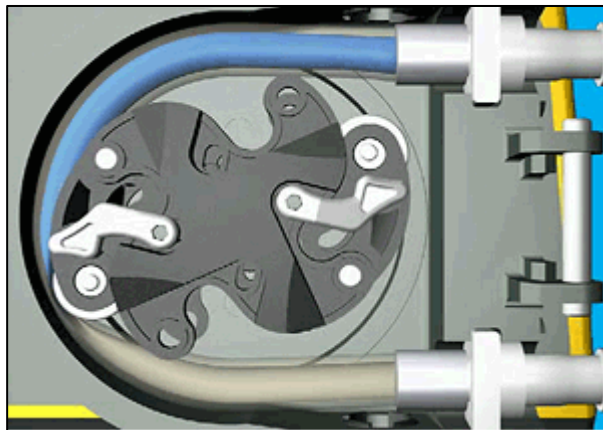
$$V_0 = D \cdot \pi \cdot S \quad (2)$$

D	průměr středové osy čerpacího segmentu v [mm],
$S = \pi \cdot d^2 / 4$	vnitřní průřez čerpacího segmentu v [mm ²],
d	vnitřní průměr čerpacího segmentu v [mm],
V_0	objem čerpacího segmentu v [ml], vymezen okluzními válečky



Obrázek 10. - Druhá fáze peristaltického čerpadla [19]

Ve fázi druhé (viz Obrázek 10.) dochází k uzavření čerpacího segmentu, za pomoci druhého okluzního válečku. Objem kapaliny by v tuto chvíli měl odpovídat rovnici, která byla uvedena v odstavci výše.



Obrázek 11. - Třetí fáze peristaltického čerpadla [19]

Nakonec v třetí fázi dochází k přečerpání objemu čerpacího segmentu. Mezi tím dochází k načerpání druhého objemu o stejném maximu, stejně jako u předchozího segmentu. Jednotlivé fáze peristaltického čerpadla se postupně cyklicky opakují, dle zmíněného pořadí.

3. Senzor průtoku

Senzory průtoku jsou schopny u látek (kapalin či plynů) změřit objem nebo hmotnostní množství dané látky, které proteče za danou jednotku času. Tyto senzory našly využití v mnoha odvětvích, nejen v komerčním (plynoměry a vodoměry) a průmyslu, ale také v energetice (průtok vody u přehrad) a lékařství (zpětná vazba u mimotělního krevního oběhu a hemodialýzy). V obecném principu by se dal průtok definovat jako objemové (objem látky za jednotku času) nebo hmotnostní množství (váha látky za jednotku času).

To lze definovat pomocí vztahu:

$$Q_v = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \bar{v} \cdot S \quad (3)$$

$$Q_m = \frac{\Delta m}{\Delta t} = \rho \cdot \bar{v} \cdot S \quad (4)$$

Q_v	objemové množství dané látky v [m ³ / s],
Q_m	hmotnostní množství dané látky v [kg / s],
ΔV	změna objemu dané látky v [m ³],
Δm	změna hmotnosti dané látky v [kg],
ρ	hustota látky v [g · m ³],
S	plocha průřezu v [m ²],
v	střední rychlost proudění v [m / s],
Δt	čas v [s]

3.1. Druhy průtokových senzorů a metody

Měření průtoku látek napřímo je možné pouze pomocí dávkovacích senzorů, které dělí látku na přesně stanovené množství. Většina měření průtoku je nepřímých a nejčastěji vycházejí z rychlosti nebo změny kinetické energie [13].

Metody pro měření průtoku:

a) Objemové

$$Q_v = \frac{V}{t} \quad (5)$$

$$Q_m = \frac{V}{t} \cdot \rho \quad (6)$$

Q_v	objemové množství dané látky v [m ³ / s],
Q_m	hmotnostní množství dané látky v [kg / s],
V	objemu dané látky v [m ³],
ρ	hustota látky v [g · m ³],
t	čas v [s]

U objemové metody měříme průtok látky za pomoci objemu, který protekl za jednotku času. U této metody jsme schopni určit objemové ale i hmotnostní množství. U hmotnostního množství je zapotřebí znát hustotu látky, u které její průtok měříme.

b) Hmotnostní

$$Q_m = \frac{m}{t} \quad (7)$$

Q_m	hmotnostní množství dané látky v [kg / s],
m	změna hmotnosti dané látky v [kg],
t	čas v [s]

Metoda hmotnostní počítá s vahou dané látky, která protekla za jednotku času. Pomocí této metody jsme schopni získat průtok ve formě hmotnostního množství.

c) Rychlostní

$$Q_v = \bar{v} \cdot S \quad (8)$$

$$Q_m = \bar{v} \cdot S \cdot \rho \quad (9)$$

Q_v	objemové množství dané látky v [m^3 / s],
Q_m	hmotnostní množství dané látky v [kg / s],
ρ	hustota látky v [$\text{g} \cdot \text{m}^3$],
S	plocha průřezu v [m^2],
v	střední rychlost proudění v [m / s],
t	čas v [s]

U metody rychlostní dostaneme výsledný průtok za pomoci střední hodnoty proudění, kterou měříme, a je nutno znát plochu průřezu kanálu v kterém látka proudí. Výsledkem této metody je průtok ve formě objemového a hmotnostního množství. Stejně jako u metody objemové, je nutno k dostání hmotnostního množství vynásobit objemové množství hustotou dané látky.

Jak bylo zmíněno v úvodu podkapitoly většina senzorů průtoku měří průtok nepřímo, jedinou výjimkou je dávkovací průtokový senzor. Obecné dělení těchto senzorů, dle způsobu měření průtoku je uvedeno níže.

Základní typy senzorů:

- Sensory průtoku
 - přímé
 - nepřímé
 - otevřené kanály, přepady hráze
 - uzavřené kanály
 - objemové
 - plováčkové(rotametry)
 - rychlostní
 - dávkovací
 - hmotnostní
 - coriolisova síla
 - tepelné

Průtokoměry rychlostní dále dělíme na:

- turbínové, lopatkové
- vírové
- indukční
- ultrazvukové
- značkovací
- se škrťícími orgány

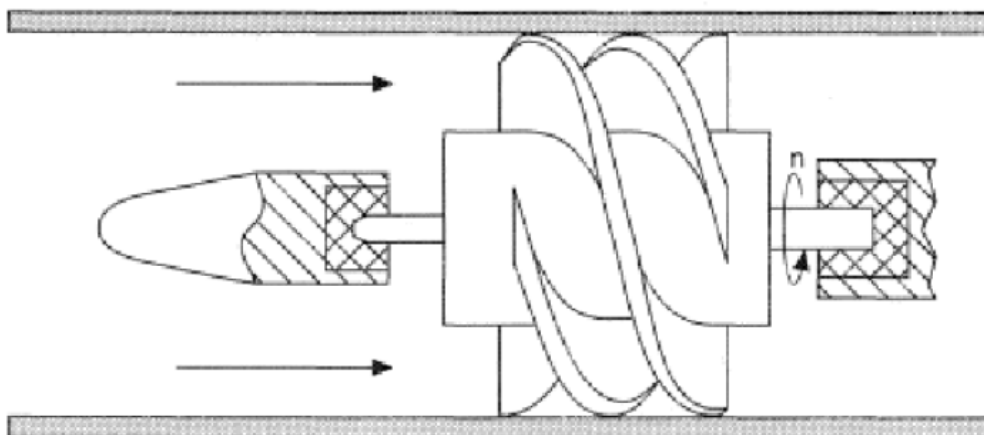
3.2. Průtokoměry turbínové a lopatkové

Tento druh senzor se řadí mezi skupinu rychlostních průtokoměrů. Při měření tímto senzorem kapalina uvede kotečení turbínu nebo lopatky, následně tento kinetický pohyb je převeden na elektrický signál. Rychlost otáčení je úměrná střední rychlosti proudění.

Závislost frekvence na otáčení definuje vztah:

$$f = k \cdot Q_v - s \quad (10)$$

Q_v	objemové množství dané látky v [m ³ / s],
k	Konstanta [m ³]
f	frekvence [Hz],
s	skluz měřidla [Hz],



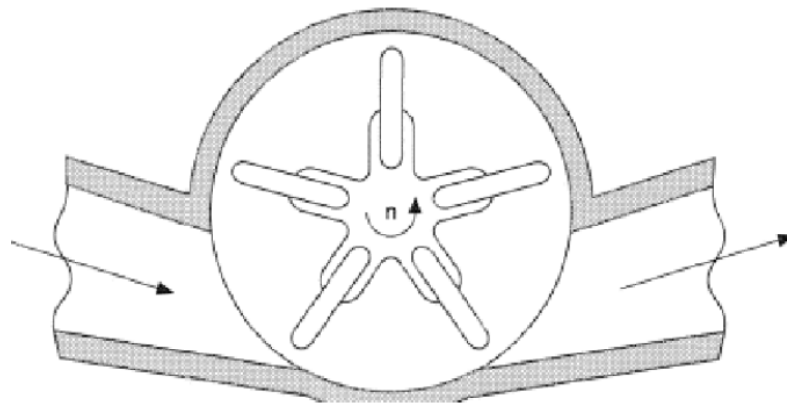
Obrázek 12. - Turbínový senzor průtoku [20]

Na obrázku (Obrázek 12.) můžeme vidět příklad turbínového senzoru průtoku. Směr toku látky je znázorněn šipkami a směr otáčení šipkou s písmenem “n”. Během průtoku látky uzavřeným prostředím přes turbínu, kinetická energie měřené látky roztáčí turbínu. Výsledné otáčky turbíny měříme a dále tyto otáčky můžeme převádět na elektrický signál. Výsledný signál je poté ve formě

pulzů (jedna otáčka se rovná jednomu pulzu), z kterého jsme schopni získat frekvenci a dále vypočítat průtok.

Lopátkový radiální průtokoměr

O tohoto typu průtokoměru je osa otáčení kola s lopatkami kolmá k ose toku kapaliny. Jako snímač zde slouží buď mechanické počítadlo nebo obvod vysílající impulzy při otáčení kola s lopatkami. Výhoda tohoto typu senzoru průtoku je výstupní signál, z kterého detekujeme frekvenci a jednoduchost samotného senzoru. Nevýhodou toho typu senzoru je že, senzor při začátku měření nezačíná měřit od nuly. Kolo s lopatkami se začíná točit od hodnoty Q_{min} . Dále tento typ senzoru průtoku vykazuje tlakové ztráty.



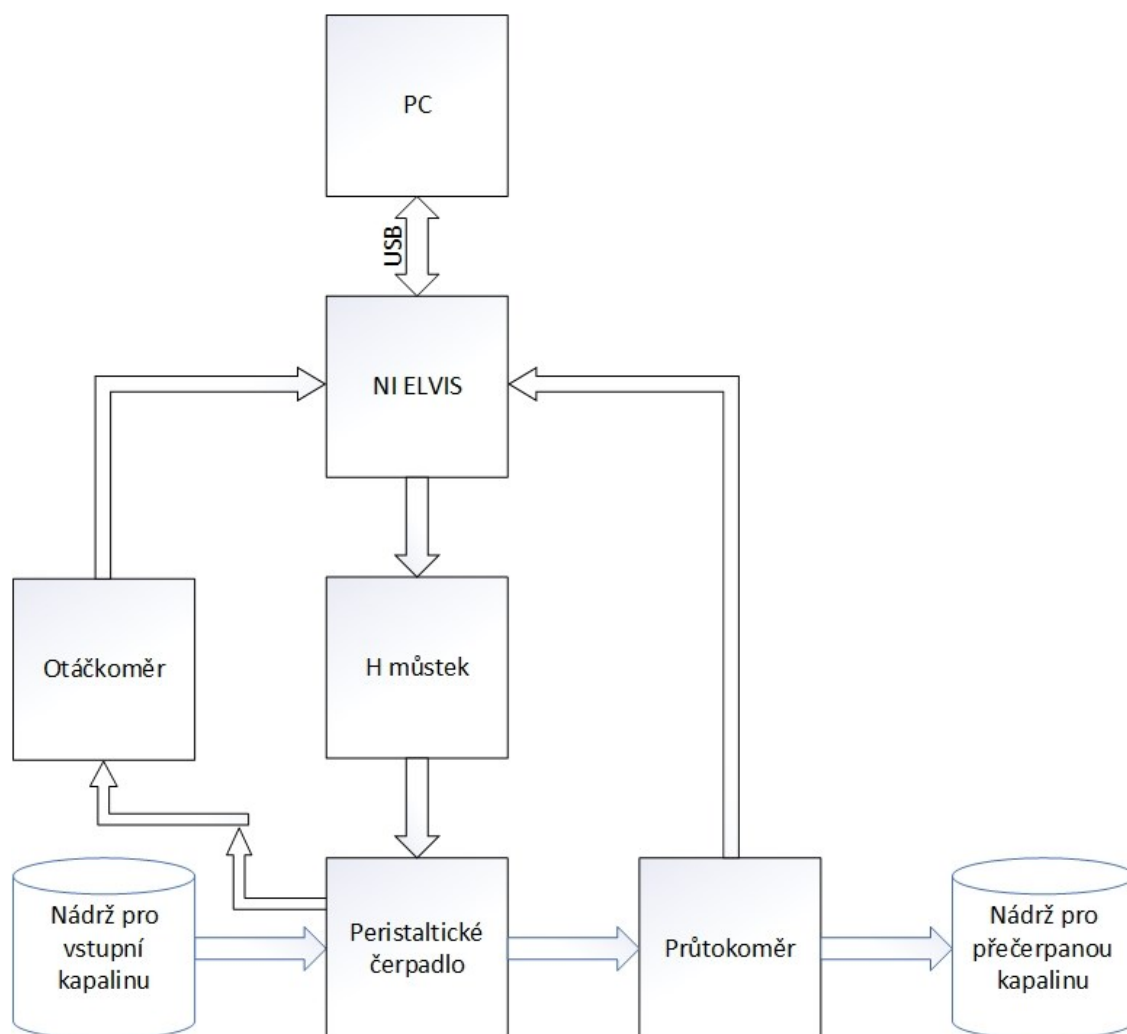
Obrázek 13. - Lopátkový průtokoměr [20]

Způsob měření u lopátkového průtokoměru (Obrázek 13.) je velmi obdobná předchozímu typu průtokoměru, jen se liší jeho uspořádání a tvar.

4. Návrh měřicího řetězce

Tato kapitola je zaměřena na návrh a podrobný popis jednotlivých částí hardwaru měřicího řetězce, potřebnému k řešení laboratorní úlohy. Dále jsou zde uvedeny součástky, potřebné ke kompletaci pomocných obvodů k jednotlivým sensorům a H-můstku. Následující finální model vychází z návrhu z podkapitoly 4.1 kdy veškeré obvody potřebné pro měření budou zavedeny do desky NI ELVIS II.

4.1. Měřicí řetězec



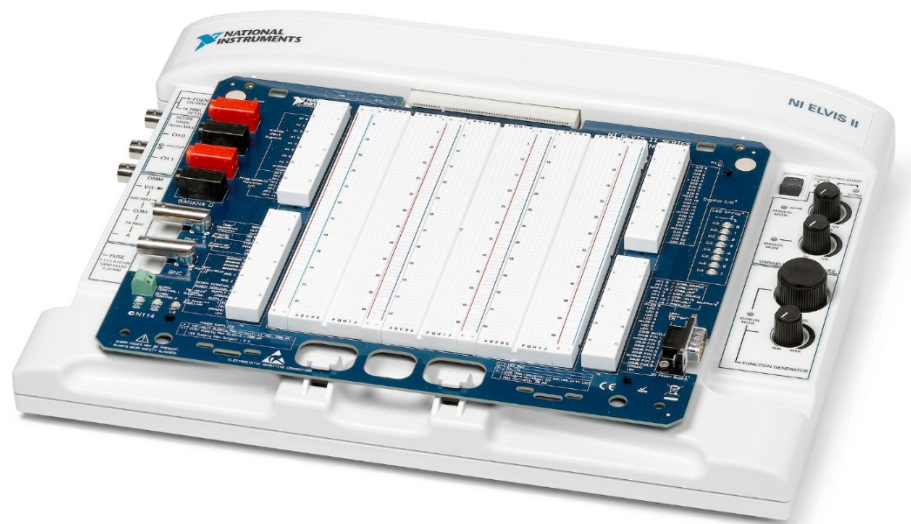
Obrázek 14. - Blokové schéma měřicího řetězce.

Základní jednotkou tohoto měřicího řetězce je zvolené čerpadlo připojené hadičkami (šipky modré barvy viz Obrázek 14.) mezi dvě nádrže pro sběr a odtok dané kapaliny. Mezi nádrží pro odtok kapaliny je vložen průtokoměr zapojený do desky NI ELVIS II. Čerpadlo je zapojeno do řídicího obvodu (H – můstku), které se nachází na desce NI ELVIS II. Pro zpětnou vazbu je zde zapojen otáčkoměr. Deska NI ELVIS II je skrze USB kabel připojena k PC a spárována se softwarem NI Labview, který také obstarává

úlohu řízení obvodu. Jeho hlavním úkolem je však zpracování naměřených dat. Podrobnější popis uveden v podkapitolách níže.

4.2. NI ELVIS II

Jak je popsáno v kapitole 4.1 je zde využita deska NI ELVIS II, která je potřeba pro následnou komunikaci mezi softwarem vytvořeném v programu NI Labview a samotným hardwarem na desce. Na desce je využito možnosti připojení externího napájení z důvodu toho, že samotný zdroj desky nevyvine potřebné napětí 24 VDC pro napájení čerpadla. Dále je na desce využito digitálního vstupu/výstupu, v našem případě pouze jako výstupu, DIO 0 a DIO 1, pro otvírání jednotlivých tranzistorů a tím určení směru otáčení čerpadla. Výstup čítače CTRO OUT(PFI12) pro generování signálu pro pulzně šířkovou modulaci, která nám umožní regulaci výkonu čerpadla. Dále také dvou analogových vstupu pro senzor průtoku a otáček.



Obrázek 15 -Vývojová desky NI Elvis II [14]

4.3. Průtokoměr

Jako průtokoměr byl zvolen senzor průtoku FCH-m-POM-LC od firmy B.I.O – Tech s citlivostí od 0,05 až 3 l/min napájecím napětím do 24 VDC (viz. Katalogový list FCH-m-POM-LC). Tento průtokoměr byl zvolen, protože maximální průtok čerpadla se nachází v rozhraní citlivosti průtokoměru.

Senzor průtoku obsahuje NPN tranzistor a používá pro měření průtoku turbínu (patří do kategorie lopatkových a turbínových senzorů průtoku), která při proudění se na výstupu jeví jako obdélníkový signál. Každé otočení turbíny se jeví jako hodnota 0 V, proto je nutné pro určení průtoku měřit frekvenci tohoto signálu. Dle výrobce tohoto senzoru je 2500 impulsů rovno 1 l, to znamená, že výslednou frekvenci je nutno vydělit 2500, pro určení l/s. Dále je nutno mezi vstup pro napájení a výstup pro signál nutno vložit pull-up rezistor o hodnotě vyšší nebo rovno 1,6 kΩ.

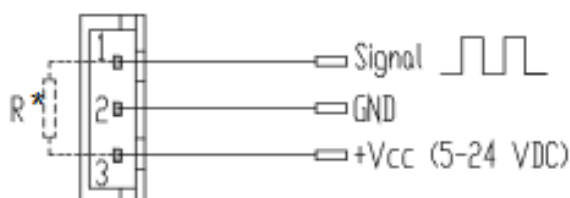


Obrázek 16. - Průtokoměr FCH-m-POM-LC od firmy B.I.O Tech [15]

Princip měření	turbína
Provozní napětí	5 - 24 V/DC
Výstupní proud	25 mA
Provozní tlak (max.)	4bar
Měřicí přesnost	±2%
Měřicí rozsah	0.05 - 3 l/min
Provozní teplota	-20°C až +80°C
Opakovatelnost frekvenční odpovědi	±0.5%

Tabulka 1 - Vybrané parametry senzoru průtoku FCH-M-POM-LC [16]

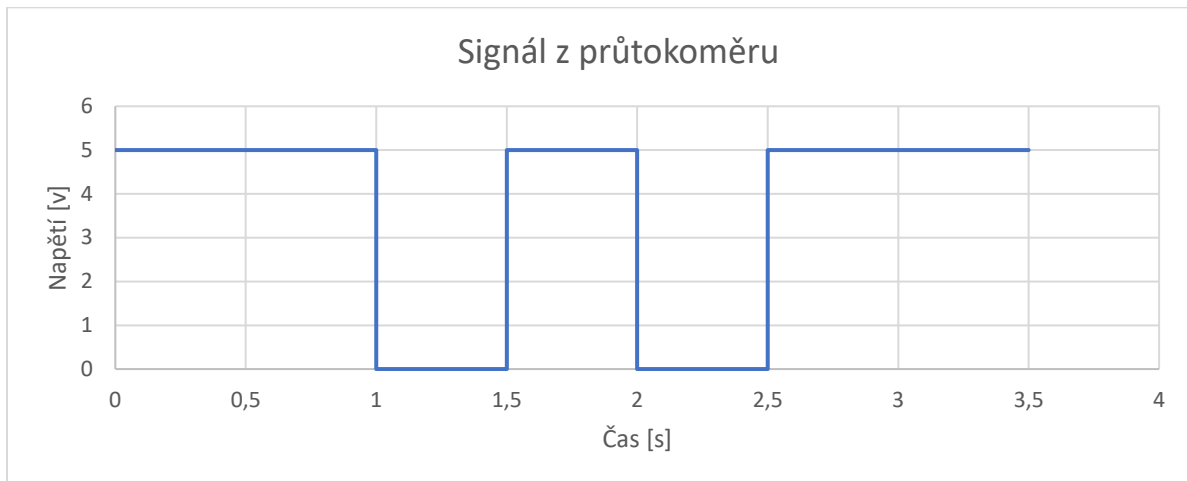
Zapojení průtokoměru:



Obrázek 17 – Zapojení průtokoměru [16]

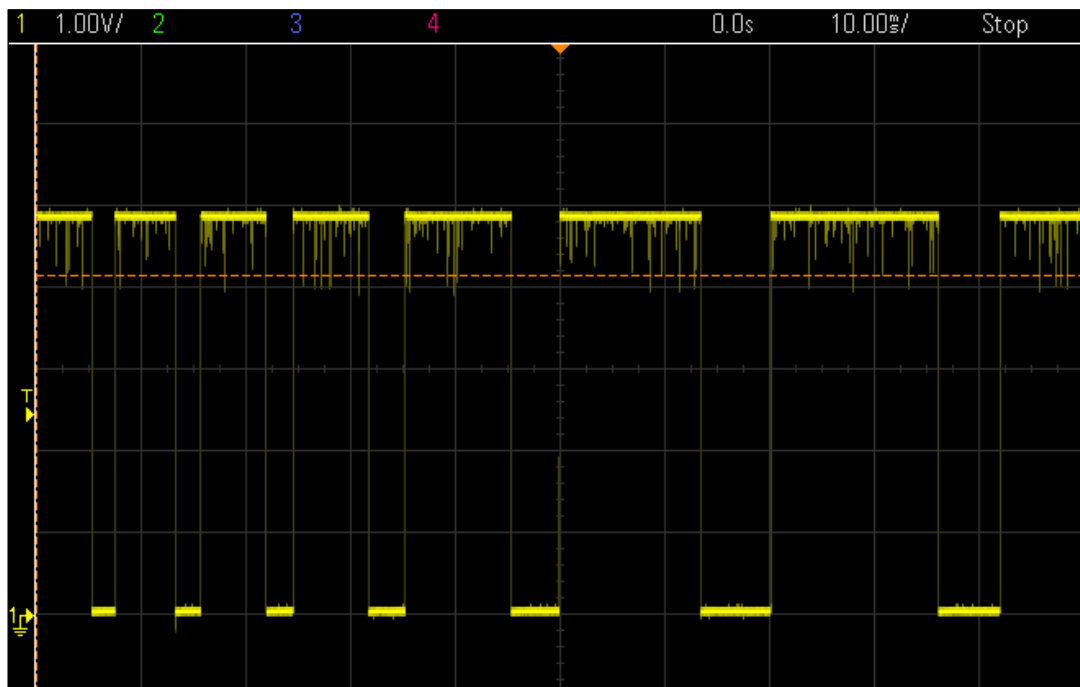
Obrázek 17. nám udává zapojení jednotlivých pinů konektoru, senzoru průtoku, deklarované výrobcem. Kde výstup pro signál se nachází na pinu označeným číslem 1, dále na pin určený pro zem je označený číslem 2 a vstup pro napětí číslem 3. Také je nutné propojit vstup pro napájení a výstup pro signál pomocí pull-up rezistoru o hodnotě 1,6 kΩ, která je doporučena výrobcem senzoru.

Předpokládaný výstupní signál průtokoměru při použití napájecího napětí 5 V:



Graf 1. - Výstupní signál průtokoměru definován výrobcem

Graf 1. znázorňuje předpokládaný výstupní signál průtokoměru uvedený výrobcem senzoru v případě, že by tento senzor měl napájecí napětí 5 V. V případě, že byl tento senzor zapojen napětí vyšší, ale ne však větší než 24 V, tak by se měla lišit pouze maximální napěťová hodnota signálu, to znamená že maximální výstupní napěťová hodnota by měla být přímo úměrná napájecímu napětí. Z praktického hlediska je využito napájecího napětí 5 V, protože jako zdroj napětí, pro tento senzor, se zde dá využít samotná deska NI Elvis II. Pro zobrazení výstupního signálu v praxi bylo využito digitálního osciloskopu Agilent DSO-X 2024a, tento signál je znázorněn na obrázku (Obrázek 18.).



Obrázek 18. - Naměřený výstupní signál průtokoměru pomocí osciloskopu Agilent DSO-X 2024a

Na snímku z osciloskopu znázorněný na obrázku (Obrázek 18.) jde vidět, že senzor byl zapojen na zmíněnou hodnotu napájecího napětí 5 V, důkazem je maximální hodnota signálu, která se blíží hodnotě 5 V. Co je ale u toho signálu důležité je jeho frekvence, která nám udává průtok kapaliny přes senzor.

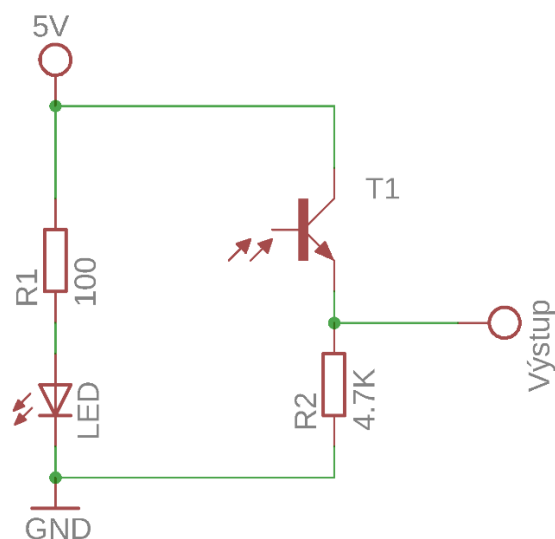
Závěrem zkoušky senzoru FCH-m-POM-LC od firmy B.I.O – Tech, výstupní signál tohoto senzoru odpovídá předpokladům. Tento senzor byl odzkoušen na navrhované napětí 5 VDC, při změnách průtoku. Signál z toho senzoru byl zobrazen na digitálním osciloskopu Agilent DSO-X 2024a.

4.4. Otáčkoměr

Pro zhotovení senzoru otáček, bylo využito fotoelektrického jevu, a to za pomoci součástek IR LED diody a fototranzistoru. Tyto dvě součástky tvoří tzv. optočlen, v našem případě se jedná o tzv. reflexní optočlen kdy světlo emitované z LED diody (emitor) se odráží od povrchu a dopadá na fototranzistor (detektor). Bylo použito součástky CNY 70 (viz Obrázek 19.), která obsahuje IR LED diodu a fototranzistor, pro lepší implementaci v měření. Výsledné schéma zapojení na obrázku (Obrázek 20.) je odvozeno z příkladných zapojení v katalogovém listu reflexního optočlenu CNY 70 doporučený výrobcem.



Obrázek 19 - Reflexní optočlen CNY 70 [17]



Obrázek 20. – Schéma senzoru pro měření otáček

Obrázek 21. Snímek z osciloskopu, nám dává představu, jak vypadá výsledný signál ze zhotoveného senzoru otáček. Signál na osciloskopu se jeví zašuměly, a to je způsobeno vlivem kabeláže a nepájivým polem desky NI ELSVIS II, také samotný optočlenem. Po následném zpracování tohoto signálu (viz kapitola 5.2 čtení a zpracování signálu), by tento šum neměl mít vysoký vliv na měření otáček, jelikož z praktického důvodu tento signál se dále pomocí mezní hodnoty převádí na signál digitální. Následně je z tohoto signálu měřena frekvence.

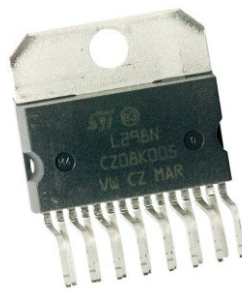


Obrázek 21. - Naměřený výstupní signál senzoru otáček pomocí osciloskopu

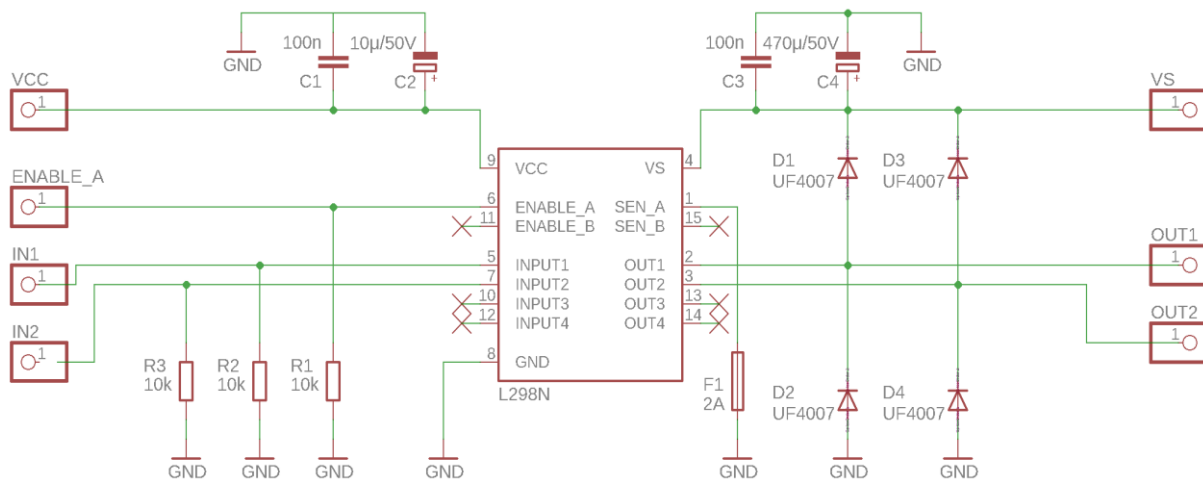
Senzor byl odzkoušen na peristaltickém čerpadle řady 810 od firmy Mbm technik a zobrazen na digitálním osciloskopu Agilent DSO-X 2024a, při postupných změnách střídy signálu pulzně šířkové modulace, která byla generována na vývojové desce NI Elvis II. Senzor byl umístěn do krytu čerpadla.

4.5. H-můstek

V měřicím řetězci H-můstek zastupuje úlohu pomocného obvodu pro řízení. Samotné impulsy generuje deska NI ELVIS II za pomoci softwaru vytvořeném v NI Labview, kde určujeme šířku pulsu a frekvenci. Jako H-můstek byl zvolen integrovaný obvod L298N MULTIWATT15 (Obrázek 22.) a to z praktického hlediska, také z důvodu nízké ceny obvodu a menšího využití místa na desce plošného spoje.



Obrázek 22. - Integrovaný obvod H-můstku L298N MULTIWATT15 [19]



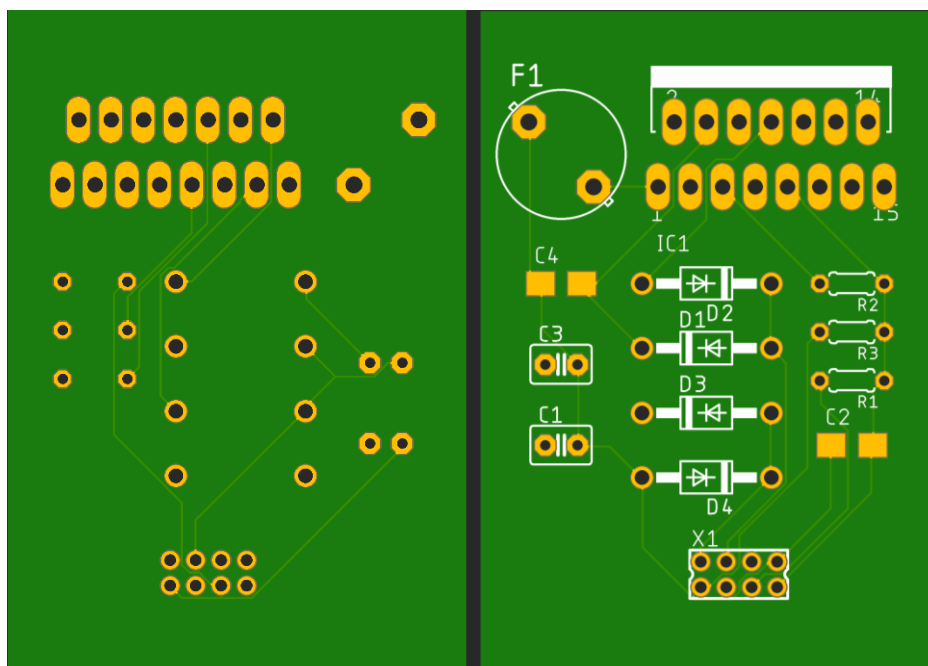
Obrázek 23. - Schéma H-můstku.

Pro realizaci H-můstku (Obrázek 23.) bylo využito integrovaného obvodu L298N MULTIWATT15, který obsahuje NPN a PNP tranzistory s logickými hradly AND a NOT (viz katalogový list L298N MULTIWATT15.). Vstupní napětí pro logické obvody (dále jen VCC) je 5 V a napětí pro motor (dále jen VS) je v rozmezí mezi 5 a 46 V. Na VCC a VS jsou připojeny, jako ochrana proti rušení, keramické kondenzátory s kapacitou 100 nF (doporučené výrobcem obvodu) a paralelně k nim elektrolytické kondenzátory s kapacitou 10 µF na VCC a 470 µF na vstupu VS. Na vstupy ENABLE_A, IN1 a IN2 jsou připojeny pull-down rezistory pro zajištění defaultní logické hodnoty 0. Na každém z výstupu OUT1 a OUT2 jsou připojeny diody UF4007 jako ochrana tranzistorů. Na výstup SEN_A je připojena pojistka na hodnotu 2 A jako ochrana proti zkratu (dle výrobce by obvodem neměl protékat proud vyšší než 2 A). Integrovaný obvod je dle doporučení vždy opatřit chladičem, aby se zajistilo, že pracovní teplota nepřesáhne 70 °C.

Tento obvod byl následně odzkoušen při testování senzoru průtoku a otáček uvedených v podkapitolách 4.3. a 4.4. při napětí 24 VDC (napájení pro motor čerpadla) z laboratorního zdroje a 5 VDC (napájení pro logické obvody) z vývojové desky NI Elvis II. Výsledkem zkoušky je, že se obvod jeví zcela funkční v tomto zapojení a plní předem definovanou úlohu, která byla uvedena v úvodu podkapitoly.

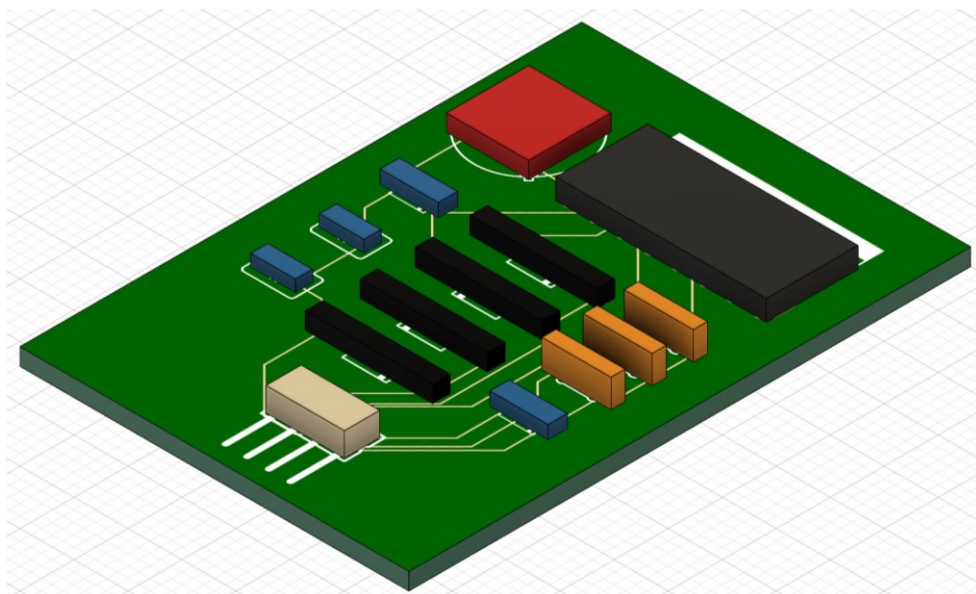
4.6. Deska plošného spoje

I když obvod H-můstku uvedený v podkapitole 4.5. by se nemusel jevit sám o sobě příliš složitě, bylo nutné zhotovit návrh pro realizaci desky plošného spoje (dále jen DPS) pro tento obvod. Výhody z následné realizace DPS jsou zamezení případných chyb při sestavování obvodu, praktičnost a zkrácení časové náročnosti přípravy měření.



Obrázek 24. - Návrh desky plošného spoje (zadní část DPS vlevo, přední část DPS vpravo)

Na obrázku (Obrázek 24.) je vyobrazen návrh desky plošného, kde pod označením IC1 se nachází integrovaný obvod L298N MULTIWATT15, nalevo od L298N se nachází pojistka na proud 2 A (F1). V prostřední části desky se nacházejí diody UF4007 (D1-4), keramické kondenzátory s kapacitou 100 nF (C1 a C3), elektrolytické kondenzátory s kapacitou 10 μ F (C2 a C4) a rezistory s odporem 10 k Ω . Konektory pro připojení napájení, motoru a vstupů/výstupů vývojové desky NI Elvis se nacházejí ve spodní části DPS. Celý návrh DPS byl vypracován v programu Autodesk Eagle.



Obrázek 25. - 3D model desky plošného spoje

Pro lepší představu velikosti desky byl vyhotoven 3D model v programu Autodesk Fusion 360 vyobrazen na obrázku (Obrázek 25.). Samotná DPS bez součástek má parametry 36x52x2 mm. Plocha jedné strany desky činí 1872 mm².

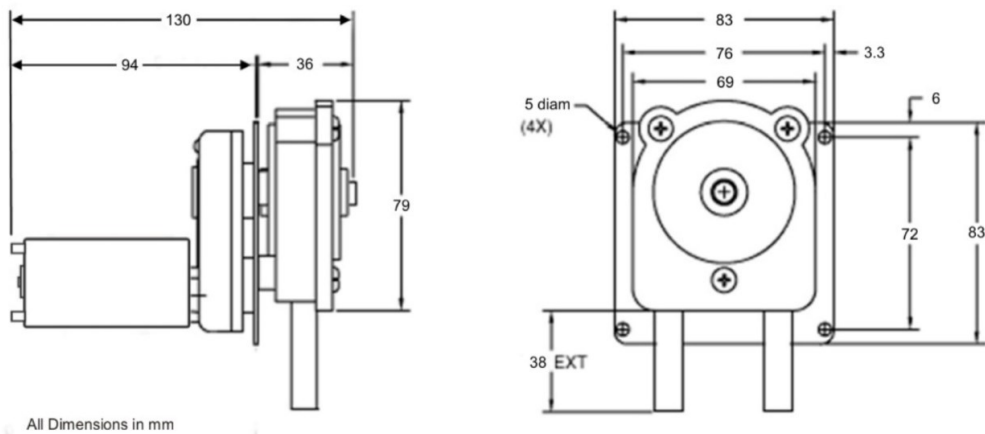
4.7. Peristaltické čerpadlo

Za peristaltické čerpadlo bylo zvoleno čerpadlo řady 810 od firmy Mbm technik (Obrázek 26., Obrázek 27.). Toto čerpadlo má vstupní napájecí napětí 24 VDC a maximálním průtokem 1 l/h (viz kapitola 1.2 patent Peristaltické čerpadlo řady 810).

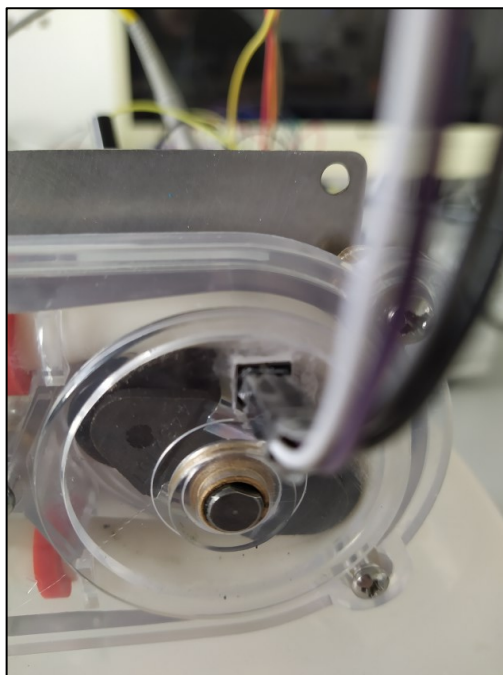
Specifikace:

Napětí: 24 VDC
Průtok: 1 l/h
Vnitřní průměr hadičky: 6,4 mm

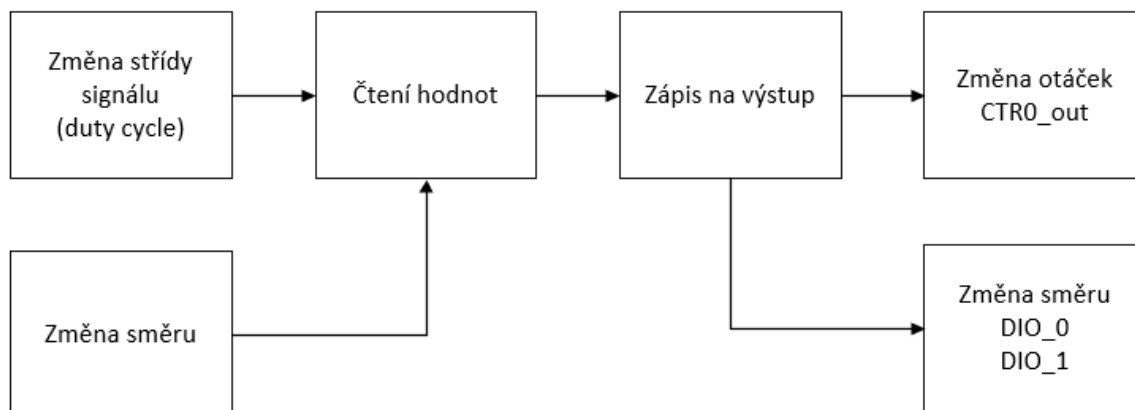
Materiál hadičky: Silikon nebo Santopren
Rozměry čerpadla: 83 x 83 x 130 mm
Cena: 2960 Kč



Obrázek 26 - Peristaltické Čerpadlo Řady 810 [11]



Obrázek 27. - Fotodokumentace Peristaltického čerpadla s připevněným senzorem otáček



Obrázek 29. - Diagram řídicí části SW

Diagram na obrázku (Obrázek 29.) nám zjednodušeně vyobrazuje princip funkce řídicí části softwaru. Při uživatelské interakci, která zapříčiní buď změnu střídy PWM nebo změnu směru, dojde poté k přečtení aktuální hodnoty a následnému zápisu na výstup.

Pro tuto část byla použita knihovna DAQ.mx v NI Labview, funkce v ní použité jsou podrobně popsány níže:



Obrázek 30. - Funkce DAQ.mx Create Channel v NI Labview

Jedena z prvních použitých funkcí byla funkce “DAQ.mx Create Channel” (Obrázek 30.). Funkce má úlohu vyvolat v činnost kanály CTR0_OUT, DIO_0 a DIO_1, na vývojové desce NI Elvis II. V případě kanálu CTR0_OUT je následně tento kanál nastaven na parametry:

Frekvence: 5000 Hz

Startovní zpoždění: 1 s

Dále se zde může nastavit počáteční střída signálu (duty cycle). V případě DIO_0 a DIO_1 je tato funkce nastavená jako “Digital Output” u portu CTR0_OUT jako “Counter Output Pulse Frequency”. Z této funkce jsou dále vyvedeny výstupy “task out” a “error out”.



Obrázek 31. - Funkce DAQ.mx Timing v NI Labview

Funkce “DAQ.mx Timing” (Obrázek 31.) slouží k určení počtu vzorků na kanál, u výstupu čítače pro generování pulzně šířkové modulace to je počet vygenerovaných pulzů. Tato funkce byla použita pouze u portu CTR0_OUT. Zvolený režim funkce byl “Implicit (counter)” a zvolený režim vzorkování byl

nastaven jako kontinuální vzorkování. Do této funkce byly zavedeny výstupy “task” a “error” z funkce předchozí a tyto samé výstupy byly také vyvedeny dále.



Obrázek 32. - Funkce DAQ.mx Start Task v NI Labview

Funkce “DAQ.mx Start Task” (Obrázek 32.) zahájí generování jednotlivých signálů. Do této funkce jsou zavedeny výstupy z předchozí funkce a následně vyvedeny do funkce další.



Obrázek 33. - Funkce DAQ.mx Write v NI Labview

Funkce “DAQ.mx Write” (Obrázek 33.) zajišťuje zápis stavu na výše zmíněných portech. U portu CTRO_OUT je tato funkce vložena do stavové smyčky a zapisuje se tehdy pokud je změněna hodnota střídý signálu. U portů DIO_0 a DIO_1 tato funkce pracuje v režimu “Digital Bool 1 line 1 Point” a u portu CTRO_OUT v režimu “Counter Freq 1 Channel 1 Sample”. Do této funkce byly zavedeny výstupy “task” a “error” z funkce předchozí a tyto samé výstupy byly také vyvedeny dále.



Obrázek 34. - Funkce DAQ.mx Is Task Done v NI Labview

Funkce “DAQ.mx Is Task Done” (Obrázek 34.) kontroluje, zdali proces provedený na jednotlivých portech byl proveden a ukončen. Pokud nastane chyba během procesu u jednotlivých funkcí, tato funkce následně zastaví program a vyvolá chybovou zprávu. Do této funkce byly zavedeny výstupy “task” a “error” z funkce předchozí a tyto samé výstupy byly také vyvedeny dále.



Obrázek 35. Funkce DAQ.mx Clear Task v NI Labview

K vyčištění paměti po ukončení procesu slouží funkce “DAQ.mx Clear Task” (Obrázek 35.). Funkce se nachází na všech třech výše zmíněných portech. Do této funkce byly zavedeny výstupy “task” a “error” z funkce předchozí a byl vyveden výstup “error”.



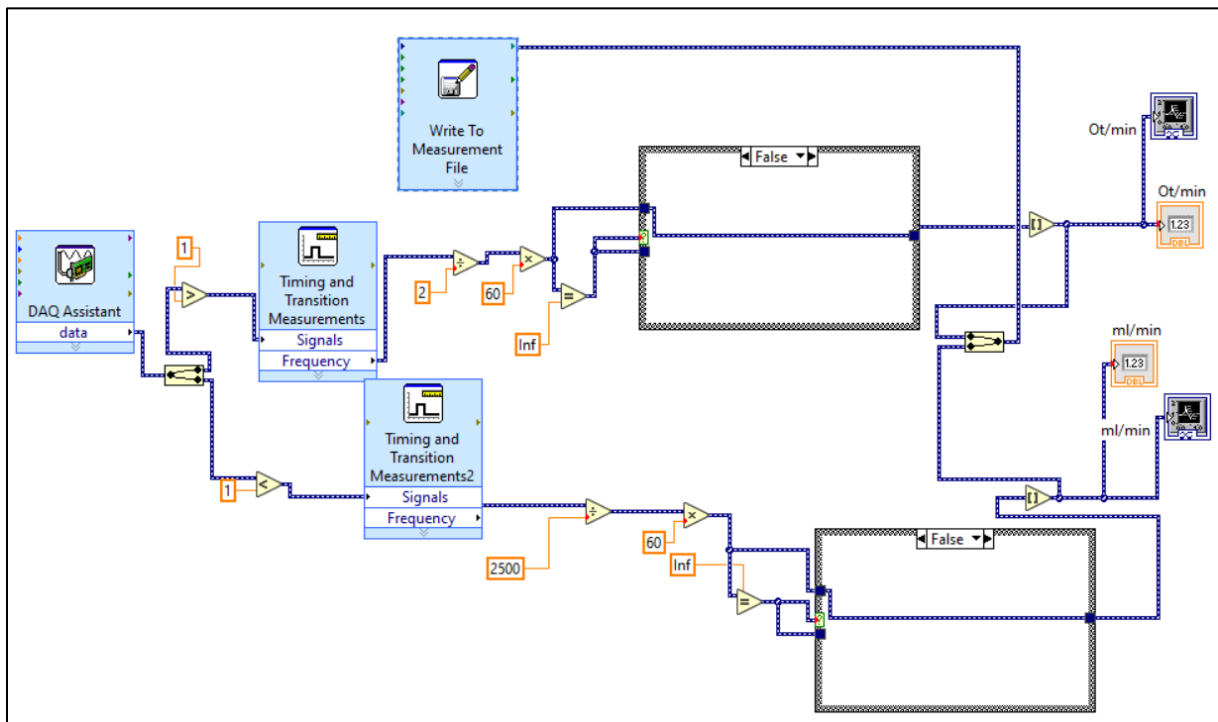
Obrázek 36. - Funkce Simple Error Handler v NI Labview

Pro výpis chybových hlásek slouží funkce “Simple Error Handler” (Obrázek 36.). V případě, že nastane chyba tato funkce vytvoří chybové okno s výpisem chyby, která se v tento moment udála.

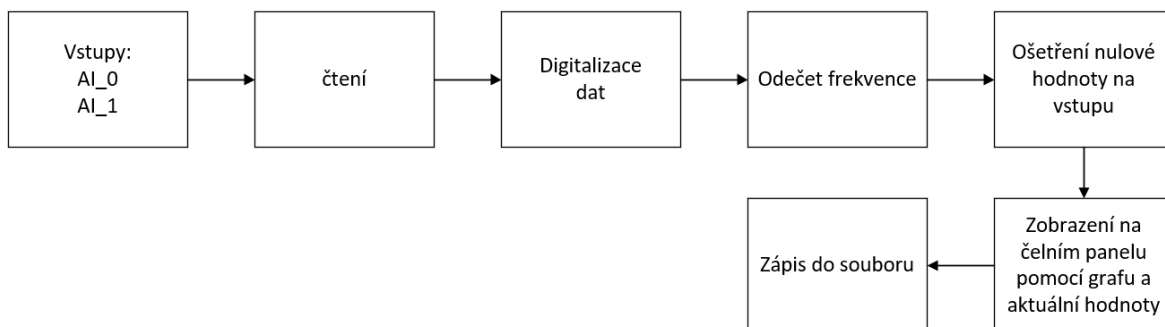
Funkce je nastavena do režimu “ok message + warnings” a byl do ní zaveden výstup “error” z předchozí funkce.

5.2. Čtení a zpracování naměřených dat

Další částí tohoto softwarového řešení je část zodpovědná za čtení a zpracování naměřených signálů, ze senzoru otáček a senzoru pro měření průtoku. Tato část je uvedena na obrázku níže (Obrázek 37.). V tom případě analogové vstupy AI0 a AI1 jsou vstupy, z kterých přijímáme data z uvedených senzorů. Následně dochází k převodu signálu z otáčkoměru na signál obdélníkový, ze signálu se poté bude lépe určovat následná frekvence. Abychom toho docílili je nutné nastavit mezní hodnotu pro logickou jedničku mírně pod maximální hodnotu napětí otáčkoměru. Následně dochází k měření frekvence přijímaných signálů, ze senzorů otáček a senzoru průtoku. Z frekvence signálu průtokoměru je vypočtena hodnota ml/min a z frekvence signálu otáčkoměru je vypočtena hodnota ot/min, tuto hodnotu je nutné ještě předtím vydělit číslem 2, z důvodu toho, že peristaltické čerpadlo obsahuje dva okluzní válečky. Hodnoty jsou následně zobrazovány na virtuálním čelním panelu přístroje a také zapisovány do souboru s příponou .csv. Dále se zde nahází ošetření chyby, v případě, že žádný signál ze senzorů nedetekujeme.



Obrázek 37. Softwarová část zodpovědná za čtení a zpracování signálu



Obrázek 38. - Diagram části pro čtení a zpracování dat

Diagram na obrázku (Obrázek 38.) nám shrnuje vše co již bylo zmíněno v kapitole výše. Čtení dat z portů AI_0 a AI_1 následná digitalizace za pomoci funkce “DAQ_Assistant” (Obrázek 39.). Následné měření frekvence za pomoci funkce “Timing and Transition Measurements” (Obrázek 40.). Ošetření nulové hodnoty se provádí za pomoci stavové smyčky. Zobrazení výsledku zajišťují dva indikátory a grafy pro otáčky a průtok. Konečný zápis naměřených dat zajišťuje funkce “Write to Measurement File” (Obrázek 41.). Podrobnější popis o jednotlivé funkci a postupech po nich zmiňuje odstavec níže

Funkce, které byli použity v této části a jejich jsou podrobně popsány níže:

Pro čtení výstupních signálů ze senzoru otáček a průtoky byla pužita funkce “DAQ Assistant”. (Obrázek 39.). Tato funkce čte signály z portů AI0 a AI1 a následně je digitalizuje. Funkce pracuje v režimu kontinualních vzorků. Z této funkce je po té vyvedena datová sběrnice se signály. Z praktických důvodů jsou oba tyto signály převedeny na logický signál, tím , že se určí mezní hodnota pro kterou se signál dostane do stavu logické 1 a 0. Mezní hodnota pro signály byla nastavena na hodnotu 1 V.



Obrázek 39. - Funkce DAQ Assistant v NI Labview

Z výstupního signálu, který byl poté převeden na signál logický se za pomoci funkce “Timing and Transition Measurements” (Obrázek 40.) měří frekvence signálů, u každého signálu separátně. Po změření frekvence u každého signálu dochází ke krátkému výpočtu.

Pro frekvenci ze senzoru otáček:

$$n = \frac{f}{k} \cdot 60 \quad (11)$$

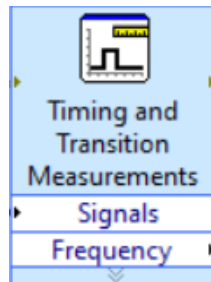
f	frekvence naměřená z výstupního signálu otáčkoměru [Hz]
k	počet okluzních válečků u peristaltického čerpadla
n	počet otáček za minutu [ot/min]

Hodnota k se v tomto případě bude rovnat hodnotě 2. Vzorec výše uvedený se dá použít i v případě, že by čerpadlo bylo v budoucnu vyměněno a obsahovalo by jiný počet okluzních válečků než v čerpadle navrhovaném.

Pro frekvenci ze senzoru průtoku:

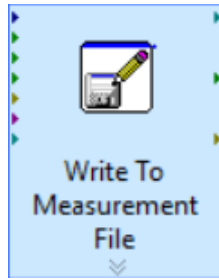
$$Q_b = \frac{f}{8500} \cdot 60 \quad (12)$$

f	frekvence naměřená z výstupního signálu průtokoměru [Hz]
Q_b	průtok kapaliny v [ml / min],



Obrázek 40. - Funkce Timing and Transition Measurements v NI Labview

Poté co z výstupních signálů je vypočtena hodnota průtoku a otáček dochází k ošetření případu, kdy na senzorech nedochází k měření. K tomu slouží stavová smyčka, která při tomto stavu zaručí, že hodnota na grafech a indikátorech aktuální hodnoty bude 0. V případě, že by se takto neučinilo hodnota na grafu a indikátorech by směřovala k nekonečnu.

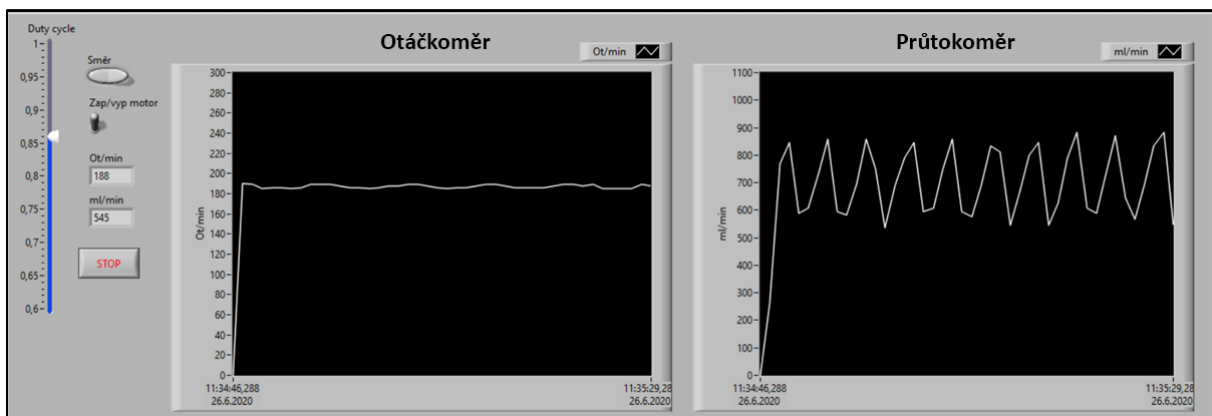


Obrázek 41. - Funkce Write to Measurement File v NI labview

Pro uchování již naměřené dat slouží funkce “Write to Measurement File” (Obrázek 41.). Tato funkce uloží naměřená data do souboru .csv na plochu počítače, a to po ukončení měření za pomoci tlačítka “stop”.

5.3. Grafické uživatelské rozhraní

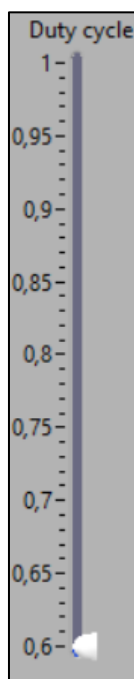
Čelní panel (viz Obrázek 42.) se skládá z ovládacího prvku pro změnu střídy PWM, kterým určujeme rychlost otáček motoru, dále také z dvou dvojestavových přepínačů, které určují směr otáčení a činnost motoru, tj. stav vypnuto a zapnuto. Na čelním panelu se také nacházejí dva grafy, které nám znázorňují průběh v čase, a to hodnot ot/min a ml/min, tyto hodnoty dále mají i vlastní indikátory aktuální hodnoty, které se nacházejí na levé straně čelního panelu.



Obrázek 42. - Čelní panel virtuálního přístroje s příkladnými hodnotami

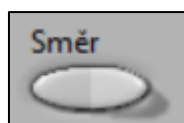
Grafy na obrázku (Obrázek 42.) nám znázorňují průběh otáček v ot/min (levý graf) a průběh průtoku (pravý graf) v jednotce ml/min, a to při hodnotě duty cycle 0,86. Posuvník na levé straně čelního panelu slouží ke změnám hodnoty duty cycle a je nastaven na zmíněnou hodnotu 0,86.

Vysvětlení jednotlivých ovládacích prvků a indikátorů na čelním panelu:



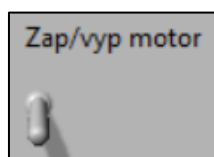
Obrázek 43. - Posuvník pro hodnotu Duty Cycle

Na posuvníku s nadpisem “Duty cycle” (Obrázek 43.) určujete hodnotu střídý (duty cycle) signálu pulzně šířkové modulace (PWM) a tím měníte otáčky peristaltického čerpadla.



Obrázek 44. - Přepínač k určení směru otáčení

Pomocí přepínače s označením “Směr” (Obrázek 44.), určujete směr otáčení peristaltického čerpadla.



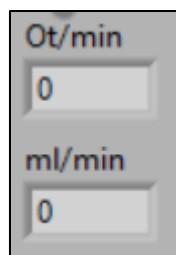
Obrázek 45. - Přepínač pro vypnutí a zapnutí motoru pumpy

Při interakci s přepínačem s označením “Zap/vyp motor” (Obrázek 45.), uvedete v chod motor peristaltické pumpy nebo jej vypnete.



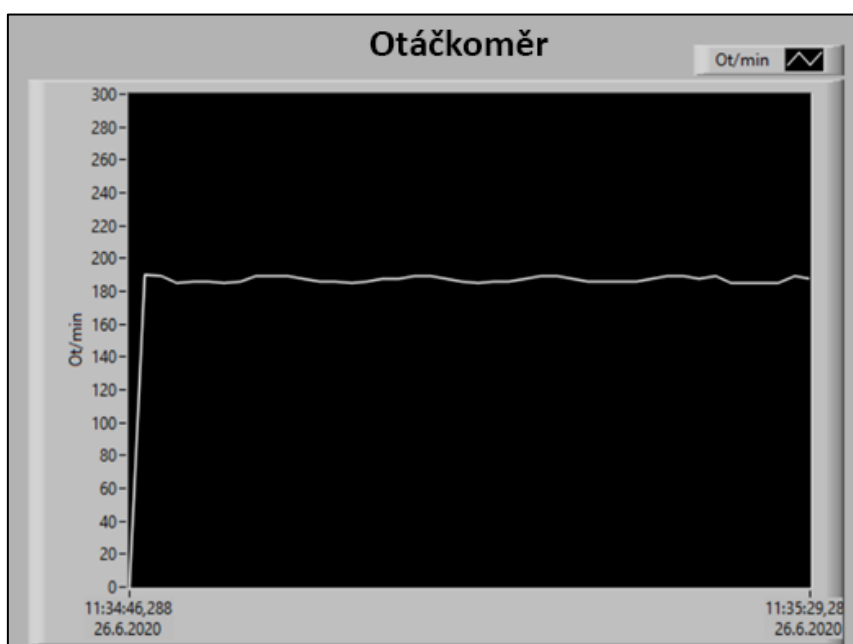
Obrázek 46. - Tlačítko STOP

Pomocí tlačítka “STOP” (Obrázek 46.), ukončíte veškeré procesy softwaru včetně měření. Toto tlačítko použijete, jakmile chcete měření ukončit.



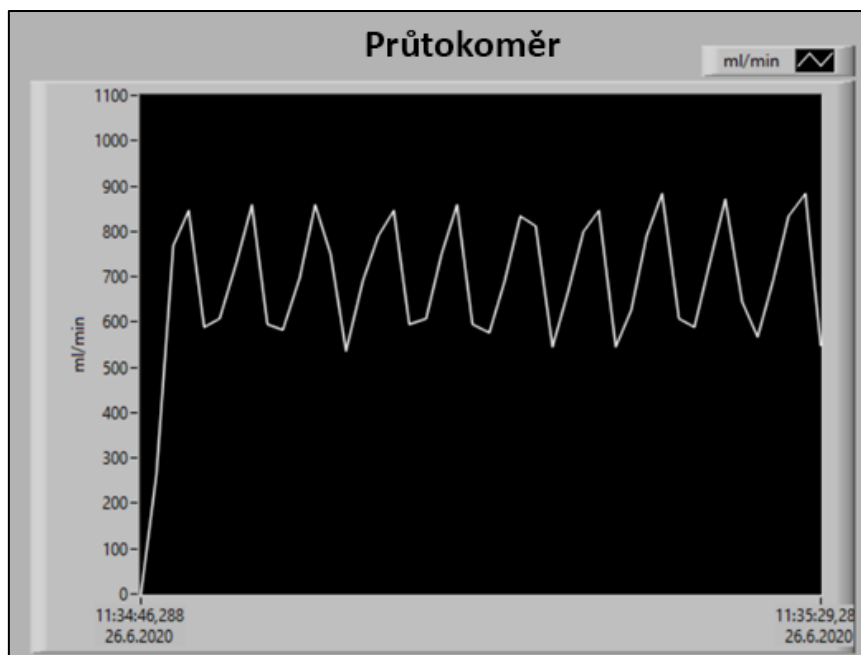
Obrázek 47. - Indikátory aktuálních hodnot pro Ot/min nahoře a ml/min dole

Indikátory na čelním panelu slouží k zobrazování aktuální hodnoty otáček ze senzoru otáček na peristaltickém čerpadle (číselný indikátor v horní části, Obrázek 47. s označením “Ot/min”) a průtoku ze senzoru průtoku FCH-m-POM-LC (číselný indikátor ve spodní části Obrázek 47. s označením “ml/min”).



Obrázek 48. - Grafický indikátor průběhu otáček v čase

Grafický indikátor na obrázku (Obrázek 48.) nám zobrazuje průběh otáček v čase (ze senzoru otáček). Na ose Y se nachází hodnota ot/min a na ose x hodnota času v sekundách. Tento grafický indikátor poznáme podle označení “Ot/min” v pravém horním rohu. Po ukončení měření je tento průběh uložen do souboru.



Obrázek 49. - Grafický indikátor pro průtok v ml/min

Grafický indikátor na obrázku (Obrázek 49.) nám zobrazuje průběh průtoku v čase (ze senzoru průtoku FCH-m-POM-LC) Na ose Y se nachází hodnota ml/min a na ose x hodnota času v sekundách. Tento grafický indikátor poznáme podle označení "ml/min" v pravém horním rohu. Po ukončení měření je tento průběh uložen do souboru.

6. Návrh laboratorní úlohy pro měření výkonu peristaltického čerpadla

6.1. Cíl úlohy

Prostřednictvím této laboratorní úlohy:

- se seznámíte s principem fungování peristaltického čerpadla
- pochopíte význam konstrukčních parametrů čerpadla
- pochopíte význam měření průtoku u čerpadel

6.2. Zadání

- Změřte průtok pomocí objemové metody a hmotnostní metody.
- Změřte průtok za pomoci otáčkoměru, vztahu pro výpočet výkonu na peristaltickém čerpadle a rychlostní metody
- Změřte průtok pomocí průtokoměru FCH-m-POM-LC.
- Všechny výše zmíněné metody pro měření průtoku porovnejte.

6.3. Předpokládané znalosti

Katalogový list FCH-m-POM-LC

Katalogový list CNY-70

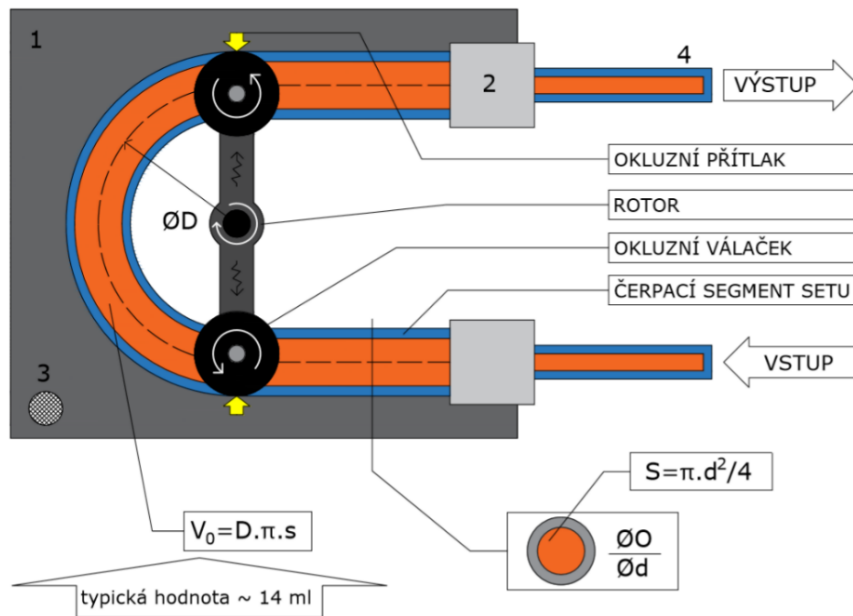
6.4. Použité vybavení

- Deska NI ELVIS II
- Řídicí obvod pro čerpadlo(H-můstek)
- Senzor průtoku FCH-m-POM-LC
- Senzor otáček
- Peristaltické čerpadlo
- Hadičky pro propojení jednotlivých segmentů
- Dva odměrné válce s min. objemem 1L
- Laboratorní zdroj SS napětí
- PC s připraveným softwarem

6.5. Teoretický rozbor

Peristaltické čerpadlo je technickou součástí objevenou v USA, kde také byla v roce 1855 patentována. Od čerpadla je odvozeno mnoho technických modifikací, z těch významných je to např. uplatnění v medicíně, chemickém průmyslu apod. V medicíně se především peristaltické čerpadlo používá jako krevní pumpa nebo také čerpadlo pro substituční roztok a také jako infuzní pumpa. Peristaltické čerpadlo se dnes málokdy objeví samostatně, vždy jde o součástku v přístrojové technice (hemodialyzační monitor pro dialyzační terapie, přístroj určený k zajištění mimotělního oběhu krve, přístroj určený k odběru krve).

Součástí čerpadla jsou čerpací segmenty, které jsou pro samotnou funkci čerpadla důležité, protože vlastnosti těchto segmentů ovlivňují parametry čerpadla samotného. Princip funkce čerpadla spočívá ve vytváření uzavřených objemů, pomocí okluzních válců, tyto válce pevně přitlačí hadičku čerpadla a uzavřou daný objem v segmentu. Výkon čerpadla je závislý konstrukci a fyzikálních vlastnostech.



Obrázek 50. - Konstrukce peristaltického čerpadla, 1. kostra čerpadla, 2. úchyty čerpacího segmentu, 3. detektor uzavření čerpadla, 4. hadička

Výkon peristaltického čerpadla vyjádříme vztahem:

$$Q_b = V_0 \cdot n = D \cdot \pi \cdot S \cdot n \quad (13)$$

- | | |
|-----------------------------|---|
| Q_b | průtok kapaliny v [ml / min], |
| $V_0 = D \cdot \pi \cdot S$ | objem čerpacího segmentu v [ml], vymezen okluzními válečky, |
| D | průměr středové osy čerpacího segmentu v [mm], |
| $S = \pi \cdot d^2 / 4$ | vnitřní průřez čerpacího segmentu v [mm ²], |
| d | vnitřní průměr čerpacího segmentu v [mm], |
| n | počet otáček rotoru |

Metody pro měření průtoku:

a) Objemové

$$Q_v = \frac{V}{t} \quad (14)$$

$$Q_m = \frac{V}{t} \cdot \rho \quad (15)$$

Q_v	objemové množství dané látky v [m ³ / s],
Q_m	hmotnostní množství dané látky v [kg / s],
V	objem dané látky v [m ³],
ρ	hustota látky v [g · m ³],
t	čas v [s]

U objemové metody měříme průtok látky za pomoci objemu, který protekl za jednotku času. U této metody jsme schopni určit objemové ale i hmotnostní množství. U hmotnostního množství je zapotřebí znát hustotu látky, u které její průtok měříme.

b) Hmotnostní

$$Q_m = \frac{m}{t} \quad (16)$$

Q_m	hmotnostní množství dané látky v [kg / s],
m	hmotnost dané látky v [kg],
t	čas v [s]

Metoda hmotnostní počítá s vahou dané látky, která protekla za jednotku času. Pomocí této metody jsme schopni získat průtok ve formě hmotnostního množství.

c) Rychlostní

$$Q_v = \bar{v} \cdot S \quad (17)$$

$$Q_m = \bar{v} \cdot S \cdot \rho \quad (18)$$

Q_v	objemové množství dané látky v [m ³ / s],
Q_m	hmotnostní množství dané látky v [kg / s],
ρ	hustota látky v [g · m ³],
S	plocha průřezu v [m ²],
v	střední rychlost proudění v [m / s],
t	čas v [s]

U metody rychlostní dostaneme výsledný průtok za pomoci střední hodnoty proudění, kterou měříme, a je nutno znát plochu průřezu kanálu v kterém látka proudí. Výsledkem této metody je průtok ve formě objemového a hmotnostního množství. Stejně jako u metody objemové, je nutno k dostání hmotnostního množství vynásobit objemové množství hustotou dané látky.

Vztah pro výpočet rychlosti otáčení:

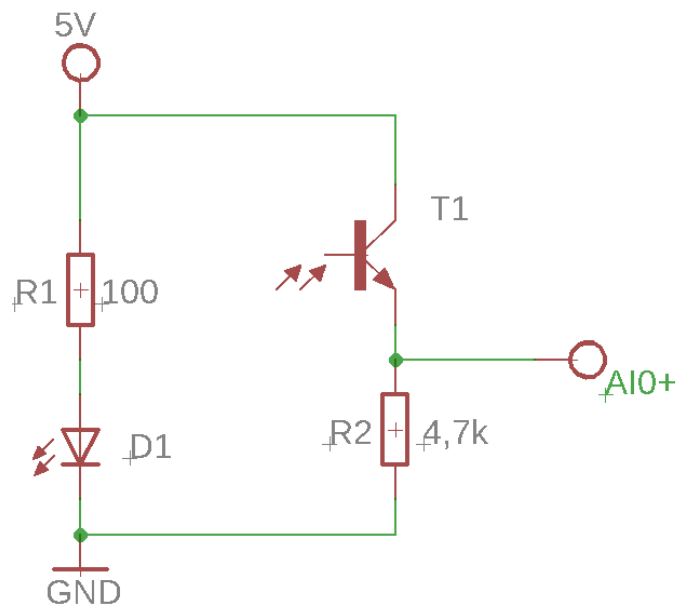
$$v = (\pi \cdot D \cdot n) / 60 \quad (19)$$

v	rychlost otáčení [m/s],
D	průměr středové osy čerpacího segmentu v [m],
n	otáčky stroje [ot/min],

6.6. Pracovní postup

Na nepájivé pole vývojové desky NI Elvis II sestavte pomocné obvody pro senzor průtoku a otáček dle přiložených schémat. Nápomocny vám budou katalogové listy pro CNY 70 a FCH-m-POM-LC

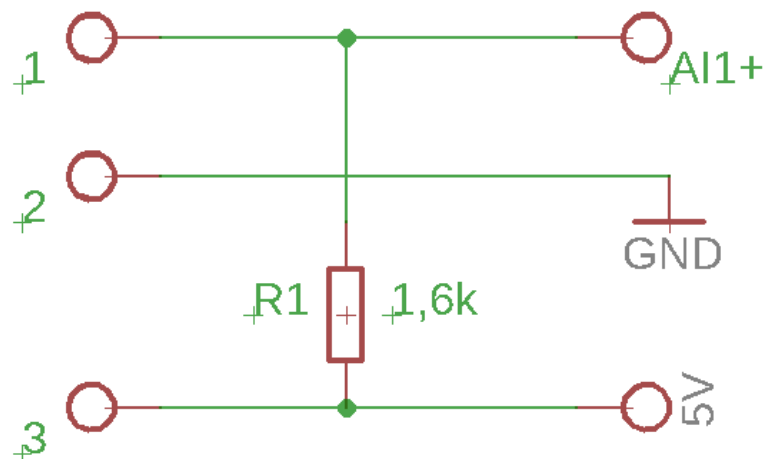
Schéma zapojení pro senzor otáček:



Obrázek 51. - Schéma zapojení Senzoru otáček

Senzor otáček zapojte dle schéma na obrázku (Obrázek 51.) Pro zjištění správného rozložení pinů na optočlenu CNY 70 použijte katalogový list. Pin AI0- připojte na pin GND na desce NI Elvis II.

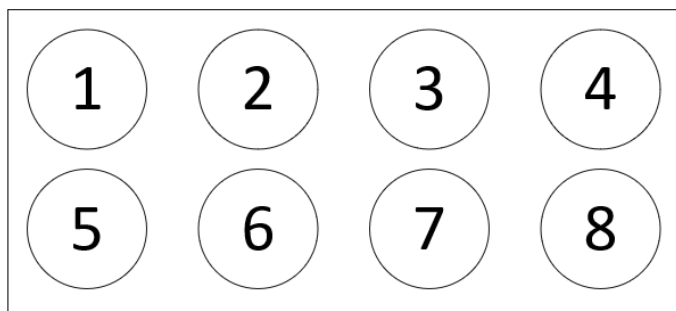
Schéma zapojení pro senzor průtoku:



Obrázek 52. - Schéma zapojení senzoru průtoku

Senzor průtoku připojte dle přiloženého schéma na obrázku (Obrázek 52.) Význam a rozložení pinů na portu senzoru průtoku najdete v katalogovém listě FCH-m-POM-LC. Pin AI1- připojte na pin GND desky NI Elvis II, stejně jako u předchozího zapojení.

Zasuňte obvod H-můstku na desce plošného spoje do nepájivého pole vývojové desky NI Elvis II a zapojte piny konektoru dle značení (Obrázek 53.) a legendy na piny desky NI Elvis II a peristaltickou pumpu. **Deska plošného spoje musí být otočená tak aby konektor byl ve spodní části desky.**



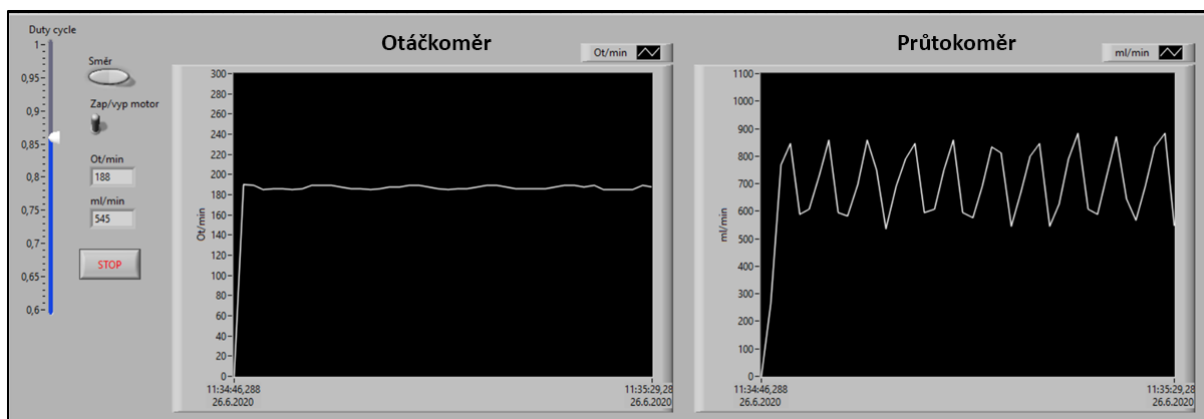
Obrázek 53. - Značení pinů konektoru H-můstku

1	DIO_0
2	pin pro peristaltickou pumpu
3	DIO_1
4	pin pro peristaltickou pumpu
5	CTR0_OUT
6	BANANA A (napájení z laboratorního zdroje na 24 V)
7	5 V (napájení z desky NI Elvis II)
8	GND a BANANA B

Na konektory “BANANA A” a “BANANA B” na levé straně připojte laboratorní zdroj. Na konektor “BANANA A” připojte kladný pól zdroje (+) a na konektor “BANANA B” pól záporný (-). Pin GND (na desce NI Elvis II) a “BANANA B” propojte. Piny 2 a 4 na konektoru H-můstku připojte k peristaltickému čerpadlu.

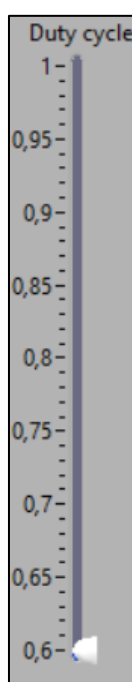
Následně propojte hadičkou průtokoměr s peristaltickým čerpadlem, **tak aby šipka na průtokoměru směřovala od pumpy**. Poté propojte odměrný válec s druhým koncem pumpy, to samé proveďte u druhého konce průtokoměru.

Desku NI Elvis II připojte pomocí kabelu USB do počítače. Spusťte přiložený Software a seznamte s ovládacími prvky a indikátory na čelním panelu (Obrázek 54.). Vysvětlení jednotlivých prvků naleznete níže.



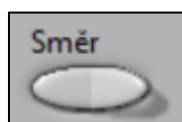
Obrázek 54. - Čelní panel Softwaru v NI labview

Vysvětlení jednotlivých ovládacích prvků a indikátorů na čelním panelu:



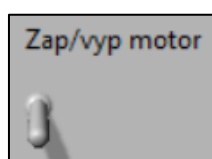
Obrázek 55. - Posuvník pro hodnotu Duty Cycle

Na posuvníku s nadpisem “Duty cycle” (Obrázek 55.) určujete hodnotu střídavy (duty cycle) signálu pulzně šířkové modulace (PWM) a tím měníte otáčky peristaltického čerpadla.



Obrázek 56. - Přepínač k určení směru otáčení

Pomocí přepínače s označením “Směr” (Obrázek 56.), určujete směr otáčení peristaltického čerpadla.



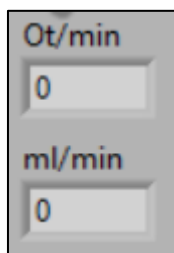
Obrázek 57. - Přepínač pro vypnutí a zapnutí motoru pumpy

Při interakci s přepínačem s označením “Zap/vyp motor” (Obrázek 57.), uvedete v chod motor peristaltické pumpy nebo jej vypnete.



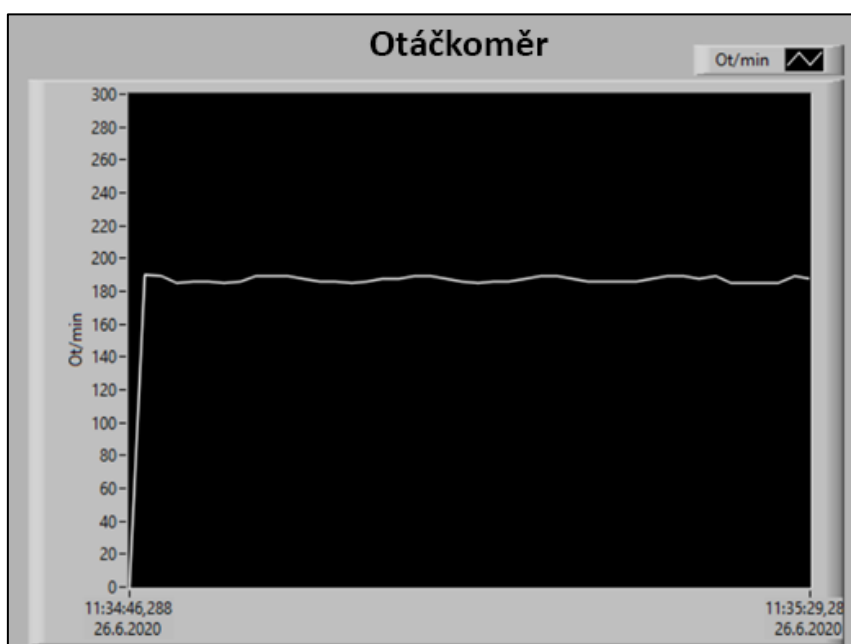
Obrázek 58. - Tlačítko STOP

Pomocí tlačítka “STOP” (Obrázek 58.), ukončíte veškeré procesy softwaru včetně měření. Toto tlačítko použijete, jakmile chcete měření ukončit.



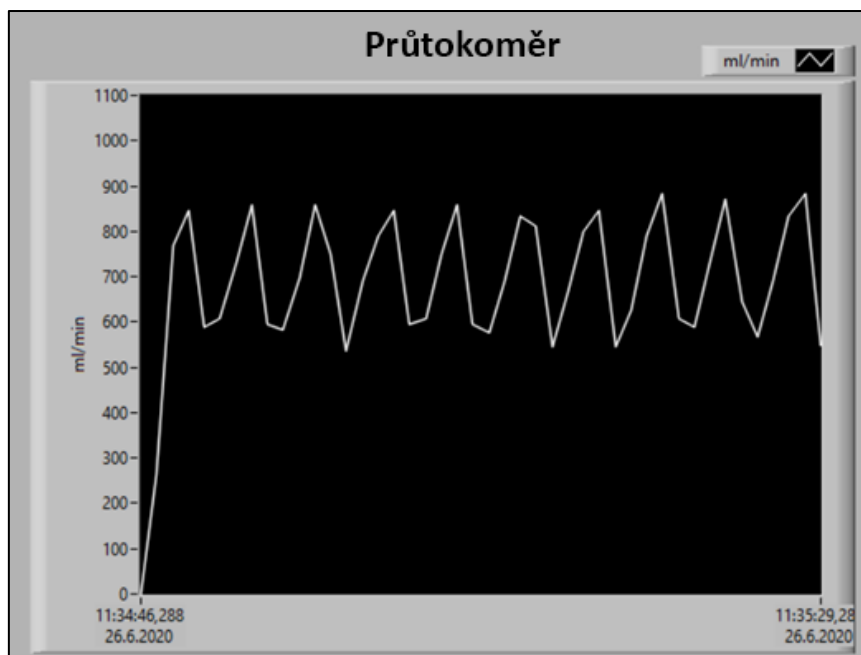
Obrázek 59. - Indikátory aktuálních hodnot pro Ot/min nahoře a ml/min dole

Indikátory na čelním panelu slouží k zobrazování aktuální hodnoty otáček ze senzoru otáček na peristaltickém čerpadle (číselný indikátor v horní části (Obrázek 59.) s označením “Ot/min”) a průtoku ze senzoru průtoku FCH-m-POM-LC (číselný indikátor ve spodní části (Obrázek 59.) s označením “ml/min”).



Obrázek 60. - Grafický indikátor průběhu otáček v čase

Grafický indikátor na obrázku (Obrázek 60.) nám zobrazuje průběh otáček v čase (ze senzoru otáček). Na ose Y se nachází hodnota ot/min a na ose x hodnota času v sekundách. Tento grafický indikátor poznáme podle označení “Ot/min” v pravém horním rohu. Po ukončení měření je tento průběh uložen do souboru.



Obrázek 61. - Grafický indikátor pro průtok v ml/min

Grafický indikátor na obrázku (Obrázek 61.) nám zobrazuje průběh průtoku v čase (ze senzoru průtoku FCH-m-POM-LC) Na ose Y se nachází hodnota ml/min a na ose x hodnota času v sekundách. Tento grafický indikátor poznáme podle označení “ml/min” v pravém horním rohu. Po ukončení měření je tento průběh uložen do souboru.

Po seznámení s ovládacími prvky, zapněte laboratorní zdroj a nastavte jej na hodnotu 24 V. Před začátkem měření se ujistěte že se peristaltická pumpa otáčí ve směru šipky na průtokoměru.

6.7. Úloha č.1. měření průtoku pomocí objemové, hmotnostní, rychlostní metody a vztahu pro výpočet výkonu na peristaltickém čerpadle

V úloze číslo jedna budete měřit průtok za pomoci objemové, hmotnostní, rychlostní metody a vztahu pro výpočet výkonu na peristaltickém čerpadle. V této úloze odpojte průtokoměr z čerpadla a trubičku umístěte do prázdného odměrného válce. V této úloze budete potřebovat stopky pro měření času a litr vody. Do odměrného válce, kde nebyl připojen průtokoměr, nalijte 1 l vody. následně nastavte hodnotu duty cycle na posuvníku a spusťte měření. Jakmile přečerpáte objem vody z odměrného do válce druhého zaznamenejte dobu, za kterou tento objem přečerpal. Do tabulky také zaznamenávejte hodnoty otáček, vyobrazené na indikátoru otáček (čelní panel softwaru). Měření opakujte pro 5 hodnot duty cycle. Výsledky zaznamenejte do vzorové tabulky (Tabulka 2.) pro každou metodu zvlášť.

Duty cycle	Čas [s]	n [ot/min]	Q_v [m ³ / min]	Q_m [kg / min]	Q_b [ml/min]

Tabulka 2. - Vzorová tabulka výsledků pro úlohu č.1.

Pro výpočet Q_v a Q_m použijte vztahy z teoretického rozboru a pro jednu z hodnot uveďte příklad výpočtu. U metody hmotnostní Q_v vynechejte. U rychlostní metody vycházejte z toho, že rychlost otáčení čerpadla se rovna střední rychlosti proudění.

6.8. Úloha č.2. měřte průtok za pomoci průtokoměru

Nyní připojte zpět průtokoměr do měřícího řetězce. Opakujte stejný postup jako v úloze č.1. a zaznamenávejte hodnoty uvedené ve vzorové tabulce. Do výsledného průtoku zahrňte chybu měřidla uvedenou v katalogovém listě průtokoměru FCH-m-POM-LC.

Duty cycle	Čas [s]	n [ot/min]	Q [ml/min]

Tabulka 3. - Vzorová tabulka výsledku pro úlohu č.2.

6.9. Úloha č.3. provedte analýzu naměřených dat

Vytvořte společný krabicový graf z naměřených hodnot průtoku. Z naměřených hodnot z objemové, hmotnostní metody a průtokoměru vypočtete objem čerpacího segmentu pomocí vztahu pro výpočet výkonu peristaltického čerpadla. Z těchto hodnot následně vypočtete chybu měření.

6.10. Kontrolní otázky

1. Které technické parametry ovlivňují výkon peristaltického čerpadla, kromě výkonu motoru?
2. Jaký jev může nastat, když okluzní přítlak čerpadla je příliš malý?
3. Do jaké skupiny senzorů dle metod, se řadí použitý průtokoměr a jakým principem senzor měří?
4. Která z použitých metod se jeví jako nejpřesnější a proč?

7. Vzorový protokol

7.1. Úloha č. 1.

Objemová metoda:

Duty cycle	Čas [s]	n [ot/min]	Q_v [m ³ /min]	Q_m [kg/min]	Q_b [ml/min]
0,71	253	54	$237,154 \cdot 10^{-6}$	$236,443 \cdot 10^{-3}$	237,154
0,76	191	72	$314,136 \cdot 10^{-6}$	$313,194 \cdot 10^{-3}$	314,136
0,81	122	113	$491,803 \cdot 10^{-6}$	$490,328 \cdot 10^{-3}$	491,803
0,86	96	142	$625 \cdot 10^{-6}$	$623,125 \cdot 10^{-3}$	625
0,91	77	176	$779,221 \cdot 10^{-6}$	$776,883 \cdot 10^{-3}$	779,221

Tabulka 4. - Tabulka pro hodnoty objemové metody

Vypočet objemového průtoku pro hodnotu $t = 253$ s, podle objemové metody:

$$Q_v = \frac{V}{t} = \frac{0,001}{253} \cdot 60 = 237,154 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$$

Vypočet hmotnostního průtoku pro hodnotu $t = 253$ s, podle objemové metody:

$$Q_m = \frac{V}{t} \cdot \rho = \frac{0,001}{253} \cdot 997 \cdot 60 = 236,443 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{min}^{-1}$$

Hmotnostní metoda:

Duty cycle	Čas [s]	n [ot/min]	Q_m [kg/min]	Q_b [ml/min]
0,71	253	54	$236,443 \cdot 10^{-3}$	236,443
0,76	191	72	$313,194 \cdot 10^{-3}$	313,194
0,81	122	113	$490,328 \cdot 10^{-3}$	490,328
0,86	96	142	$623,125 \cdot 10^{-3}$	623,125
0,91	77	176	$776,883 \cdot 10^{-3}$	776,883

Tabulka 5. - Tabulka pro hodnoty hmotnostní metody

Vypočet hmotnostního průtoku pro hodnotu $t = 253$ s, podle hmotnostní metody:

$$Q_m = \frac{m}{t} = \frac{0,997}{253} \cdot 60 = 236,443 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{min}^{-1}$$

Rychlostní metoda:

Duty cycle	Čas [s]	n [ot/min]	Q_v [m ³ /min]	Q_m [kg/min]	Q_b [ml/min]
0,71	253	54	$240,13 \cdot 10^{-6}$	$239,409 \cdot 10^{-3}$	240,13
0,76	191	72	$320,173 \cdot 10^{-6}$	$319,213 \cdot 10^{-3}$	320,173
0,81	122	113	$502,494 \cdot 10^{-6}$	$500,986 \cdot 10^{-3}$	502,494
0,86	96	142	$631,453 \cdot 10^{-6}$	$629,558 \cdot 10^{-3}$	631,453
0,91	77	176	$780,645 \cdot 10^{-6}$	$780,297 \cdot 10^{-3}$	780,645

Tabulka 6. - Tabulka pro hodnoty rychlostní metody

Výpočet rychlosti otáčení čerpadla pro hodnotu $n = 54 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$:

$$v = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{60} = \frac{\pi \cdot 44 \cdot 54}{60} = 124,407 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Výpočet plochy průřezu hadičky:

$$S = \pi \cdot \frac{d^2}{4} = \pi \cdot \frac{(6,4 \cdot 10^{-3})^2}{4} = 3,21699 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

Vypočet objemového průtoku, podle rychlostní metody:

$$Q_v = \bar{v} \cdot S = 124,407 \cdot 10^{-3} \cdot 3,21699 \cdot 10^{-5} \cdot 60 = 240,13 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$$

Vypočet hmotnostního průtoku, podle rychlostní metody:

$$Q_m = \bar{v} \cdot S \cdot \rho = 124,407 \cdot 10^{-3} \cdot 3,21699 \cdot 10^{-5} \cdot 997 \cdot 60 = 239,409 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{min}^{-1}$$

Vztah pro výpočet výkonu peristaltického čerpadla:

Duty cycle	Čas [s]	n [ot/min]	Q_b [ml/min]
0,71	253	54	240,130
0,76	191	72	320,173
0,81	122	113	502,494
0,86	96	142	631,453
0,91	77	176	782,645

Tabulka 7. - Tabulka pro hodnoty ze vztahu pro výpočet výkonu peristaltického čerpadla

Výpočet plochy průřezu hadičky:

$$S = \pi \cdot \frac{d^2}{4} = \pi \cdot \frac{6,4^2}{4} = 32,1699 \text{ mm}^2$$

Výpočet objemu čerpacího segmentu:

$$V_0 = D \cdot \pi \cdot S = 44 \cdot \pi \cdot 32,1699 = 4446,849 \text{ mm}^3 = 4,447 \text{ ml}$$

Výpočet průtoku, podle vztahu pro výkon peristaltického čerpadla:

$$Q_b = V_0 \cdot n = 4,447 \cdot 54 = 240,130 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$$

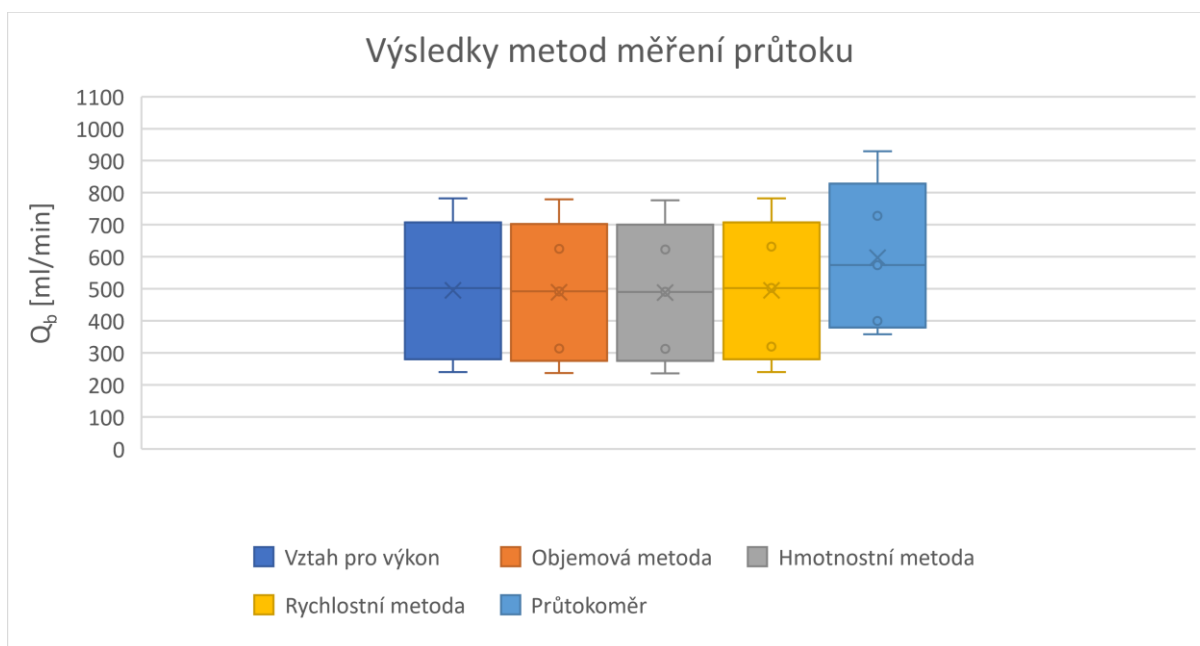
7.2. Úloha č. 2.

Průtok naměřený průtokoměrem:

Duty cycle	Čas [s]	n [ot/min]	Q_p [ml/min]
0,71	253	54	358
0,76	191	72	400
0,81	122	113	574
0,86	96	142	728
0,91	77	176	929

Tabulka 8. - Tabulka pro hodnoty z průtokoměru

7.3. Úloha č.3 provedte analýzu naměřených dat.



Graf 2. - Krabicový graf naměřených hodnot průtoku

Objem čerpacího segmentu z naměřených hodnot průtoku v ml:

Metoda	1	2	3	4	5
Objemová metoda	4,392	4,363	4,352	4,401	4,427
Hmotnostní metoda	4,379	4,35	4,339	4,388	4,414
Průtokoměr	6,63	5,556	5,079	5,127	5,278

Tabulka 9. - Objem čerpacího segmentu z naměřených hodnot

Výpočet objemu čerpacího segmentu z naměřených dat:

$$Q_b = V_0 \cdot n$$

$$V_0 = \frac{Q_b}{n} = \frac{237,154}{54} = 4,392 \text{ ml}$$

Výpočet absolutní chyby měření:

$$\Delta = |x - x_0| = |4,447 - 4,392| = 0,055$$

Průměrná chyba:

Metoda	Průměrná absolutní chyba
Objemová metoda	0,06
Hmotnostní metoda	0,073
Průtokoměr	1,087

Tabulka 10. - Tabulka průměrných chyb pro zvolené metody

7.4. Kontrolní otázky

1. Které technické parametry ovlivňují výkon peristaltického čerpadla, kromě výkonu motoru?

Velikost hadičky, především vnitřní průřez, velikost komory čerpadla (velikost průměru středové osy čerpacího segmentu) a velikost okluzního přitlaku.

2. Jaký jev může nastat, když okluzní přitlak čerpadla je příliš malý?

Může dojít k zpětnému proudění přečerpávané látky.

3. Do jaké skupiny senzorů dle metod, se řadí použitý průtokoměr a jakým principem senzor měří?

Podle rychlostní metody. Použitý senzor měří pomocí turbíny, která nám udává velikost průtoku svým otáčením.

4. Která z použitých metod se jeví jako nejpřesnější a proč?

Vztah pro výpočet výkonu peristaltického čerpadla a rychlostní metoda. Vycházejí z definovaných parametrů čerpadla. Jediným problémem může být přesnost naměřených otáček.

Závěr

V práci jsem se zabýval vytvořením laboratorní úlohy pro měření výkonu peristaltického čerpadla za pomoci vývojové desky NI Elvis II. Cílem práce bylo zhotovit řešení pro realizaci takového měření, následně navrhnout laboratorní úlohu, z které by bylo možné určit výkon čerpadla.

Při vytváření laboratorní úlohy jsem se zaměřil na klíčové vlastnosti čerpadla, a to je průtok a jeho otáčky, které udávají výkon čerpadla samotného. Pro toto měření jsem navrhl měřicí řetězec, kterým je možno tyto veličiny naměřit. Podle měřicího řetězce jsem navrhl potřebný hardware. Senzor otáček za pomoci optočlenu a řídicí obvod čerpadla za pomoci H-můstku. Pro H-můstek jsem následně navrhl desku plošného spoje, aby bylo ve finálním řešení, celý měřicí řetězec snadné sestrojít. Jako senzor průtoku jsem použil již zakoupený průtokoměr, abych snížil potřebnou částku pro zhotovení finálního řešení mé práce. U senzorů jsem si ověřil výstupní signály a odzkoušel funkčnost navrženého řídicího obvodu. Následně jsem navrhl software, v prostředí NI Labview, který bude spolupracovat s navrženým hardwarem na vývojové desce NI Elvis II. Software, který dokáže číst a zpracovávat naměřená data ze senzorů a také ovládat chod peristaltického čerpadla. Následně navrhnout pro tento software uživatelské prostředí, které uživateli usnadní měření a odečet naměřených hodnot. Dále jsem navrhl postup pro měření laboratorní úlohy, kde jsem vycházel z teorie o měření průtoku. Celý postup a navržený software a hardware jsem otestoval za pomoci testovacího měření. Z toho měření jsem následně zhotovil vzorový protokol pro navrženou laboratorní úlohu.

Ze zpracovaných dat ve vzorovém protokolu jsem zjistil, že výsledky měření pomocí rychlostní metody a vztahu pro výpočet výkonu peristaltického čerpadla jsou totožné. A to proto, že obě metody vychází z objemu čerpacího segmentu, který vypočítáme z již deklarovaných parametrů od výrobce čerpadla a naměřené hodnoty otáček. Jelikož se tyto dvě metody jeví jako nejpřesnější metody pro měření průtoku u peristaltického čerpadla tak jsem výsledky z těchto metod použil jako referenční hodnoty pro ostatní metody. U metody objemové a hmotnostní byl jedinou měřenou hodnotou čas, jelikož jsem měřil dobu, za kterou čerpadlo přečerpá jeden litr vody. Z naměřených pomocí těchto metod jsem zjistil, že moje hypotéza je pravděpodobně správná, protože výsledky objemové a hmotnostní metody mají velmi malou odchylku od metody rychlostní a průtoku vypočteným vztahem pro výkon peristaltického čerpadla. Výsledky z měření za pomoci průtokoměru ukázaly, že zvolený průtokoměr se nejeví tak přesný, jak jsem očekával, a to proto, že odchylka z naměřených hodnot (Tabulka 10) je vyšší než u ostatních metod. Ověřil jsem si, že navrženým řešením lze naměřit průtok čerpadla.

Tuto práci bych dále rozvíjel tím, že bych se zaměřil na vylepšení konceptu řešení a uvedení do praxe. Zvolením jiného typu senzoru průtoku, který dokáže měřit průtok o něco přesněji. Dále také bych se zaměřil na lepší softwarové řešení, např. plná automatizace měření za pomoci softwaru, přesné nastavování otáček čerpadla.

Literatura

- [1] YAMATSUTA, Eitaro, Sze PING BEH, Kaoru UESUGI, Hidenobu TSUJIMURA a Keisuke MORISHIMA. A Micro Peristaltic Pump Using an Optically Controllable Bioactuator. *Engineering* [online]. 2019 [cit. 2019-05-15]. DOI: 10.1016/j.eng.2018.11.033. ISSN 20958099. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2095809917307683>
- [2] KOMMU, Aruna, Raghavendra Rao KANCHI a Naveen Kumar UTTARKAR. Design and development of microcontroller based peristaltic pump for automatic potentiometric titration. In: *2014 International Conference on Communication and Signal Processing* [online]. IEEE, 2014, 2014, s. 157-161 [cit. 2019-05-15]. DOI: 10.1109/ICCSP.2014.6949819. ISBN 978-1-4799-3358-7. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6949819/>
- [3] LOTH, Andreas a Ralf FORSTER. Disposable high pressure peristaltic micro pump for standalone and on-chip applications. In: *2016 IEEE 11th Annual International Conference on Nano/Micro Engineered and Molecular Systems (NEMS)* [online]. IEEE, 2016, 2016, s. 29-33 [cit. 2019-05-15]. DOI: 10.1109/NEMS.2016.7758193. ISBN 978-1-5090-1947-2. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7758193/>
- [4] STORK, M. a D. MAYER. Peristaltic Pump With Magnetoelastic Drive. *IEEE Transactions on Magnetics* [online]. 2018, **54**(5), 1-4 [cit. 2019-05-15]. DOI: 10.1109/TMAG.2018.2804331. ISSN 0018-9464. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/8306274/>
- [5] KLESPLITZ, Jozsef a Levente KOVACS. Identification and control of peristaltic pumps in hemodialysis machines. In: *2013 IEEE 14th International Symposium on Computational Intelligence and Informatics (CINTI)* [online]. IEEE, 2013, 2013, s. 83-87 [cit. 2019-06-16]. DOI: 10.1109/CINTI.2013.6705169. ISBN 978-1-4799-0197-5. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6705169/>
- [6] CETIN, Ipek, Gorkem YILMAZ, Hande HALILIBRAHIMOGLU a Ceyhun E. KIRIMLI. "Do It Yourself" Peristaltic Pump and Flowcell for QCM Biosensor. In: *2017 21st National Biomedical Engineering Meeting (BIYOMUT)* [online]. IEEE, 2017, 2017, i-iv [cit. 2019-05-16]. DOI: 10.1109/BIYOMUT.2017.8479100. ISBN 978-1-5386-5340-1. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8479100/>
- [7] KLESPLITZ, Jozsef a Levente KOVACS. Peristaltic pumps — A review on working and control possibilities. In: *2014 IEEE 12th International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMII)* [online]. IEEE, 2014, 2014, s. 191-194 [cit. 2019-06-16]. DOI: 10.1109/SAMI.2014.6822404. ISBN 978-1-4799-3442-3. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6822404/>

- [8] INTLLAB DP-385-DIY Peristaltické čerpadlo 12V. *Www.laskarduino.cz* [online]. Rychnov nad Kněžnou: laskarduino.cz, c2020 [cit. 2020-01-03]. Dostupné z: https://www.laskarduino.cz/intllab-dp-385-diy-peristalticke-cerpadlo-12v/?gclid=EAlaIqobChMIypfs_O3n5glVw513Ch2ezADdEAQYAIABEgKi5vD_BwE
- [9] Peristaltická dávkovací čerpadla: Peristaltická čerpadla s konstantním průtokem. *Dmychadla a náhradní díly* [online]. Všestary-Bříza: Dmychadla a náhradní díly, c2020 [cit. 2020-01-03]. Dostupné z: <http://www.covdily.cz/data/listy/Peristalticka-davkovaci-cerpadla.pdf>
- [10] Čerpadlo OEM JT03 SN25, 220V AC 1500 ml/min, 1 hlava 25#. *Create Flow* [online]. Poříčany: Create Flow, c2020 [cit. 2020-01-03]. Dostupné z: <https://www.createflow.cz/hadicova-peristalticka-cerpadla-oem/peristalticke-hadicove-cerpadlo/>
- [11] Mbm technik. *PERISTALTICKÉ ČERPADLO ŘADY 810*. Brno, 2019.
- [12] ČIHÁK, Josef a Martin AUGUSTYNEK. *Infuzní technika a hemodialyzační technika a technologie*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2013. ISBN 978-80-248-3100-8.
- [13] PENHAKER, Marek. *Snímače a senzory v biomedicíně*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2013. ISBN 978-80-248-3104-6.
- [13] ĎAĎO, Stanislav, Ludvík BEJČEK a Antonín PLATIL. *Měření průtoku a výšky hladiny*. Praha: BEN - technická literatura, 2005. Senzory neelektrických veličin. ISBN isbn:80-7300-156-x.
- [14] NI Elvis II. In: *NI ELVIS II: NI ELVIS* [online]. Austin, Texas, USA: National Instruments, b.r. [cit. 2021-04-23]. Dostupné z: <https://www.ni.com/cs-cz/support/model-ni-elvis-ii.html>
- [15] B.I.O-TECH e.K. senzor průtoku FCH-M-POM-LC. In: *Conrad.cz* [online]. Praha: Conrad Electronic, b.r. [cit. 2021-04-23]. Dostupné z: <https://www.conrad.cz/p/bio-tech-ek-senzor-prutoku-fch-m-pom-lc-ad-6-mm-flowmeter-provozni-napeti-rozsah-5-24-vdc-merici-rozsah-005-150392>
- [16] 150392-FCH-m-POM-LC. In: *Conrad.cz* [online]. Praha: Conrad Electronic, b.r. [cit. 2021-04-23]. Dostupné z: <https://asset.conrad.com/media10/add/160267/c1/-/gl/000150392DS01/list-technicky-udaju-150392-bio-tech-ek-senzor-prutoku-fch-m-pom-lc-ad-6-mm-flowmeter-provozni-napeti-rozsah-5-24-vdc-merici-rozsah-005.pdf>
- [17] *CNY 70* [online]. Praha: GM electronic, b.r. [cit. 2021-04-23]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/cny70>
- [18] *L298N MULTIWATT15* [online]. Praha: GM electronic, b.r. [cit. 2021-04-23]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/l298n-multiwatt15-stm-thomson>

- [19] Peristaltic pump. *Wikimedia* [online]. San Francisco (CA): wikimedia, b.r., 21 June 2013n. l. [cit.2021-4-26]. Dostupné z: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/95/Peristaltic_pump.gif
- [20] ŚWISULSKI, Dariusz, Robert HANUS, Marcin ZYCH, Leszek PETRYKA a P. DANČOVÁ. Methods of measurement signal acquisition from the rotational flow meter for frequency analysis. *EPJ Web of Conferences* [online]. 2017, **143**(1) [cit. 2021-4-26]. ISSN 2100-014X. Dostupné z: doi:10.1051/epjconf/201714302124

Přílohy

Příloha č. 1. - Fotodokumentace měřícího řetězce

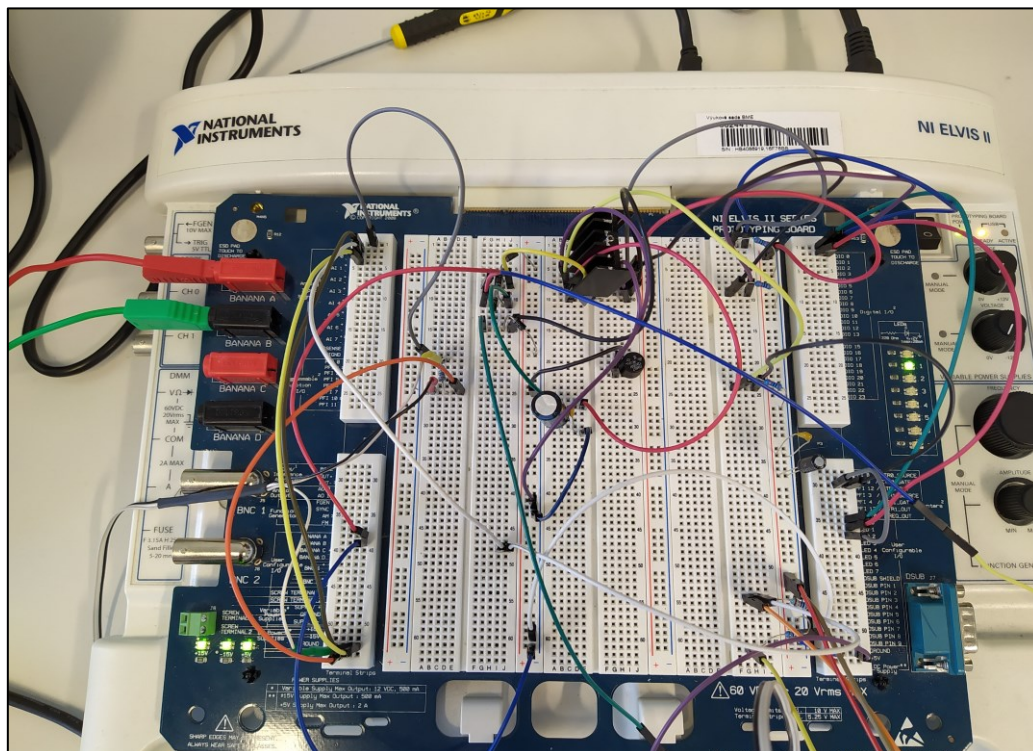
Příloha č. 2. - Příloha v IS EDISON, Software vytvořený v NI labview

Příloha č.3. - Příloha v IS EDISON, Schéma obvodů a návrh desky plošného spoje

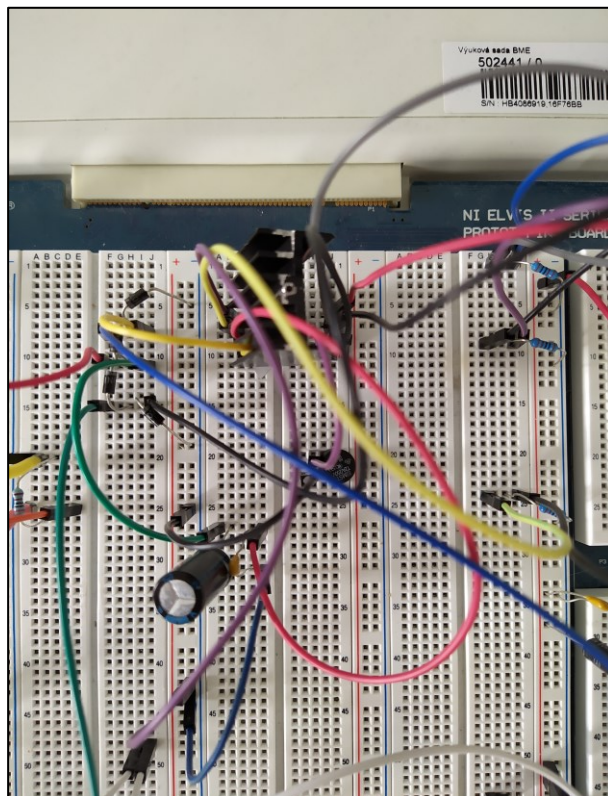
Příloha č.4. – Příloha v IS EDISON, Katalogový list čerpadlo řady 810 a motor

Příloha č. 1.

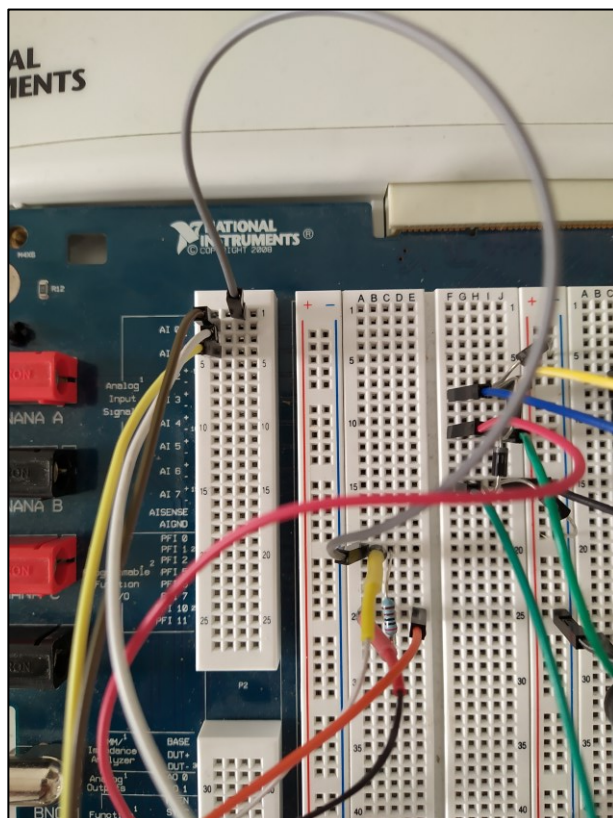
V této příloze se nachází fotodokumentace navrhnutého měřicího řetězce.



Obrázek 62. Fotodokumentace všech pomocných obvodů



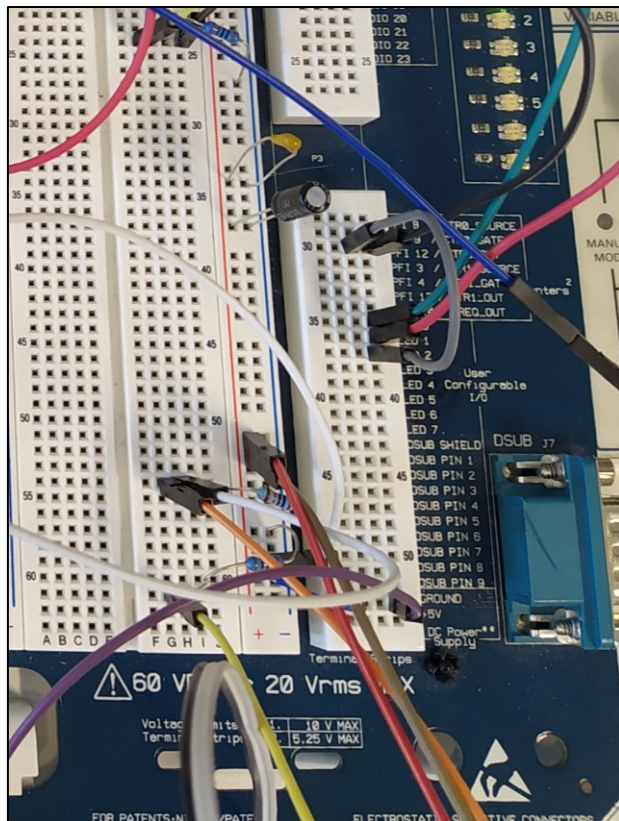
Obrázek 63. - Fotodokumentace H – Můstku



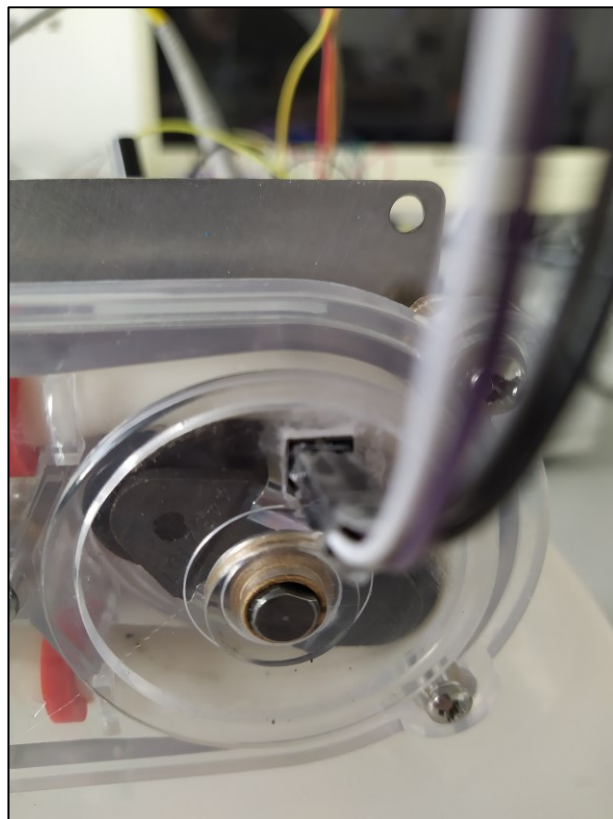
Obrázek 64. - Fotodokumentace zapojení senzoru průtoku



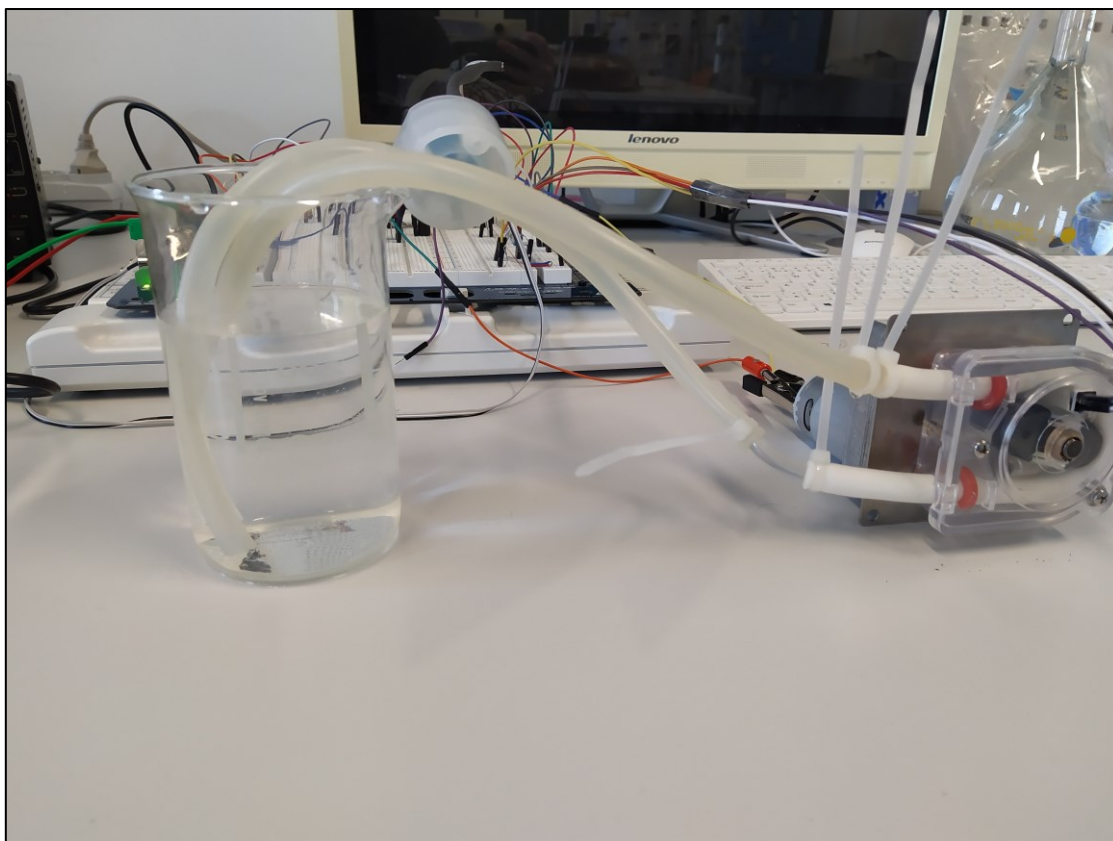
Obrázek 65. - Fotodokumentace senzoru průtoku



Obrázek 66. - Fotodokumentace zapojení senzoru otáček



Obrázek 67. - Fotodokumentace senzoru otáček umístěný na peristaltickém čerpadle



Obrázek 68. - Fotodokumentace měřicího řetězce