

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMATIZACE A INFORMATIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMATION AND COMPUTER SCIENCE

MĚŘENÍ PRŮTOKU KAPALINY

LIQUID FLOW MEASUREMENT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MICHAL BILÝ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING. FRANTIŠEK VDOLEČEK, CSC.

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automatizace a informatiky

Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Michal Bílý

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Aplikovaná informatika a řízení (3902R001)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Měření průtoku kapaliny

v anglickém jazyce:

Liquid Flow Measurement

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Velmi častým úkolem technické praxe je potřeba měření průtoku kapalin. Ne vždy je přitom třeba znát přesnou hodnotu průtoku, mnohdy postačí pouhé zjištění, zda kapalina protéká či nikoli, tj. zda nemůže dojít k poškození systému nefunkčním okruhem mazání, nebo chlazení.

Cíle bakalářské práce:

V rámci práce vypracujte podrobnou studii metod měření a sledování průtoku kapalin a z dostupné měřicí techniky sestavte funkční model, přibližující vybrané možnosti měření.

Doporučená osnova práce:

1. Principy měření průtoku kapalin
2. Snímače pro měření a sledování průtoku kapalin
3. Návrh a realizace modelového pracoviště

Seznam odborné literatury:

ĎAĎO, S.; Bejček, L.; Platil, A.; Měření průtoku a výšky hladin. 1. vydání : Praha : BEN – technická literatura, 2005. 448 s. ISBN 80-7300-156-X.

JENČÍK, J.; Volf, J.; Technická měření : 1. vydání Praha : Vydavatelství ČVUT, 2000. 212 s. ISBN 80-01-02138-6.

CHUDÝ, V.; Palenčár, R.; Kureková, E.; Halaj, M.; Meranie technických veličín : 1. vydání Bratislava : Vydavateľstvo STU, 1999. 688s. ISBN 80-227-1275-2.

SLÁDEK, Z.; Vdoleček, F.; Technická měření : 1. vydání Brno : Nakladatelství VUT, 1992. 220 s. ISBN 80-214-0414-0.

Firemní literatura

Vedoucí bakalářské práce: Ing. František Vdoleček, CSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/2015.

V Brně, dne 21.11.2014

L.S.

Ing. Jan Roupec, Ph.D.
Ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá měřením průtoku kapalin. V krátkosti jsou zde popsány základní pojmy týkající se měření průtoku a principy vybraných průtokoměrů. Dále se práce věnuje návrhu a sestavení měřicí aparatury, přibližující praktické měření průtoku.

ABSTRACT

This thesis deals with the liquid flow measurement. It briefly describes basic terms related to the measurement of liquid flow and the principles of selected flowmeters. Then it focuses on design and assembly of the measuring apparatus, which approximates practical flow measurement.

KLÍČOVÁ SLOVA

Průtok, měření průtoku kapaliny, průtokoměry.

KEYWORDS

Flow, liquid flow measurement, flowmeters.

PROHLÁŠENÍ O ORIGINALITĚ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně dle pokynů vedoucího a s použitím uvedené odborné literatury.

V Brně, dne 29. 5. 2015

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

BILÝ, M. *Měření průtoku kapaliny*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 45 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. František Vdoleček, CSc..

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Františku Vdolečkovi, CSc. za odborné vedení, poskytnutý čas a ochotu při tvorbě této bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat svým přátelům a rodině za podporu během mého studia.

Obsah:

1	ÚVOD	13
2	ZÁKLADNÍ POJMY	15
2.1	Objemový průtok.....	15
2.2	Hmotnostní průtok.....	15
2.3	Viskozita.....	15
2.4	Reynoldsovo číslo	16
2.5	Druhy proudění	16
2.5.1.	Laminární proudění	16
2.5.2.	Turbulentní proudění	16
2.6	Dělení průtokoměrů.....	17
2.6.1.	Objemová metoda	17
2.6.2.	Rychlostní metoda.....	17
3	SNÍMAČE PRO MĚŘENÍ PRŮTOKU	19
3.1	Průřezové průtokoměry	19
3.1.1.	Clony	19
3.1.2.	Dýzy	19
3.1.3.	Venturiho trubice	19
3.2	Rychlostní sondy	20
3.3	Turbínové a lopatkové průtokoměry	20
3.4	Objemové průtokoměry.....	21
3.4.1.	Vodoměr s krouživým pístem.....	21
3.4.2.	Oválné měřidlo	21
3.5	Deformační průtokoměry	22
3.6	Ultrazvukové průtokoměry	22
3.7	Indukční průtokoměry	23
3.7.1.	Průtokové indukční průtokoměry	23
3.7.2.	Ponorné průtokoměry	24
3.7.3.	Zásuvné průtokoměry	24
3.7.4.	Bodové a plošné průtokoměry.....	24
3.8	Coriolisovy hmotnostní průtokoměry	24
3.9	Vírové průtokoměry	25
4	REALIZACE MODELOVÉHO PRACOVIŠTĚ	27
4.1	Návrh koncepce.....	27
4.2	Nosná konstrukce	27
4.3	Spojovací prvky a hadice	28
4.4	Nádrž	28
4.5	Čerpadlo PUMPA PSDR250P.....	29
4.6	Turbínový průtokoměr KOBOLD EDM-4S16	30
4.7	Lopatkový průtokoměr ENBRA ETK.....	31
4.8	Indikátor průtoku.....	31
4.9	Sestavené pracoviště	32
5	VLASTNÍ MĚŘENÍ.....	35
5.1	Návod k měření	35
5.2	Měření 1 minuta	35
5.3	Měření 2 minuty	36
5.4	Měření s přiškrceným ventilem.....	37
5.5	Hodnocení výsledků měření.....	38
6	ZÁVĚR.....	41

1 ÚVOD

Měření průtoku patří k historicky nejstarším úkolům měřicí techniky a v současné době je v praxi proteklé množství spolu s výškou hladiny nejčastěji měřenou veličinou.

Měření průtoku kapalin se využívá v mnoha odvětvích lidské činnosti a to od zdravotnictví v podobě měření oběhu lidské krve přes měření proteklého množství vody v domácnostech po měření průtoku vodních toků.

Pro tato měření existuje nepřehledné množství měřidel průtoku, která jsou více či méně vhodná k dané úloze měření. Je třeba proto dbát velký důraz na požadované parametry při výběru průtokoměru.

Tato bakalářská práce má několik cílů. Hlavním cílem je přiblížení problematiky průtoku kapaliny jak po stránce teoretické, tak i praktické. Vedle rekapitulace základů teorie měření průtoku a principů průtokoměrů je to i návrh, realizace a ověření funkce modelu, který bude schopen prakticky ve výuce demonstrovat některé tyto záležitosti studentům.

Druhým nezanedbatelným cílem je pak využití některých měřidel, které darovala společnost KOBOLD, jeden z významných evropských představitelů v tomto oboru měření. Bohužel se však některé tyto přístroje svými parametry vymykají běžné laboratorní výuce, což v jistých momentech komplikovalo návrhy modelu.

2 ZÁKLADNÍ POJMY

2.1 Objemový průtok

Je značen jako Q_V a vyjadřuje podíl objemu kapaliny V , který proteče daným průřezem potrubí, za čas t . Rovnice 1 vyjadřuje tuto definici. [1]

$$Q_V = \frac{\Delta V}{\Delta t} [m^3 \cdot s^{-1}] \quad (1)$$

Pro měření proteklého množství za určitou dobu se často používá integrace v čase. [2]

$$V = \int_{\Delta t} Q_V dt \quad (2)$$

2.2 Hmotnostní průtok

Je značen jako Q_m a vyjadřuje podíl hmotnosti kapaliny m , která proteče daným průřezem potrubí, za čas t . Rovnice 3 vyjadřuje tuto definici. [1]

$$Q_m = \frac{\Delta m}{\Delta t} [kg \cdot s^{-1}] \quad (3)$$

Hmotnostní průtok lze vypočítat z objemového průtoku, jestliže známe hustotu měřené kapaliny ρ . [1]

$$Q_m = Q_V \cdot \rho \quad (4)$$

Stejně jako u objemového průtoku, se u hmotnostního průtoku používá pro měření proteklého množství za určitou dobu integrace v čase. [2]

$$m = \int_{\Delta t} Q_m dt \quad (5)$$

2.3 Viskozita

Viskozita (vazkost) je fyzikální veličina udávající vlastnost kapaliny. Zapřičiňuje vzniku nenulového smykového napětí mezi sousedními vrstvami kapaliny. Tyto vrstvy se pohybují různými rychlostmi. [1]

Z tohoto důvodu mají kapaliny s malou viskozitou větší tekutost než kapaliny s velkou viskozitou. Viskozita kapaliny klesá s rostoucí teplotou a klesajícím tlakem a naopak roste s klesající teplotou a rostoucím tlakem.

2.4 Reynoldsovo číslo

Reynoldsovo číslo se značí Re a slouží pro zjištění typu proudění. Toto číslo udává poměr mezi setrvačnými a třecími silami v kapalině. Rovnice 3 udává vztah pro jeho výpočet. [1]

$$Re = \frac{\text{setrvačné síly}}{\text{třecí síly}} = \frac{\rho v^2 D}{\eta v} = \frac{\rho v D}{\eta} = \frac{v D}{\nu} \quad (3)$$

Re ...Reynoldsovo číslo [-]

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

v ...rychlost proudící kapaliny [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]

D ...světlost potrubí [m]

η ...dynamická viskozita tekutiny [$\text{Pa} \cdot \text{s}$]

ν ...kinematická viskozita tekutiny [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$]

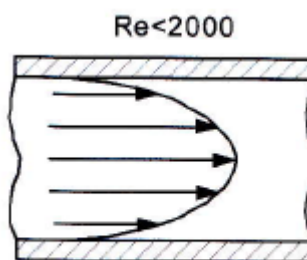
2.5 Druhy proudění

Funkce průtokoměru je ve velké míře ovlivněna druhem proudění kapaliny v potrubí. Charakter proudění je závislý na rozložení třecích a setrvačných sil v kapalině. [1]

2.5.1. Laminární proudění

Při laminárním proudění se dráhy částic kapaliny vzájemně nekříží, tedy vrstvy proudící kapaliny se vzájemně nemíchají. Největší rychlost proudění je v ose potrubí a nejmenší v místě styku kapaliny s potrubím. Rychlostní profil má pak podobu paraboloidu (Obr. 1). [1]

Pokud' je Reynoldsovo číslo $Re < 2000$ je proudění laminární. [1]

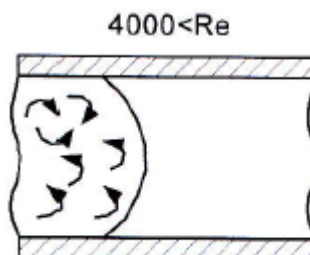


Obr. 1 – Rychlostní profil laminárního proudění [1]

2.5.2. Turbulentní proudění

Při turbulentním proudění se dráhy částic kapaliny vzájemně kříží. V důsledku tohoto křížení vznikají víry. Rychlost proudění je v průtočném průřezu téměř stejná. Rychlostní profil je tedy skoro plochý (Obr. 2).[1]

Proudění je turbulentní, jestliže je Reynoldsovo číslo $Re > 4000$. [1]



Obr. 2 – Rychlostní profil turbulentního proudění [1]

2.6 Dělení průtokoměrů

Průtokoměry lze dělit podle různých hledisek a vlastností. Základní vlastnosti průtokoměrů jsou uvedeny v tabulce Tabulka 1. Nejčastěji se používá dělení podle použité metody měření.

2.6.1. Objemová metoda

Objemová metoda patří mezi absolutní metody měření průtoku. Měřidla pracující na principu této metody se užívají pro přesná bilanční měření a dále se používají pro kalibraci jiných měřidel průtoku. Objemová měřidla odměřují objem kapaliny v odměrných prostorách. Dělí se na měřidla se spojitou a nespojitou funkcí. [3]

2.6.2. Rychlostní metoda

K rychlostnímu měření průtoku se využívá rychlostní metoda. Používá se nejčastěji pro provozní měření. Měří se střední rychlost proudění jako funkce průtoku, přičemž se nemění průtočný průřez nebo se měří změna průtočného průřezu při konstantní střední rychlosti proudění. [2]

Tabulka 1 – Základní vlastnosti průtokoměrů [3]

Metoda	Typ průtokoměru	Bližší specifikace snímače	Charakteristika principu měření	Výstup	Tlaková ztráta	Přesnost (procenta z měřičeho rozsahu)	Rozsah průtoků (m^3/h)	Poměr Q_{max}/Q_{min}	Použití
objemová	objemová měřidla	s nespojitou funkcí (zvonový krychloměr)	průtok je určen přírůstkem objemu za určitou dobu	lineární	-	lepší než 0,1	10^3 až 10^2	-	vhodné pro plyny a čisté a neviskózní kapaliny, zejména jako etalon
		se spojitou funkcí (membránový a bubnový plynoměr, pístové měřidlo, oválový průtokoměr)	cyklické plnění a vyprazdňování několika odměrných prostorů	lineární	střední až velká	0,1 až 2	10^3 až 10^3	100 : 1 až 200 : 1	především jako měřidla protékého množství, bilanční měřidla
rychlostní	průtokoměry s měřením rozdílu tlaků	rychlostní sondy (trubice Pitotova, Prandtlůva; několikaotvorové sondy)	závislost dynamického tlaku proudícího média na rychlosti proudění	odmocnina	malá	2 až 5	1 až 10^3	3 : 1 až 10 : 1	rychlostní sondy jsou vhodné k jednorázovému měření; několikaotvorové sondy jsou vhodné i pro velmi rozměrná potrubí
		průřezová měřidla (clona, dýza, Venturiho dýza)	měření rozdílu statických tlaků před a za zúžením průtočného průřezu	odmocnina	střední až velká	0,5 až 2	10^4 až 10^3	4 : 1 až 8 : 1	dříve nejrozšířenější v průmyslu; nyní na ústupu ve prospěch průtokoměrů vírových, ultrazvukových atd.
		kapilární průtokoměry (laminární)	měření tlakového spádu na kapiláře	lineární	velká	0,5 až 5	10^5 až 10	100 : 1	zejména pro laboratorní měření
		kolenové průtokoměry	měření rozdílu tlaků tekutiny na vnitřní a vnější stěně kolena	odmocnina	bez předávané tlakové ztráty	5 až 10	10 až 10^3	3 : 1	jednoduché měřidlo, ale s velkou nejistotou
	rotametry (plovákové průtokoměry)	-	se změnou průtoku se mění průtočný průřez při téměř stále tlakové ztrátě	přibližně lineární	střední	0,5 až 5	10^4 až 10^3	10 : 1	vhodné pro laboratorní i provozní použití; měřicí trubice musí být svislá
	náporové (deformační) průtokoměry	terčíkové průtokoměry	kinetická energie proudící tekutiny deformuje pružný prvek	odmocnina	střední až velká	5	1 až 10^4	50 : 1	vhodné k měření znečištěných, korozivních a viskózních tekutin
	turbínové a lopatkové průtokoměry	axiální průtokoměry (šroubové, turbínové)	silovým účinkem proudící tekutiny je uváděn do pohybu rotační prvek s otáčkami úměrnými rychlosti proudění	lineární	velká	0,1 až 2	10^4 až 10^3	20 : 1	vhodné k měření i za vysokých tlaků a teplot; neměří od nulového průtoku
		radiální průtokoměry (jedno- či několikavrtkový lopatkový průtokoměr)		lineární	velká	0,1 až 2	10^4 až 10^3	10 : 1	měření množství užitkové i pitné vody; neměří od nulového průtoku
	elektromagnetické indukční průtokoměry	-	elektromagnetická indukce při pohybu vodiče v magnetickém poli	lineární	žádná	0,5 až 2	10^3 až 10^5	30 : 1 až 100 : 1	pouze k měření elektricky vodivých kapalin; vliv teploty je zanedbatelný; necitlivé na změny hustoty, viskozity a tlaku; lze měřit obousměrně
	ultrazvukové průtokoměry	založené na Dopplerově jevu	měření změny frekvence ultrazvuku při odrazu od pohybující se nehomogenity v proudícím médiu	lineární	žádná	1 až 3	10^3 až 10^4	30 : 1	měřené médium musí obsahovat částice odražející zvuk; vhodné k měření kalů a znečištěných tekutin
		vyhodnocující dobu šíření ultrazvukového signálu	měření doby šíření ultrazvuku ve směru a proti směru proudění	lineární	žádná	0,1 až 1	10^3 až 10^4	30 : 1	náročné na technické provedení; obtížná kalibrace; nezasahuje do proudu média; lze dodatečně instalovat na povrch potrubí a měřit obousměrně
	vírové průtokoměry	-	měří se frekvence vírů vznikajících při obtékání tělesa neproudnicového tvaru	lineární	střední	0,5 až 1	10^1 až 10^4	20 : 1 až 50 : 1	frekvenční výstup se snadno zpracovává číslicově; nevhodné pro malé průtoky; typická náhrada klasických průřezových měřidel
značkovací průtokoměry	průtokoměry s uměle vytvořenou značkou	měří se doba, za níž se značka unášená tekutinou přemístí z místa svého vzniku ke snímači	lineární	žádná	0,1 až 1	-	1 000 : 1	vhodné pro kalibraci instalovaných průtokoměrů; lze měřit průtok i v potrubí složitých tvarů; nevhodné pro průběžné měření	
	korelační průtokoměry	značkou je zvolená náhodná proměnná proudící tekutiny a koreluje se signály ze dvou za sebou umístěných detektorů	lineární	žádná	1	-	100 : 1	použitelné tam, kde ostatní metody selhávají; nevýhodou je složitá zařízení i zpracování signálu	
	přepady, žlaby	měřicí přepad	měření polohy hladiny před přepadem	odmocnina	malá	2 až 5	10^1 až 10^4	400 : 1	měření průtoku kapalin v otevřených kanálech
	Parshallův žlab	modifikace Venturiho koncepce	odmocnina	malá	2 až 5	10^1 až 10^5	120 : 1		
hmotnostní	Coriolisovy průtokoměry	se zakřivenou trubicí s přímou trubicí	využití Coriolisovy síly vznikající při pohybu tekutiny v rotující soustavě	lineární lineární	střední minimální	0,1 až 0,5 0,5 až 2	1 až 10^3	50 : 1 až 500 : 1	nezávislé na změnách tlaku, teploty, viskozity, hustoty a vodivosti média
		hmotnostní termoanemometry	měří se chladič účinek nucené konvekce na vyhřívání čidla	odmocnina	střední	0,5 až 2	10^4 až 1	50 : 1	vhodné i k měření velmi malých průtoků v laboratorní i provozní praxi
tepelné průtokoměry	kalorimetrické hmotnostní průtokoměry	měří se míra oteplení způsobená prouděním hmoty	lineární v omezené oblasti	velká	0,5 až 2	10^5 až 1	100 : 1		

3 SNÍMAČE PRO MĚŘENÍ PRŮTOKU

3.1 Průřezové průtokoměry

Využívají principu zachování energie v proudící tekutině. Do potrubí se umístí škrtící člen, díky kterému dojde k tlakovému rozdílu před a za škrtícím členem. Tento rozdíl je úměrný rychlosti proudění kapaliny. Průřezové průtokoměry tedy využívají rychlostní metodu měření. Nejčastěji se používají clony, dýzy a Venturiho trubice. Tyto škrtící orgány jsou na Obr. 3. [4]

Výhody:

- jednoduchá konstrukce
- nízká cena
- jednoduchá montáž
- široký rozsah použití
- vhodné pro většinu kapalin
- dlouhodobě ověřená metoda měření

Nevýhody:

- neměří od nulového průtoku
- nutný přímý úsek potrubí
- vyžadují turbulentní proudění
- nezanedbatelná tlaková ztráta
- složitější instalace a údržba
- vliv změn hustoty, tlaku, teploty a viskozity [5]

3.1.1. Clony

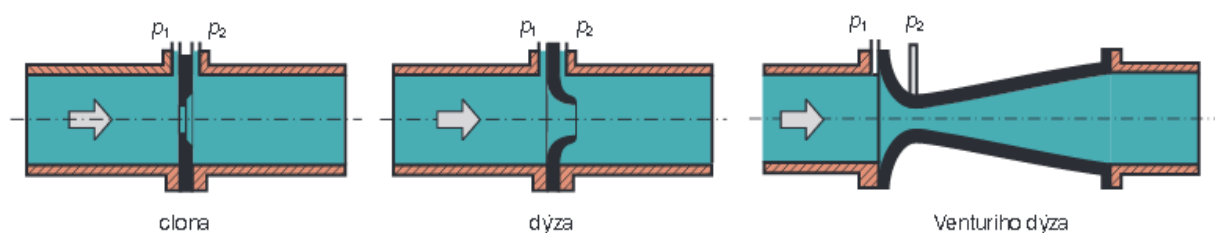
Clony patří mezi nejjednodušší a zároveň nejčastěji používané škrtící orgány. Clona je soustředně zabudovaná deska do potrubí s kruhovým otvorem uprostřed. Měření tlaku probíhá těsně před a za clonou. [6]

3.1.2. Dýzy

Dýza je tryska s hladkým tvarem v přítokové části a s ostrým tvarem v části odtokové. Dýzy se užívají především pro vysoké teploty a vysoké rychlosti proudění. [1]

3.1.3. Venturiho trubice

Venturiho trubice má dlouhou konvergentní přítokovou část a divergentní odtokovou část. Venturiho trubice je vhodná pro čisté kapaliny. [1]



Obr. 3 – Škrtící orgány [3]

3.2 Rychlostní sondy

Rychlostní sondy se používají pro přesná většinou jednorázová měření nebo pro laboratorní účely. Využívají závislosti dynamického tlaku protékající kapaliny na rychlosti proudění. Velmi rozšířené jsou Pitotova a Prandtlova trubice. [2][3]

Výhody:

- velmi přesné

Nevýhody:

- jednorázová měření
- složitější instalace [1]

3.3 Turbínové a lopatkové průtokoměry

Princip činnosti je takový, že proudící kapalina uvádí do rotačního pohybu lopatkový rotor, který je umístěn v ose průtokoměru. Každý průchod lopatky rotoru odpovídá danému objemovému množství.

Lopatky jsou u lopatkových průtokoměrů orientovány kolmo ke směru proudění kapaliny, znázorněno na Obr. 4, a lopatky rotoru turbínových průtokoměrů jsou umístěny v ose proudění, znázorněno na Obr. 4. [1]

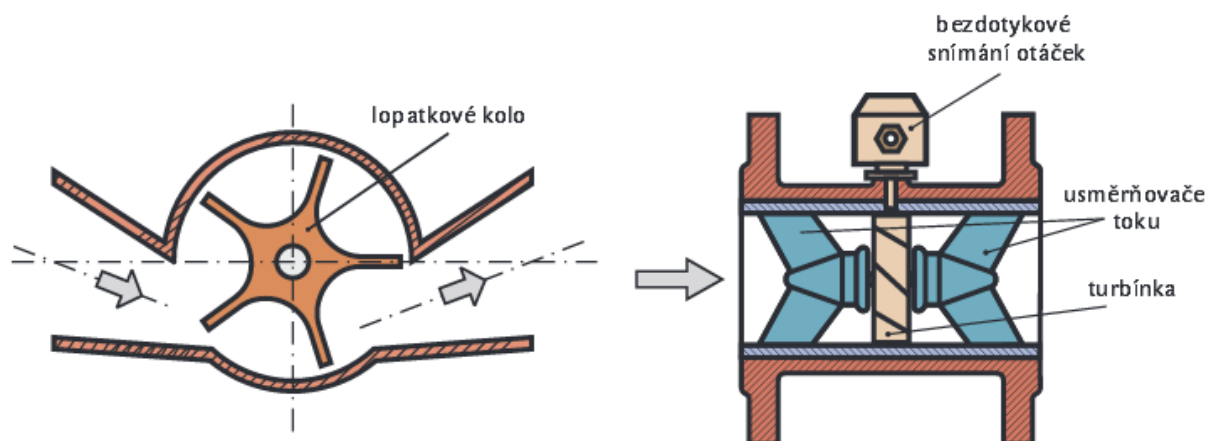
Nejčastěji se využívají tyto průtokoměry pro provozní měření odběru vody. [4]

Výhody:

- velmi malá nejistota a velmi dobrá opakovatelnost měření
- velký teplotní rozsah
- vhodné i pro malé průtoky a velké tlaky (desítky MPa)

Nevýhody:

- nevhodné pro kapaliny s velkou viskozitou
- viskozita se nesmí měnit
- nutné přímé úseky před a za měřidlem
- vhodné jen pro čisté kapaliny
- neměří od nulového průtoku [5]



Obr. 4 – Schéma lopatkového a turbínového průtokoměru [7]

3.4 Objemové průtokoměry

Objemová měřidla průtoku využívají principu objemové metody. Používají se jako etalony pro ověřování a kalibraci jiných průtokoměrů nebo pro měření, kde je vyžadována velká přesnost.

Objemové průtokoměry pracují s přerušovanou nebo nepřerušovanou činností. U průtokoměrů s přerušovanou činností měření probíhá dvoufázově – plnění a vyprazdňování. Měřidla s nepřerušovanou činností mají několik odměrných prostorů, které se postupně plní a vyprazdňují. [2]

Výhody:

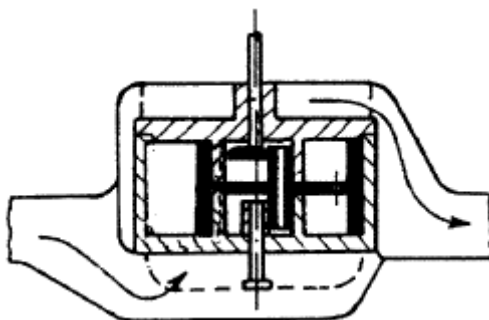
- velká přesnost
- malé nejistoty měření

Nevýhody:

- velké množství pohyblivých částí
- nevhodné pro znečištěné kapaliny
- způsobují tlakovou ztrátu [8]

3.4.1. Vodoměr s krouživým pístem

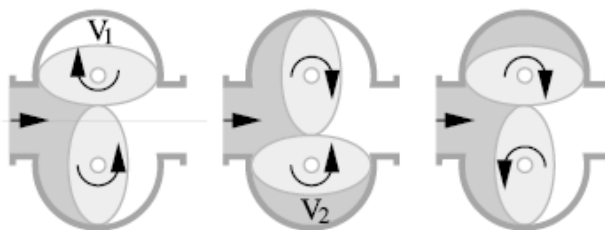
Kapalina u tohoto vodoměru protéká vstupními otvory v dolní části odměrné komory, kde tlak vyvolaný kapalinou uvádí do pohybu píst. Dojde k zaplnění odměrného prostoru a k změření objemu. Při dalším pohybu pístu se kapalina odtéká z měřidla výtlačnými otvory. [2]



Obr. 5 – Řez vodoměru s krouživým pístem [2]

3.4.2. Oválné měřidlo

Oválné měřidlo se nejčastěji používá v průmyslu k měření velmi viskózních kapalin. Komory určené k odměřování se střídavě naplňují a vyprazdňují a proteklé množství je přímo úměrné počtu otáček oválných těles. [4]



Obr. 6 – Princip činnosti oválného měřidla [6]

3.5 Deformační průtokoměry

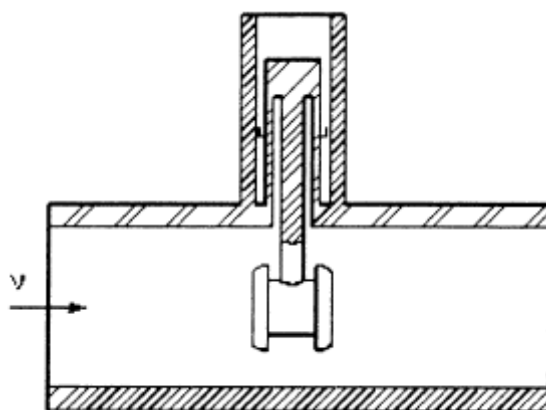
V cestě protékající kapaliny je umístěna reakční deska různého tvaru, na kterou působí síla, která se měří z deformace nosníku. Deformační průtokoměry se používají pro měření průtoku viskózních kapalin, které mohou být znečištěné nebo obsahovat pevné částice. [9]

Výhody:

- schopnost měřit viskózní a znečištěné kapaliny
- velký teplotní rozsah

Nevýhody:

- menší přesnost měření [1]



Obr. 7 – Deformační senzor průtoku [9]

3.6 Ultrazvukové průtokoměry

Ultrazvuková měřidla nemají pohyblivé části. Rychlost proudící kapaliny vyvolá nárůst nebo pokles rychlosti šíření ultrazvukových vln v daném prostředí. Toto ultrazvukové vlnění se šíří od vysílače k přijímači. Vysílače i přijímače ultrazvukových vln jsou umístěny na stěně potrubí, ve kterém proudí kapalina (Obr. 8).

Tyto průtokoměry se využívají k měření objemového průtoku silně znečištěných a agresivních kapalin.

Ultrazvukové průtokoměry se dělí podle uspořádání na přímé impulzní, zpětnovazební a Dopplerovy.

Přímé impulzní měří dobu, za kterou urazí ultrazvukový signál, od vysílače k přijímači.

Zpětnovazební zesílí a upraví fáze signálu z přijímače a poté přivede signál do měniče, který pracuje jako vysílač. Vzniklé zpětnovazební zapojení tvoří oscilátor.

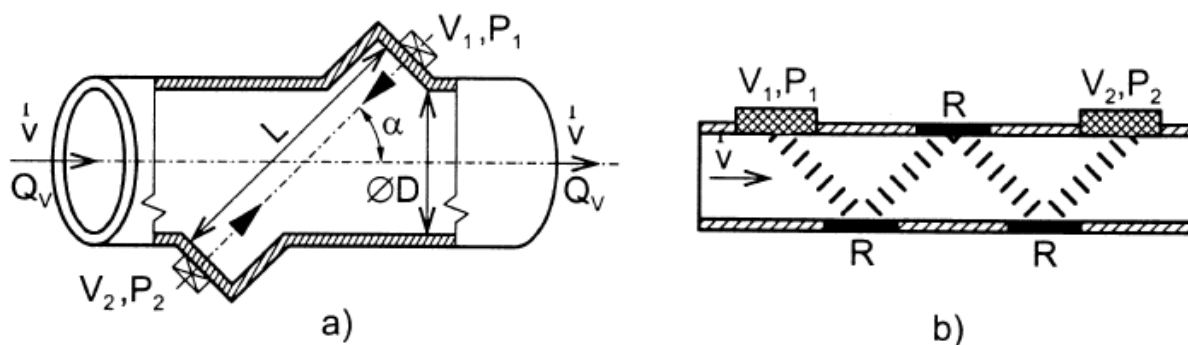
Dopplerovy měřiče vyhodnocují změnu frekvence vyslaného signálu po jeho odrazu od částic pohybujících se v proudící kapalině. [1][3]

Výhody:

- široký rozsah měřených průtoků
- vhodné i pro velké průměry potrubí
- žádné pohyblivé části
- nevykazuje tlakové ztráty
- rychlá odezva
- možnost měřit znečištěné kapaliny

Nevýhody:

- s Dopplerovým jevem jen pro zakalené a znečištěné kapaliny
- nejistoty měření závislé na profilu proudění
- potrubí musí být zcela zaplněné
- změny teploty a hustoty ovlivňují ultrazvukový signál
- vyšší cena [5]



Obr. 8 – Ultrazvukové senzory průtoku a) V_1, V_2 je označení pro vysílači a P_1, P_2 přijímači funkci měnič, b) prodloužení ultrazvukového signálu reflektory R [9]

3.7 Indukční průtokoměry

Indukční měřidla jsou určena pro vodivé kapaliny, tedy kapaliny obsahující ionty. Iont pohyblivý se v magnetickém poli B (Obr. 9) je vychýlen silou směrem k elektrodám, které jsou připevněny na stěny potrubí. Na těchto elektrodách se generuje napětí U (naprázdno). Používá se nejčastěji obdelníkové střídavé magnetické pole, které je vytvořeno sedlovými cívkami. [9]

Indukční průtokoměry lze rozdělit na průtokové, ponorné, zásuvné, bodové a plošné.

Výhody:

- nevykazují tlakové ztráty
- bez pohyblivých částí
- velmi dobrá odolnost proti erozi
- nezávislé na změně viskozity, hustoty, tlaku a turbulence
- vhodné i pro měření znečištěných kapalin a kalů
- možnost měření v obou směrech

Nevýhody:

- pouze pro elektricky vodivé kapaliny
- většinou vyžadují zcela zaplněné potrubí
- doporučuje se správné uzemnění snímače
- problémy s usazováním nečistot na elektrodách
- vyšší cena [5]

3.7.1. Průtokové indukční průtokoměry

Průtokové měřidla se dále dělí na průtokové s vodivou měřicí trubicí a s nevodivou měřicí trubicí, se zaplněným potrubím a s nezaplněným potrubím. [1]

3.7.2. Ponorné průtokoměry

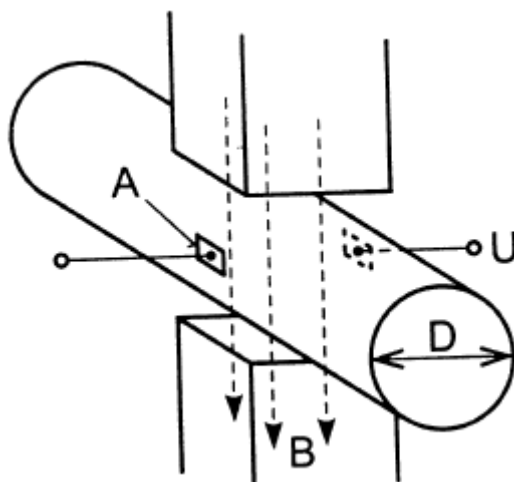
Ponorná měřidla jsou konstrukčně přizpůsobena pro ponoření do proudící kapaliny. Uvnitř pláště je umístěn magnetický obvod. [1]

3.7.3. Zásuvné průtokoměry

Zásuvné průtokoměry se používají pro měření osových složek vektoru rychlosti kapalin a jejich magnetický obvod je otevřen. [1]

3.7.4. Bodové a plošné průtokoměry

Bodový průtokoměr se používá pro měření rychlosti proudění kapalin v malém prostoru a plošné měřidla se užívají k měření vektoru plošného proudění kapaliny. [1]



Obr. 9 – Princip indukčního senzoru průtoku. A je plocha elektrody [9]

3.8 Coriolisovy hmotnostní průtokoměry

Hmotnostní průtokoměry využívají k měření průtoku kapalin Coriolisovy síly. Těleso o dané hmotnosti se pohybuje určitou rychlostí v soustavě. Tato soustava se točí úhlovou rychlostí a je tedy pod vlivem Coriolisova zrychlení. Tento jev je zobrazen na Obr. 10.

V praktickém měření průtoku za užití Coriolisovy síly se nahrazuje otáčivý pohyb soustavy harmonickým kmitáním.

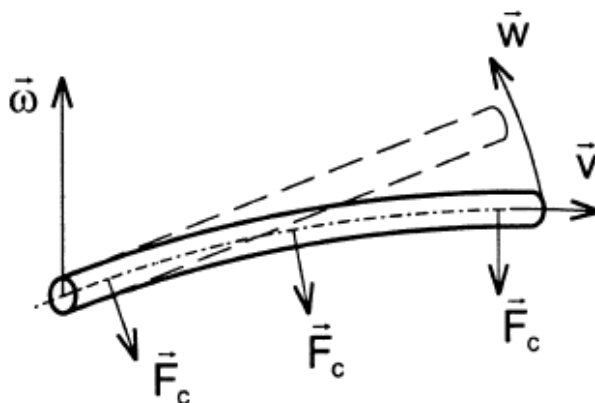
Snímač je podstatně redukováná trubice, do které je vpuštěna proudící kapalina. Kmitání soustavy se snímá indukčními snímači. [2]

Výhody:

- přímé měření hmotnostního průtoku
- velmi malá nejistota
- nezávislost na druhu média
- bez pohyblivých částí
- možnost kalibrace vodou
- nevyžaduje rovné úseky potrubí
- umožňuje měření hustoty kapaliny

Nevýhody:

- měřicí trubice by měla být zcela zaplněna kapalinou
- nutnost izolace od mechanických vibrací
- nevhodné pro velké průměry potrubí
- značné pořizovací náklady [5]



Obr. 10 – princip hmotnostního průtokoměru s Coriolisovou silou [9]

3.9 Vírové průtokoměry

Vírové průtokoměry měří kmitočet Karmánových vírů. Tyto víry vznikají za tělesem, které musí kapalina obtéct (Obr. 11). Frekvence vírů je přímo úměrná rychlosti proudění.

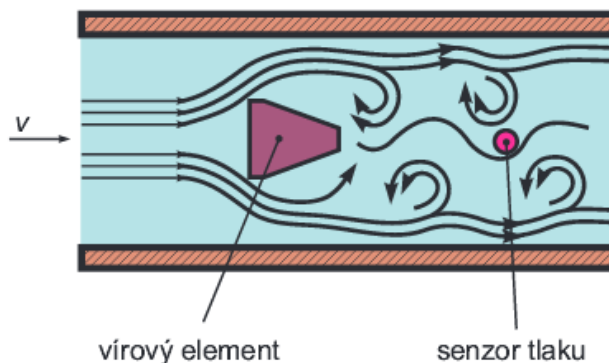
Typy vírových měřidel se od sebe odlišují rozměry a tvarem vloženého tělesa a místem a principem snímání kmitočtu. Pro měření kmitočtu vírů se užívá měření změny rychlosti nebo tlaku. [2][7]

Výhody:

- bez pohyblivých částí
- jednoduchá instalace
- malé požadavky na údržbu, dlouhá životnost
- příznivá cena

Nevýhody:

- nevhodné pro kapaliny s velkou viskozitou
- nevhodné pro měření malých průtoků
- nutné dlouhé přímé úseky před a za měřidlem
- vliv vibrací v potrubí



Obr. 11 – Uspořádání vírového průtokoměru [7]

4 REALIZACE MODELOVÉHO PRACOVÍŠTĚ

4.1 Návrh koncepce

Základním stavebním prvkem koncepce, i celé měřicí úlohy, je turbínový průtokoměr od firmy KOBOLD. Ostatní prvky měřicí úlohy jsou zvolené s ohledem na tento průtokoměr.

Modelové pracoviště se nachází ve školní laboratoři, proto je zvolen koncept uzavřeného vodního toku.

Kapalina je čerpána ze zásobní nádrže a po protečení měřicí drahou je odvedena zpět do zásobní nádrže.

Jako měřená kapalina je zvolena voda, jelikož je v požadovaném objemu nejvíce ekonomicky výhodná. Vodu ze zásobní nádrže čerpá do systému čerpadlo.

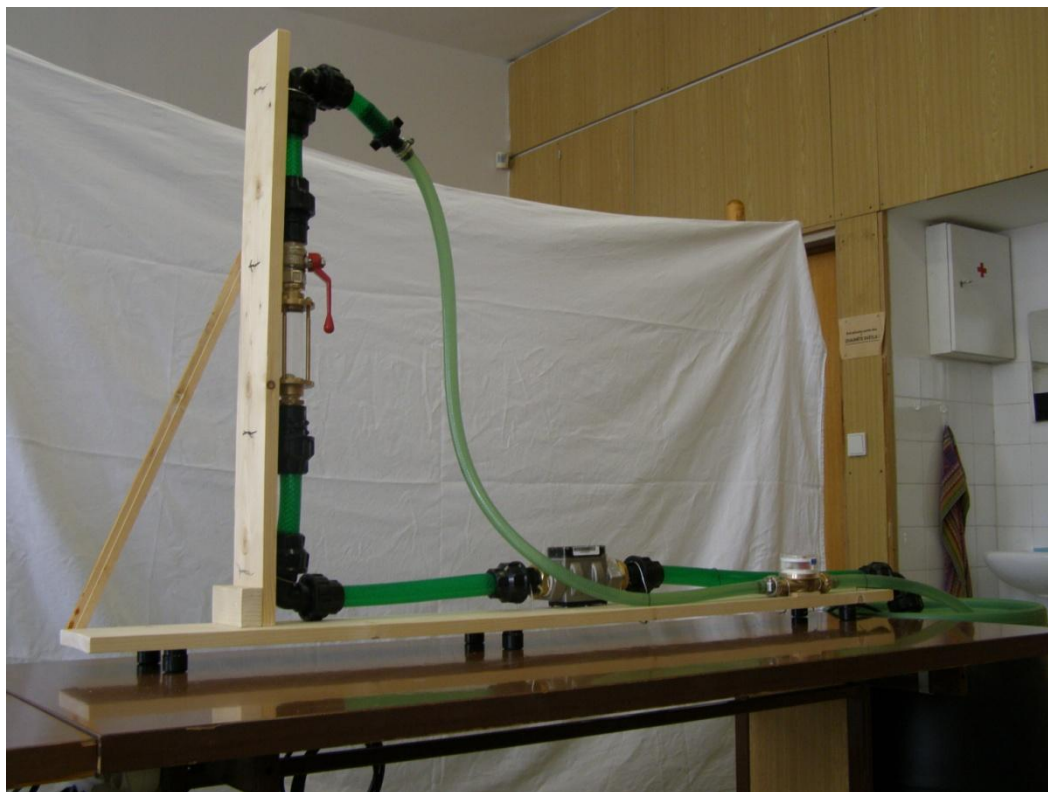
Do modelového pracoviště je zabudován druhý průtokoměr, díky kterému je možno naměřené hodnoty průtoku porovnat.

Všechny prvky pracoviště jsou propojeny hadicemi.

4.2 Nosná konstrukce

Nosná konstrukce je dřevěná, konkrétně z hoblovaných prken. Prkna zajišťují dostatečnou stabilitu a jsou k sobě přišroubována vruty.

Hlavní nosné prkno má rozměry 1400x140x19 milimetru a ze spodní strany jsou k tomuto prknu přišroubovány plastové nožky. Vertikální prkno má rozměry 800x100x19 milimetru.



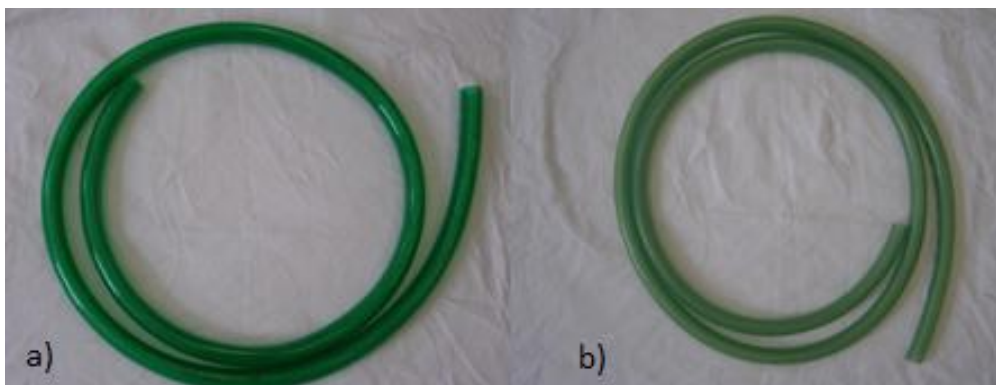
Obr. 12 – Nosná konstrukce

4.3 Spojovací prvky a hadice

K rozvodu vody jsou určeny hadice z PVC. Konkrétně hadice o průměru 1 palec (Obr. 13) a $\frac{3}{4}$ palce (Obr. 13). Průměry jsou zvolené s ohledem na požadavek čerpadla a měřicí techniky. V místě lomu dráhy jsou umístěna plastová kolena, do kterých jsou hadice zasunuty.

U kovových spojovacích prvků se pro dotěsnění používá těsnicí provázek s páskou a u plastových prvků kovová stahovací páska.

Přechod mezi 1 palcovou hadicí a hadicí $\frac{3}{4}$ palce je realizován pomocí plastové redukce průtoku (Obr. 14).



Obr. 13 – Hadice a) průměr 1", b) průměr $\frac{3}{4}$ "



Obr. 14 – Redukce průtoku

4.4 Nádrž

Nádrž na vodu je plastový sud s víkem o objemu 120 litrů (Obr. 15). Tato kapacita je zvolena s ohledem na požadavky průtoku průtokoměru od firmy KOBOLD.

Do víka jsou vyřezány dva otvory. Prvním otvorem je protažen kabel napájení čerpadla a rovněž je tímto místem vedena hadice, která je spojena s čerpadlem. Touto hadicí proudí voda ze sudu do systému. Druhým otvorem je protažena hadice, kterou se voda vrací zpět z měřeného systému do nádrže.

Pro měřicí potřeby doporučuji naplnit sud z 80 %, tedy zhruba 100 litry vody.



Obr. 15 – Nádrž na vodu

4.5 Čerpadlo PUMPA PSDR250P

Oběh vody je zajištěný ponorným kalovým čerpadlem PUMPA řady BLUE LINE PSDR205P (Obr. 16). Výrobce udává, že čerpadlo při svém výkonu 250 W, dosahuje maximálního průtoku 75 litrů za minutu a maximálního výtlačku 6 metrů. Průtok je tedy dostatečný pro průtokoměr KOBOLD a dovoluje montáž bytového průtokoměru. Výtlačk je rovněž vyhovující.

K elektrické síti je čerpadlo připojeno přes 10 metrů dlouhý napájecí kabel, který je zapojen do prodlužovacího kabelu s vypínačem.

Pumpa je vybavena plovákovým spínačem, který automaticky zapíná čerpadlo při výšce hladiny 53 cm a automaticky vypíná při výšce hladiny 10 cm. Měřicí úloha je koncipována jako uzavřený vodní tok. Takže je výška hladiny konstantní a plovákový spínač je v mém řešení redundantní. [10]

Čerpadlo je umístěno na dně nádrže na vodu a je připojeno na 1" hadici.



Obr. 16 – Čerpadlo PSDR250P [10]

4.6 Turbínový průtokoměr KOBOLD EDM-4S16

KOBOLD Messring GmbH je mezinárodní společnost zabývající se vývojem, výrobou a prodejem přístrojů pro sledování, měření a regulaci fyzikálních veličin jako je teplota, tlak, průtok a výška hladiny. [11]

Turbínový průtokoměr KOBOLD EDM je velmi univerzální měřicí přístroj průtoku a lze jej použít v mnoha aplikacích. Je nezávislý na externích zdrojích napájení. Zdrojem energie jsou lithiové baterie s životností 5 let udávanou výrobcem. Průtokoměr může být použit i pro jiné kapaliny než je voda a je ho poté nutné kalibrovat na danou kapalinu.

Princip činnosti má EDM podobný jako obdobné turbínové průtokoměry. Do listů rotoru jsou vloženy feritové vložky, které generují impulsy. Elektronika převede impulsy na průtok a ten je zobrazen na displeji.

Průtokoměr má měřicí rozsah 40-400 litrů/min. Tento parametr je stěžejní pro výběr čerpadla. Teplotní rozsah měřidla je od -10 °C do +60 °C. Teplota měřené vody je v mé úloze do 30 °C. Přesnost přístroje je výrobcem udaná $\pm 1\%$.

Průtokoměr KOBOLD EDM je určen pro jeden směr proudění, tento směr je vyznačen šipkou na měřidle a může být nainstalován v jakékoliv poloze. Průtokoměr má předepsané klidové zóny před a za měřidlem. Před měřidlem 15D a za měřidlem 5D pro průměr potrubí 1,5", kde D označuje průměr potrubí. V mém provedení je 1,5" potrubí nahrazeno 1" při zachování minimálních velikostí klidových zón pro 1,5" hadice.

Tlačítko CALIBRATE slouží pro kalibraci na jiné kapaliny než je voda. V mé úloze se toto tlačítko neuplatní, protože měřená kapalina je právě voda.

Tlačítko DISPLAY slouží k přepínání funkcí měřidla. Funkce FLOWRATE zobrazuje na displeji aktuální průtok v litrech za minutu. Funkce Total 1 zobrazuje celkový průtok a nemůže být resetována. Funkce Total 2 opět zobrazuje celkový průtok s tím rozdílem, že může být resetována. Pro resetování Total 2 se zmáčkne a podrží tlačítko DISPLAY po minimální dobu 3 vteřin. [12]

Na obrázku Obr. 17 je vyfocen popsáný průtokoměr.



Obr. 17 – Turbínový průtokoměr KOBOLD EDM-4S16

4.7 Lopatkový průtokoměr ENBRA ETK

ENBRA, a.s. je česká společnost zabývající se širokou škálou měřicí a jiné techniky.

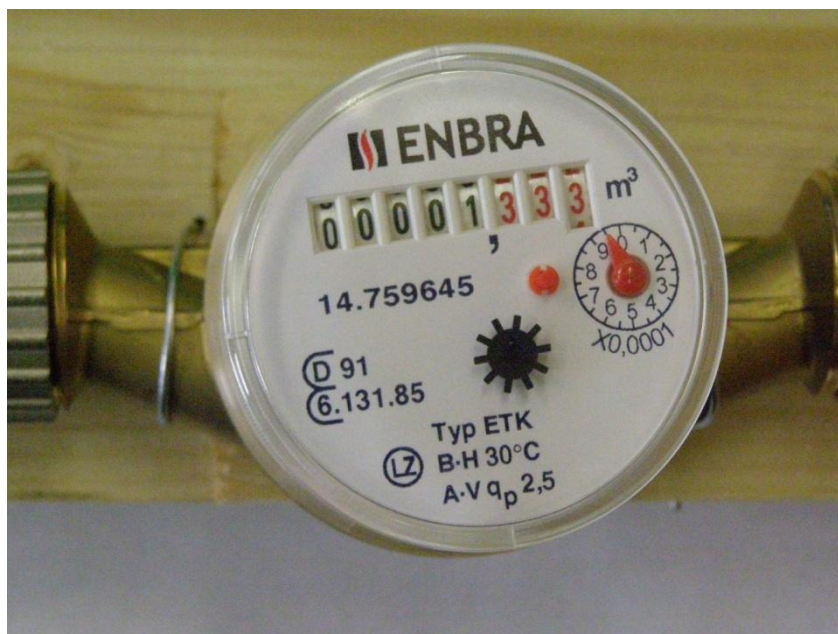
Lopatkový průtokoměr ENBRA ETK je jednovtokový suchoběžný mechanický vodoměr. Je zejména určen pro domácnost a pouze pro měření vody.

Tlaková deska vodoměru odděluje hydraulické části od prostoru počítadla. Přenos otáček lopatek je řešen magnetickou spojkou.

Průtokoměr je vybrán na základně svého měřicího rozsahu průtoku. Vodoměr je dimenzován na stálý průtok 41,64 litrů/min. Měřicí rozsah je od 1,67 litrů/min do maximálního krátkodobého průtoku 83,34 litrů/min. Rozsah lopatkového průtokoměru je v možnostech čerpadla. Vodoměr je na studenou vodu do teploty 30 °C.

Vodoměr ENBRA ETK je určen pro jeden směr proudění, tento směr je vyznačen šipkou na měřidle. Instalace je dovolená ve svislé a vodorovné poloze. Průtokoměr má předepsané klidové zóny před a za měřidlem. Před měřidlem 3D a za měřidlem 2D. D označuje průměr potrubí a to je 3/4". Klidové zóny jsou dodrženy s velkou rezervou. [13]

Popsaný vodoměr je vidět na obrázku Obr. 18.



Obr. 18 – Lopatkový průtokoměr ENBRA ETK

4.8 Indikátor průtoku

Indikaci průtoku zajišťuje vertikální indikátor průtoku od firmy KOBOLD. Vlastní indikace je řešena kuličkou o průměru 20 mm. Zařízení je konstruované do teploty 100 °C. [14]

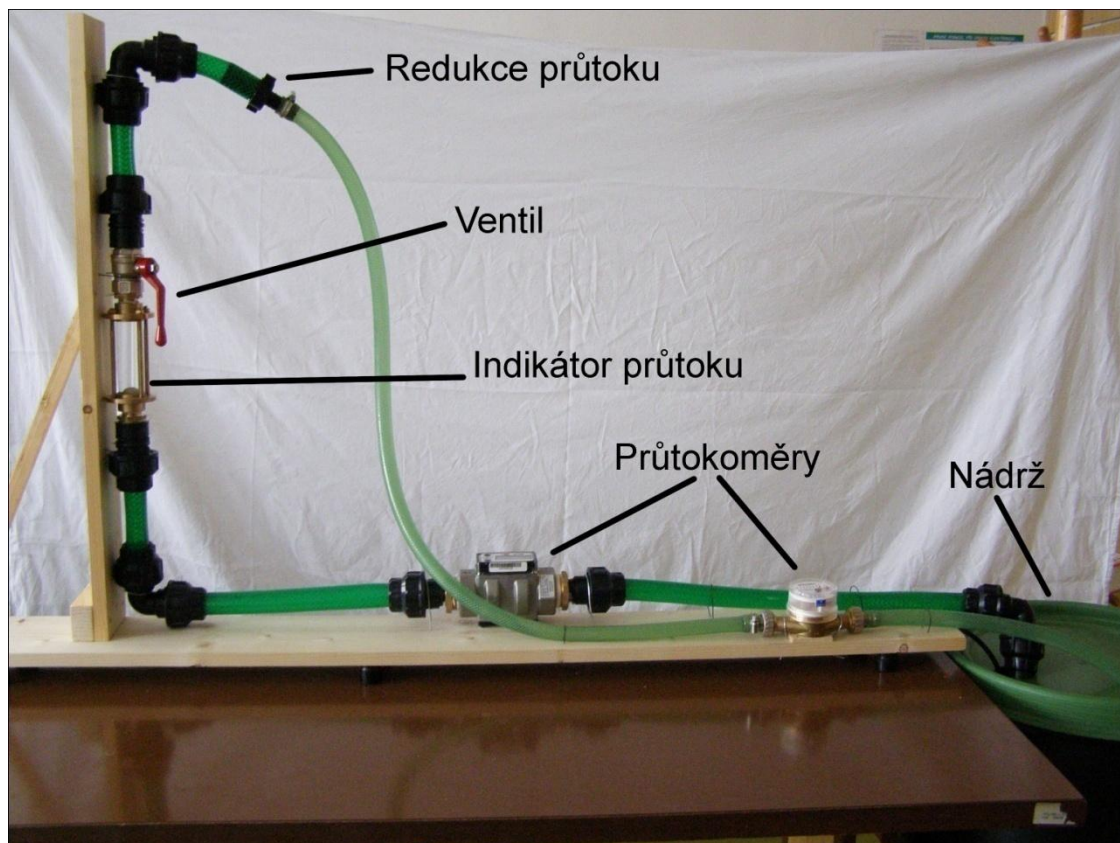
Na obrázku Obr. 19 je vyfocen indikátor průtoku.



Obr. 19 – Indikátor průtoku

4.9 Sestavené pracoviště

Kompletní sestavené pracoviště se skládá ze spojovacích prvků, hadic, zásobní nádrže, dvou průtokoměrů, indikátoru průtoku, redukce průtoku a ventilu. Tyto prvky jsou propojeny systémem hadic, spojek a kolen. Sestavené pracoviště je zobrazeno na obrázku Obr. 20.



Obr. 20 – Sestavené modelové pracoviště

Po zapnutí napájení čerpadla začne pumpa čerpat vodu z nádrže do 1" 68 cm dlouhé hadice. Tato hadice je vyvedena ze sudu, přes vyřezaný otvor ve víku, do prvního plastového kolena. První plastové koleno je propojeno s turbínovým průtokoměrem KOBOLD 1" 60 cm dlouhou hadicí. Stejný průměr hadice je i na výstupu měřidla KOBOLD a vede do druhého kolena. Tato hadice je dlouhá 38 cm. Z druhého kolena vede úloha do své vertikální části, kde je přes 1" hadice spojen indikátor průtoku, ventil pro regulaci průtoku a třetí koleno. Z posledního kolena vede krátký úsek 1" hadice do vstupu redukce průtoku. Na výstup redukce je připevněna hadice o průměru $\frac{3}{4}$ " a délky 115 cm. Tato hadice je připojena na vstup lopatkového průtokoměru ENBRA. Z výstupu toho vodoměru vede $\frac{3}{4}$ " hadice zpět do sudu na vodu. Tímto je měřící okruh uzavřen.

Části měřící úlohy jsou k nosné konstrukci upevněny pomocí drátu. Protože není vhodné provádět jakékoli zásahy přímo do přívodního kabelu a elektrické instalace ponorného čerpadla, byl pro zapínání a vypínání jeho chodu zvolen vypínač integrovaný do přívodní prodlužovací šňůry (Obr. 21), což se jevilo jako nejsnazší řešení.



Obr. 21 – Zapínání čerpadla

5 VLASTNÍ MĚŘENÍ

5.1 Návod k měření

1. Naplnit nádrž alespoň na 75 %.
2. Zkontrolovat dotažení všech kolen (hlavně kolena u nádrže).
3. Škrtkící ventil dát do polohy otevřeno (dolů).
4. Napájecí kabel zasunout do prodlužovacího kabelu.
5. Zapnout napájení prodlužovacího kabelu (čerpadlo) a nechat zapnuto po dobu 30 sec, poté vypnout.
6. Pomocí tlačítka DISPLAY na průtokoměru KOBOLD resetovat funkci Total 2 (Resetování se provede po stažení tlačítka DISPLAY na dobu 3 sec).
7. Zapsat z vodoměru ENBRA stávající stav průtokoměru.
8. Zapnout čerpadlo na požadovanou dobu měření, poté vypnout.
9. Poznamenat naměřené hodnoty z průtokoměru KOBOLD.
10. Podle počtu měření opakovat body 6, 7, 8 a 9.

5.2 Měření 1 minuta

Měření proběhlo podle postupu uvedeného v kapitole 5.1 Návod k měření při požadované době měření 1 minuta.

Pro stanovenou dobu bylo provedeno 20 měření. Hodnoty proteklého množství V jsou zaznamenané v tabulkách Tabulka 2, Tabulka 3, Tabulka 4 a Tabulka 5. Naměřené hodnoty jsou pro srovnání vyneseny do grafu Graf 1.

Průměrný rozdíl proteklého množství vody mezi průtokoměry KOBOLD EDM-4S16 a ENBRA ETK vyšel 0,83 litrů.

Tabulka 2 – Hodnoty proteklého množství za 1 minutu pro průtokoměr EDM-4S16

KOBOLD	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V [l]	25,70	25,70	25,70	25,70	25,70	25,70	25,70	25,70	25,80	25,80

Tabulka 3 – Hodnoty proteklého množství za 1 minutu pro průtokoměr EDM-4S16

KOBOLD	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
V [l]	25,80	25,70	25,70	25,60	25,70	25,70	25,70	25,70	25,70	25,70

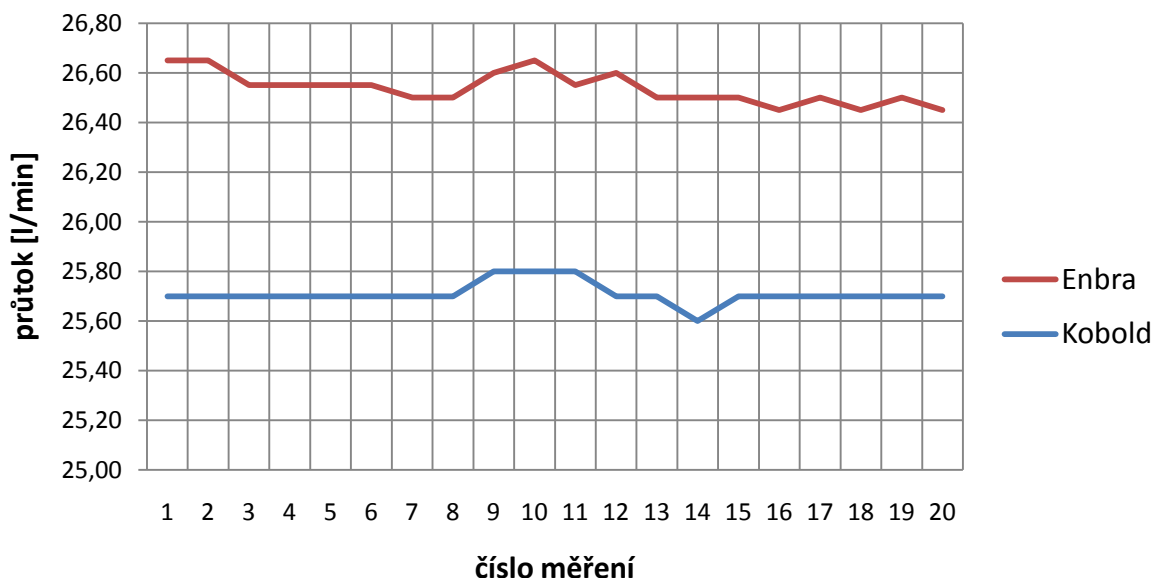
Tabulka 4 – Hodnoty proteklého množství za 1 minutu pro průtokoměr ETK

ENBRA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V [l]	26,65	26,65	26,55	26,55	26,55	26,55	26,50	26,50	26,60	26,65

Tabulka 5 – Hodnoty proteklého množství za 1 minutu pro průtokoměr ETK

ENBRA	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
V [l]	26,55	26,60	26,50	26,50	26,50	26,45	26,50	26,45	26,50	26,45

Měření průtoku po dobu jedné minuty



Graf 1 – průběh proteklého množství naměřené průtokoměry po dobu měření 1 minuta

5.3 Měření 2 minuty

Pro lepší porovnání naměřených hodnot se doba měření navýšila o 1 minutu.

Hodnoty proteklého množství V jsou zaznamenány v tabulkách Tabulka 6, Tabulka 7, Tabulka 8 a Tabulka 9 a naměřené hodnoty jsou vyneseny do grafu Graf 2.

V tomto měření je průměrný rozdíl proteklého množství vody mezi průtokoměry KOBOLD EDM-4S16 a ENBRA ETK 0,91 litrů. Po přepočtu na množství proteklé za jednu minutu vyjde hodnota 0,454 litrů.

Tabulka 6 – Hodnoty proteklého množství za 2 minuty pro průtokoměr EDM-4S16

KOBOLD	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V [l]	51,90	51,90	51,90	51,70	51,60	51,60	51,60	51,50	51,50	51,70

Tabulka 7 – Hodnoty proteklého množství za 2 minuty pro průtokoměr EDM-4S16

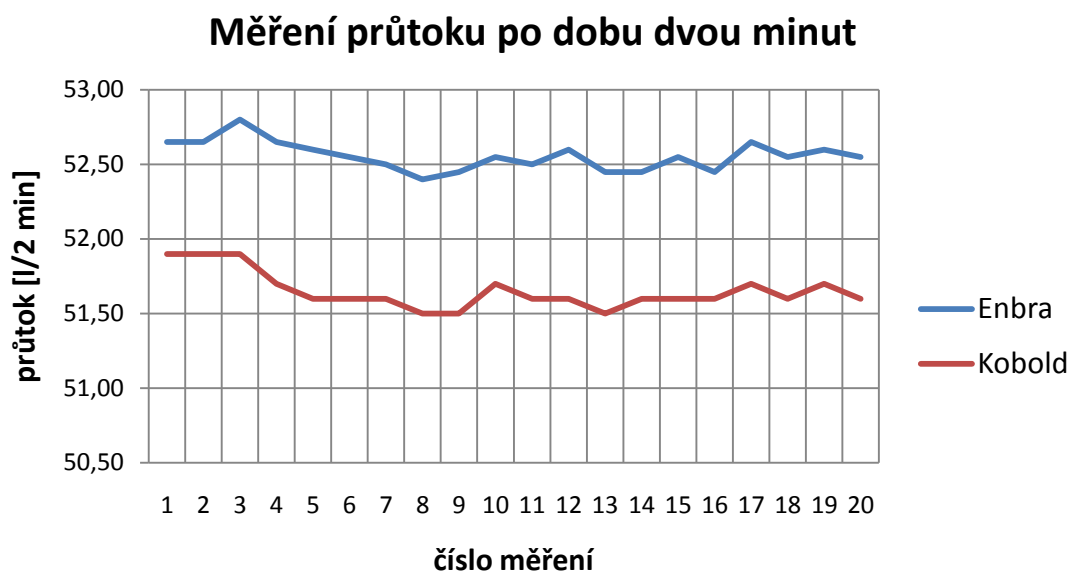
KOBOLD	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
V [l]	51,60	51,60	51,50	51,60	51,60	51,60	51,70	51,60	51,70	51,60

Tabulka 8 – Hodnoty proteklého množství za 2 minuty pro průtokoměr ETK

ENBRA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V [l]	52,65	52,65	52,80	52,65	52,60	52,55	52,50	52,40	52,45	52,55

Tabulka 9 – Hodnoty proteklého množství za 2 minuty pro průtokoměr ETK

ENBRA	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
V [l]	52,50	52,60	52,45	52,45	52,55	52,45	52,65	52,55	52,60	52,55



Graf 2 – průběh proteklého množství naměřené průtokoměry po dobu měření 2 minuty

5.4 Měření s přiškrceným ventilem

Zátěžové měření s ventilem přiškrceným na 45° má za cíl zjistit chování soustavy při vyšším tlaku.

Bylo provedeno 10 měření po dobu jedné minuty. Hodnoty z měření jsou uvedeny v tabulkách Tabulka 10, Tabulka 11 a vyneseny do grafu Graf 3. Průměrný rozdíl proteklého množství na průtokoměrech je 0,76 litrů.

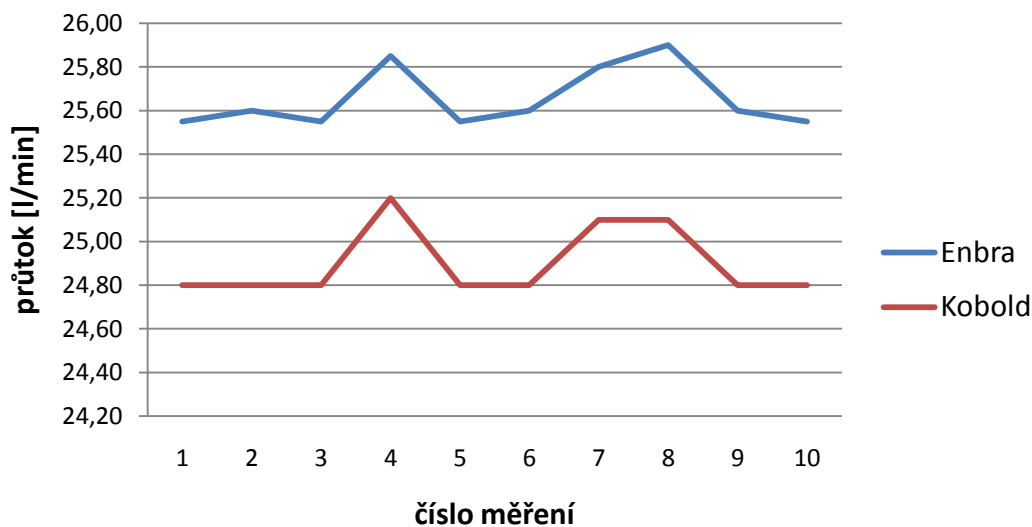
Tabulka 7 – Hodnoty proteklého množství s přiškrcením pro průtokoměr EDM-4S16

KOBOLD	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V [l]	24,80	24,80	24,80	25,20	24,80	24,80	25,10	25,10	24,80	24,80

Tabulka 8 – Hodnoty proteklého množství s přiškrcením pro průtokoměr ETK

ENBRA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V [l]	25,55	25,60	25,55	25,85	25,55	25,60	25,80	25,90	25,60	25,55

Měření průtoku s přiškrcením



Graf 3 – průběh protékého množství s přiškrceným ventilem naměřené průtokoměry

5.5 Hodnocení výsledků měření

V žádném z provedených měření jsem se nedostal ani nepřekonal spodní hranici měřicího rozsahu průtokoměru KOBOLD EDM-4S16. Hodnota spodní hranice rozsahu průtokoměru je 40 litrů/min. Z tohoto důvodu operoval průtokoměr EDM s větší chybou měření.

Z první sady 1 minutového měření mají průměrné protéké množství vody turbínový průtokoměr KOBOLD 25,71 litrů a lopatkový průtokoměr ENBRA 26,54 litrů. Průměrný rozdíl mezi těmito měřidly je 0,83 litrů.

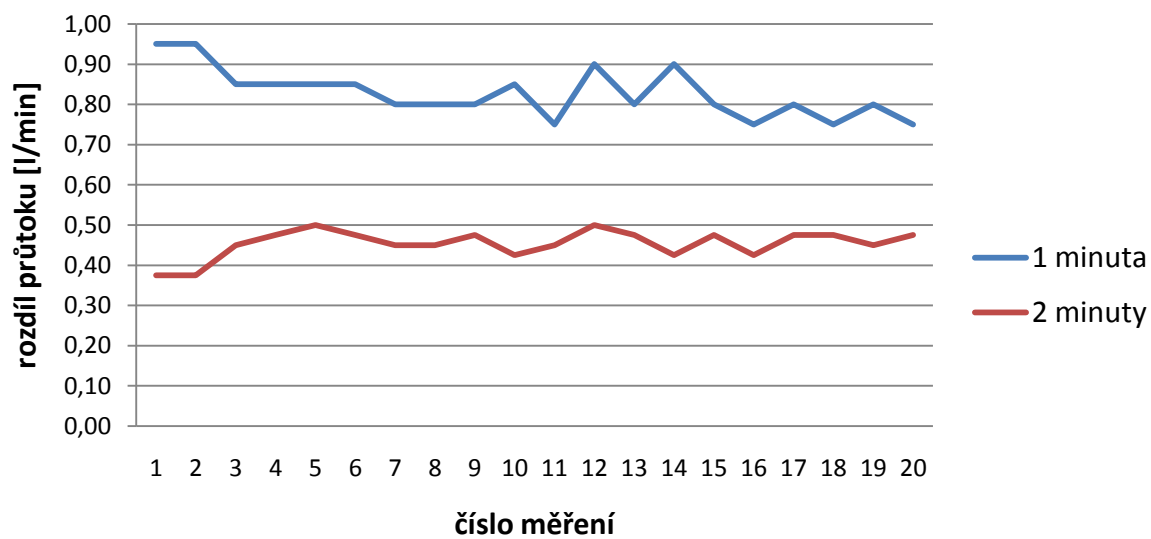
V druhé sadě měření trvajících 2 minuty jsou hodnoty průměrného protékého množství 51,65 litrů pro měřidlo KOBOLD a 52,56 litrů pro měřidlo ENBRA. Po přepočtu protékého množství na 1 minutu jsou hodnoty pro průtokoměr KOBOLD 25,83 litrů a pro vodoměr ENBRA 26,28 litrů. Průměrný rozdíl je mezi měřidly při tomto měření 0,454 litrů.

Největší chyba měření vzniká na začátku měření při spuštění čerpadla, kdy vodě trvá několik vteřin, než zaplní beze zbytku celou měřicí soustavu. Tato chyba se dá redukovat zvolením delší doby měření. To lze pozorovat na průměrném rozdílu protékého množství, kdy zvýšením doby z 1 minuty na 2 minuty přinese 45 % zlepšení. Graf 4 zobrazuje toto zlepšení.

Pro porovnání je pracovně brán jako přesnější údaj vodoměru ENBRA, protože je již při zmíněných průtocích v intervalech garantovaných měření. Průtokoměr EDM KOBOLD se pracovně nachází pod spodní hranicí garantovaného průtoku, čímž lze i vyhodnocené chyby měření zdůvodnit.

Hlavní účel měření s přiškrceným ventilem je ověření utěsnění všech součástí úlohy. Při měření nedošlo k žádnému úniku vody, vyjma několika kapek u šroubení průtokoměru KOBOLD. Tento únik vody je pro měření marginální.

Rozdíl průtoků při měření



Graf 4 – průběh rozdílu proteklého množství při měření po dobu 1 a 2 minuty

6 ZÁVĚR

K dosažení cílů práce bylo zapotřebí nastudovat odborné publikace zabývající se měřením průtoku a to zejména měření průtoku kapalin. Poznatky z publikací jsou sepsány v teoretické části práce, konkrétně v kapitole 2 a 3. V těchto kapitolách jsou uvedeny základní pojmy týkající se průtoku kapalin a dále jsou popsány principy vybraných průtokoměrů.

V praktické části práce bylo úkolem navrhnout, zprovoznit a odzkoušet model, na kterém bude možno demonstrování měření průtoku kapalin studentům.

Návrh modelového pracoviště se odvíjel od zařízení, které věnovala společnost KOBOLD. Ne všechna zařízení však byla uplatněna, neboť se nehodila do koncepce pracoviště nebo se týkala měření jiných veličin. Stěžejním prvkem pracoviště se stal průtokoměr KOBOLD EDM-4S16, kterému byla podřízena volba všech ostatních součástí a přístrojů pracoviště. Kolem zmíněného průtokoměru se sestavila měřicí aparatura skládající se z nádrže, čerpadla, indikátoru průtoku, ventilu, hadic a propojovacích prvků. Pro možnost porovnání byl do soustavy zakoupen druhý průtokoměr ENBRA ETK.

Celá měřicí soustava byla smontovaná a připevněná k nosné konstrukci z hoblovaných prken.

Vlastní měření ukázala, že maximální průtok v soustavě zajišťovaný čerpadlem s maximem 75 litrů/min, nepřekročí hranici 27 litrů/min. Je tedy nutné počítat s větší nepřesností průtokoměru KOBOLD EDM-4S16, který má měřicí rozsah od 40 litrů/min, než udává výrobce. Očekávalo se, že se plný výkon čerpadla neuplatní, protože průtokoměr EDM by pro zcela korektní funkce měl být instalován do potrubí o průměru 1,5", nikoliv 1" jak je realizováno v mém případě. Takováto potrubí a čerpadla však již svým charakterem neodpovídají provozu laboratoří našeho ústavu. Nepředpokládalo se, že budou ztráty v navrženém okruhu více jak 60 %. Po absolvování předmětu hydromechanika, který je v následujícím ročníku magisterského navazujícího studia, bych byl schopen tomuto problému předejít.

Zkonstruovaný model dovoluje demonstraci měření průtoku pro studijní účely, což byl jeden z bodů zadání.

Jako možné změny a vylepšení bych navrhoval pořídit výkonnější čerpadlo, se kterým se měření průtoku dostane přes hranici 40 litrů/min. Dále bych se zaměřil na zapínání a vypínání čerpadla, které je ve stávající úloze řešeno vypínačem na prodlužovacím kabelu a nahradil tento systém např. vodotěsným vypínačem přidělaným k nosné konstrukci.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ĎAĎO, S.; Bejček, L.; Platil, A.; *Měření průtoku a výšky hladin*. 1. vydání : Praha : BEN – technická literatura, 2005. 448 s. ISBN 80-7300-156-X.
- [2] JENČÍK, J.; Volf, J.; *Technická měření* : 1.vydání Praha : Vydavatelství ČVUT, 2000. 212 s. ISBN 80-01-02138-6.
- [3] Časopis Automa 10/2006, str. 5-9 [cit.2015-05-12]. Dostupné z: http://automa.cz/index.php?id_document=31399
- [4] SOUKUP, Josef a Jan SKOČILAS. *Technická měření*. 1. vyd. Ústí nad Labem: Univerzita J.E. Purkyně, 2008, 185 s. ISBN 978-80-7414-002-0.
- [5] Časopis Automa 12/2006, str. 30-34 [cit.2015-05-12]. Dostupné z: http://automa.cz/index.php?id_document=31534
- [6] CHUDÝ, V.; Palenčár, R.; Kureková, E.; Halaj, M.; *Meranie technických veličín* : 1.vydání Bratislava : Vydavateľstvo STU, 1999. 688s. ISBN 80-227-1275-2.
- [7] Časopis Automa 11/2006, str.24-29 [cit.2015-05-15]. Dostupné z: http://automa.cz/index.php?id_document=31478
- [8] Měření průtoku tekutin - principy průtokoměrů. *Elektrorevue* [online]. [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: http://www.elektrorevue.cz/clanky/01049/index.html#_M%C4%9B%C5%99en%C3%AD_objemov%C3%A9ho_pr%C5%AFtoku
- [9] Ripka P., Ďaďo S., Kreidl M., Novák J.; *Senzory a převodníky*. Vydavatelství CVUT, Praha. 2005 ISBN 80-01-03 123-3.
- [10] PONORNÉ KALOVÉ ČERPADLO. *Pumpa a.s.* [online]. [cit. 2015-05-23]. Dostupné z: <http://obchod.pumpa.cz/blue-line-psdr250p-ponorne-cerp-230v-plast-10m-kabel-s-plov>
- [11] KOBOLD. *KOBOLD Messring GmbH* [online]. © 2008- [cit. 2015-05-23]. Dostupné z: <http://www.kobold.com/>
- [12] KOBOLD, *Electronic Turbine Wheel Flow Meter and Counter*, datasheet [online] [cit. 2015-05-23] Dostupné z: http://www.koboldmessring.com/fileadmin/koboldfiles/pdf/gb/s4gb_edm.pdf
- [13] ENBRA, *Bytové vodoměry*, datasheet [online] [cit. 2015-05-23] Dostupné z: <http://www.enbra.cz/cs/produkty/vodomery/bytove-vodomery>
- [14] KOBOLD, *Electronic Indicator for Vertical Instalation*, datasheet [online] [cit. 2015-05-24] Dostupné z: http://www.koboldmessring.com/fileadmin/koboldfiles/pdf/gb/s6gb_dab.pdf

SEZNAM PŘÍLOH

CD:

- elektronická verze bakalářské práce