

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

MODEL MĚŘENÍ VÝŠKY HLADINY

MODEL OF LEVEL MEASUREMENT

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. MICHAL PAVLIŠ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. FRANTIŠEK VDOLEČEK, CSc.

BRNO 2009

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automatizace a informatiky

Akademický rok: 2008/2009

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Michal Pavliš

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Aplikovaná informatika a řízení (3902T001)**

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 diplomové práce:

Model měření výšky hladiny

v anglickém jazyce:

Model of Level Measurement

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

V mnoha technologiích je třeba sledovat výšku hladiny. Práce se zaměřuje na modelové přiblížení této problematiky potřebám výuky.

Cíle diplomové práce:

Navrhnete a realizujete uspořádání pracoviště, které by umožnilo prakticky přiblížit a porovnat vybrané základní principy měření výšky hladiny potřebám laboratorní výuky.

Doporučená osnova práce:

1. Měření výšky hladiny
2. Návrh modelu laboratorního pracoviště
3. Realizace modelu včetně jeho řízení
4. Návod na obsluhu pracoviště

Seznam odborné literatury:

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.

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

Časopisy AUTOMA a AUTOMATIZACE

Firemní literatura

Vedoucí diplomové práce: Ing. František Vdoleček, CSc.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2008/2009.

V Brně, dne 20.11.2008

L.S.

doc. RNDr. Ing. Miloš Šeda, Ph.D.
Ředitel ústavu

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá v teoretické části popsáním a vysvětlením principů a možností, jak měřit výšku hladiny. Jsou zde objasněny jednotlivé druhy a typy snímačů k měření výšky hladiny. Dále je popsán software a hardware, který se používá k měření, či ovládání mnohých systémů a soustav.

Praktická část práce spočívá v návrhu a vlastní realizaci modelu měření výšky hladiny včetně jeho řízení. V neposlední řadě také vytvoření jednak návodu na obsluhu laboratorního pracoviště, a dále vytvoření příslušného měřicího a ovládacího software v systému Control Web 6.

Práce se především zaměřuje na modelové přiblížení této problematiky potřebám pro účely laboratorní výuky.

ABSTRACT

This master's thesis is engaged in its theoretical part of the description and explanation principles and possibility how to the level measurement. There are clear up individual kinds and types of sensors to the level measurement. Further is described software and hardware which is employing to the measurement or control many systems and circuitry.

A practical part consists in suggestion and self realization a model of level measurement including his controlling. Last but not least too creation partly instruction to attendance laboratory workspace and further creation several measuring and control software in the system named Control Web 6.

Work is above all focusing on model approach of this problems needs for purposes laboratory teaching.

KLÍČOVÁ SLOVA

Výška hladiny, senzory na měření výšky hladiny, snímače výšky hladiny, hladinoměry, model měření výšky hladiny, Control Web.

KEYWORDS

Level measurement, sensors of level measurement, model of level measurement, Control Web.

PODĚKOVÁNÍ

Nemalé poděkování za pomoc a podmětné připomínky patří vedoucímu práce panu Ing. Františku Vdolečkovi, CSc., dále také za ochotu všem pracovníkům vyučujících v laboratoři diagnostiky a měření. Všem blízkým a přátelům, kteří mi svou trpělivostí a tolerancí vytvořili podmínky pro vytvoření této závěrečné práce.

Bc. Michal Pavliš

Obsah:

Zadání diplomové práce	3
Abstrakt	5
Poděkování	7
1 Úvod o měření	11
1.1 Měření obecně.....	11
1.2 Terminologie měření.....	11
1.3 Kvalita a chyby měření	12
1.4 Uplatnění a účel měření výšky hladiny.....	13
1.5 Výběr vhodného typu snímače hladiny	13
2 Základní rozdělení snímačů na měření výšky hladiny	15
3 Typy základních snímačů na měření výšky hladiny.....	17
3.1 Mechanické	17
3.1.1 Ponorné tyče	17
3.1.2 Průhledítka a stavoznaky	18
3.1.3 Plovákové hladinoměry	19
3.1.4 Vibrační hladinoměry	20
3.2 Hydrostatické	21
3.2.1 Tlakové hladinoměry	21
3.2.1.1 Snímače hydrostatického tlaku v tlakových nádobách	22
3.2.1.2 Snímače hydrostatického tlaku v atmosférických nádobách	22
3.2.2 Měření s probubláváním	24
3.3 Elektrické	25
3.3.1 Kapacitní hladinoměry.....	25
3.3.2 Odporové hladinoměry	27
3.3.3 Vodivostní hladinoměry	27
3.4 Fyzikální	28
3.4.1 Ultrazvukové hladinoměry	29
3.4.2 Radarové hladinoměry	30
3.4.3 Radiační hladinoměry – s radioaktivním zářičem	31
4 Typy měřících software a jejich hardware.....	35
4.1 National Instruments Corporation	35
4.1.1 Software LabView 8.6	35
4.1.2 Hardware multifunkční měřící karty pro sběr dat do PCI/USB sběrnice ...	37
4.2 Moravské přístroje a.s. Zlín	38
4.2.1 Software Control Web 6	38
4.2.2 Hardware DataLab IO a DataLab PC	40
4.3 Další měřící a vývojový grafický software	42
5 Návrh a realizace modelu laboratorního pracoviště	43
5.1 Obecný popis funkce modelu měření výšky hladiny.....	43
5.2 Blokové schéma laboratorního pracoviště	44
5.3 Jednotlivé části modelu měření výšky hladiny	44
5.3.1 Válec z plexiskla.....	45
5.3.2 Spínací přípravek	45
5.3.3 Čerpadlo.....	47
5.3.4 Solenoidový ventil	47
5.3.5 Snímač tlakové difference	48

5.3.6	Potenciometrický snímač	50
5.3.7	Zdroje napětí a propojovací vodiče	51
5.4	Laboratorní pracoviště.....	52
5.5	Hardwarové a softwarové vybavení laboratorního pracoviště	52
5.6	Uživatelské rozhraní řídicího software	54
5.7	Seřízení modelu.....	56
6	Návod na obsluhu pracoviště a vypracování měřicí úlohy	57
6.1	Návod na obsluhu pracoviště	57
6.2	Naměřené hodnoty	58
6.3	Vypracování měřicí úlohy – vzorový protokol	60
7	Závěr.....	65
	Seznam použitých obrázků.....	67
	Seznam použité literatury.....	69
	Seznam příloh	71

1 ÚVOD O MĚŘENÍ

V dnešní době se měří téměř vše, a tak sledování výšky hladiny v mnoha průmyslových odvětvích není výjimkou. Existuje celá řada vhodných prostředků, které lze využít k získání této měřené veličiny.

Měření výšky hladiny je velmi častým úkolem v technické praxi i každodenním životě. Cílem této práce je vysvětlení metod měření zmiňované problematiky a návrh a realizace laboratorního pracoviště, které tuto veličinu přiblíží studentům včetně současných možností měření.

1.1 Měření obecně

Historie měření sahá daleko do minulosti lidstva. Již tisíce let před naším letopočtem měli naši předkové velmi propracované systémy měření. S vývojem lidstva dochází k rozvoji měření, měřících metod a postupů, až po dnešní dokonale uspořádané techniky. Organizovaný systém měř a vah je životně důležitý ve vědě, v průmyslu a v obchodě. Měření je nedílnou složkou našeho všedního života a jeho nezbytnost si již mnohokrát ani neuvědomujeme.

V technické praxi se obvykle měří například délka (m), hmotnost (kg), čas (s), elektrický proud (A), termodynamická teplota (K), svítivost (cd), látkové množství [mol], patřící mezi základní jednotky soustavy SI. Dále je to například průtok ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), a samozřejmě i výška hladiny (m) a množství dalších fyzikálních veličin.

Výška hladiny se udává v jednotkách délky, jejichž základní jednotka je metr (m) a samozřejmě dekadické násobky této jednotky. Pouze v případech, kdy je známa geometrie nádoby, bývají snímače výšky hladiny kalibrovány přímo v objemových jednotkách.

1.2 Terminologie měření

- Měření (angl. *measurement*) je sled činností, jejichž cílem je určit hodnotu měřené veličiny za použití měřicího přístroje. Prostřednictvím měření tak stanovujeme vlastnosti měřeného objektu nebo děje.
- Měřicí přístroj, jinak také měřidlo, (angl. *measuring instrument*) je zařízení, jímž se provádí měření. Používá se buď samotné, nebo ve spojení s přídatným zařízením, či zařízeními. Měřicí přístroj může mít zabudován ke své činnosti snímač.
- Snímač, neboli senzor, čidlo, detektor, (angl. *sensor*) je prvek měřicího přístroje, nebo měřicího řetězce, na který jakákoliv měřená veličina (fyzikální, chemická, či biologická) přímo působí. Tu převádí na jinou veličinu, nebo na jiný signál (napětový, proudový, číslicový).

1.3 Kvalita a chyby měření

V praxi nejsou žádná měření, měřicí přístroje, ani snímače absolutně přesné. Nejruznější nepříznivé vlivy, které se při reálném měřicím procesu vyskytují, se projeví odchylkou mezi naměřenou a skutečnou hodnotou měřené veličiny. Výsledek měření se tak vždy pohybuje v určitém tolerančním poli kolem skutečné hodnoty, ale téměř nikdy nenastane ideální ztotožnění obou hodnot. Výsledný rozdíl mezi oběma hodnotami je někdy tvořen velmi složitou kombinací dílčích faktorů. Tento rozdíl se v minulosti nazýval chybou měření. Chyby měření se vyjadřují v absolutních nebo relativních hodnotách.[1]

Chyby měření se podle jejich působení na výsledek měření rozdělují na:

- chyby systematické

Systematická chyba je taková, jejichž hodnota se při stejných podmínkách měření nemění, je konstantní co do velikosti a znaménka. Při situaci, kdy dojde ke změně podmínek měření, se daná systematická chyba mění podle určité, známé závislosti a svým způsobem ovlivňuje výsledek měření.

Možnost rozpoznání systematické chyby je velmi omezené, protože poznáme vlastně jen její odhad a ne její skutečnou hodnotu. Z toho důvodu odstraníme jen její odhad, přičemž vždy zůstává nevyločitelná část, jejíž hodnotu nepoznáme. Tuto část systematické chyby nazýváme nevyločitelnou systematickou chybou. Zjišťování a odstraňování systematických chyb bývá náročné a nákladné, a proto se uskutečňuje jen tam, kde je to nezbytné.[1]

- chyby náhodné

Náhodné chyby jsou těžko předvídatelné, působí zcela nahodile a nelze vyloučit, že budou v experimentu existovat. Při opakování měření se mění jejich velikost i znaménko.

Pro určení jejich velikosti se vychází z opakovaného měření za použití statistických metod, které odpovídají patřičnému pravděpodobnostnímu modelu, reprezentovanému zákonem rozdělení příslušné náhodné chyby. V praxi se nejčastěji používá normální – Gaussovo rozdělení, které se aplikuje ve většině případů měření.[1]

- chyby hrubé

Hrubé chyby jsou z předchozích pohledů nejvíce komplikované. Měření zatížené hrubou chybou znehodnotí celý experiment. Naměřené hodnoty, které výrazně kolísají, což bývá velmi často projevem tohoto druhu chyb, se vyřadí z dalšího zpracování. Důsledným dodržováním příslušných měřicích postupů, podmínek měření a pozorností obsluhy je možno omezit riziko jejich výskytu.[1]

1.4 Uplatnění a účel měření výšky hladiny

Velké uplatnění měření výšky hladiny bývá například ve vodárenství, zemědělství, potravinářském nebo ve farmaceutickém průmyslu. Dále jsou typické případy těchto aplikací v chemii, petrochemii, či zpracování odpadních vod, apod.

Účelem měření výšky hladiny může být například optimalizace řízení vodohospodářských soustav, hlídání úrovně produktu proti přetečení, zpřesnění dávkování přísad ve výrobě, inventární a fakturační měření, zlepšení zásobování výroby (tj. provoz bez výpadků), detekce úniků látek pro snížení ekologických rizik. Dále pak zjišťování polohy hladiny kapalin a sypkých hmot v zásobnících a provozních nádobách, jako jsou různé tanky, sila, zásobní a provozní nádrže, cisterny na kapaliny, destilační kolony, krystalizátory, mísící nádoby, apod. V aplikacích je třeba počítat s teplotami $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $+400\text{ }^{\circ}\text{C}$ a tlaku velikosti až 40 MPa.

1.5 Výběr vhodného typu snímače hladiny

Výběr vhodného typu snímače je velmi důležitou a nedílnou součástí správného a přesného měření. Snímač je totiž první člen v měřicím řetězci, tudíž je na něj kladen důraz vysoké přesnosti a spolehlivosti. Základní parametry, podle kterých se snímač vybírá jsou vypsány níže.

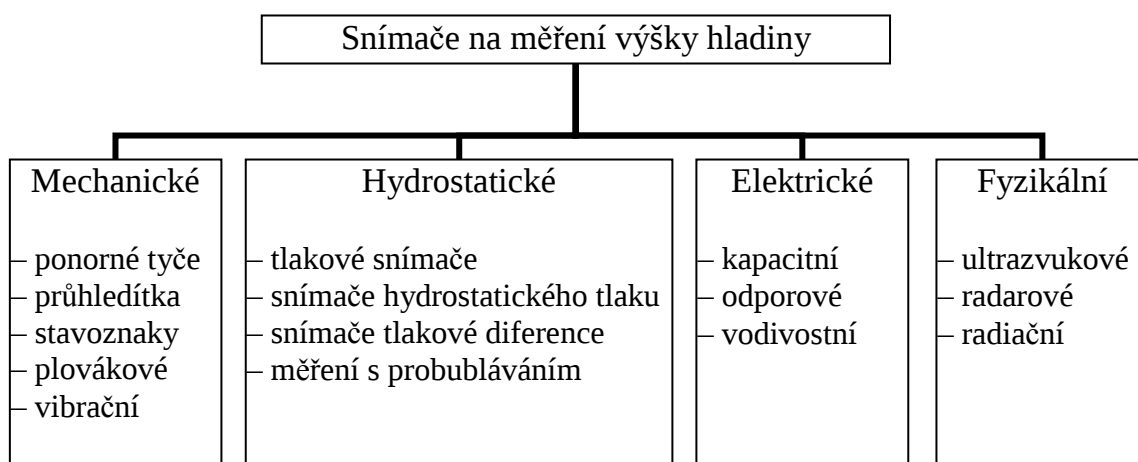
- fyzikální a chemické vlastnosti měřeného média – měříme-li výšku hladiny kapalin nebo pevných částic, je-li měřený materiál elektricky vodivý, hořlavý, agresivní či nikoliv a mnoho dalších vlastností média
- charakter okolního prostředí a podmínky měření – zda-li jsou v aplikaci nějaké teplotní a tlakové rozdíly
- požadavek na spojitě či nespojitě snímání stavu hladiny – požadujeme-li snímání hladiny pouze v bodech, nebo spojitě
- účel měření – signalizace mezních stavů, regulace úrovně hladiny, zjišťování množství náplně (bilanční účely)
- měřicí rozsah – měříme-li nízkou, či vysokou výšku hladiny
- požadovaná přesnost měření
- cena a ekonomické náklady na zařízení a celkový provoz
- další parametry:
 - spínací a rozpínací parametry
 - druh výstupu – napěťový, proudový, číslicový
 - prostorové nároky
 - jiskrová bezpečnost
 - stupeň krytí IP
 - odolnost vůči tlaku

2 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ SNÍMAČŮ NA MĚŘENÍ VÝŠKY HLADINY

Na měření výšky hladiny se používají nejrůznější druhy a typy snímačů, které lze rozdělit z mnoha hledisek. V této kapitole je vypsáno sedm možných hledisek rozdělení snímačů. Pro automatizaci jsou nejvýznamnější typy snímačů, které mají elektrický výstup. Výstup ze snímače nejčastěji bývá buď napětový, obvykle $0 \text{ V}_{ss} \div 5 \text{ V}_{ss}$, proudový, obvykle $4 \text{ mA} \div 20 \text{ mA}$, nebo jako výstup číslicový. Velkou výhodou elektrického výstupu je jeho následné zpracování počítačem.

Obvyklou součástí snímačů jsou obvody potřebné na snímání výšky hladiny, příslušná elektronika na kalibraci a ovládání přístroje.

I. Rozdělení snímačů na měření výšky hladiny podle druhu funkčního principu měření:



Poznámka: Podle tohoto rozdělení snímačů je organizována a strukturována celá teoretická část diplomové práce o typech snímačů, tzn. kapitola 3.

II. Rozdělení snímačů na měření výšky hladiny podle druhu měřeného materiálu:

- a) snímače na měření výšky hladiny kapalin
- b) snímače na měření výšky hladiny sypkých hmot – sypkých materiálů
- c) snímače na měření výšky hladiny ostatních materiálů jako jsou například granuláty, viskózní kapaliny, tekuté kaly, atd.

III. Rozdělení snímačů na měření výšky hladiny podle způsobu měřicí metody:

- a) snímače absolutní – měřidlo ukáže hodnotu veličiny rovnou
- b) snímače relativní – porovnáváme příslušnou vlastnost měřeného tělesa s jednotkovými tělesy

IV. Rozdělení snímačů na měření výšky hladiny podle způsobu měřící metody:

- a) snímače využívající přímou metodu – zjišťujeme hodnotu veličiny přímo odečtením na stupnici použitého měřidla
- b) snímače využívající nepřímou metodu – hodnotu veličiny stanovíme na základě určitého fyzikálního vztahu z hodnot jiných veličin (změřených jinou metodou)

V. Rozdělení snímačů na měření výšky hladiny podle způsobu měřící metody:

- c) snímače využívající dotykové měření – přímý kontakt s kapalinou
- d) snímače využívající bezdotykové měření – paprsek, záření

VI. Rozdělení snímačů na měření výšky hladiny podle spojitosti vyhodnocování měření:

- a) spojitě snímače hladiny – kontinuální měření (spojitě)
- b) limitní snímače hladiny – limitní spínače (maximální a minimální hodnota)

VII. Rozdělení snímačů na měření výšky hladiny podle typu nádoby:

- a) snímače na měření v uzavřené nádobě
- b) snímače na měření v otevřené nádobě

3 TYPY ZÁKLADNÍCH SNÍMAČŮ NA MĚŘENÍ VÝŠKY HLADINY

K výrobcům a dodavatelům, kteří na tuzemském trhu dodávají největší množství různých měřicích principů a senzorů z oblasti měření a regulace výšky hladiny, patří například:

Tab. 1: Výrobci snímačů na měření výšky hladiny.

Výrobce, dodavatel	Internetové odkazy
Endress+Hauser Czech, s.r.o.	http://www.cz.endress.com/
Omega Engeneering Česká republika	http://www.omegaeng.cz/
Dinel, s.r.o.	http://www.dinel.cz/
ZPA Nová Paka, a.s.	http://www.zpanp.cz/
Honeywell Česká republika, spol. s.r.o.	http://www.honeywell.com/sites/cz/
LEVEL INSTRUMENTS CZ	http://www.levelin.cz/
NIVELCO Process Control Co.	http://www.nivelco.hu/

3.1 Mechanické

Mezi mechanické snímače výšky hladiny (angl. *mechanical level gauge*) se řadí například ponorné tyče, průhledítka a stavoznaky, plovákové a vibrační hladinoměry.

3.1.1 Ponorné tyče

Ponorná tyč (angl. *dipstick*) je snad vůbec nejstarším nástrojem měření výšky hladiny. Je to velice jednoduchý, avšak méně přesný způsob měření.

Ponorné tyče jsou v podstatě délková měřidla, která jsou umístěna kolmo na hladinu měřeného materiálu. Výška hladiny se odečítá přímo na stupnici. Tato stupnice je buď přímo vytvořená na ponorné tyči, nebo je s ní pevně spojená. Z podstaty konstrukce ponorných tyčí vyplývá, že nejsou vhodné na automatické zpracování naměřených údajů, respektive na dálkový přenos informací.[2]

V základu lze rozdělit ponorné tyče na dvě varianty:

- vodočetná lať
- měrka výšky hladiny daného materiálu

Zaprvé by to byly vodočetné latě, které jsou dodnes umístěné na břehu řek, přehrad, či zdymadel pro odečítání výšky hladiny například pro potřeby říční plavby nebo pro monitorování povodňového nebezpečí.

Zadruhé by to byla varianta, kdy je měrka vyjmuta z materiálu a zkoumá se délka smočené části. Tento způsob měření výšky hladiny je sice velice primitivní, avšak pravděpodobně se jedná nejběžnější měřidlo výšky hladiny na světě, které se v každodenním životě používá.

3.1.2 Průhledítka a stavoznak

Dalším jednoduchým ukazatelem výšky hladiny je průhledítka (angl. *sight glass*). Je to prosklená část ve stěně nádoby např. cisterny nebo tanku, kterou je vidět předěl mezi hladinou materiálu a vzduchem nebo parami látky. Taková prosklená část má z konstrukčních důvodů omezenou velikost. Z této příčiny je nutné ve stěně nádoby umístit několik navzájem navazujících a překrývajících se průhledítek. Tím dosáhneme, že pokryjeme celý rozsah požadovaných mezí měřené nádoby.[2]

K nádobě také může být potrubím připojen externí stavoznak (angl. *level gauge*). Jedná se o obtokový stavoznak, který je vyroben ze skleněné trubice nebo kovové komory, v níž je opět skleněná část. V podstatě se jedná o spojené nádoby, kdy je shodná hladina v nádobě i v obtokové části. Stavoznak je obvykle z bezpečnostních důvodů připojen přes pojistné ventily, které snižují únik materiálu při ztrátě hermetičnosti. Uvedený způsob měření výšky hladiny není vhodný pro kapaliny s vysokým obsahem pevných částic, neboť mohou ucpávat přívodní i pojistné ventily.[2]

Výjimečným stavoznakem je magnetický stavoznak. Hladina kapaliny je snímána v plovákové komoře, která je spojena s nádobou. Kapalina je zcela uzavřena v kovových částech zařízení. Plovák, který se pohybuje společně s hladinou kapaliny v komoře je vybaven permanentním magnetem. Jeho pohyb je magnetickou vazbou přenášen na sérii překlápěcích magnetických praporků (válečků). Tyto magnetické válečky jsou z jedné strany černé a z druhé strany zbarveny reflexní žlutou nebo oranžovou barvou. Při stoupavém pohybu plováku jsou praporky magneticky překlápěny do aktivní polohy. Při klesání plováku jsou praporky překlápěny zpět do neaktivní polohy. Výhodou je, že magnetické stavoznaky lze použít i pro kapaliny tvořící neprůhledné usazeniny, což není možné u klasických stavoznaků.[2]

3.1.3 Plovákové hladinoměry

Plováky (angl. *float water-level indicators*) představují dosud často využívanou metodu měření výšky hladiny kapaliny. Plovákové těleso může být zhotoveno z různých materiálů, například z pěnového polystyrénu pro méně náročné uplatnění, nebo z ušlechtilých materiálů a nerezavějících ocelí pro agresivní kapaliny.

Poloha plováku, a tím hladiny je snímána různými možnostmi. Například jsou to odporové snímače, řetězové a pásové stavoznaky, snímače s Hallovoú sondou, snímače s diferenčním trafem, magnetostrikční hladinoměry.[2]

Při měření výšky hladiny plovák vyvine určitou sílu, která odpovídá hmotnosti kapaliny vytlačené ponořením plováku. Tato síla je potřebná k překonávání mechanických odporů polohy plováku a vypočítá se dle následujícího vztahu,

$$F = S \cdot \Delta h \cdot \rho \cdot g \quad (N) \Rightarrow \Delta h = \frac{F}{S \cdot \rho \cdot g} \quad (m) , \quad (1)$$

kde F ... vyvozená síla (F),
S ... horizontální průřez plováku (m²),
 Δh ... změna ponoření (m),
 ρ ... hustota měřené kapaliny (kg·m⁻³),
g ... místní tíhové zrychlení (m·s⁻²).

Předností plovákových hladinoměrů je jejich jednoduchý způsob použití, i přesto je v současné době snaha o jejich náhradu bezkontaktními metodami měření, nebo přinejmenším o měření bez pohyblivých mechanických částí. Plovákové hladinoměry se používají a jsou vhodné zejména pro čisté, nelepivé a neviskózní kapaliny v otevřených nádobách.



Obr. 1 Plovákový hladinoměr NIVELCO – NIVOPOINT-MR.[5]

3.1.4 Vibrační hladinoměry

Vibrační snímače (angl. *vibration level gauge*) jsou vyrobeny v podobě tyče, anebo častěji ve formě ladičky. Využívají změny rezonanční frekvence nebo utlumení kmitů při kontaktu s měřeným materiálem. Piezoelektrický měnič rozechvívá „prsty“ ladičky na její běžnou frekvenci, například 100 Hz. V případě, že dojde ke kontaktu s povrchem měřeného materiálu v nádobě, vibrace se utlumí, což je rozeznáno dalším piezoelektrickým snímačem. V podstatě lze tyčovým vibračním snímačem měřit spojitě výšku hladiny, avšak ve většině případů fungují jako hladinové spínače detekující výskyt materiálu.[2]

Použití vibračních hladinoměrů:

- především na registrování mezních stavů kapaliny, sypkého materiálu, granulátů a prášků (uhelný prach, cukr, obilí, cement, písek, apod.)
- s výhodou se používají především ve výbušném prostředí
- jejich činnost nezávisí na fyzikálních vlastnostech měřené látky, hustotě, vodivosti, permitivity, apod.
- měřicí rozsah vibračních hladinoměrů se pohybuje od 0,5 m do 20 m



Obr. 2 Vibrační hladinoměr Endress+Hauser – Liquiphant S FDL61.[6]

3.2 Hydrostatické

Mezi hydrostatické snímače výšky hladiny (angl. *hydrostatic level gauge*) se řadí například snímače tlakové, které se dále rozdělují na snímače hydrostatického tlaku a snímače tlakové difference. Široké uplatnění mají také systémy na měření výšky hladiny s probubláváním.

Na spojitě měření výšky hladiny kapalných látek se k měření hydrostatického tlaku používá různých typů manometrů. Svým působením snímají velikost hydrostatického tlaku měřené kapaliny, popřípadě protitlak vznikající v pneumatickém systému. Odlišný přístup je třeba dodržovat u nádob uzavřených, kde je přetlak nasycených par a u nádob otevřených, kdy nad hladinou máme tlak atmosférický.[3]

3.2.1 Tlakové hladinoměry

Tlakové hladinoměry (angl. *pressure level gauge*) stále tvoří takřka polovinu běžně užívaných hladinoměrů v praxi. Určování výšky hladiny z hydrostatického tlaku pomocí tlakových snímačů trpí mnoha problémy, a proto tyto snímače začínají být pozvolna nahrazovány modernějšími, především bezkontaktními metodami měření.[2]

Měření tlakovými hladinoměry lze v principu rozdělit na dva základní způsoby:

- v uzavřených tlakových nádobách
- v otevřených atmosférických nádobách

V uzavřených tlakových nádobách je nutno měřit diferenční tlak mezi dnem nádoby a prostorem par nad hladinou. Tlaková difference se dá také zjistit využitím dvou oddělených snímačů absolutního tlaku. Diferenční tlak se poté stanoví metodou výpočtu jako rozdíl naměřených hodnot, nicméně to znamená nemilé znehodnocení přesnosti měření nedostatečným využitím měřicího rozsahu senzorů a hromadění chyb a nejistot měření.[2]

V otevřených atmosférických nádobách se měří hydrostatický tlak u dna nádoby, kdy se sleduje nárůst oproti barometrickému tlaku. I u těchto otevřených nádob se dají použít výše uvedené diferenční snímače tlaku a nízkotlaké připojení je pak volně vyvedeno do okolního atmosférického vzduchu.[2]

Tlakové snímače jsou mnohdy připojeny přes oddělovací membránu, a tudíž měřící prvek není v přímém styku s materiálem v nádobě. Tvar membránového oddělovače může být například:

- plochý membránový oddělovač
- tubusový membránový oddělovač

3.2.1.1 Snímače hydrostatického tlaku v tlakových nádobách

U tlakových nádob je zcela nezbytné měřit tlak snímačem tlakové difference, který má obvykle dva přívody. Spodní přívod u dna nádoby je připojen ke snímači přímo nebo přes oddělovací membránu. Horní přívod, který je umístěn v prostoru par v nádobě musí být vždy nad úrovní maximální výšky hladiny. Horním přívodem je přiveden referenční tlak, který ovšem může také být např. tlak atmosférický. Oba tlaky se posléze vyhodnocují elektronickými obvody uvnitř snímače a převádí na výšku měřené hladiny.

Snímače hydrostatického tlaku v tlakových nádobách mohou být připojovány třemi základními způsoby: suchou větví, mokrou větví nebo přes oddělovací membránu s hydraulickou kapalinou.[2]

Použití snímačů tlakové difference:

- měření v uzavřené nádobě
- spojitě měření výšky hladiny kapalných látek s různou viskozitou
- tlakové převodníky s elektrickým, anebo pneumatickým výstupem



Obr. 3 Hydrostatický snímač tlakové difference Endress+Hauser – Deltabar S FMD76.[6]

3.2.1.2 Snímače hydrostatického tlaku v atmosférických nádobách

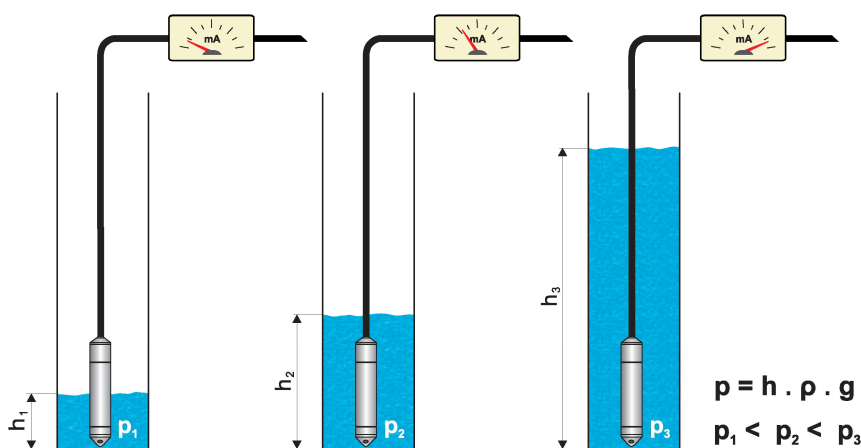
Snímače hydrostatického tlaku v atmosférických nádobách mají obvykle pouze jeden přívod, ke kterému je přes oddělovací membránu přiveden vodní sloupec měřené kapaliny. Takto vyvinutý tlak se posléze vyhodnocuje elektronikou snímače a převádí se na měřenou výšku hladiny kapaliny.

V nejjednodušším případě může být použit velmi malý ponorný senzor zavěšený na izolovaném elektrickém kabelu, který spouštíme do otevřené nádoby. Pokud během spouštění senzoru přestane měřený tlak narůstat, dosáhl senzor dna nádoby. Moderní snímače mají kabel vybavený ještě vyrovnávací tlakovou žilou, která kompenzuje meteorologické změny barometrického tlaku. Tyto změny mohou způsobit chybu až 25 cm vodního sloupce. Tlaková žíla je chráněna filtrem proti vniknutí nečistot a vody. U většiny těchto senzorů může jeho pouzdro obsahovat ještě obvody číslicového vyrovnání teplotních závislostí, komunikačních rozhraní, apod. Tento způsob měření je používán např. pro měření hloubky vodních nádrží, studní, vrtů, apod.[2]

Při měření výšky hladiny pomocí hydrostatických snímačů v atmosférických nádobách se vychází z jednoduchého principu hydrostatického tlaku. Sloupec hladiny svojí tíhou vyvíjí tlak úměrný hloubce pod hladinou, hustotě měřené kapaliny a místní tíhovému zrychlení. Následující vzorec vyjadřuje výpočet výšky hladiny kapaliny pomocí naměřeného tlaku,

$$P = h \cdot \rho \cdot g \quad (\text{Pa}) \Rightarrow h = \frac{P}{\rho \cdot g} \quad (\text{m}), \quad (2)$$

kde P ... výsledný tlak ve válci s kapalinou (Pa),
 h ... hloubka pod hladinou (m),
 ρ ... hustota měřené kapaliny ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$),
 g ... místní tíhové zrychlení ($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$).



Obr. 4 Princip snímačů hydrostatického tlaku v atmosférických nádobách.[7]

Použití snímačů hydrostatického tlaku:

- měření v otevřené atmosférické nádobě, vrtech, studnách, jímkách, vodojemech
- spojitě měření výšky hladiny kapalných, neagresivních kapalin s různou viskozitou
- tlakové převodníky s elektrickým, anebo pneumatickým výstupem
- možnost volby libovolného rozsahu pro výšky sloupce kapaliny až 500 m



Obr. 5 Hydrostatický snímač tlaku Dinel – HLM-25 a HLM-16.[8]

3.2.2 Měření s probubláváním

Měření výšky hladiny s probubláváním (angl. *bubbler*) je dalším způsobem měření pomocí hydrostatického tlaku, který avšak není měřen přímo v nádobě, ale za pomoci ponořeného potrubí. Z ponořeného potrubí uniká do kapaliny vzduch nebo jiná látka kompatibilní s procesem v nádobě, např. dusík. Tlak je měřen manometrem v prostoru atmosférického vzduchu mimo nádobu, takže senzor není vystaven agresivnímu prostředí kapaliny.[2]

Měření s probubláváním může být realizováno jak v uzavřených tlakových nádobách, což nám ukazuje obr. 6a), tak v otevřených atmosférických nádobách. Tento princip je znázorněn na obr. 6b).

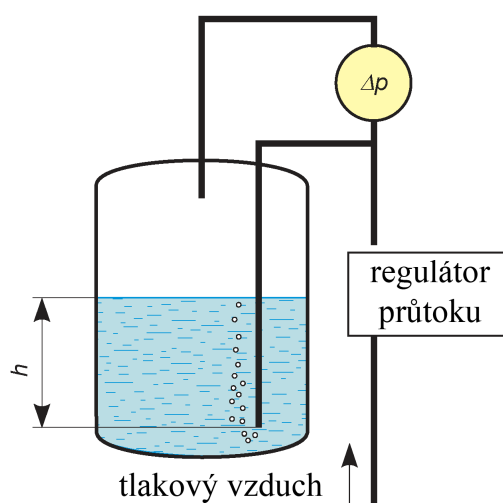
Tlak vzduchu naměřený tlakoměrem odpovídá hydrostatickému tlaku v ústí trubice, zvýšenému o tlakovou ztrátu p_z prouděním v trubici, jak je uvedeno v následujícím vztahu,

$$P = h \cdot \rho \cdot g + p_z \quad (\text{Pa}), \quad (3)$$

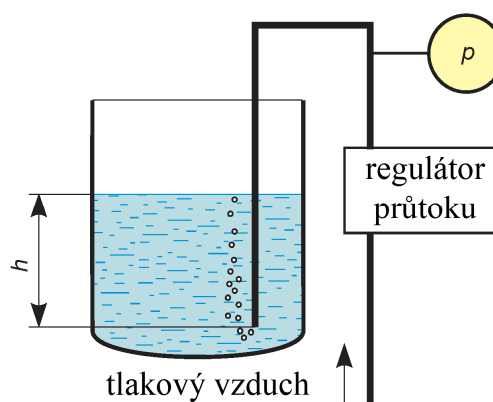
kde $P \dots$ výsledný tlak ve válci s kapalinou (Pa),
 $h \dots$ změna ponoření (m),
 $\rho \dots$ hustota měřené kapaliny ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$),
 $g \dots$ místní tíhové zrychlení ($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$),
 $p_z \dots$ tlaková ztráta prouděním v trubici (Pa).

Použití měření s probubláváním:

- vhodné zejména pro měření viskózních nebo agresivních a silně znečištěných kapalin
- měření výšky hladiny tekutých kalů



Obr. 6a) Měření s probubláváním v uzavřených nádobách.[9]



Obr. 6b) Měření s probubláváním v otevřených nádobách.[9]

3.3 Elektrické

Elektrické snímače výšky hladiny (angl. *electrical level gauge*) zahrnují například kapacitní, odporové či vodivostní principy. Tyto hladinoměry využívají elektrických vlastností měřených kapalin nebo změny elektrických obvodů snímače účinkem kapaliny. Správný výběr elektrického hladinoměru ovlivňuje druh měřeného materiálu, geometrie nádrže a požadované provozní vlastnosti.

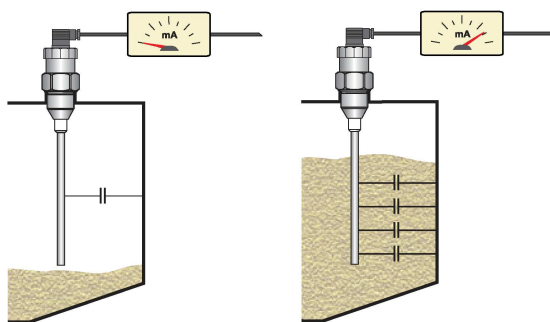
3.3.1 Kapacitní hladinoměry

U spojitých kapacitních snímačů (angl. *capacitive level gauge*) elektrody tvoří obvykle dva koncentrické válce. Vnější elektroda může být tvořena kovovou nádobou, jejíž kapacita se mění s hladinou materiálu.

Rozlišujeme dva případy měření, a to měření výšky hladiny nevodivých a vodivých materiálů.[2]

- Nevodivé materiály:

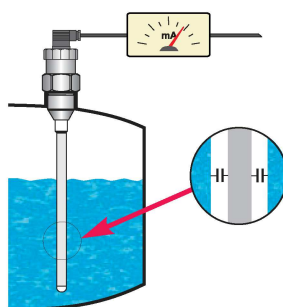
Měření výšky hladiny u nevodivých materiálů se provádí jednodušším principem. Kondenzátor je zde tvořen vodivou střední elektrodou, stěnou nádoby a dielektrikem o proměnné výšce. Dielektrikem je zde vzduch nebo měřená látka.



Obr. 7 Princip kapacitních hladinoměrů pro nevodivé materiály.[7]

- Vodivé materiály:

U vodivých materiálů musí být snímací elektroda izolovaná. Dielektrikum kondenzátoru v tom případě tvoří právě izolace elektrody o určité tloušťce a vodivá látka představuje vlastně proměnnou plochu vnější elektrody.



Obr. 8 Princip kapacitních hladinoměrů pro vodivé materiály.[7]

Použití kapacitních hladinoměrů:

- pro měření elektricky vodivých i nevodivých kapalin a sypkých hmot
- v případě spojitého měření i na vyhodnocování mezních stavů, a to i při vysokých tlacích a teplotách
- možnost snímání polohy mezihladiny kapalin
- měřicí rozsah kapacitních hladinoměrů se pohybuje od 0,2 m do 30 m



Obr. 9 Kapacitní hladinoměry Dinel.[8]

3.3.2 Odporové hladinoměry

Odporové hladinoměry (angl. *resistive level gauge*) využívají princip přímého měření odporu kapalin nebo sypkých látek. Snímač je tvořen soustavou elektrod s rozdílnou délkou. Jedna elektroda je zabudovaná do dna nádrže, resp. těsně nad její dno. Další elektrody snímače, které jsou spojené s odbočkami vinutého odporu, se nacházejí v různých významných výškách nádoby. Při stoupání nebo klesání výšky hladiny se ponořené elektrody postupně spojují se základní elektrodou zabudovanou na dně nádoby. Tímto se při změně výšky hladiny zkratují příslušné části odporu, a tím dojde ke změně výstupního signálu.

Závislost výstupního signálu na výšce hladiny měřeného materiálu je nelineární a měření výšky hladiny je nespojité.[4]

Použití odporových hladinoměrů:

- pro kapaliny nebo sypké látky

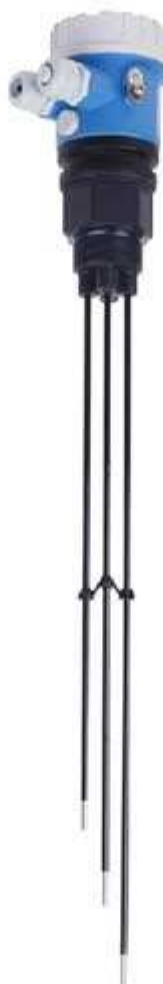
3.3.3 Vodivostní hladinoměry

Na určení mezních hodnot výšky hladiny v nádobě se dá využít i vodivost dané látky. Použití vodivostního hladinoměru (angl. *conductivity level gauge*) se proto omezuje na vysoce vodivé materiály obsahující vodu.[4]

Hladinoměr využívající principu změny vodivosti prostředí vytváří malé napětí např. 12 V_{st}. Jeden pól zdroje tohoto napětí se připojí na částečně izolovanou elektrodu snímače a druhý pól na stěnu nádoby s měřenou kapalinou. Změna elektrického odporu mezi oběma póly se měří pomocí Wheatsonového můstku. V případě, že je nádoba prázdná, je výsledná impedance kapaliny vysoká. Jestliže se měřená kapalina dostane mezi elektrodu a stěnu nádoby, vytvoří se mezi nimi vodivá cesta s nízkou impedancí. Tato změna impedance se zvětšuje a dále se převádí na výstupní signál.[4]

Použití vodivostních hladinoměů:

- především pro vodivé kapaliny na zachycení mezního stavu náplně
- vhodný snímač pro odpadní vody
- vysokoteplotní provedení až do 130 °C



Obr. 10 Vodivostní hladinoměr Endress+Hauser – Liquipoint T FTW31.[6]

3.4 Fyzikální

Princip činnosti fyzikálních snímačů je předurčuje především k měření ve speciálních případech, kdy dochází k měření výšky hladiny určitých nebezpečných radioaktivních, chemicky agresivních materiálů, apod. Širšímu uplatnění v praxi zatím brzdí jejich poměrně vysoká cena. Přepokládá se, že i fyzikální hladinoměry se budou také používat ve větším počtu aplikací.[4]

Mezi fyzikální hladinoměry (angl. *physical level gauge*) se řadí například hladinoměry ultrazvukové, radarové a radiační. Všeobecně se jedná o bezdotykové senzory.

3.4.1 Ultrazvukové hladinoměry

Ultrazvukové hladinoměry (angl. *ultrasonic level gauge*) jsou založeny buď na principu odrazu ultrazvukových vln od měřené hladiny, nebo na změně vlastností ultrazvuku při průchodu kapalinou.

Ultrazvukové senzory, využívající odrazu vln od měřené hladiny, se obvykle umísťují nad měřenou hladinu. Ultrazvukové vlny se v daném intervalu šíří z vysílače až na hladinu. Zde se odrazí a vracejí se zpět do přijímače. Čas průchodu vlnění je přímo úměrný vzdálenosti mezi vysílačem, povrchem měřeného materiálu a přijímačem. Tento vztah je tedy přímo úměrný vzdálenosti mezi snímačem a povrchem měřeného materiálu,

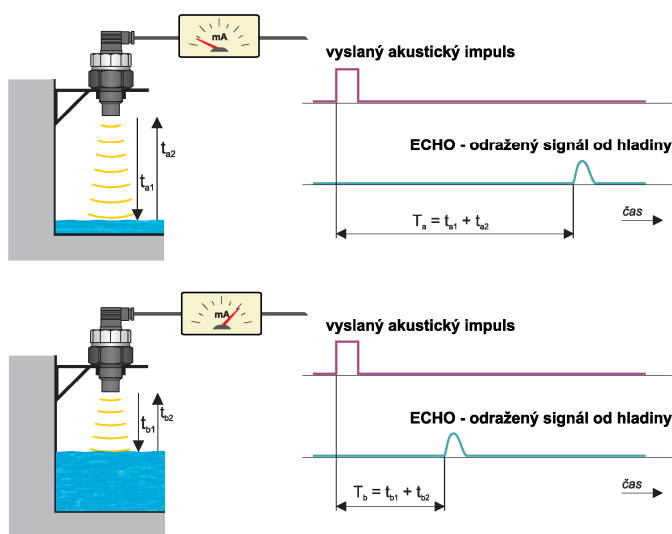
$$t = \frac{2 \cdot h_s}{c} \quad (s) \Rightarrow h_s = \frac{c \cdot t}{2} \quad (m), \quad (4)$$

kde h_s ...vzdálenosti mezi snímačem a povrchem měřeného materiálu (m),
 c ... rychlost šíření ultrazvukových vln ($m \cdot s^{-1}$),
 t ... čas mezi odeslaným a přijatým impulzem (s).

Skutečnou výšku měřeného materiálu spočítáme až po odečtení naměřené vzdálenosti mezi snímačem a povrchem měřeného materiálu h_s od výšky nádoby.

Ultrazvukové snímače, využívající změny vlastností ultrazvukových vln při průchodu kapalinou, jsou v principu založeny buď na změně času mezi vyslaným impulzem a jeho dopadem na přijímač, nebo na frekvenčních metodách. Tyto hladinoměry mají výhodu možnosti měření z vnější strany nádoby. Ultrazvukové vlny procházejí přes stěnu nádoby, což se využívá zejména u uzavřených tlakových nádob.

Ultrazvukové hladinoměry jsou takové, pokud jejich vysílaná frekvence leží nad pásmem slyšitelným pro člověka, tj. nad 20 kHz. Obvykle je to od 16 kHz do 50 kHz, přičemž konkrétní hladinoměr vysílá vlny přesně určené frekvence a délky.[2]



Obr. 11 Princip ultrazvukových hladinoměrů.[7]

Použití ultrazvukových hladinoměrů:

- především pro měření výšky hladiny kapalin, pastovitých hmot, sypkých látek, granulátů a také agresivních médií
- nezávislé na hustotě nebo elektrické vodivosti a viskozitě měřené látky
- metoda se prosazuje hlavně ve vodárenství a odvětví odpadních vod
- pro bezkontaktní měření výšky hladiny přes stěnu (dna) nádoby
- měřicí rozsah ultrazvukových hladinoměrů se pohybuje od 0,3 m do 60 m



Obr. 12 Ultrazvukový hladinoměr Endress+Hauser – Prosonic M FMU43.[6]

3.4.2 Radarové hladinoměry

Radarové hladinoměry (angl. *radar level gauge*) jsou založeny na obdobném principu jako ultrazvukové hladinoměry. Zde se měří čas, který potřebují elektromagnetické vlny (mikrovlny) na průchod z vysílače na hladinu materiálu a zpět na přijímač. Vysílač a přijímač tedy tvoří jeden celek (snímač).

Vysílač tvoří generátor mikrovln a směrová anténa. Vysílá krátké mikrovlnné impulzy s frekvencí 5,8 GHz s dobou trvání asi 1 ns. Mikrovlny se odrážejí od měřeného materiálu zpět do snímače a zachytává je přijímací část.

Přijímač se skládá ze směrové antény, vysokoziskového zesilovače s malým šumem, dekódovacího zařízení, obvodem s napěťovým komparátorem a silnoproudým obvodem.

Výška hladiny materiálu v nádobě se vypočítá odečtením naměřené vzdálenosti mezi snímačem a povrchem měřeného materiálu h_s od celkové výšky nádoby podle výše uvedeného vztahu (4), přičemž c je rychlost mikrovlnného vlnění.[4]

Použití radarových hladinoměrů:

- s výhodou se používají na spojitě bezdotykové měření výšky hladiny kapalných i sypkých materiálů
- zejména v případě extrémních procesních podmínek, pro velmi agresivní i toxické materiály za vysokých teplot a tlaků
- pro viskózní a lepivá média, pasty a kaly, zkapalněné plyny, těkavé a agresivní kapaliny
- měřicí rozsah radarových hladinoměrů se pohybuje od 0 m do 35 m



Obr. 13 Radarový hladinoměr Endress+Hauser – Micropilot S FMR530.[6]

3.4.3 Radiační hladinoměry – s radioaktivním zářičem

Radiační hladinoměry (angl. *radiation level gauge*) využívají principu pohlcování nebo zeslabování radioaktivního záření při průchodu přes tuhé nebo kapalné materiály. Na měření se používá gama záření, které snadno proniká přes materiál, a přitom nedojde kontaktu s měřenou látkou.[4]

Kontejner s gama zářičem je zpravidla kulového tvaru, kvůli optimálnímu stínícímu účinku jeho stěn při minimálním objemu, vyrobený z olova a v ocelovém vnějším pouzdře. Samotný gama zářič je zakryt ve válcovém přepravním pouzdře z nerezové oceli uvnitř kontejneru. Zdroj záření je obvykle vybaven mechanickou závěrkou se zámkem, pro jeho případné odstavení při montážích a opravách.[2]



Obr. 14 Zdroj gama záření v hermetickém kontejneru Endress+Hauser – Source container QG100.[6]

Detektor záření je umístěn na opačné straně nádoby naproti zdroji záření. Při průchodu gama paprsků materiálem v nádobě dojde k útlumu, což se projeví poklesem naměřené intenzity záření.



Obr. 15 Detektor gama záření Endress+Hauser – Gammapilot M FMG600.[6]

Zdrojem gama záření je radioaktivní materiál uzavřený v hermetickém kontejneru. Jedná se o Cesium ^{137}Cs nebo Kobalt ^{60}Co , s aktivitou závislou na aplikaci typicky desítky MBq až stovky GBq.[2]

Cesium ^{137}Cs

- používá se pro spojitě hladinoměry i hladinové spínače
- zdroj má dlouhodobou životnost
- poločas rozpadu 30 roků
- energie gama fotonů je 0,662 MeV

Kobalt ^{60}Co

- používá se spíše pro hladinové spínače
- tvrdý gama zářič s poločasem rozpadu 5,27 roků
- energie gama fotonů je 1,173 MeV až 1,333 MeV
- výhodou je velká pronikavost záření, měření přes tlustostěnné nádoby
- vyžadující ovšem odpovídající stínění a ochranu osob vyhrazením nepřístupných bezpečnostních zón

Použití radiačních hladinoměrů:

- na diskrétní a spojitě měření výšky hladiny především práškového nebo sypaného materiálu ve veškerých oblastech průmyslu
- na měření výšky hladiny v silech, ve vysokotlakých i nízkotlakých reaktorech, vakuových sušičkách, zásobnících, které obsahují materiál s vysokou teplotou, ve skladových zásobnících chlóru, brómu, apod.
- spolehlivě fungují i v prostředích s vysokou teplotou, tlakem, agresivními a toxickými látkami, přítomností pohyblivých částí (míchadel) atd.
- přípustné je i použití v potravinářství a farmacii, protože se ozářená látka v nádobě sama nestane radioaktivní
- měřicí rozsah radiačních hladinoměrů se pohybuje až do 70 m

4 TYPY MĚŘÍCÍCH SOFTWARE A JEJICH HARDWARE

V řadě automatizovaných aplikací se používá k měření, ovládání a řízení systému počítač. Úkolem je naměřená data do počítače přivést pomocí měřicího hardwaru a pracovat s nimi pomocí měřicího softwaru. K tomuto účelu slouží mnohé, takzvané měřicí karty, které jsou spojeny s měřeným systémem a počítačem přes různé sběrnice, jako jsou například PCI, USB, PCMCIA, atd. Řada výrobců měřících a řídicích systémů vyvíjí a dodává ke svým výrobkům knihovny, které usnadňují použití jejich výrobků.

V této kapitole jsou podrobněji popsány měřicí, ovládací a řídicí softwary i hardware, kterými se na našem trhu zabývají mimo jiné dvě přední společnosti. V první řadě je popsán americký systém od společnosti National Instruments Corporation a jako druhý je systém od českého výrobce Moravské přístroje a.s. Zlín. Každá z těchto organizací má svoje firemní softwary, které jsou plně kompatibilní s jejich firemními hardwarovými technologiemi.

4.1 National Instruments Corporation

Firma National Instruments Corporation se takřka po dobu 30-ti let zabývá vývojem v oblasti virtuálních měřících přístrojů. Její unikátní koncepce změnila přístup techniků a vědců v oboru měřicí a řídicí techniky. Využití počítače při měření přináší zákazníkům zvýšení produktivity a snížení nákladů důsledkem spojení technologií společnosti a virtuálních měřících přístrojů. Nejvýznamnějšími produkty jsou grafické vývojové prostředí LabVIEW, modulární systém PXI pro sběr dat a další hardware a software pro zpracování obrazu a řízení přístrojů. Výsledky jejich vývoje využívají např. projektanti, vědci a techničtí pracovníci v mnoha oborech – od školní laboratorní výuky po průmyslovou praxi.[10]

4.1.1 Software LabView 8.6

Jedná se o přední produkt firmy National Instruments Corporation. V oblasti měření a řízení platí za standard, s nímž jsou srovnávány ostatní programy. LabVIEW je vývojovým grafickým prostředím, které využívá programovací jazyk G. Tento systém je zaměřen na vývoj aplikací, zajišťujících řízení celého procesu sběru měřených dat, jejich analýzy a prezentace.[10]

- Využití software:

Použití tohoto systému při vývoji nové aplikace, či při jejím následném modifikování, je díky své koncepci výrazně jednodušší.

LabVIEW je určen především pro získávání dat a ovládání přístrojů. K tomuto účelu obsahuje knihovny funkcí a vývojové instrumenty navržené speciálně pro toto užití. Tento software se však také dá použít díky své obsáhlé paletě dalších knihoven a funkcí i pro obecné programování.

Aplikace vytvořené v LabVIEW jsou nazývány jako Virtual Instruments (VIs – virtuální přístroje), protože jejich vzhled a činnost připomínají skutečné přístroje. Jejich výkon a použitelnost jsou na rozdíl od reálných přístrojů omezeny pouze výkonem použitého počítače a k němu připojeného hardwaru.[10]

- Přednosti software:

Výrobce National Instruments Corporation uvádí, že LabVIEW je jediným grafickým programovým prostředím, které obsahuje kompilátor generující optimalizovaný kód. Jeho rychlost vykonání je srovnatelná s rychlostí kompilovaných programů v jazyce C, avšak komfort jejich vytváření je výrazně vyšší. Aplikace vytvořené v prostředí LabVIEW jsou plně srovnatelné s aplikacemi vytvořenými nízkou úrovně jazyky, jako je právě jazyk C. Programátor se zde zbavuje starostí s řadou syntaktických detailů obvyklého programování a může se více věnovat řešení zadaného úkolu.[10]



Obr. 16 Logo LabView 8.6.[10]

Tab. 2: Systémové požadavky pro software LabView 8.6.[10]

	Minimum	Doporučené
Operační systém	Windows XP	Windows XP
Procesor	Pentium III/Celeron 866 MHz nebo podobný.	Pentium 4/M nebo podobný
RAM	256 MB	512 MB
Rozlišení monitoru	1024 × 768 bodů	1024 × 768 bodů
Diskový prostor	900 MB	1,2 GB (včetně základních ovladačů pro příslušenství National Instruments)
Katalogová cena	31 900,- bez DPH ke dni 1.4. 2009	119 900,- bez DPH ke dni 1.4. 2009

4.1.2 Hardware multifunkční měřící karty pro sběr dat do PCI/USB sběrnice

National Instruments Corporation dodává na trh zařízení pro měření pomocí počítačové technologie. Nabízí široký sortiment zařízení pro sběr dat ze stolních, přenosných i síťových aplikací pro některé typy sběrnic jako např. USB, PCI, PCI Express, PXI, PXI Express, bezdrátové sítě a sítě Ethernet.[10]

- PCI sběrnice

Hardwarový produkt společnosti National Instruments Corporation, který využívá sběrnici PCI je například vysokorychlostní multifunkční měřící zařízení pod firemním označením NI PCI-6251 řady M (Multichannel), která využívá sběrnici PCI.

- o analogové vstupy: počet: 16; rozlišení: 16-bit; vzorkovací frekvence: 1,25 MS/s
- o analogové výstupy: počet: 2; rozlišení: 16-bit; vzorkovací frekvence: 2,86 MS/s
- o digitální vstupy/výstupy: počet: 24; frekvence vstupů/výstupů: 10 MHz
- o čítač/časovač: počet: 2; rozlišení: 32-bit; frekvence čítače/časovače: 80 MHz
- o konektor vstup/výstup: 68-pin VHDCI
- o katalogová cena 26 900,- Kč bez DPH ke dni 1.4. 2009



Obr. 17 NI PCI-6251 PCI karta.[11]

- USB sběrnice

NI USB-6251 je firemní označení USB vysokorychlostní multifunkční jednotky pro získávání informací, která je optimalizovaná pro nadřazenou přesnost u rychlých vzorkovacích frekvencí. Je ideální pro aplikace jako dynamická signální akvizice a senzor měření, spolu s jednotkou NI (National Instruments), která užívá úpravu signálu.

Zařízení NI USB-6251 je navrženo specificky pro mobilní nebo prostorově omezené aplikace. Používá se pro menší úlohy i na úlohy s velkým počtem měřících kanálů. Instalace plug-and-play minimalizuje konfigurace a přípravný čas.

- o analogové vstupy: počet: 16; rozlišení: 16-bit; vzorkovací frekvence: 1,25 MS/s
- o analogové výstupy: počet: 2; rozlišení: 16-bit; vzorkovací frekvence: 2,86 MS/s
- o digitální vstupy/výstupy: počet: 24; frekvence vstupů/výstupů: 1 MHz
- o čítač/časovač: počet: 2; rozlišení: 32-bit; frekvence čítače/časovače: 80 MHz
- o konektor vstup/výstup: 68-pin SCSI-II typ
- o katalogová cena: 36 900,- Kč bez DPH ke dni 1.4. 2009



Obr. 18 NI USB-6251 USB karta.[11]

4.2 Moravské přístroje a.s. Zlín

Firma Moravské přístroje a.s. Zlín se takřka po dobu dvou desetiletí soustředí na vývoj a podporu „high technology“ produktů v oblasti programového vybavení počítačů a hardwarové elektroniky. Společnost se zabývá například systémy rychlého vývoje aplikací pro průmysl, laboratoře a školy. Nejznámější softwarový produkt této společnosti je Control Web, který je vyvíjen více jak 15 let a stal se velmi používaným nástrojem v tomto oboru. Společnost se zabývá také vývojem hardwarových produktů, jako je například DataLab IO.[12]

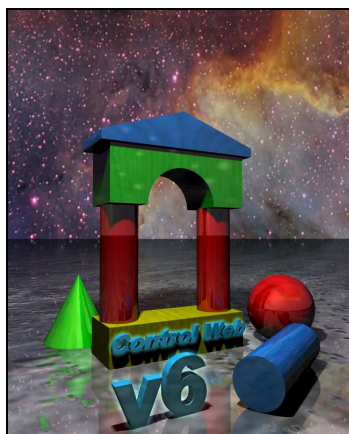
4.2.1 Software Control Web 6

Control Web je výhodným a cenově dostupným softwarem. Je používán k měření, ovládání a řízení v rozsáhlých, ale i v malých a vestavěných aplikacích a také ve školách, ve vědě a výzkumu. Ve školních laboratořích je to nástroj, který studentům ušetří spoustu práce s laboratorními úlohami, neboť automatizovaně provádí měření a vytváří protokoly.

Software Control Web zahájil svůj vývoj pod označením Control Panel, který byl spouštěn pouze pod systémem MS-DOS. Následující označení systému bylo Control Web 2000, který byl naprogramován pro operační systémy Windows 95 a vyšší, a Windows NT 4.0 a vyšší. Předposlední verze nese název Control Web 5 a je podporována všemi platformami Win32 (Win-95, Win-98, Win-Me, Win-XP). Control Web 6 je poslední ve vývojové etapě společnosti a může být spouštěn pod systémy Win-XP a Win-Vista.

Každá aplikace tvořená systémem Control Web 6 má k dispozici možnosti komunikace prostřednictvím Ethernetu, USB, RS-232, RS-422, RS-485, Wi-Fi, Bluetooth. Zahrnuje též internetový HTTP server, ale současně má k dispozici také webového klienta. Dokáže například posílat e-maily, posílat a přijímat SMS zprávy, komunikuje přes GPRS nebo radiové mosty, spolupracuje s Plug-and-Play zařízeními na rychlé USB. Spolupracuje s SQL databázemi, s OPC a ActiveX komponenty. Může pracovat s třírozměrnou grafikou a dokáže přímo komunikovat se stovkami typů zařízení prostřednictvím nativních ovladačů.[12]

- Vlastnosti software:
 - o aplikační knihovny
 - o předlohy virtuálních přístrojů
 - o nástroje pro ladění aplikací
 - o funkce *Zpět/Znovu* v grafickém vývojovém prostředí
 - o virtuální přístroje pro statistické řízení výrobních procesů
 - o sada virtuálních přístrojů obecných ovládacích a zobrazovacích prvků
 - o interní binární databázový systém pro možnost práce bez SQL serveru
 - o Control Web jako služba operačního systému
 - o celobrazovkový editor 3D scény [12]



Obr. 19 Logo Control Web 6.[12]

Tab. 3: Systémové požadavky pro software Control Web 6.[12]

	Minimum
Operační systém	32-bitový operační systém Windows
Procesor	Procesor x86 (Intel Pentium/Celeron/Core, AMD Athlon/Opteron/Phenom, atd.) s taktem alespoň 500 MHz
RAM	Pro systémy Windows 2000/XP se doporučuje alespoň 128 MB paměti.
Rozlišení monitoru	1024 × 768 bodů
Diskový prostor	Na pevném disku je zapotřebí asi 100 MB volného místa pro plnou instalaci vývojové verze.
Cena	katalogová cena 21 700,- Kč bez DPH ke dni 1.4. 2009

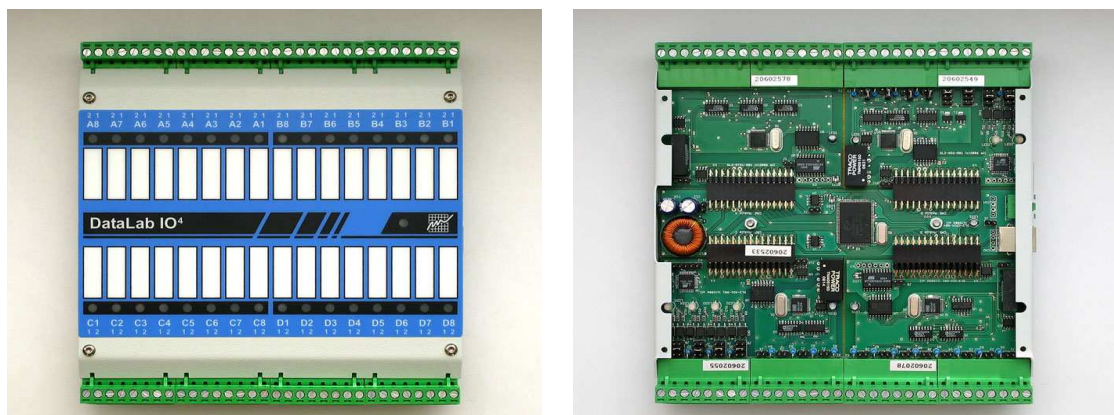
4.2.2 Hardware DataLab IO a DataLab PC

- DataLab IO

DataLab IO je soubor průmyslových vstupů a výstupů, které jsou spojeny s počítačem přes USB rozhraní. Stavebnicová koncepce celého systému DataLab IO dovolí zkombinovat vstupně/výstupní moduly podle požadavků aplikace. Jednotky DataLab IO mají jednu (DataLab IO¹), dvě (DataLab IO²) nebo čtyři (DataLab IO⁴) pozice pro moduly zajišťující analogové nebo digitální vstupy či výstupy, čítačové vstupy, vstupy pro odporové teplotní snímače, apod.[12]

Vlastnosti jednotky DataLab IO⁴:

- o standardnost a univerzální rozšířenost
- o obsahuje 4 sloty pro vstupně/výstupní moduly
- o obsahuje mimo USB konektoru také konektor pro externí napájení 10 až 40 V_{ss}
- o vysoká přenosová rychlost 480 Mb/s (USB 2.0 High Speed) nebo 12 Mb/s (USB 1.1 Full Speed) zajišťuje velmi rychlý přenos i relativně velkých objemů dat
- o při osazení všech 4 modulů je maximální možný odběr vždy vyšší než 100 mA
- o katalogová cena DataLab IO⁴ s analogovými vstupy/výstupy a digitálními vstupy/výstupy je 12 400,- Kč bez DPH ke dni 1.4. 2009



Obr. 20 Jednotka DataLab IO⁴ (vlevo) a v otevřeném stavu (vpravo).[12]

- DataLab PC

DataLab PC je průmyslový počítač, kompatibilní se standardem PC. Jeho důkladná koncepce umožňuje nasazení v zabudovaných aplikacích v náročných průmyslových, laboratorních i školních podmínkách. Předností DataLab PC je velmi příznivá cena, avšak současně přináší do oblasti průmyslové automatizace velký výkon, flexibilitu, kompatibilitu a neposlední řadě neobyčejně bohatou podporu výrobců softwaru i hardwaru.[12]

Vlastnosti zařízení DataLab PC:

- o plná kompatibilita se standardem PC – MS Windows i Linux
- o nízká spotřeba procesorů nevyžadující aktivní chlazení – procesor VIA EDEN
- o vysoký výkon a velká operační paměť – DIMM slot až na 1024 MB paměti
- o volitelně lze použít buď standardního pevného disku nebo Compact Flash (CF) paměťové karty
- o přítomnost všech standardních počítačových rozhraní – RS-232C, LPT, Ethernet, USB, VGA, PS/2 klávesnice a myš, audio
- o katalogová cena DataLab PC 1000 osazené 512 MB RAM je 15 950,- Kč bez DPH ke dni 1.4. 2009



Obr. 21 DataLab PC ze strany IO panelu (vlevo) a ze strany zdroje (vpravo).[12]

4.3 Další měřící a vývojový grafický software

Dnešní světový i tuzemský trh nabízí řadu společností, zabývajících se vyvíjením a prodejem měřícího, ovládacího a řídicího grafického prostředí. Tyto systémy se od sebe navzájem liší například počtem a kvalitou použitých aplikačních knihoven, počtem virtuálních přístrojů, svým výkonem a samozřejmě i cenou. Proto jsou zde uvedeny pouze názvy výrobců nebo přímo konkrétních softwarů a jejich internetové adresy. Na těchto adresách se dají zjistit bližší informace, či software objednat a zakoupit.

Tab. 4: Další měřící a vývojový grafický software.

Výrobce, dodavatel	Software	Internetové odkazy
Dewetron-Praha spol. s.r.o.	DEWESoft 6.6	http://www.dewetron.com/cz/ http://www.dewesoft.org/
Rockwell Automation s.r.o.	FactoryTalk	http://www.rockwellautomation.cz/
Microsys, spol. s.r.o	Promotic 7.4.1	http://www.promotic.eu/
Wonderware software	InTouch HMI 10.1	http://global.wonderware.com/ http://www.pantek.cz/
Measurement computing corporation	Measurement Studio MCC Edition, TracerDAQ Pro, NEW DASyLab [®] 10	http://www.measurementcomputing.com/
Imc measurement	Famos 6.0	http://www.imc-berlin.de/
IPP measure	TestPoint [™]	http://www.ippmeasure.com/testpt.htm
IPP measure	EfLab	http://www.ippmeasure.com/eflab.htm

5 NÁVRH A REALIZACE MODELU LABORATORNÍHO PRACOVIŠTĚ

Výsledkem uspořádání tohoto laboratorního pracoviště by mělo být praktické přiblížení a porovnání základních principů měření výšky hladiny potřebám laboratorní výuky.

Požadavky modelu na měření výšky hladiny:

- Model musí zajišťovat spojité regulování výšky hladiny.
- Při konstrukci použít minimálně dva základní principy měření výšky hladiny.
- K celkovému ovládnutí modelu použít měřicí kartu spolu s počítačem.

Popis okolních podmínek při měření výšky hladiny:

- Měření bude prováděno v laboratoři při běžné pokojové teplotě.
- Bude probíhat za obvyklé vlhkosti a atmosférického tlaku.
- Nádrž na měření bude otevřená atmosférická nádoba.
- Kapalina ve válci bude pitná voda, která na počátku měření bude mít teplotu okolí.

5.1 Obecný popis funkce modelu měření výšky hladiny

Model na měření výšky hladiny, dále již jen „model“, je v laboratorních podmínkách realizován pomocí válce z plexiskla, ve kterém se měří daná výška hladiny kapaliny. V praxi tento válec může reprezentovat například určitou nádrž, silo, cisternu, tank, apod.

Válec má ve dně vyvrtány tři otvory. Prvním se voda do válce přivádí pomocí malého čerpadla. Druhým se voda vypouští, a to buď pomocí otočného ventilu, nebo pomocí solenoidového ventilu. Třetím otvorem je přiveden tlak hydrostatického sloupce měřené kapaliny ke snímači tlakové difference. Takto je definován první způsob měření výšky hladiny.

Druhý způsob k vyhodnocení výšky hladiny je realizován plovákem ve válci, kterým se přes soustavu řemenic působí na potenciometrický snímač. Potenciometrický snímač zde slouží jako převodník mezi mechanickou a elektrickou veličinou.

Třetí způsob měření výšky hladiny je pomocí stavoznaku, který je umístěn přímo na vnější straně válce.

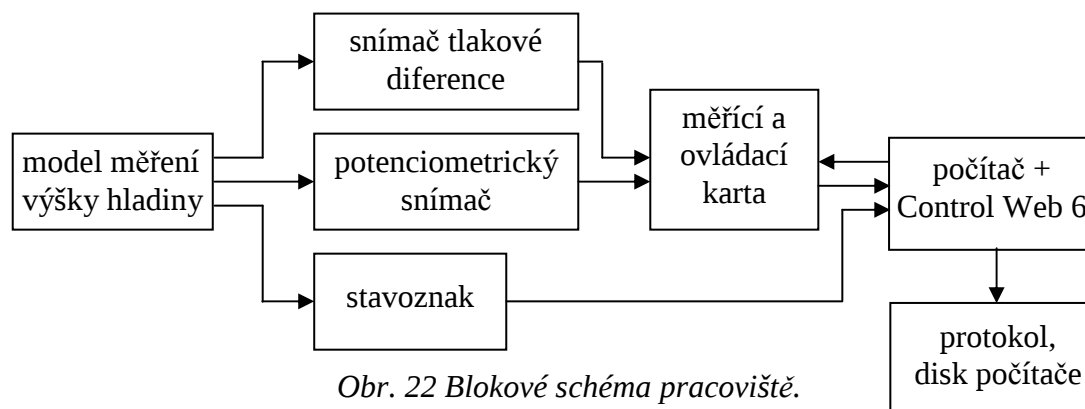
Původní model v jednodušší verzi byl již realizován v roce 2000 jako diplomová práce studenta Pavla Fafílka[13]. Od té doby se na tomto modelu v laboratoři diagnostiky a měření měřila výška hladiny kapaliny ve válci. Postupem času bylo zjištěno, že model již nevyhovuje danému měření v laboratorních podmínkách. Z tohoto důvodu bylo, mimo jiné, cílem této diplomové práce celé laboratorní pracoviště inovovat.

Výsledky inovace modelu:

- Původní plovák byl nahrazen novým, válcovitého tvaru o průměru 28 mm a délky 90 mm.
- Zcela nové měření výšky hladiny je realizováno tlakovým snímačem.
- Původní řemenice ze stavebnice Merkur byly nahrazeny novými, vysoustruženými z mosazi průměru 40 mm.
- Byl navržen a vyroben přípravek na výkonové spínání čerpadla a solenoidového ventilu měřicí kartou.
- Celé pracoviště bylo propojeno přes měřicí a ovládací kartu DataLab IO⁴ od společnosti Moravské přístroje a.s. Zlín k počítači.

5.2 Blokové schéma laboratorního pracoviště

Vlastní měření probíhá na modelu. Signál ze snímače tlakové difference i z potenciometrického snímače je posílán do měřicí karty, kde je zpracován analogovými vstupy a posléze posílán přes USB rozhraní do počítače. V počítači se hodnoty zapíší do tabulky naměřených hodnot, kam se také připiše ručně hodnota ze stavoznak. Nakonec lze celou tabulku, jako protokol o měření vytisknout, nebo uložit na disk počítače.

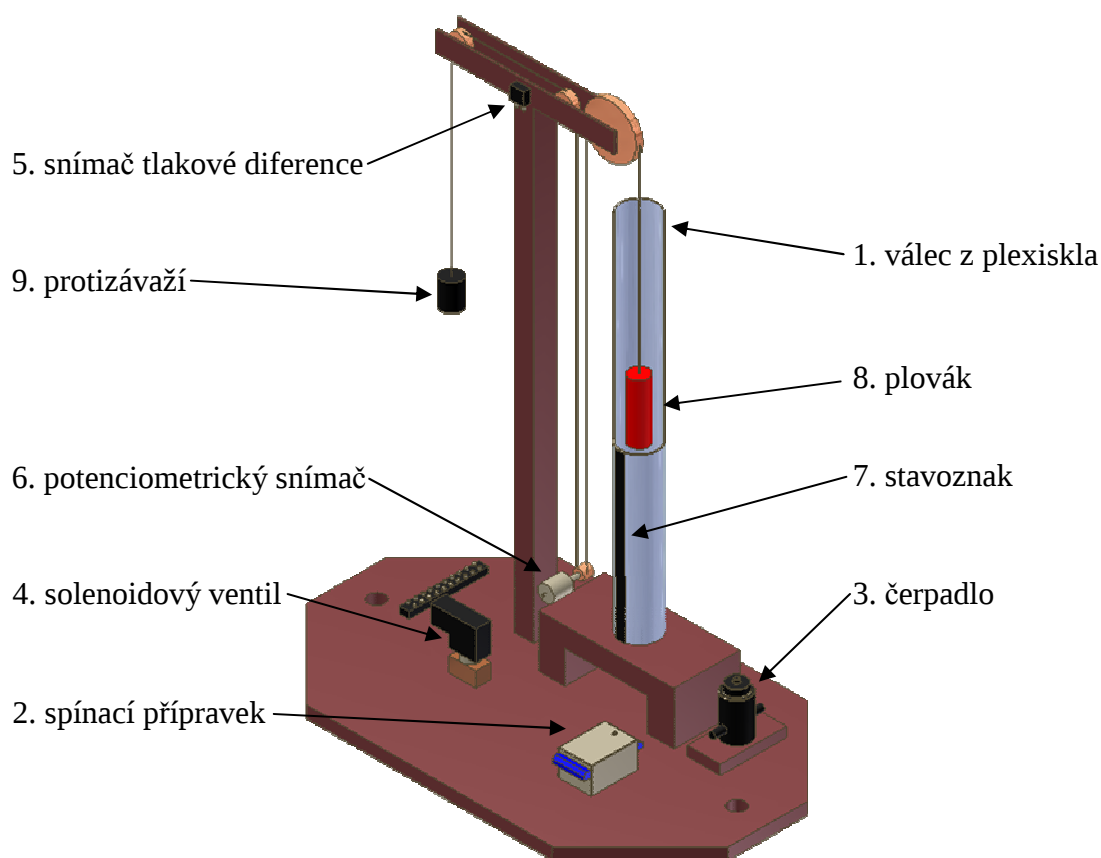


Obr. 22 Blokové schéma pracoviště.

5.3 Jednotlivé části modelu měření výšky hladiny

Na následujícím obr. 23, vyexportovaném ze systému Autodesk Inventor 2008, je nakreslen navržený model, který se skládá z následujících základních částí:

1. válec z plexiskla
2. spínací přípravek
3. čerpadlo
4. solenoidový ventil
5. snímač tlakové difference
6. potenciometrický snímač
7. stavoznak
8. plovák
9. protizávaží
10. zdroje napětí + propojovací vodiče



Obr. 23 Návrh modelu.

5.3.1 Válec z plexiskla

Pro modelování měření výšky hladiny byl v diplomové práci použit válec z průhledného plexiskla, který umožňuje dobré pozorování výšky hladiny kapaliny. Tato situace je také výhodná pro měření výšky hladiny stavoznakem, kde potřebujeme vidět výšku hladiny k odečítání hodnoty přímo na stupnici. Válec je připevněn přírubou, pomocí čtyř vrtů do základní nosné desky modelu.

Rozměry válce z plexiskla:

- výška 550 mm = 0,55 m
- vnější průměr 56 mm = 0,056 m
- tloušťka stěny 2 mm = 0,002 m

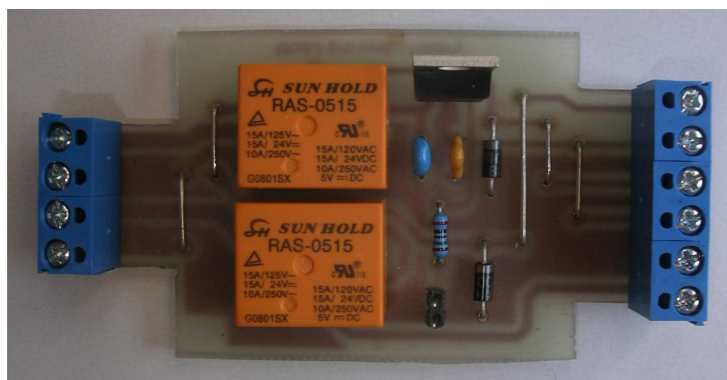
5.3.2 Spínací přípravek

Tento spínací přípravek slouží k výkonovému spínání čerpadla a solenoidového ventilu, neboť na výstup měřicí karty nelze připojit velké výkonové zatížení. Přípravek slouží ke spínání, které je inicializováno impulzem z měřicí karty DataLab IO⁴. Tento impuls je vyslán na relé, které je schopno spínat obvody až do 15 A. Přípravek je umístěn do plastové krabičky o rozměrech 72×50×41 mm a je napájen jmenovitým napětím 12 V_{ss}.

Seznam použitých součástek přípravku:

- 2x relé RAS-0515 (5 V, 15 A, 250 V, AC, 69 R, 72 mA)
- usměrňovací 2x dioda 1N 4007 (1000 V, 1 A)
- stabilizátor napětí 7805 (+5 V, 1 A)
- keramický kondenzátor 0,33 μ F (50 V)
- keramický kondenzátor 0,1 μ F (63 V)
- LED dioda superjasná zelená 5 mm (70-200 mcd, 20 mA, 2,20 V)
- rezistor s kovovou vrstvou 140 Ω (0,6 W, 1 %)
- 5x svorkovnice do desky tištěného spoje (přímá, 2 kontakty, 16 A, 250 V)

Nejprve bylo navrženo schéma zapojení tohoto přípravku, pomocí programu EAGLE Layout Editor 4.16. Toto navržené schéma zapojení se sestává z výše vyčtených součástek a je v příloze č. 1. Posléze bylo schéma zapojení převedeno rovněž pomocí EAGLE na schéma desky plošného spoje, které je v příloze č. 2. Toto schéma se následně vytisklo na průsvitný pauzovací papír a bylo osvětleno expoziční jednotkou pro osvit desek plošných spojů na jednostrannou světlocitlivou cuprexitovou desku. Nakonec se osvětlená deska vyleptala, vyvrtaly se otvory pro součástky a celá se nalakovala z důvodů konzervace pájitelným lakem.



Obr. 24 Zapájený přípravek.

Vyleptaná deska se osadila a zapájela danými součástkami, jak je vidět výše na obr. 24. Po následném odzkoušení a proměření se celý spínací přípravek umístil do černé plastové krabičky a zakomponoval do modelu.



Obr. 25 Přípravek v krabičce.

5.3.3 Čerpadlo

Vyvrtaným otvorem ve dně válce je vháněna voda pomocí malého zubového čerpadla od firmy SEV Litovel, typ APO 040.02. Skládá se ze stejnosměrného motorku, hadicových koncovek a svorek pro napájení. Stejný typ čerpadla se používá také jako čerpací jednotka ostřikovačů vozů Škoda Favorit. Čerpadlo je napájeno jmenovitým napětím 12 V_{ss} a je ovládáno impulzem přímo z měřící karty.

Více informací bylo zjištěno ze štítku na krytu čerpadla:

Tab. 5: Charakteristika čerpadla.

Parametry	Hodnota	Jednotka
Jmenovité napětí	12	V _{ss}
Jmenovitý proud	3	A
Čerpací výkon	minimálně 15	cm ³ ·s ⁻¹ při tlaku 100 kPa
Maximální doba provozu	20	sekund
Druh čerpané kapaliny	voda	H ₂ O



Obr. 26 Čerpadlo.[14]

5.3.4 Solenoidový ventil

Solenoidový ventil, od firmy ZPA Prešov a.s., slouží k elektronickému vypouštění vody z válce zpět do nádrže s vodou. Tento ventil je v klidovém stavu uzavřen. Po přivedení napájecího napětí se v něm otevře přepážka a voda jím může protékat ven. Solenoidový ventil je napájen jmenovitým napětím 12 V_{ss} a je ovládán impulzem přímo z počítače.

Tab. 6: Charakteristika solenoidového ventilu.[15]

Parametry	Hodnota	Jednotka
№	228432	-
Typ	2VE6FJ	-
Jmenovité napětí	12	V_{ss}
Průtok	0,6	$m^3 \cdot h^{-1}$
Pracovní tlak	0,12	MPa
Příkon	10	W
Stupeň krytí	IP 65	-
Hmotnost	0,36	kg
Médium	Voda	H_2O



Obr. 27 Solenoidový ventil.[15]

5.3.5 Snímač tlakové difference

První princip měření výšky hladiny je v modelu realizován snímačem tlakové difference od společnosti Freescale Polovodiče Česká republika, s.r.o. se sídlem v ČR v Rožnově pod Radhoštěm. Při měření tímto způsobem se vychází z jednoduchého principu hydrostatického tlaku. Tento senzor je opatřen dvěma vývody k porovnání pracovních tlaků. Na první vývod je přiveden PVC hadičkou o průměru 4 mm tlak hydrostatického sloupce měřené kapaliny z válce s kapalinou. K druhému vývodu je přivedena hadička o stejném průměru do atmosférického vzduchu.

Snímač tlakové difference je napájen jmenovitým napětím $5 V_{ss}$ a jeho výstup je spojen v rozsahu $0 V \div 5 V$. Výstupní napětí je úměrné měřenému tlaku.

Poznámka: Popis funkce a bližší informace o principu snímače tlakové difference jsou uvedeny v kapitole 3.2.1.1.

Výpočet pracovního tlaku pro volbu rozsahu snímače:

Zadané hodnoty:	výška válce:	$h = 0,55 \text{ m}$
	hustota kapaliny:	$\rho = 998,205 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$
	tíhové zrychlení:	$g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

Výpočet: $p = h \cdot \rho \cdot g$ (5)

$$p = 0,55 \cdot 998,205 \cdot 9,81 = \underline{5,385 \text{ kPa}} = 0,054 \text{ bar} = 53,85 \text{ milibar}$$

Pro vypočtený maximální tlak 5,385 kPa byl z typové řady vybrán snímač tlakové difference, který nese typové označení MPX5010DP. Tento snímač má rozmezí snímaného pracovního tlaku 0 kPa až 10 kPa. Výrobce uvádí, že je to nejmodernější piezorezistivní senzor. Jedná se o monolitický snímač určený pro široké spektrum použitelnosti, zvláště tam, kde se využívá mikropočítačů nebo mikroprocesorů s A/D vstupy. Tento senzor spojuje pokročilé mikroobráběcí metody, tenkovrstvé pokovení a bipolární výrobu, aby poskytoval přesnou úroveň analogového výstupního signálu úměrnou působícímu tlaku. Více informací nám poskytne tab. 7 a tab. 8 a schéma pouzdra v příloze č. 4.[16]

Vlastnosti snímače MPX5010DP:

- maximální chyba 5% v rozmezí teplot od 0 °C do 85 °C
- ideálně vhodný pro mikroprocesorové a mikrokontrolerové systémy
- teplotní kompenzace od -40 °C do +125 °C
- k dispozici pro měření v atmosférických a tlakových nádobách

Příklady použití snímače MPX5010DP:

- nemocniční lůžka
- vytápění, větrání a klimatizace – tzv. systémy HVAC
- dýchací přístroje
- řízení procesů

Tab. 7: Maximální rozsahy snímače tlakové difference MPX5010DP.[16]

Parametry	Symbol	Hodnota	Jednotka
Maximální tlak ($P_1 > P_2$)	$P_{\max}$	75	kPa
Skladovací teplota	T_{stg}	-40 až +125	°C
Provozní teplota	T_A	-40 až +125	°C

Tab. 8: Provozní charakteristiky snímače tlakové difference MPX5010DP.[16]

Charakteristika	Symbol	Min	Optimum	Max	Jednotka
Rozsah tlaku	P_{OP}	0	-	10	kPa
Napájecí napětí	V_S	4,75	5,0	5,25	V_{SS}
Napájecí proud	I_O	-	5,0	10	mA_{SS}
Minimální tlaková kompenzace	V_{off}	0	0,2	0,425	V_{SS}
Plný rozsah výstupu	V_{FSO}	4,475	4,7	4,925	V_{SS}
Plný rozsah rozpětí	V_{FSS}	4,475	4,5	4,725	V_{SS}
Přesnost	-	-	-	$\pm 5,0$	$\%V_{\text{FSS}}$
Citlivost	V/P	-	450	-	mV/kPa
Výstupní zdroj proudu	I_{O+}	-	0,1	-	mA_{SS}
Zahřívací čas	-	-	20	-	ms
Vyrovňovací ustálenost	-	-	$\pm 5,0$	-	$\%V_{\text{FSS}}$

5.3.6 Potenciometrický snímač

Druhý princip měření výšky hladiny je realizován pomocí kombinace plováku a potenciometrického snímače – tzv. potenciometru. Potenciometr, který byl v modelu použit, je víceotáčkový šroubovicový potenciometr, který je vyráběn pro velmi přesná nastavování hodnot odporu. V ČR je znám pod označením Aripot, vyráběn od již neexistující firmy Aritma Praha. Šroubovicové potenciometry se obvykle vyrábějí jako pětiootáčkové až desetiootáčkové. V modelu slouží jako elektromechanický převodník měřené veličiny, v tomto případě výšky hladiny. Na hřídeli potenciometru je osazena řemenička, která je propojena lankem přes soustavu tří řemenic. Na jedné straně této soustavy je plovák, který plave na hladině kapaliny. Na druhé straně soustavy je protizávaží, které je zde z důvodu překonání silových odporů potenciometrického snímače a samotných řemenic. Potenciometr je napájen jmenovitým napětím $5 V_{ss}$.

Výrobní označení a parametry potenciometru použitého v modelu:

ARIPOT 16,5 1 10 L 2 20 / 100 3 C

Tab. 9: Parametry potenciometru.[17]

Parametry	Hodnota	Jednotka
N ₀	7119540	-
Průměr vinutí	16,5	mm
Počet průběhů	1	-
Počet otáček	10	-
Typ průběhu	L (lineární)	-
Počet úseků vinutí	2	-
Celkový odpor	20	kΩ
Zatěžovací odpor	100	kΩ
Třída přesnosti průběhu	3 (± 0,1%)	-
Třída přesnosti odporu	C (± 0,3%)	-

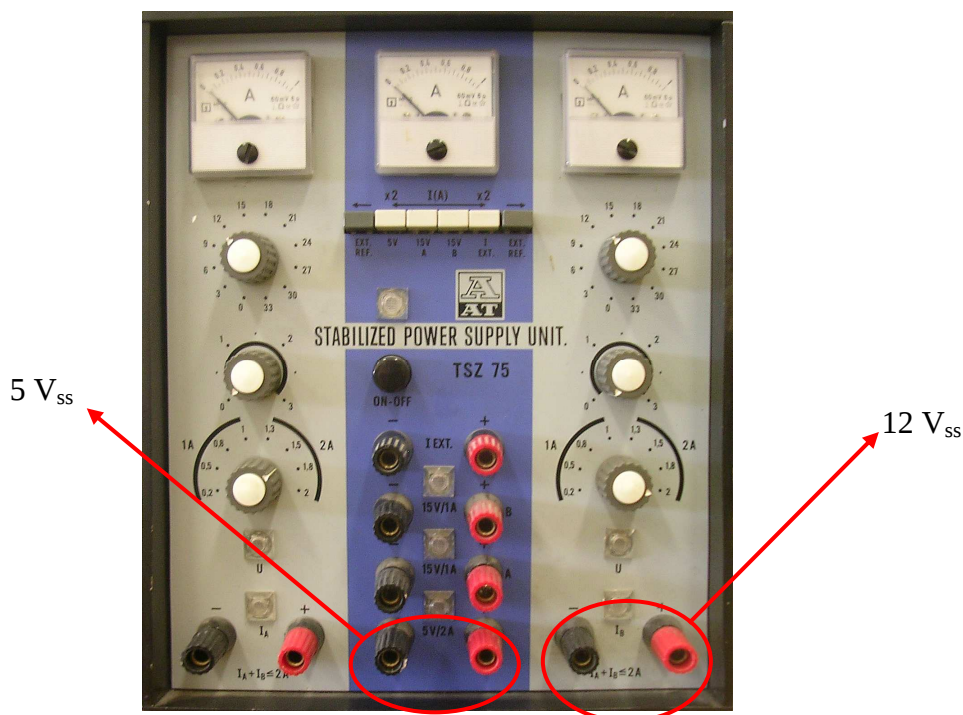


Obr. 28 Potenciometr ARIPOT.

5.3.7 Zdroje napětí a propojovací vodiče

V modelu jsou použity pro napájení dvě hodnoty napětí, které jsou čerpány z laboratorního stabilizovaného zdroje typového označení TSZ-75.

- 5 V stejnosměrných pro napájení tlakového snímače a potenciometru
- 12 V stejnosměrných pro napájení čerpadla a solenoidového ventilu



Obr. 29 Laboratorní stabilizovaný zdroj typ TSZ-75.

- červený propojovací vodič je v modelu veden jako kladný pól napájení
- modrý propojovací vodič je v modelu veden jako záporný pól napájení
- bílý propojovací vodič je v modelu veden jako kladný výstupní vodič tlakového snímače
- zelený propojovací vodič je v modelu veden jako signálový vodič z měřicí karty na spínací přípravek

Poznámka: Schéma zapojení napájení modelu je v příloze č. 3.

5.4 Laboratorní pracoviště

Na následující fotografii je již celé laboratorní pracoviště zhotovené v závěrečné fázi. Na obrázku je vidět laboratorní stabilizovaný zdroj napájení, vlastní model na měření výšky hladiny, měřicí karta a zásobník vody.



Obr. 30 Fotografie laboratorního pracoviště.

5.5 Hardwarové a softwarové vybavení laboratorního pracoviště

- Počítač + Control Web 6

Pro ovládání laboratorního pracoviště byl použit osobní počítač vybavený systémem Microsoft Windows XP se Service Packem 3, na kterém je nainstalován software Control Web 6 od společnosti Moravské přístroje a.s. Zlín.

Tab. 10: Konfigurace počítače pro úlohu měření výšky hladiny.

Operační systém	Windows XP, SP 3
Procesor	Intel Pentium III, 797 MHz
RAM	256 MB
Diskový prostor	80 GB
Grafická karta	Rage Fury Pro/Xpert 200 Pro
Rozlišení monitoru	1280 × 1024

- Měřicí karta

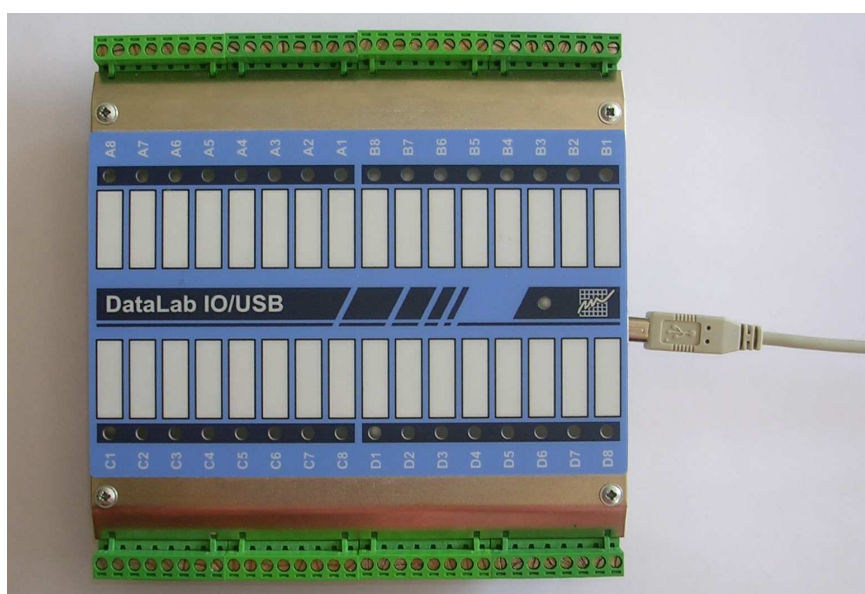
Pro získávání naměřených hodnot a celkové ovládání laboratorního pracoviště byla použita měřicí karta DataLab IO⁴ od společnosti Moravské přístroje a.s. Zlín. Tato karta je s počítačem propojena pomocí USB rozhraní a má integrovány tyto čtyři jednotky:

- modul A – modul digitálních vstupů
- modul B – modul digitálních výstupů
- modul C – modul analogových výstupů
- modul D – modul analogových vstupů

Modul A 8 digitálních vstupů max. napětí signálu 30 V _{ss}	Modul B 8 reléových výstupů zatížení kontaktů 3 A (AC/DC)	
DataLab CPU		PWR
		USB
Modul C 8 analogových výstupů se spol. polem D/A převodník 12 bitů	Modul D 8 analogových vstupů DC vstupy 0 až ±10 V, 0 až ±20 mA	

Obr. 31 Konfigurace měřicí karty pro úlohu měření výšky hladiny.

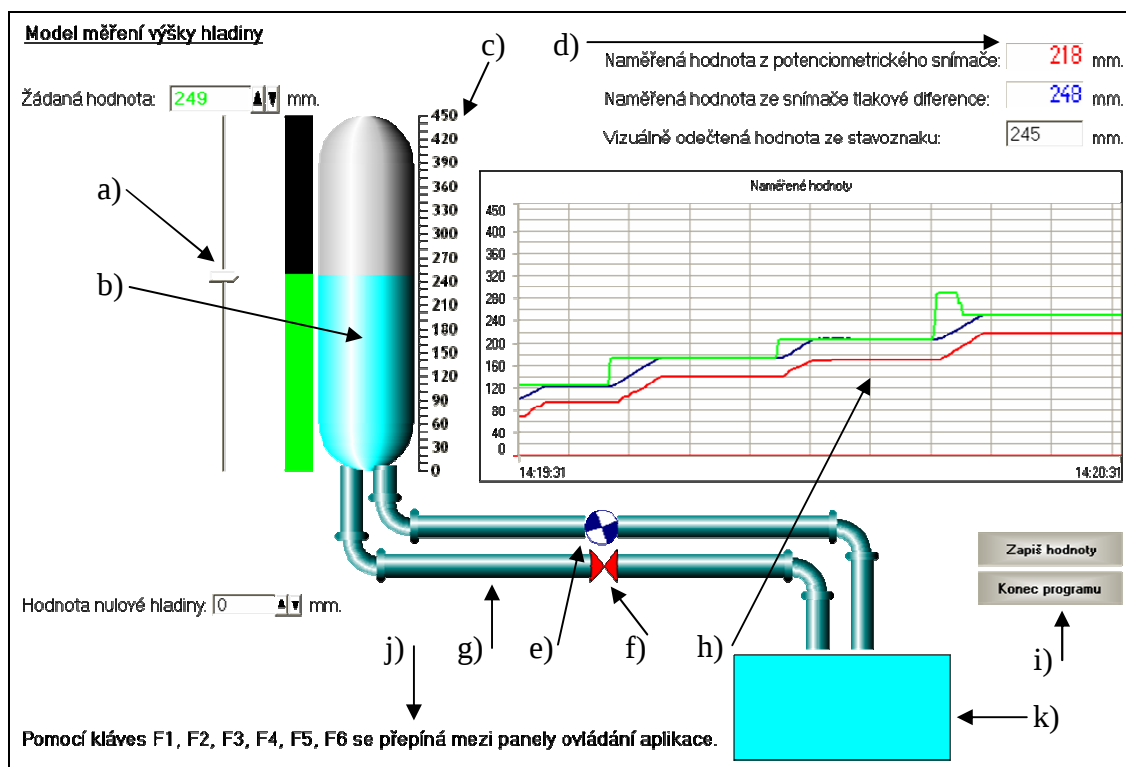
Při měření bylo použito pouze dvou modulů. Pro ovládání čerpadla a solenoidového ventilu bylo použito modulu B, konkrétně dva reléové výstupy. Jako druhé jednotky bylo použito modulu D, do jehož vstupů byly přivedeny signály z potenciometrického snímače a snímače tlakové difference.



Obr. 32 Měřicí karta použita pro úlohu měření výšky hladiny.

5.6 Uživatelské rozhraní řídicího software

Pro ovládání a řízení modelu bylo naprogramováno v software Control Web 6 uživatelské rozhraní. Na obr. 33 je pouze náhled interface tohoto software, kompletní vzhled interface je v příloze č. 5.



Obr. 33 Náhled uživatelského rozhraní řídicího software.

Tab. 11: Použité virtuální přístroje v uživatelském rozhraní řídicího software.

a)	<i>control</i>	svislý posuvný potenciometr spojený s numerickým zadávacím řádkem pro zadání žádané hodnoty výšky kapaliny
b)	<i>tank</i>	vizualizace zobrazení aktuální výšky kapaliny v nádrži
c)	<i>axis</i>	svislá osa pro informativní hodnotu výšky hladiny od 0 mm do 450 mm
d)	<i>meter</i>	číslicový měřicí přístroj se segmentovým zobrazovačem ukazující naměřenou výšku hladiny kapaliny
e)	<i>engine</i>	vizualizace motoru rotujícího doleva, představující čerpadlo
f)	<i>valve</i>	vizualizace ventilu pro vypouštění
g)	<i>pipe, knee</i>	vizualizace potrubí, kolen potrubí
h)	<i>data viewer</i>	graf výšky hladiny kapaliny závislý na časové ose
i)	<i>draw button</i>	tlačítka na ovládání programu
j)	<i>label</i>	textové popisky programu
k)	<i>box</i>	vizualizace zásobníku vody, ze kterého je kapalina čerpána do soustavy
l)	<i>table</i>	tabulka naměřených hodnot

Použitý snímač tlakové difference má v sobě integrovaný převodník tlaku na napětí, jehož výstup je lineární funkcí. Typ průběhu potenciometru je dle jeho typového označení rovněž lineární. Tudíž z těchto důvodů můžeme oba snímače aproximovat rovnicí přímky $Y = (K \cdot X) + Q$. Hlavní funkci tohoto přepočtového vztahu obstarává podprogram, jehož součástí je výpočet hodnot pomocí výše uvedené rovnice přímky. Program je spouštěn s periodou časování 0,1 s, což znamená, že je aktivován v pravidelných intervalech definovaných touto konstantou.

```
YPot = (((KPot*Potenciometr)+QPot)*10);
Ytlak = (((Ktlak*TlakovySnimac)+Qtlak)*10)+NulovaHladina);
```

Dále byla do výpočtového programu zavedena hystereze, což je v obecnosti rozdíl mezi požadovanou a skutečnou výškou hladiny. Hysterezi lze nastavit v libovolném rozsahu. V modelu byla pro optimální regulaci zvolena hystereze 5 mm.

```
if (Hladina + 5) < ZadanaHodnota
  then CerpadloKanal = true
  else CerpadloKanal = false end;
```

```
if (Hladina - 5) > ZadanaHodnota
  then VentilKanal = true
  else VentilKanal = false end;
```

```
if CerpadloKanal = true
  then VentilKanal = false end;
```

```
if Hladina > 405
  then CerpadloKanal = false end;
```

Parametr "Hladina + 5" slouží pro nastavení kladné hystereze dvoustavové regulace, z důvodu zamezení příliš častého spínání čerpadla, a tím následně zvýšení jeho životnosti. Jestliže bude žádaná hodnota výšky hladiny např. 150 mm, tak čerpadlo vypne při čerpání při hodnotě výšky hladiny 145 + hystereze.

Parametr "Hladina - 5" slouží pro nastavení záporné hystereze dvoustavové regulace, z důvodu zamezení příliš častého spínání ventilu, a tím následně zvýšení jeho životnosti. Jestliže bude žádaná hodnota výšky hladiny např. 150 mm, tak ventil vypne při vypouštění při hodnotě výšky hladiny 155 - hystereze.

V programu z důvodu bezpečnosti bylo také ošetřeno:

- vzájemné sepnutí čerpadla a ventilu
- vypnutí čerpadla při překročení výšky hladiny 405 mm

Poznámka: Kompletní zdrojový kód řídicího software je jako příloha č. 6 diplomové práce vypálen na přiloženém CD-R médiu. Ke spuštění aplikace je třeba mít v počítači nainstalován software Control Web 6 a připojení měřící kartu DataLab IO osazenou moduly, které jsou v uvedeny kapitole 5.5.

5.7 Seřízení modelu

Správné seřízení modelu je nezbytnou součástí přesného měření. Zatímco stavoznak i snímač tlakové difference jsou teoreticky, ale i prakticky schopny měřit ode dna nádoby, avšak plovák toto neumí z jeho konstrukčních důvodů. Tato záležitost si při odlaďování správné funkce modelu vyžádala několika desítek seřizovacích měření pro svázání všech tří stupnic.

U snímače potenciometrického musela být nejprve nastavena výška ponoření plováku ku velikosti jeho protizávaží. Hlavním důvodem muselo být zachování nadnášení plováku vztlakovou silou ku velikosti síly působící na mechanické odpory celé soustavy. Jako zátěž byly zvoleny kousky olova z rybářského závaží. Následně byl vyřešen konstrukční problém plováku, konkrétně jistého potřebného ponoru a dosažení podmínek pro jeho nadnášení. Právě kvůli tomuto ponoru byla posunuta pracovní hodnota nulové výšky hladiny plováku o několik desítek milimetrů oproti dnu nádoby. S ohledem na tento rušivý vliv bylo zapotřebí přenastavit i odečet druhých dvou metod měření tj. stavoznak, snímač tlakové difference.

U snímače tlakové difference bylo cílem jeho seřízení nastavit hodnotu nulové výšky hladiny. Jelikož bylo zjištěno, že se tato hodnota při každém měření liší, (pravděpodobně kvůli slabé netěsnosti systému a pružnosti přívodních hadiček, eventuálně kvůli dlouhodobé odstávce modelu, případně také i minimální vliv atmosférického tlaku) bylo vhodné ji v úloze nastavit softwarově, a to pomocí uživatelského rozhraní. Hodnota nulové výšky hladiny je tedy zadána uživatelem do editačního pole „*Hodnota nulové hladiny*“ po vizuálním odečtení aktuální výšky hladiny ze stavoznaku na válci s kapalinou.

Seřizování probíhalo tak dlouho, dokud se nepodařilo zvolené principy snímačů nastavit, aby poskytovaly správné hodnoty s dobrou vypovídací schopností. Výsledkem dlouhodobého experimentování a seřizování oba snímače nyní podávají hodnoty, které jsou zaznamenány v kapitole 6.2.

6 NÁVOD NA OBSLUHU PRACOVIŠTĚ A VYPRACOVÁNÍ MĚŘÍCÍ ÚLOHY

Vyrobený model by měl sloužit při výuce v laboratoři diagnostiky a měření jako názorná pomůcka, a z toho důvodu je důležité seznámení s jeho obsluhou a se způsobem vyhodnocování výsledků měření.

6.1 Návod na obsluhu pracoviště

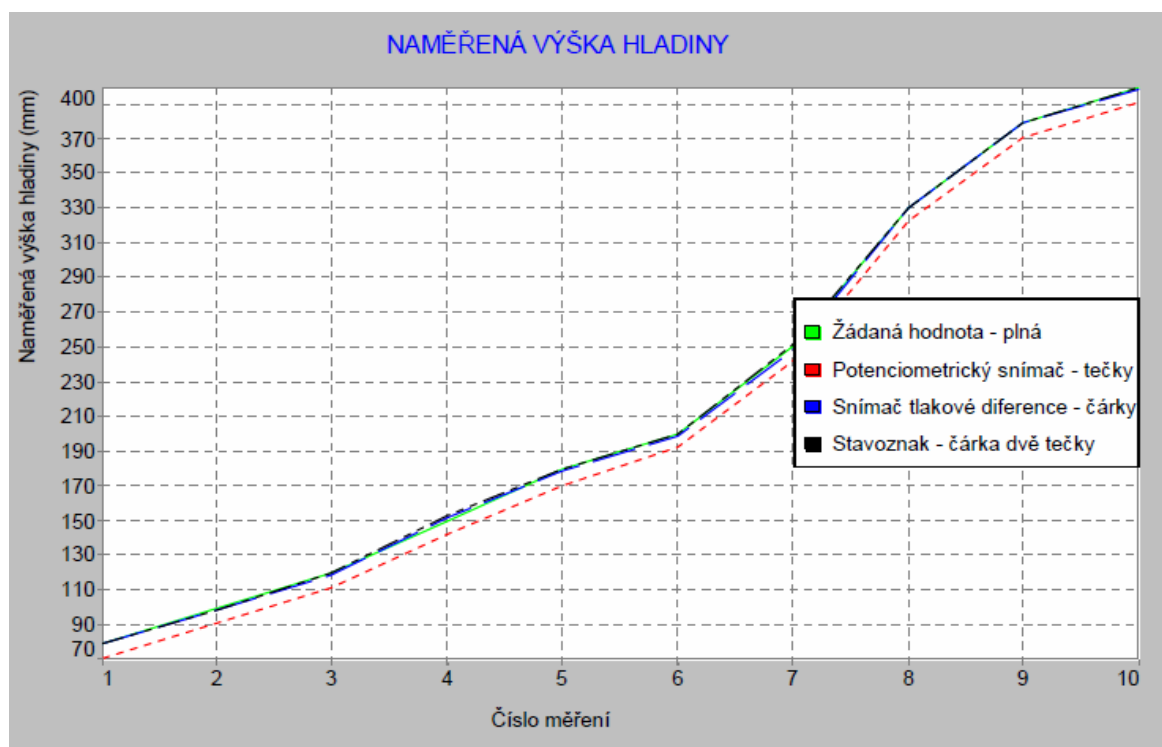
1. Zapněte počítač a spusťte aplikaci Control Web 6 – ikona na ploše.
2. V aplikaci Control Web 6, v menu „*Soubor* → *Otevřít...*“ otevřete program „*Vyska_hladiny.cw*“, jehož zástupce se nachází na pracovní ploše počítače.
3. Zapojte konektory pro 5 V_{ss} a 12 V_{ss} ze svorkovnice od elektrických přístrojů, dle schématu zapojení. K napájení použijte daného laboratorního stabilizovaného zdroje napájení.
4. Přivolejte vyučujícího, aby vám zkontroloval zapojení, a po jeho odsouhlasení můžete začít měřit.
5. Po spuštění aplikace pomocí ikony „*Spustit aplikaci*“, nebo klávesovou zkratkou „*Alt+R*“ se spustí uživatelské rozhraní řídicího software, kde jsou na obrazovce ovládací tlačítka.
6. Nejprve se musí seřadit tlakový snímač, a to tak, že se to editačního pole „*Hodnota nulové hladiny*“ zaznamená aktuální výška nulové hladiny.
7. Posuvníkem „*Žádaná hodnota*“, načerpejte dané množství kapaliny a po jejím ustálení vizuálně odečtěte ze stavoznaku aktuální výšku hladiny, kterou запиšte do editačního pole „*Vizuálně odečtená hodnota ze stavoznaku*“.
8. Tlačítkem „*Zapiš hodnoty*“ se automaticky zapíše hodnoty do tabulek protokolu.
9. Po zapsání všech tří naměřených hodnot opět posuvníkem „*Žádaná hodnota*“ načerpejte jiné množství kapaliny a po jejím ustálení opět vizuálně odečtěte ze stavoznaku aktuální výšku hladiny, kterou znovu zapíšete.
10. Tento postup měření opakujte 10× po sobě (5× při napouštění, 5× při vypouštění kapaliny), a to pokaždé pro odlišnou hodnotu výšky hladiny kapaliny.
11. V panelu „*Osobní údaje a závěr měření*“ vyplňte své jméno, studijní skupinu a v závěru měření porovnejte údaje naměřených hodnot, jejich chyby, vhodnost použití dané metody, apod. Tlačítkem „*Vlož do protokolu*“ údaje uložte.
12. Nakonec v panelu „*Uložení a tisk protokolu*“ tlačítkem „*Ulož a tiskni*“ uložte a vytiskněte protokol o měření. Tlačítkem „*Konec programu*“ ukončete aplikaci.

6.2 Naměřené hodnoty

Žádaná hodnota, naměřené hodnoty z obou snímačů a hodnoty výšky hladiny vizuálně odečtené ze stavoznaku jsou uvedeny v následující tab. 12 a tab. 13.

Tab. 12: Tabulka naměřených hodnot výšky hladiny při napouštění.

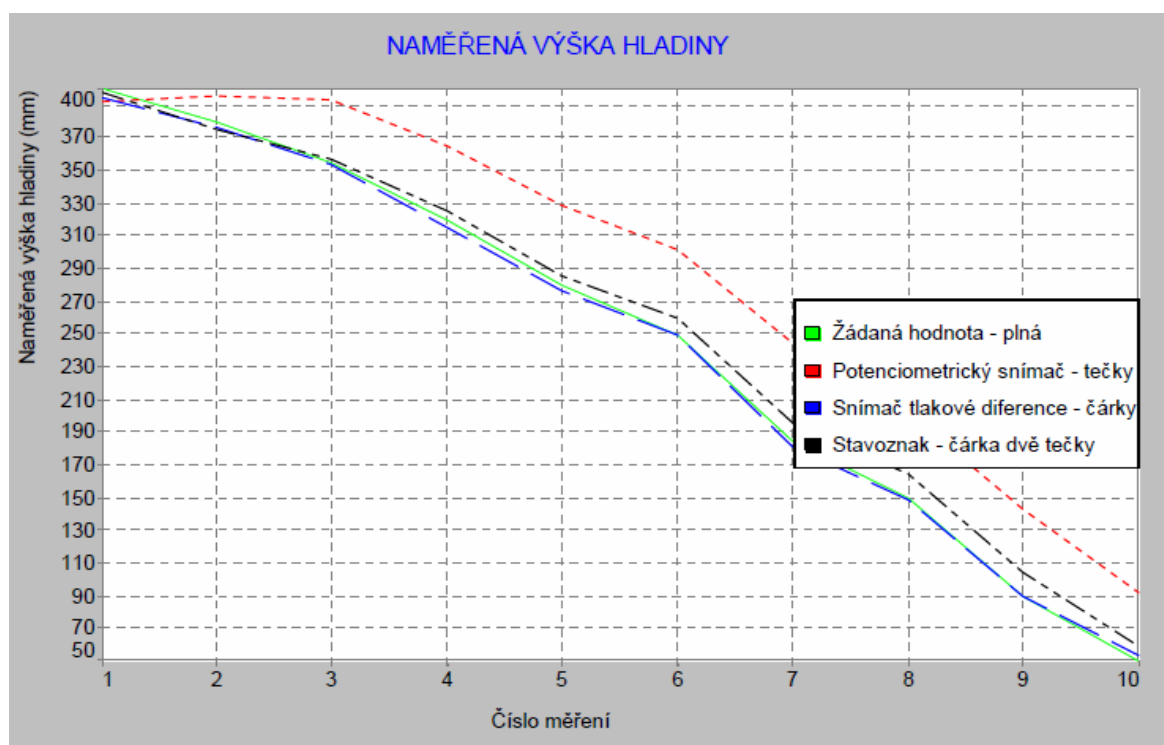
Č. měření	Hodnota – žádaná	Hodnota – potenciometr	Hodnota – tlakový snímač	Hodnota – stavoznak	Jednotka
1.	80	71	80	80	mm
2.	100	91	99	99	mm
3.	120	112	119	120	mm
4.	150	143	152	153	mm
5.	180	171	179	180	mm
6.	200	193	199	200	mm
7.	250	242	249	251	mm
8.	330	324	330	331	mm
9.	380	371	379	380	mm
10.	400	392	399	400	mm



Obr. 34 Graf naměřených hodnot výšky hladiny při napouštění.

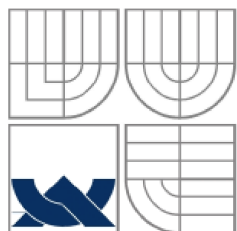
Tab. 13: Tabulka naměřených hodnot výšky hladiny při vypouštění.

Č. měření	Hodnota – žádaná	Hodnota – potenciometr	Hodnota – tlakový snímač	Hodnota – stavoznak	Jednotka
1.	400	393	395	398	mm
2.	380	396	377	375	mm
3.	355	394	353	357	mm
4.	320	365	316	326	mm
5.	280	329	277	286	mm
6.	250	302	249	260	mm
7.	185	245	182	196	mm
8.	150	202	149	165	mm
9.	90	144	90	105	mm
10.	50	93	53	60	mm



Obr. 35 Graf naměřených hodnot výšky hladiny při vypouštění.

6.3 Vypracování měřicí úlohy – vzorový protokol



Vysoké učení technické v Brně



Fakulta strojního inženýrství
Ústav aplikované informatiky a řízení
Technická měření

MĚŘENÍ VÝŠKY HLADINY

(LABORATORNÍ ÚLOHA)

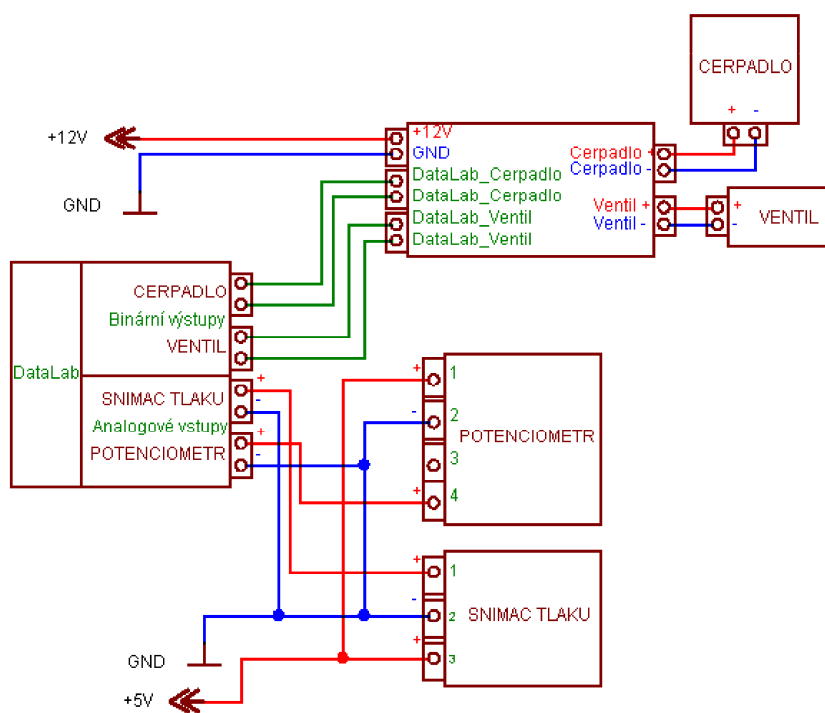
Jméno a příjmení: Michal Pavliš
Studijní skupina: 50/48
Datum: 7.5.2009

Úkol: Úkolem této laboratorní úlohy je seznámení studentů s principy činnosti měření výšky hladiny kapaliny s následným zpracováním hodnot na počítači pomocí dvou metod:

- plovákový stavoznak s následným převedením akční veličiny na elektrický výstup pomocí potenciometrického snímače
- snímač tlakové difference s napěťovým výstupem

Získaná data z obou snímačů jsou následně zpracována a vizualizována pomocí software Control Web 6.

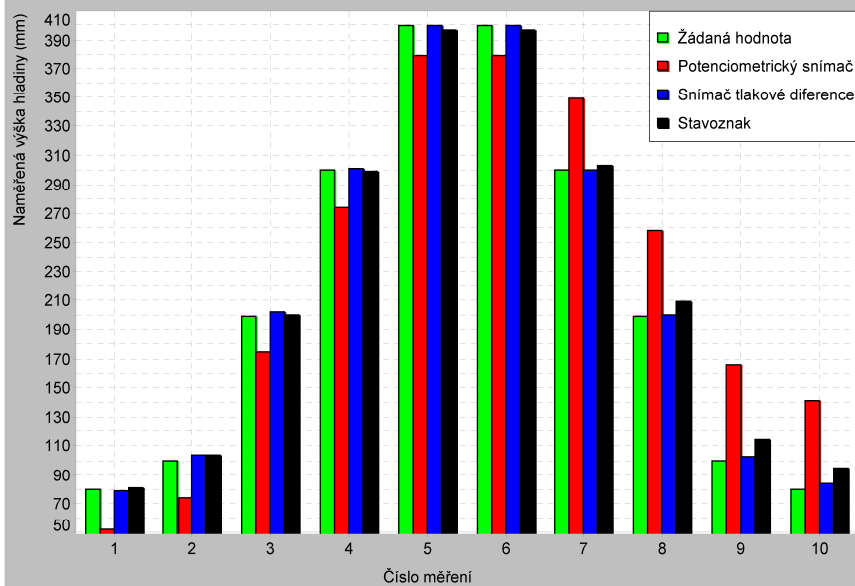
Schéma zapojení pracoviště:

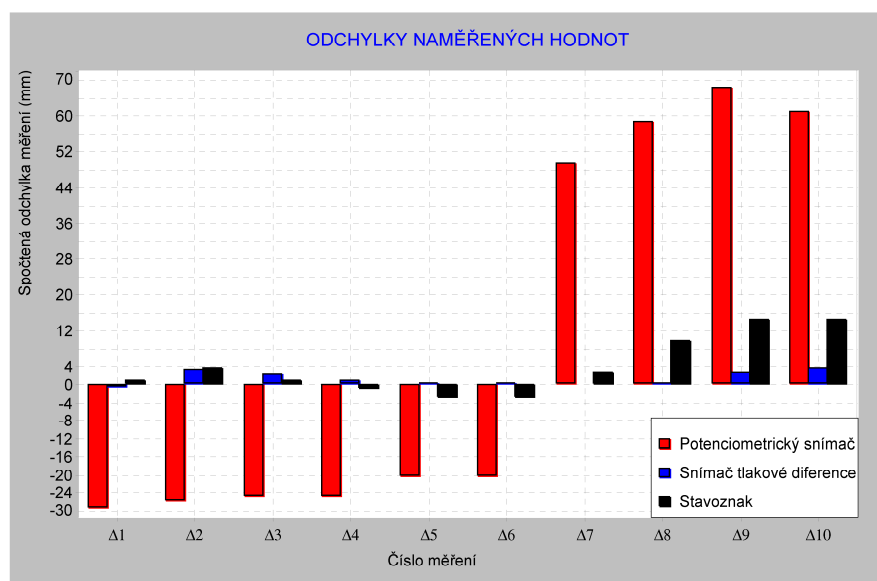
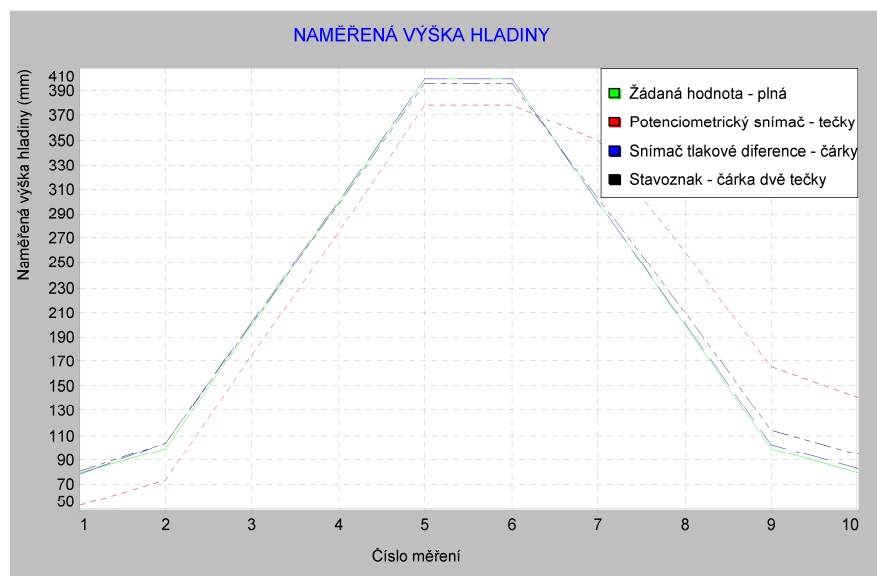


Tabulka a graf naměřených hodnot:

Číslo měření	Žádaná hodnota (mm)	Potenciometrický snímač (mm)	Snímač tlakové difference (mm)	Stavoznak (mm)
1	80	52	79	81
2	100	74	104	104
3	200	175	203	201
4	300	275	301	299
5	400	379	400	397
6	400	379	400	397
7	300	350	300	303
8	200	259	201	210
9	100	167	103	115
10	80	141	84	95
Odhylka od žádané hodnoty				
$\Delta 1$	0	-28	-1	1
$\Delta 2$	0	-26	4	4
$\Delta 3$	0	-25	3	1
$\Delta 4$	0	-25	1	-1
$\Delta 5$	0	-21	0	-3
$\Delta 6$	0	-21	0	-3
$\Delta 7$	0	50	-0	3
$\Delta 8$	0	59	1	10
$\Delta 9$	0	67	3	15
$\Delta 10$	0	61	4	15

NAMĚŘENÁ VÝŠKA HLADINY





Zhodnocení výsledků a závěr měření:

Z naměřených hodnot a jejich vypočtených odchylek měření vyplývá, že potenciometrický snímač působí značné problémy. Tyto problémy jsou dané tvarem plováku.

7 ZÁVĚR

Měření výšky hladiny je jednou z významných a relativně častých veličin, které sledujeme v každodenní technické praxi. Na spolehlivosti snímačů výšky hladiny velmi často závisí i provozuschopnost a bezpečnost celého, mnohdy složitého systému. Jak pokles hladiny pod minimální přípustnou mez, tak i případné přetečení nádrže, mohou být velmi závažnou havárií systému až se zcela zničujícími a fatálními následky. Proto je také zapotřebí věnovat měření výšky hladiny patřičnou pozornost, na což se zaměřila právě tato diplomová práce.

V teoretické části práce je spíše seznámení s moderními i již zaběhlými možnostmi a metodami, které se v posledních letech objevují v oboru měřicí, řídicí a regulační techniky. Podstatné je seznámení s širokou škálou právě těchto metod a principů činností snímačů na měření výšky hladiny. Následně je na to věnována pozornost prostředkům pro sběr dat a jejich úpravu, čímž jsou myšleny měřicí hardware. Dále nemalá část této práce se zabývá měřicími, řídicími a vizualizačními softwary.

Těžištěm práce je především její praktická část. V této realizační části byly zvoleny dva, respektive tři principy měření výšky hladiny. Měření výšky hladiny plovákem, snímačem hydrostatického tlaku a průhledovým stavoznakem patří asi k nejrozšířenějším metodám měření výšky hladiny. Zatímco průhledový stavoznak s milimetrovým měřítkem plní v praktické úloze roli orientačního měřidla a současně v jistých okamžicích i v jistém slova smyslu „etalonu“, další dva principy byly využity i jako prostředky automatizovaného měření s podporou počítače.

Vhodným převodem výchylky hladiny – polohy plováku – event. změny hydrostatického tlaku na elektrický signál je umožněno využití automatizace měření a zpracování naměřených dat. Celá praktická úloha byla navržena tak, aby bylo možno využít vhodnou počítačovou podporu, k čemuž byla zvolena aktuální verze tuzemského softwaru Control Web 6. Pro větší přiblížení dnešní praxi byla zvolena namísto vestavné PCI měřicí karty verze USB karty – z produkce Moravských přístrojů a.s. Zlín – dodavatele Control Webu 6 a použitého systém DataLab IO⁴.

Celá praktická úloha byla koncipována tak, aby co nejlépe simulovala možnou situaci a umožnila současné měření všemi třemi systémy s následným porovnáním výsledků jednotlivých metod.

Samozřejmě, že pro jistou srovnatelnost všech metod bylo potřeba věnovat značný čas samotnému seřízení pracoviště. Zatímco snímač tlakové difference a průhledový stavoznak jsou schopny měřit ode dna nádoby. Plovák kvůli jistému svému ponoru má posunutou hodnotu nulové výšky hladiny až od místa, kdy se zvedne z dosednutí na dno nádoby a skutečně plave na hladině. Z tohoto důvodu byly pro všechny tři metody seřizeny a sjednoceny řadou pokusů hodnoty výchozí nuly měření.

Protože byla práce realizována v laboratorních podmínkách nebyly do ní zahrnuty vlivy, se kterými je možné se setkat v praxi. Nicméně nedostatky modelu jsou mechanická tření potenciometru a statické tření celé soustavy kladek. Dále měření také zkresluje vztlak na plovák kvůli jeho tvaru, u kterého dochází při napouštění nádoby k čerění a probublávání hladiny, což má za následek ulpívání vzduchových bublin na jeho dno, což následně vede k jeho nadlehčení a tím dochází ke zkreslení naměřených hodnot. Důsledkem toho dojde k nepřesnostem měření oproti stavu, kdyby byl plovák nadlehčován pouze vztlakovou silou, jak je předpokládáno při teoretickém návrhu modelu. Nepřesnosti měření měly v některých místech nádoby odchylku mezi žádanou

a skutečnou hladinou v průměru rozdílu až 17 mm. V dnešní době by bylo vhodné pojat chyby měření v podobě nejistot měření, avšak pro laboratorní měření tohoto typu to není možné nejvíce z důvodů konstrukční vady plováku a menších netěsností celé soustavy. Z těchto důvodů jsou řešeny chyby měření pomocí odchylek měření.

I přes tyto skutečnosti se model ukázal jako vhodný pro realizaci zejména v rámci školní laboratorní výuky kde je možné na něm přiblížit problematiku spojenou se sběrem dat a jejich zpracováním z řízené technologie a převedení do počítače s následnou vizualizací celého procesu a možností řízení z jednoho počítače.

Laboratorní pracoviště je určeno především praktické laboratorní výuce z předmětu Technické měření, kde umožní studentům lépe porozumět principům měření výšky hladiny a mimo jiné také porovnat vzájemně výsledky všech tří metod. Realizovaná laboratorní úloha je doplněna i návodem a vzorovým měřením.

Model by bylo možné v budoucnu vylepšit s ohledem na výše zmíněné aspekty například výměnou potenciometru a plováku jiným tvarem. Dobré by bylo i použití dalšího principu měření, například moderními bezdotykovými metodami. Z těchto důvodů zde vyvstává navázání na dosažené výsledky a další možnost rozvoje celého pracoviště.

SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

Obr. 1 Plovákový hladinoměr NIVELCO – NIVOPOINT-MR.[5]	19
Obr. 2 Vibrační hladinoměr Endress+Hauser – Liquiphant S FDL61.[6].....	20
Obr. 3 Hydrostatický snímač tlakové difference Endress+Hauser – Deltabar S FMD76.[6]	22
Obr. 4 Princip snímačů hydrostatického tlaku v atmosférických nádobách.[7]	23
Obr. 5 Hydrostatický snímač tlaku Dinel – HLM-25 a HLM-16.[8]	24
Obr. 6a) Měření s probubláváním v uzavřených nádobách.[9]	25
Obr. 6b) Měření s probubláváním v otevřených nádobách.[9].....	25
Obr. 7 Princip kapacitních hladinoměrů pro nevodivé materiály.[7]	26
Obr. 8 Princip kapacitních hladinoměrů pro vodivé materiály.[7]	26
Obr. 9 Kapacitní hladinoměry Dinel.[8]	27
Obr. 10 Vodivostní hladinoměr Endress+Hauser – Liquipoint T FTW31.[6].....	28
Obr. 11 Princip ultrazvukových hladinoměrů.[7]	29
Obr. 12 Ultrazvukový hladinoměr Endress+Hauser – Prosonic M FMU43.[6].....	30
Obr. 13 Radarový hladinoměr Endress+Hauser – Micropilot S FMR530.[6].....	31
Obr. 14 Zdroj gama záření v hermetickém kontejneru Endress+Hauser – Source container QG100.[6].....	32
Obr. 15 Detektor gama záření Endress+Hauser – Gammapiot M FMG600.[6].....	32
Obr. 16 Logo LabView 8.6.[10]	36
Obr. 17 NI PCI-6251 PCI karta.[11].....	37
Obr. 18 NI USB-6251 USB karta.[11]	38
Obr. 19 Logo Control Web 6.[12]	39
Obr. 20 Jednotka DataLab IO ⁴ (vlevo) a v otevřeném stavu (vpravo).[12].....	40
Obr. 21 DataLab PC ze strany IO panelu (vlevo) a ze strany zdroje (vpravo).[12]	41
Obr. 22 Blokové schéma pracoviště.	44
Obr. 23 Návrh modelu.	45
Obr. 24 Zapájený přípravek.	46
Obr. 25 Přípravek v krabičce.	46
Obr. 26 Čerpadlo.[14]	47
Obr. 27 Solenoidový ventil.[15]	48
Obr. 28 Potenciometr ARIPOT.	50
Obr. 29 Laboratorní stabilizovaný zdroj typ TSZ-75.	51
Obr. 30 Fotografie laboratorního pracoviště.....	52
Obr. 31 Konfigurace měřicí karty pro úlohu měření výšky hladiny.....	53
Obr. 32 Měřicí karta použita pro úlohu měření výšky hladiny.....	53
Obr. 33 Náhled uživatelského rozhraní řídicího software.	54
Obr. 34 Graf naměřených hodnot výšky hladiny při napouštění.	58
Obr. 35 Graf naměřených hodnot výšky hladiny při vypouštění.....	59

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] VDOLEČEK, F. *Technická měření : Text pro podporu výuky v kombinovaném studiu*. [PDF dokument]. 2002. [cit. 10.1. 2009]. Dostupné z: <<http://autnt.fme.vutbr.cz/lab/a1-731a/ETC.pdf>>.
- [2] ĎAĎO, S.; BEJČEK, L.; PLATIL A. *Měření průtoku a výšky hladiny*. 1. vyd. Praha : Nakladatelství BEN – technická literatura, 2005. 448 s. ISBN 80-7300-156-X.
- [3] SLÁDEK, Z.; VDOLEČEK, F. *Technická měření*. 1. vyd. Brno : Nakladatelství VUT, 1992. 220 s. ISBN 80-214-0414-0.
- [4] CHUDÝ, V.; PALENČÁR R.; KUREKOVÁ E.; HALAJ, M. *Meranie technických veličín*. 1. vyd. Bratislava : Vydavateľstvo STU, 1999. 688 s. ISBN 80-227-1275-2.
- [5] NIVELCO. [online]. [cit. 26.3. 2009]. Dostupné z: <<http://www.nivelco.hu/>>.
- [6] ENDRESS+HAUSER. [online]. [cit. 29.3. 2009]. Dostupné z: <<http://www.cz.endress.com/>>.
- [7] DINEL. *Elektronické systémy pro měření výšky hladiny*. [PDF dokument]. 2009. 16 s. [cit. 14.5. 2009]. Dostupné z: <<http://www.dinel.cz/uploads/pdf/090429095934-prospekt-dinel-2009.pdf>>
- [8] DINEL. [online]. [cit. 2.4. 2009]. Dostupné z: <<http://www.dinel.cz/>>.
- [9] KADLEC K. *ODBORNÉ ČASOPISY Automa : Snímače polohy hladiny – principy vlastností a použití (část 1)*. [online]. květen 2005. [cit. 19.3. 2009]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=30469>.
- [10] National Instruments Česká Republika a Slovensko. [online]. [cit. 24.1. 2009]. Dostupné z: <<http://digital.ni.com/worldwide/czech.nsf/main?ReadForm>>.
- [11] National Instruments Corporation. [online]. [26.1 2009]. Dostupné z: <<http://www.ni.com/products/>>.
- [12] Moravské přístroje a.s. [online]. [cit. 26.1. 2009]. Dostupné z: <<http://www.mii.cz/>>.
- [13] FAFÍLEK, P. *Počítačová podpora měření výšky hladiny*. Brno, 2000. 72 s. Diplomová práce na Vysokém učení technickém v Brně na Fakultě strojního inženýrství, Ústavu automatizace a informatiky. Vedoucí diplomové práce Ing. František Vdoleček, CSc.
- [14] SEV Litovel s.r.o. [online]. 2008, [cit. 18.3. 2009]. Dostupné z: <<http://www.sev-litovel.cz/>>.

- [15] REGADA s.r.o. [online]. [cit. 18.3. 2009]. Dostupné z: <<http://www.regada.sk/>>.
- [16] FREESCALE SEMICONDUCTOR. *Data Sheet : Integrated Silicon Pressure Sensor On-Chip Signal Conditioned, Temperature Compensated and Calibrated*. [PDF dokument]. 2007. 18 s. [cit. 12.3. 2009] Dostupné z: <http://www.freescale.com/files/sensors/doc/data_sheet/MPX5010.pdf>.
- [17] KABEŠ, K. *Přesné potenciometry pro automatizaci*. 1. vyd. Praha : Státní nakladatelství technické literatury, 1966. 136 s. ISBN 04-520-66.

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1 – schéma zapojení spínacího přípravku.

Příloha č. 2 – deska plošného spoje spínacího přípravku.

Příloha č. 3 – schéma zapojení napájení modelu.

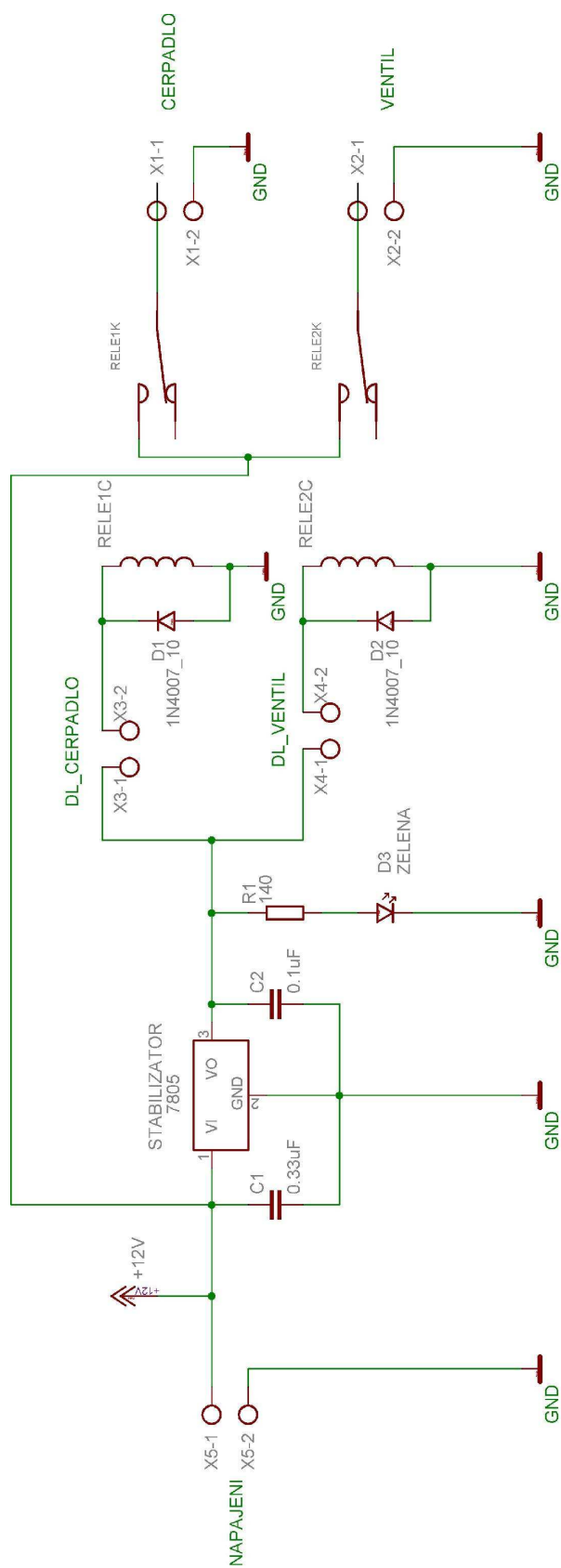
Příloha č. 4 – schéma pouzdra snímače tlakové difference MPX5010DP.

Příloha č. 5 – interface řídicího software.

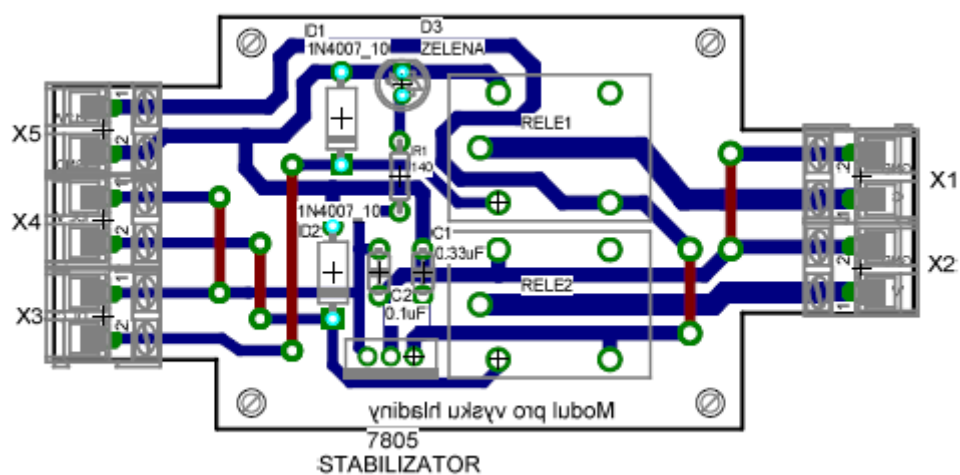
Příloha č. 6 – přiložené CD-R médium, které obsahuje:

- elektronickou verzi této diplomové práce ve formátu PDF,
- zdrojový kód řídicího software.

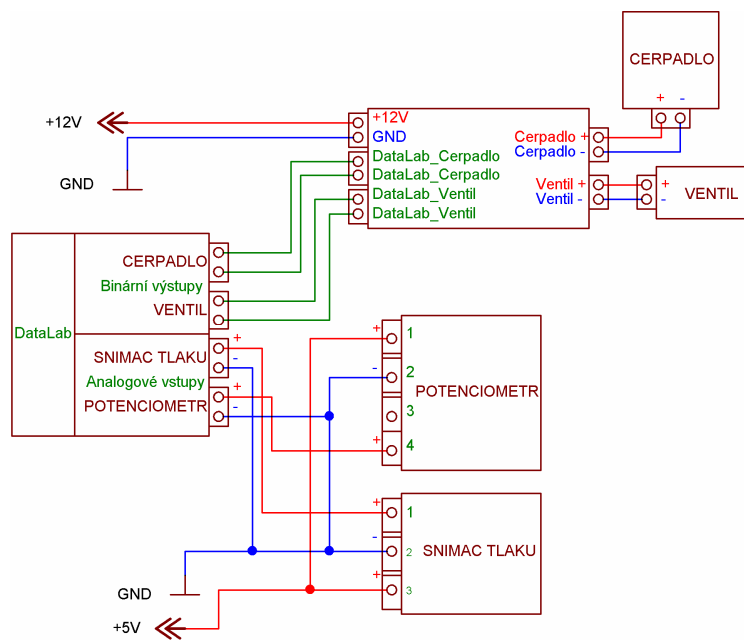
Příloha č. 1 – Schéma zapojení spínacího přípravku



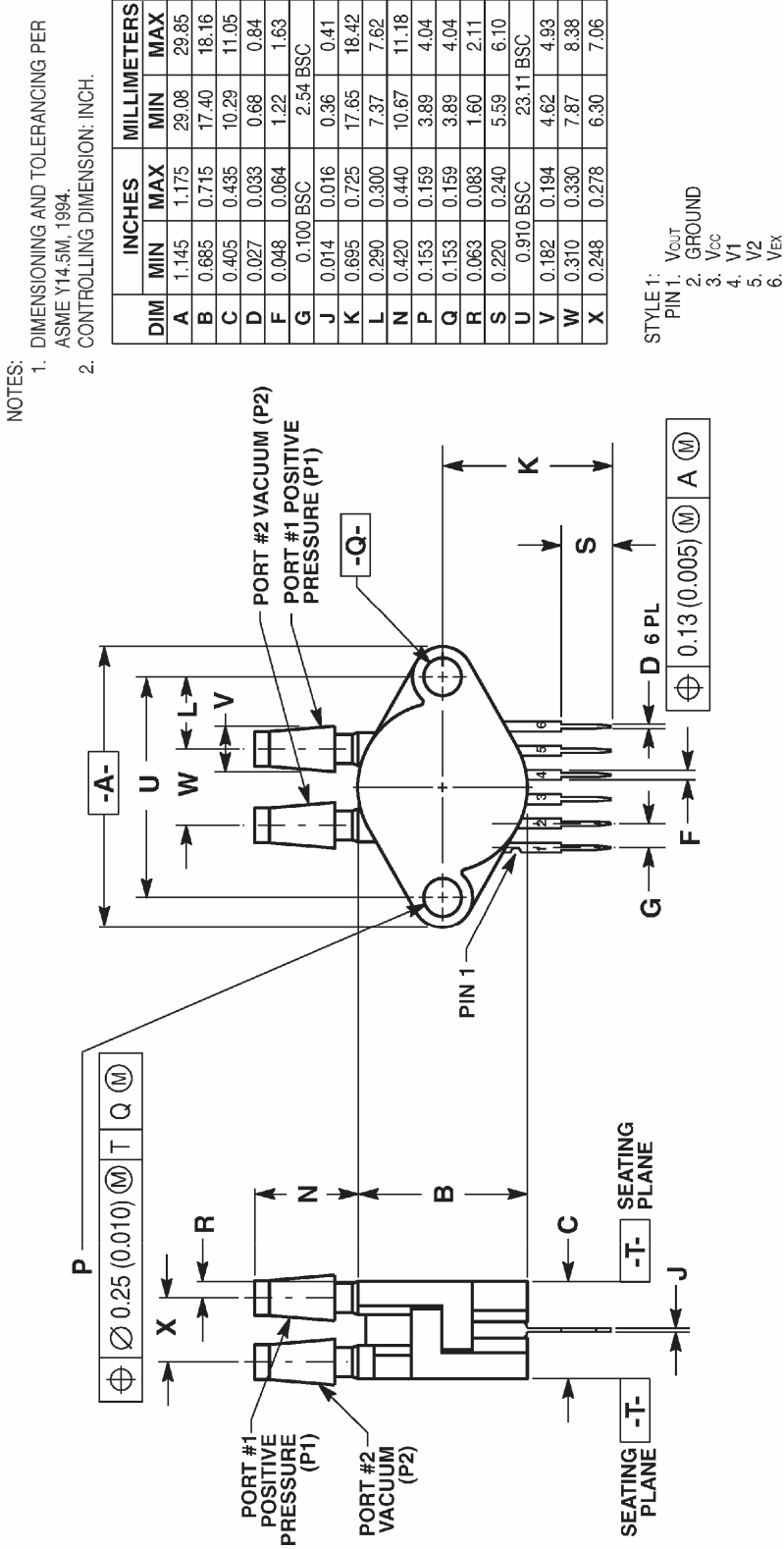
Příloha č. 2 – Deska plošného spoje spínacího přípravku



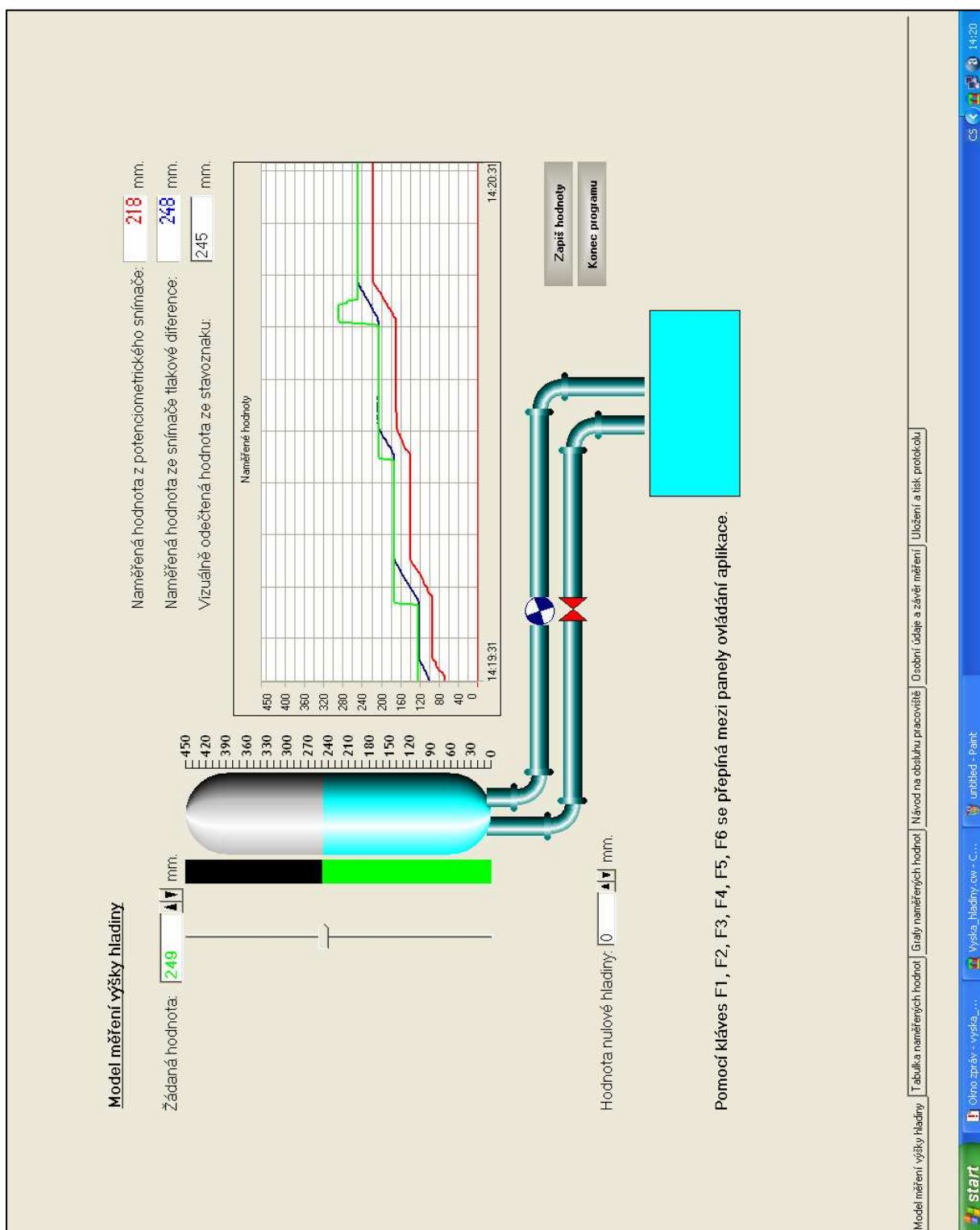
Příloha č. 3 – Schéma zapojení napájení modelu.



Příloha č. 4 – Schéma pouzdra snímače tlakové difference MPX5010DP



Příloha č. 5 – Interface řídicího software

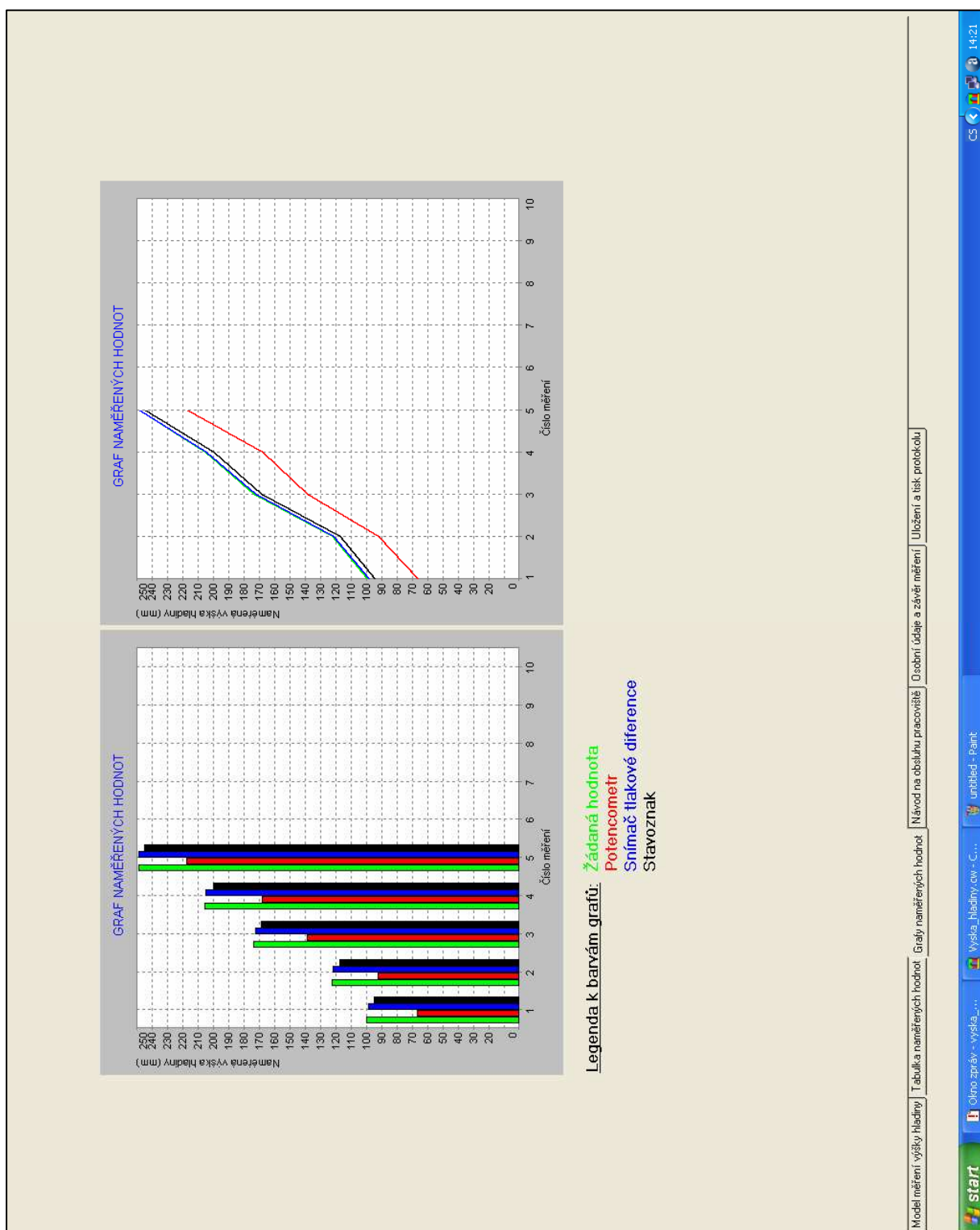


Příloha č. 5 – Interface řídicího software

Tabulka naměřených hodnot

Císlo měření	Žádaná hodnota (mm)	Potencionetrický snímač (mm)	Snímač tlakové difference (mm)	Stavoznak (mm)
1	100	67	99	95
2	123	93	122	118
3	174	139	173	169
4	206	168	206	200
5	249	218	249	245
6				
7				
8				
9				
10				
Odchylka od žádané hodnoty				
Δ1	0	-33	-1	-5
Δ2	0	-30	-1	-5
Δ3	0	-35	-1	-5
Δ4	0	-38	-0	-6
Δ5	0	-31	-0	-4
Δ6	0	0	0	0
Δ7	0	0	0	0
Δ8	0	0	0	0
Δ9	0	0	0	0
Δ10	0	0	0	0

Příloha č. 5 – Interface řídicího software



Příloha č. 5 – Interface řídicího software

Návod na obsluhu pracoviště

1. Zapněte počítač a spusťte aplikaci Control Web 6 - ikona na ploše.
2. V aplikaci Control Web 6, v menu "Soubor - Otevřít" otevřete program "Vyska_hladiny.cw", jehož zástupce se nachází na pracovní ploše počítače.
3. Zapojte konektory pro 5 Vss a 12 Vss ze svorkovnice od elektrických přístrojů, dle schématu zapojení - viz protokol. K napájení použijte daného laboratorního stabilizovaného zdroje napájení.
4. Přivolejte vyúčtujícího, aby vám zkontroloval zapojení, a po jeho odsouhlasení můžete začít měřit.
5. Po spuštění aplikace pomocí ikony "Spustit aplikaci", nebo klávesovou zkratkou "Alt+R" se spustí uživatelské rozhraní řídicího software, kde jsou na obrazovce ovládací tlačítka.
6. Nejprve se musí seřadit tlakový snímač, a to tak, že se to editačního pole "Hodnota nulové hladiny" zaznamená aktuální výška nulové hladiny odečtená ze stavoznaku na válci s kapalinou.
7. Posuvníkem "Žádaná hodnota", načerpejte dané množství kapaliny a po jejím ustálení vizuálně odečtěte ze stavoznaku aktuální výšku hladiny, kterou zapíšete do editačního pole "Vizuálně odečtená hodnota ze stavoznaku".
8. Tlačítkem "Zapiš hodnoty" se automaticky zapíše hodnoty do tabulek protokolu.
9. Po zapsání všech tří naměřených hodnot opět posuvníkem "Žádaná hodnota" načerpejte jiné množství kapaliny a po jejím ustálení opět vizuálně odečtěte ze stavoznaku aktuální výšku hladiny, kterou znovu zapíšete.
10. Tento postup měření opakujte 10× po sobě (5× při napouštění, 5× při vypouštění kapaliny), a to pokaždé pro odlišnou hodnotu výšky hladiny kapaliny.
11. V panelu "Osobní údaje a závěr měření" vyplňte jméno, studijní skupinu a závěr měření. Stiskem tlačítka "Vlož do protokolu" vložte údaje do protokolu.
12. Nakonec v panelu "Uložení a tisk protokolu" tlačítkem "Ulož a tiskni" uložte a vytiskněte protokol o měření. Tlačítkem "Konec programu" ukončíte aplikaci.

Příloha č. 5 – Interface řídicího software

Osobní údaje a závěr měření

Jméno a příjmení: Michal Pavliš

Studijní skupina: ISQ/48

Datum měření: 6.5.2009

Zhodnocení výsledků a závěr měření:

Vložit do protokolu

Konec programu

ZÁVĚR MĚŘENÍ

Model měření výšky hladiny

Tabulka naměřených hodnot

Grafy naměřených hodnot

Návod na obsluhu pracoviště

Osobní údaje a závěr měření

Uložení a tisk protokolu

start

Okno zpráv - vyska...

vyska_hladiny.cw - C...

untitled - Paint

C5

14:23

Příloha č. 5 – Interface řídicího software

