



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV ELEKTROTECHNOLOGIE

DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC TECHNOLOGY

AUTOMATIZOVANÉ PRACOVISTĚ PRO STANOVENÍ TEPLOTNÍHO SOUČiniteLE OBJEMOVÉ ROZTAŽNOSTI KAPALIN

AUTOMATED WORKSTATION FOR VOLUME EXPANSION TEMPERATURE COEFFICIENT
DETERMINATION OF LIQUIDS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jiří Silvestr

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Martin Frk, Ph.D.

BRNO 2016



Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Mikroelektronika a technologie**

Ústav elektrotechnologie

Student: Jiří Silvestr

ID: 125308

Ročník: 3

Akademický rok: 2015/16

NÁZEV TÉMATU:

Automatizované pracoviště pro stanovení teplotního součinitele objemové roztlačnosti kapalin

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se se strukturou a vlastnostmi tuhých a kapalných materiálů, pojednejte o změně jejich vlastností v souvislosti s teplotou a možných aplikacích v technické praxi. Zpracujte přehled diagnostických metod používaných pro stanovení hustoty kapalných a tuhých materiálů. Z ověřených literárních zdrojů a databází vytvořte souhrnnou tabulku hustot materiálů a jejich příslušných teplotních součinitelů délkové či objemové roztlačnosti.

S využitím dostupného laboratorního vybavení ústavu elektrotechnologie navrhnete a realizujete laboratorní pracoviště pro měření hustoty v teplotní závislosti ovládané počítačem. Měřicí proces automatizujte nejen s využitím běžně dostupných softwarových aplikací, ale i pomocí vlastního zdrojového kódu ve vhodném programovém prostředí. Funkčnost pracoviště ověřte na vybraných vzorcích kapalin a tuhých materiálů a získané teplotní závislosti matematicky vyhodnoťte a stanovte z nich teplotní součinitele objemové roztlačnosti.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího práce.

Termín zadání: 8.2.2016

Termín odevzdání: 2.6.2016

Vedoucí práce: Ing. Martin Frk, Ph.D.

Konzultant bakalářské práce:

doc. Ing. Jiří Háze, Ph.D., předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá stanovení objemové roztažnosti materiálu materiálů. Měření hustoty tuhých a kapalných materiálů, ze kterých je vypracován přehled.

Aplikace objemové a délkové roztažnosti v praxi vytvoření tabulky hustot materiálu a jejich příslušných součinitelů objemové či délkové roztažnosti.

Poslední část se zaměřuje na praktické měření jednou z uvedených metod a jejich automatizaci.

KLÍČOVÁ SLOVA

Hustota, Objem, Teplotní závislost

ABSTRACT

This Bachelor's thesis deals with the determination of material volume expansion materials. Measurement of the density of solid and liquid materials from which it is drawn outline .

Application volume and elongation in practice create a table of material densities and their respective coefficients of linear expansion or volume .

The last part is focused on the practical measurement of one of these methods and their automation

KEYWORDS

Density, volume, The temperature dependence

SILVESTR, J. Automatizované pracoviště pro stanovení teplotního součinitele objemové roztažnosti kapalin. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2016. 46 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Martin Frk, Ph.D..

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „AUTOMATIZOVANÉ PRACOVÍŠTĚ PRO STANOVENÍ TEPLOTNÍHO SOUČinitele OBJEMOVÉ ROZTAŽNOSTI KAPALIN“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne

.....

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Martinu Frkovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce a všem, kteří se podíleli na realizaci této práce.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

OBSAH

ABSTRAKT	3
KLÍČOVÁ SLOVA.....	3
ABSTRACT	3
KEYWORDS	3
Úvod	8
1 Základní rozdělení metod.....	9
1.1 Metody přímé.....	9
1.2 Metody nepřímé.....	9
1.3 Hydrostatická metoda	10
1.4 Metoda Mohrových vah	11
1.5 Metoda měření hustoměrem (areometr)	12
1.6 Metoda spojitých nádob	14
1.7 Metoda měření pyknometrem.....	14
1.8 Měření pomocí dilatometru	16
1.9 Váhový dilatometr	16
1.10 Dilatometr teploměrného typu.....	17
1.11 Metoda vibračního hustoměru	18
1.12 Metoda plovákového hustoměru s magnetickým závěsem plováku	20
1.13 Metoda napjaté struny kmitající v měřené kapalině	22
1.14 Kalorimetrická metoda	23
1.15 Metoda měření pomocí indexu lomu.....	24
1.16 Metoda rázové vlny	24
2 Aplikace objemové a délkové roztažnosti v praxi	25
2.1 Využití objemové a délkové roztažnosti v praxi	25
2.2 Nežádoucí efekty objemové a délkové roztažnosti.....	26
3 Tabulka hustot materiálů a jejich příslušných teplotních součinitelů objemové či délkové roztažnosti	27
4 Automatizace pomocí počítače	28
4.1 Použité přístroje	28
4.2 Schéma zapojení.....	29
4.3 Princip automatizace	29

4.4	Nastavení Programů	30
4.5	Postup měření	37
4.6	Praktické měření.....	38
4.7	Stanovení teplotního součinitele objemové roztažnosti.....	41
5	Závěr	42
	SEZNAM OBRÁZKŮ	43
	SEZNAM TABULEK	44
	LITERATURA.....	45

Úvod

Objemová roztažnost materiálu je významnou vlastností reálných látek. Na její hodnoty má především vliv o jakou látku se jedná. Objemová roztažnost je úzce spjata s teplotou. Znalost objemové roztažnosti je důležitá v mnoha odvětvích, například při stavbě mostu, pokládání kolejí, měření teploty, kdy se objemové roztažnosti využívá jak u kapalných tak pevných látek. U pevných látek se využívá i k ochraně lidí a věcí před účinky elektrického proudu, kde se díky různé objemové roztažnosti odpojí obvod, čímž chrání před účinky proudu, který může být životu nebezpečný.

Objemová roztažnost je jev, kdy odebrání či dodání tepla kapalině (tělesu) změni objem předmětné kapaliny. Většina látek při dodání tepla nabývá na objemu, což znamená, že se jejich molekuly pohybují rychleji a jejich rovnovážné polohy jsou dále od sebe a to má za následek zmenšení hustoty, jelikož hmotnost zůstává zachována.

1 Základní rozdělení metod

Metody měření hustoty lze rozdělit na metody přímé a nepřímé.

1.1 Metody přímé

Dané metody spočívají v přímém určení objemu systému, v němž je přítomno přesně definované množství látky (látkové množství, hmotnost) při určité teplotě a tlaku. Jedná se o metody nejjednodušší. Vychází z definičního vztahu (1), kdy hmotnost tělesa (m) určíme zvážením a objem (V) vypočítáme podle jeho rozměrů tj.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

Při přesném měření je nutné provádět korekci na vakuum, uvažujeme zde o vztlaku vzduchu. Lze je klasifikovat několika způsoby. Tradičně je dělíme podle měřených veličin. Dilatometr = přístroj pro měření prodloužení, piezometr = přístroj pro měření stlačení.

1.2 Metody nepřímé

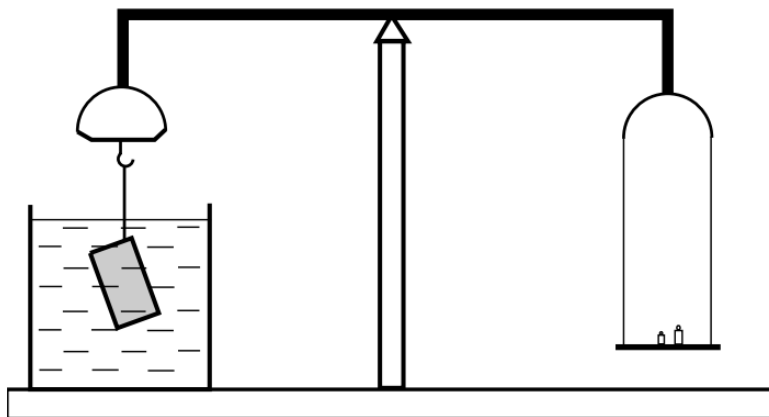
Zakládají se na vlastnostech či jevech, které závisí na hustotě měřeného systému.

Např.:

- 1) vibrační hustoměr funguje na principu mechanických kmitů pružné trubice, ve které se nachází měřená tekutina
- 2) vztlakové metody
- 3) rychlost šíření zvuku v tekutině
- 4) kalorimetrické metody
- 5) ostatní metody např.: index lomu

1.3 Hydrostatická metoda

Je používána k přesnému určení hustoty pevné látky, lze ji použít i na objekty nepravidelného tvaru nebo kapaliny. K vážení se používají analistické váhy.



obr 1-1 Hydrostatická metoda

V prvním kroku se zjišťuje hmotnost tělesa, které označí m_v

Pro rovnováhu na vzduchu platí vztah

$$V_g(\rho - \rho_v) = m_v g \left(1 - \frac{\rho_v}{\rho_z}\right) \quad (2)$$

Kde je ρ = hustota tělesa, V = objem tělesa, ρ_v = hustota vzduchu, ρ_z = hustota závaží

V druhém kroku se těleso úplně ponoří do kapaliny známé hustoty ρ_k . Nejčastěji destilované vody.

Těleso vyvážíme závažím, které má hmotnost m_k .

Podmínka rovnováhy se změní na vztah.

$$V_g(\rho - \rho_k) = m_k g \left(1 - \frac{\rho_v}{\rho_z}\right) \quad (3)$$

Po úpravě rovnic dostaneme pro hustotu

$$\rho = \frac{\rho_k m_v - \rho_v m_k}{m_v - m_k} \quad (4)$$

Díky $p_k \gg p_v$ lze vztah upravit na

$$\rho = \rho_k \frac{m_v}{m_v - m_k} \quad (5)$$

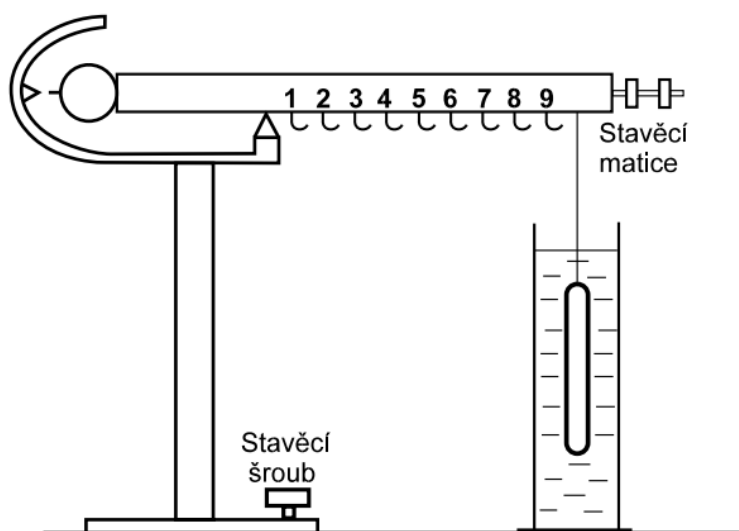
Výhody a nevýhody hydrostatické metody oproti přímé metodě:

- 1) Hydrostatická metoda je složitější než přímá.
- 2) U hydrostatické metody můžeme použít různé kapaliny, důležité je, aby s měřeným materiálem nezačala reagovat. U vody si musíme dávat pozor na tvorbu bublinek, které se vytváří kolem předmětu.
- 3) Hydrostatickou metodou lze měřit i kapaliny, nejdříve ponoříme těleso do kapaliny známé hustoty a poté do měřené.
- 4) Hydrostatická metoda má výhodu, že u nepravidelných tvarů předmětu odpadá složitý výpočet objemu.

1.4 Metoda Mohrových vah

Vychází také z Archimedova zákona. Jsou to nerovnoramenné váhy, na jejich rameni je zavěšené měřicí těleso (viz obr. 1.2). Rameno je rozděleno na 10 dílů, kde jsou připravené háčky na závaží k vyvážení.

Váhy se vyváží na vzduchu pomocí stavěcího šroubu, dále se vyrovnají pomocí stavěcí matice. Jakmile je to hotovo ponoří se těleso do kapaliny, vyváží se pomocí tří závaží k tomu určených (přesnost může být až 10^{-3} g/cm^3).



obr 1-2 Mohrovy váhy

Pro hustotu kapaliny platí rovnice.

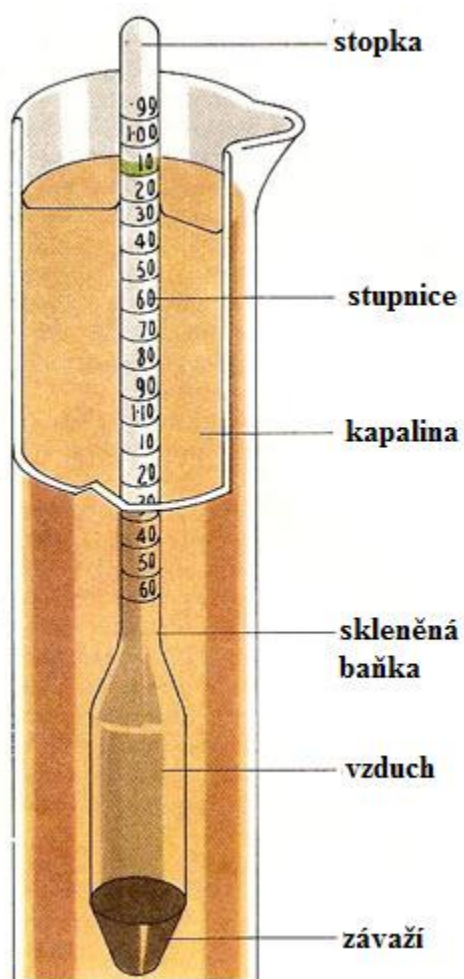
$$\rho = (n_1 + n_2 + n_3) \quad (6)$$

Kde je $n_1 = 100 \times$ poloha nejtěžšího závaží, $n_2 = 20 \times$ poloha středního závaží, $n_3 = 2 \times$ poloha nejlehčího závaží

1.5 Metoda měření hustoměrem (areometr)

Areometr je těleso tvaru baňky se stopkou určené k plování ve svislé poloze (viz obr. 1.3). Na stopce je stupnice pro zjištění hustoty, bývá zde i teploměr (hustota je udávána v kg m^{-3} nebo g cm^{-3}).

Velká nevýhoda je, že se pro měření musí použít velké množství měřené kapaliny.



obr 1-4 Hustoměr s popisem



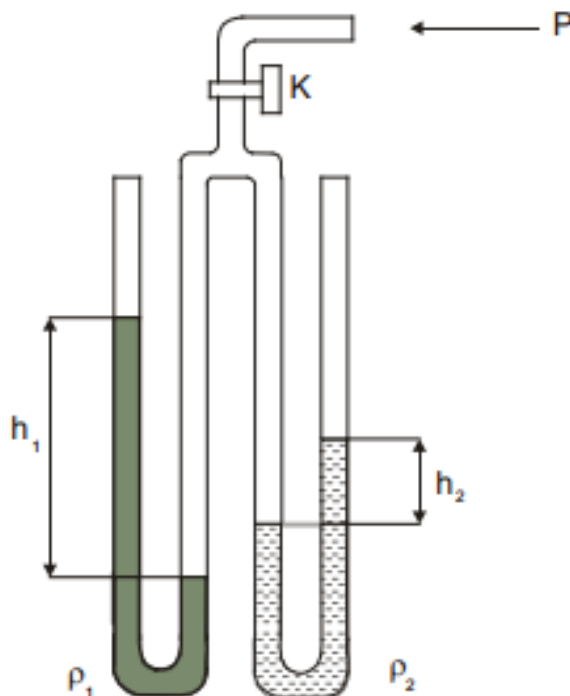
obr 1-3 Reálný hustoměr

Využívá Archimedova zákona, který říká, že objem části, co se ponoří, je závislý na hustotě kapaliny (tíha vytlačené kapaliny je rovna tíze, kterou působí hustoměr), do které je ponořen. Tuto hustotu odečteme ze stupnice, která je na hustoměru.

Hustoměry jsou rychlé, ale méně přesné.

1.6 Metoda spojitých nádob

Srovnávací metoda, u které na základě hydrostatického tlaku je srovnána hustota kapaliny, kterou neznáme a kterou známe. Do trubic (viz obr. 1.5) nejdříve je nalita jedna kapalina a poté druhá. Dokud je kohout otevřen, hladiny jsou ve stejné výši. Ovšem pokud vyvoláme přetlak v části s kohoutem, hladiny budou v rozdílných výškách. Po změření rozdílného h lze přetlak vyjádřit jako $p = h_1\rho_1g = h_2\rho_2g$, po úpravě vznikne vzorec $\rho_2 = \frac{h_1}{h_2}\rho_1$.



obr 1-5 Reálný hustoměr

1.7 Metoda měření pyknometrem

Používá se pro určení neznámé hustoty p látky na základě porovnání stejného objemu dvou kapalin - známé a měřené, metoda je velmi přesná.

U této metody se nejdříve zváží prázdný pyknometr (musí být vysušený) a poté se naplní měřenou kapalinou a uzavře vtlačení kapilární zátky (když je zazátkovaný,

vždy pojme stejný snadno opakovatelný objem kapaliny, přebytečný objem z pyknometru odteče). Je velmi důležité, aby uvnitř nebyly žádné vzduchové bubliny.

Teplota by měla být při měření stejná. Poté pyknometr zvážíme a hustotu vypočítáme podle rovnice:

$$\rho^t = m - m_0 / V_t \quad (7)$$

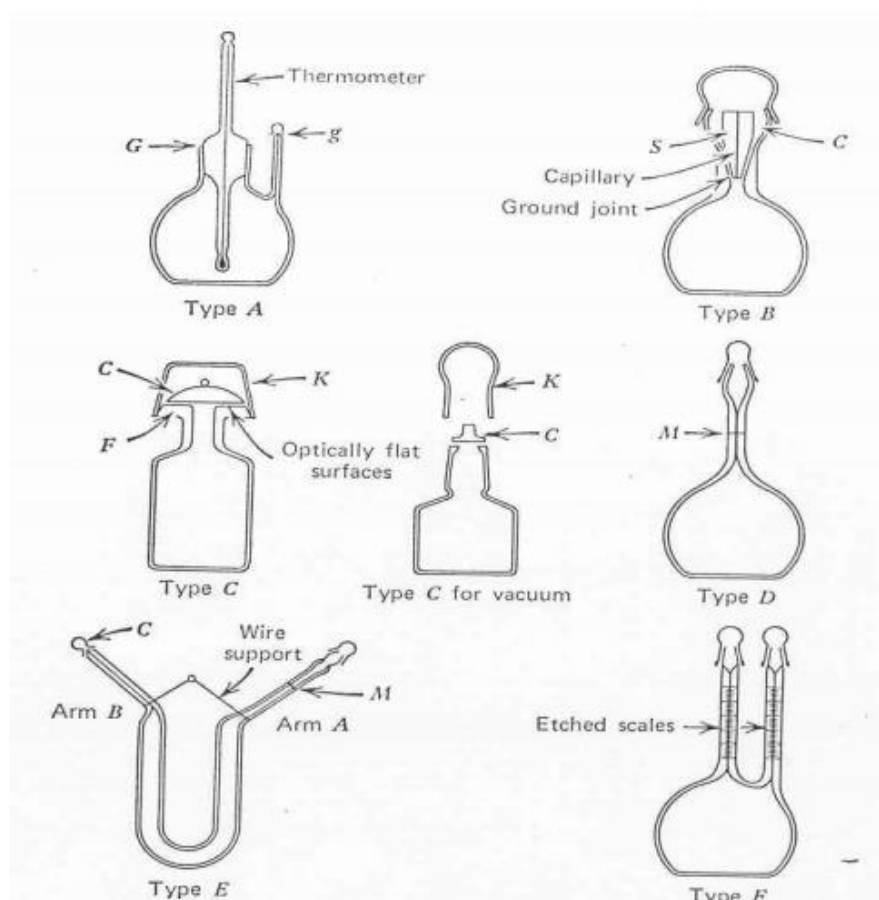
Kde m = hmotnost pyknometru se zkoumanou látkou, m_0 = hmotnost prázdného pyknometru, V_t = objem pyknometru při teplotě, která je stejná po celou dobu měření



obr 1-6 Pyknometr



obr 1-7 Spojité nádoby



obr 1-8 Pycnometr další varianty

1.8 Měření pomocí dilatometru

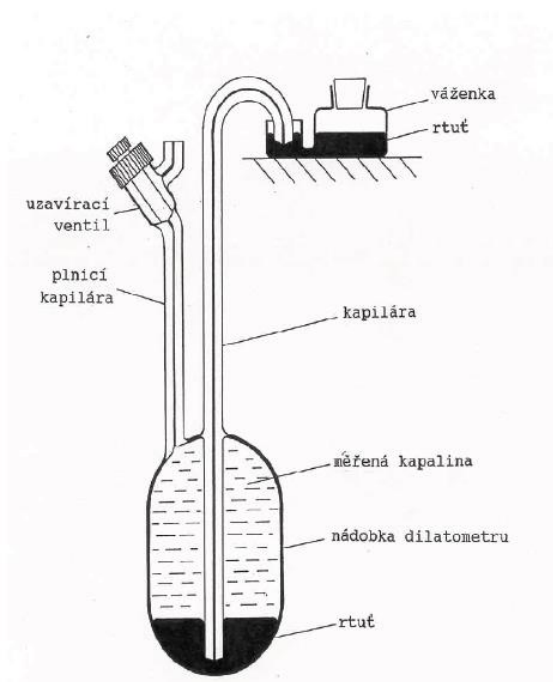
Dilatometry měří změnu hustoty kapalin s teplotou i změny objemových měření. Měří objem určitého konstantního množství při více teplotách. Lze na nich tedy přímo proměřit závislost hustoty či objemu na teplotě v určeném rozmezí, u malých kroků lze vypočítat přímo koeficient teplotní roztažnosti.

$$a_p = \frac{1}{V} * \frac{\Delta V}{\Delta T} \quad (8)$$

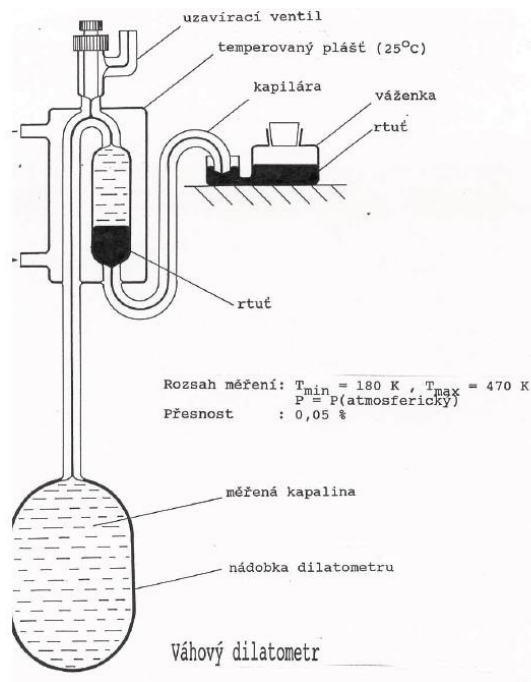
1.9 Váhový dilatometr

Kapalina, kterou chceme, vtahuje nebo vytlačuje jinou kapalinu (např.: rtuť). Tato kapalina by měla být s měřenou nejlépe nemísitelná. Množství vtáhnuté či vytlačené kapaliny určíme zvážením. Hmotnost měřené kapaliny se zjistí zvážením

plného dilatometru. U tohoto dilatometru se měří nárůst či pokles hmotnosti podle vytlačení či vtažení kapaliny (viz obr. 1-9). Pro přesná měření se musí brát v úvahu stlačitelnost kapaliny.



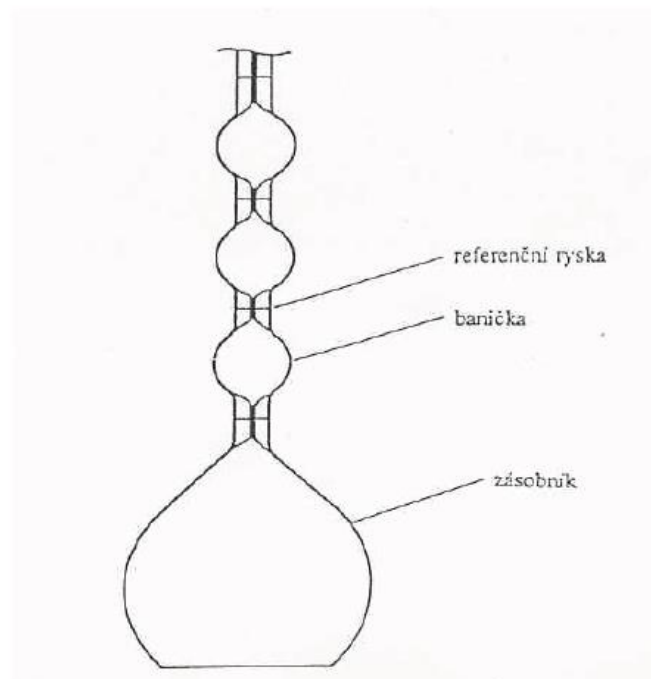
obr 1-9 Váhový dilatometr



obr 1-10 Váhový dilatometr

1.10 Dilatometr teploměrného typu

U těchto dilatometrů se sledují změny polohy fázového rozhraní kapaliny a vzduchu. Může měřit jen malý teplotní interval, lze ho však rozšířit použitím trubice místo kapiláry to však sníží přesnost, nebo přidáním baněk o známém objemu. U tohoto rozšíření je přesnost zachována (viz obr. 1.11).

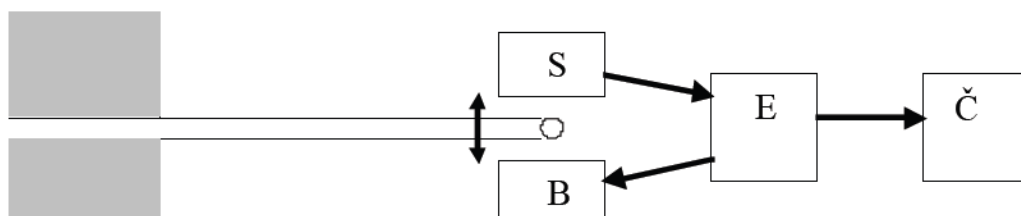


obr 1-11 Dilatometr teploměrného typu

1.11 Metoda vibračního hustoměru

Tato metoda je založena na měření periody kmitu trubice, ve které máme měřenou kapalinu či plyn.

Trubice je tvaru U nebo V, její frekvence je funkcí hmotnosti trubice, tedy hustoty tekutiny, která se nachází uvnitř. Mechanické kmity se převádějí na elektrické a jsou počítány čítačem (viz obr. 1.12).



obr 1-12 Schéma vibračního hustoměru

Kde S = snímač mechanických kmitů, B = budič kmitů, E = obvod pro zpracování signálu, Č = čítač kmitů

Při harmonických kmitech lze říci, že hustota tekutiny je rovna.

$$\rho = A\tau^2 + B \quad (9)$$

Kde τ = perioda kmitů, A, B jsou parametry, které se určují změřením periody alespoň dvou kapalin o známé hustotě.

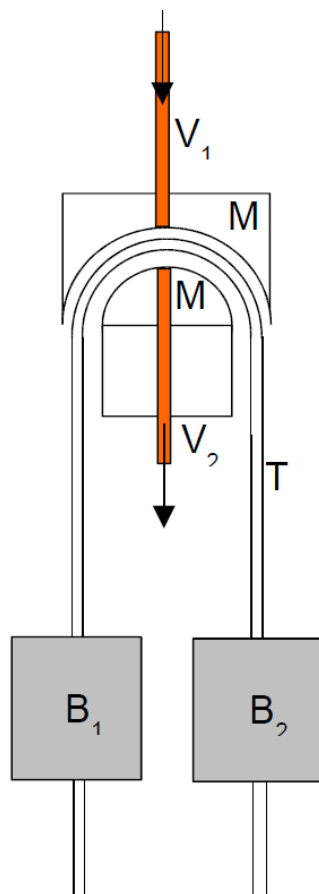
Výhody metody:

- 1) vysoká přesnost
- 2) výstup v podobě signálu, který jde dále lépe zpracovat
- 3) nízká spotřeba měřeného materiálu
- 4) možnost měření v průtoku
- 5) snadná obsluha
- 6) snadná zaměnitelnost kontaktu materiálu s okolím

Nevýhodou je vysoká cena.

Možná modifikace, kde je snímání mechanických kmitů převedeno na světelný paprsek. Tento paprsek se dále převádí na elektrický signál (viz obr. 1.13) K buzení se používá permanentní magnet umístěný mezi kovové bloky B1 a B2, do kterých je přiváděn elektrický budící signál, který vytvoří sílu působící na trubici.

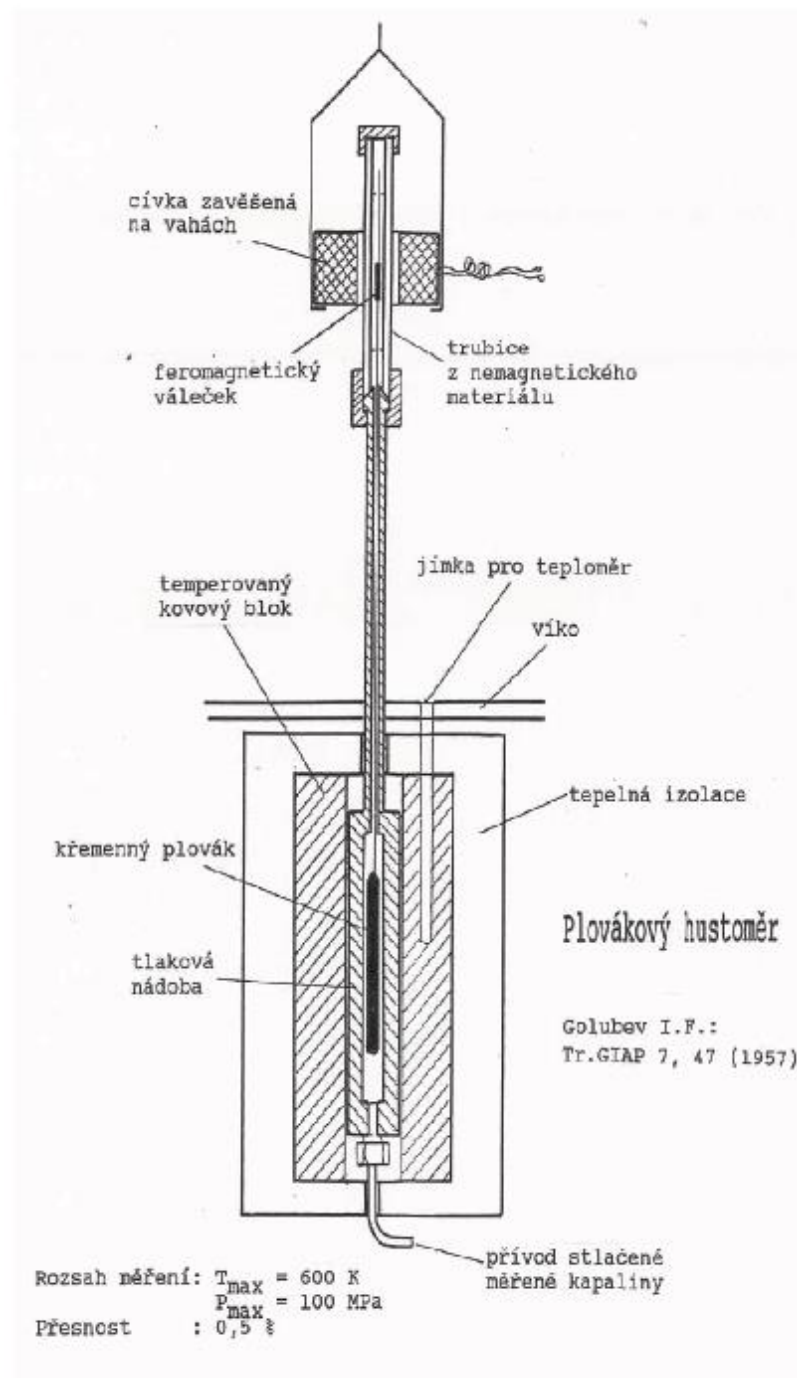
Výhoda je, že trubice není zatížena dalšími přídavnými prvky, což má vliv na citlivost přístroje, měření je plně automatizované.



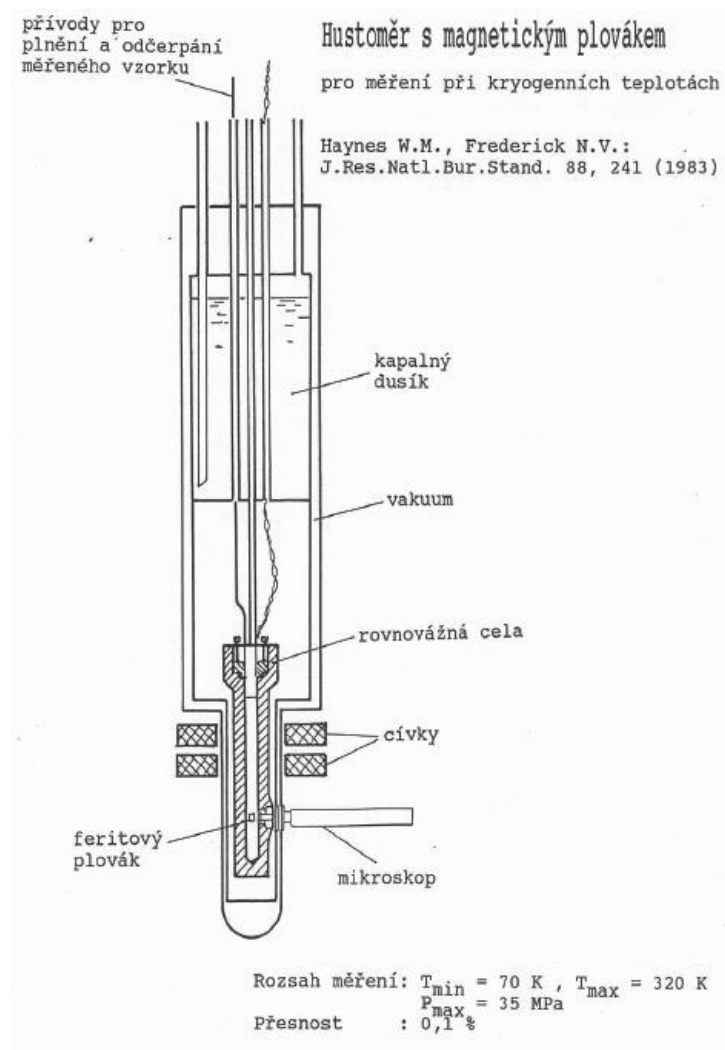
obr 1-13 Vibrační hustoměr s optickým převodem

1.12 Metoda plovákového hustoměru s magnetickým závěsem plováku

Vznikla kvůli potřebě oddělit prostor měřené kapaliny od okolí. Soustava obsahuje permanentní či feromagnetické tělísko, na které působí magnetická síla elektromagnetu. Proud elektromagnetu je regulován tak, že soustava plováku s tělískem uvnitř se vznáší. Síla působící na plovák bude úměrná síle elektromagnetu, který ho drží.



obr 1-14 Plovákový hustoměr Golubeva

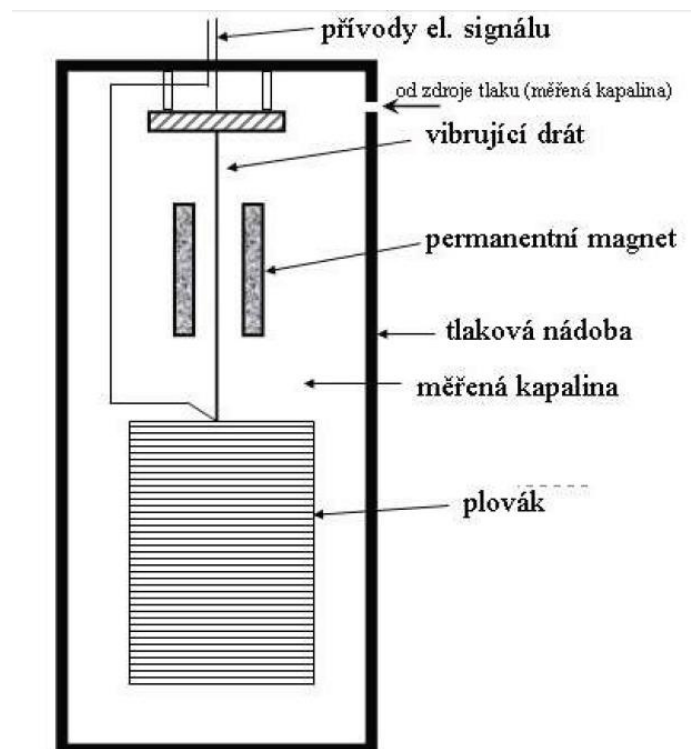


obr 1-15 Plovákový hustoměr k měření nasycené kapaliny

1.13 Metoda napjaté struny kmitající v měřené kapalině

Na strunu pověsíme plovák, který se rozkmitá el. signálem, měřena je jeho rezonanční křivka.

U zapojení (viz obr. 1.16) je napnutí drátu dáno tíhou plováku a vztlakovou silou měřené kapaliny (vztlaková síla se odvíjí od hustoty). Z rezonanční křivky lze též určit viskozitu materiálu, ta ovlivňuje, v jaké míře bude tlumení vibrace drátu.

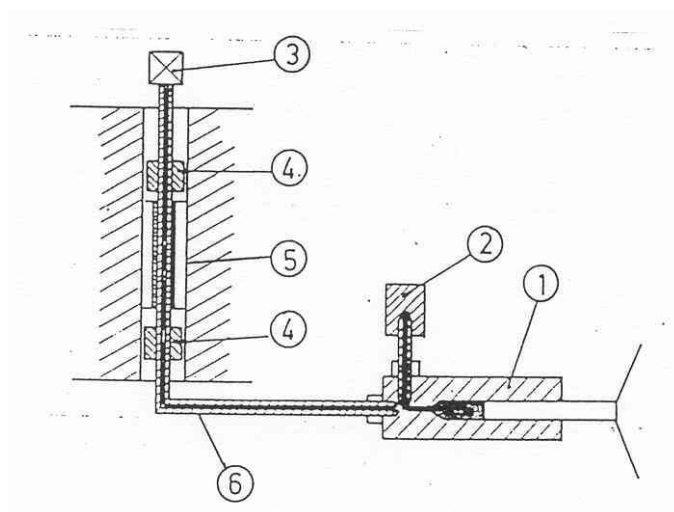


obr 1-16 Hustoměr s vibrující strunou

1.14 Kalorimetrická metoda

V této metodě je měreno teplo, které po zvýšení tlaku soustava odevzdá či odejme kvůli vyrovnání teploty před a po stlačení. Pokud známe objem vzorku, můžeme zjistit koeficient roztažnosti $\alpha_p = \frac{1}{V} * \frac{\partial V}{\partial T}$.

Zde pomocí integrace, z námi naměřených dat v jedné oblasti T a p, můžeme vyhodnotit celou plochu $p(T, p)$. Schématické znázornění piezotermální metody viz obr. 1.17



obr 1-17 Uspořádání piezotermální

- 1 – vysokotlaká pumpa
- 2 – tlakoměr
- 3 – uzávěr
- 4 – měděné výměníky tepla
- 5 – baterie termočlánků
- 6 – vysokotlaké potrubí

1.15 Metoda měření pomocí indexu lomu

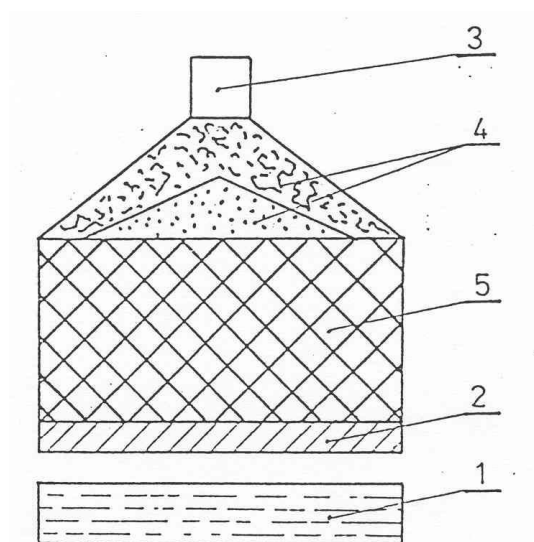
U této metody lze pomocí změření závislosti na indexu lomu, teploty a tlaku získat hustotu. Metoda je poměrně málo přesná (kolem 1-2%).

1.16 Metoda rázové vlny

Tuto metodu uvádím jen pro zajímavost.

Do kapaliny se vstřelí planární projektil, opticky se sleduje (nejčastěji kamerou) průchod rázové vlny a pohyb za čelem rázové vlny. Výpočtem lze zjistit tlak a stlačení.

- 1 – měřený vzorek
- 2 – planární projektil
- 3 – roznětka
- 4 – speciálně tvarovaná výbušnina
- 5 – válec hlavní výbušniny



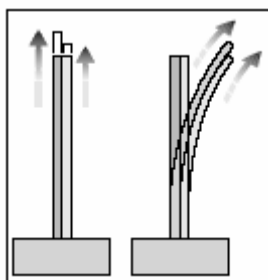
obr 1-18 Hustoměr k měření pomocí rázové vlny

2 Aplikace objemové a délkové roztažnosti v praxi

V praxi se délková i objemová roztažnost hojně využívá, je však i nechtěným jevem, se kterým se v některých odvětvích musí počítat.

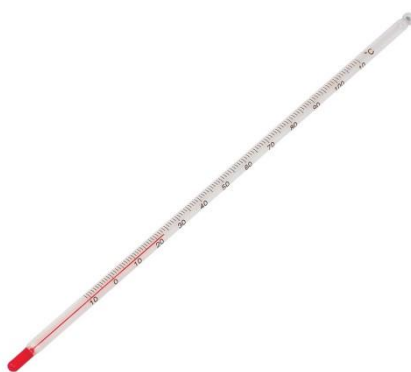
2.1 Využití objemové a délkové roztažnosti v praxi

Délková roztažnost se využívá v mnoha odvětvích například v elektrotechnice je to bimetal neboli dvojkov. Bimetal je pásek ze dvou kovů, které mají různou tepelnou roztažnost viz obr. 2.1. Kovy jsou k sobě spojeny plošným svařením, nebo slisováním. Při ohřívání nebo zchlazení bimetalu se kovy roztahují či stahují ale každý o jinou délku, to způsobí prohnutí bimetalu na stranu. Bimetal se využívá jako Elektromechanický termostat, teploměr, časovač, termostatický ventil, atd.



obr 2-1 Bimetal

Objemové roztažnosti se využívá například v kapalinovém teploměru, který využívá rozpínání kapaliny jejíž hladinu můžeme sledovat v tenké skleněné trubičce. Nejčastější kapalinou je rtuť, kterou můžeme použít pro měření vyšších teplot a nebo obarvený líh, který se hodí i pro nižší teploty.



obr 2-2 Kapalinový teploměr

2.2 Nežádoucí efekty objemové a délkové roztažnosti

Objemová nebo délková roztažnost se v určitých situacích může stát nežádoucím jevem například při stavbě mostů kde se železná konstrukce prodlužuje nebo zkracuje, následkem toho se může poškodit a proto musí konstruktéři vymýšlet protiopatření, jako je umístění konstrukce na ocelové válce které prodloužení nebo zkrácení kompenzují. Dalšími příklady jsou koleje, potrubí nebo nádrže na vodu.

3 Tabulka hustot materiálů a jejich příslušných teplotních součinitelů objemové či délkové roztažnosti

Vypracovaná tabulka hustot materiálů a jejich příslušných teplotních součinitelů objemové či délkové roztažnosti pro různé materiály.

Tab. 3-1 Hustota materiálů a jejich příslušných teplotních součinitelů objemové či délkové roztažnosti

Látka	ρ [kg. m ⁻³]	β [10 ⁻³ K ⁻¹]	Látka	ρ [kg. m ⁻³]	β [10 ⁻³ K ⁻¹]
Antimon	6690	0,011	Etanol	789,3	1,1
Arsen	5720	0,005	Rtuť	13579	0,18
Bor	2340	0,008	Aceton	789,9	1,43
Cesium	1870	0,097	Kyselina octová	1049	1,07
Cín	7280	0,027	Petrolej	760-860	1
Draslík	862	0,083	Zlato	19290	0,014
Fosfor	1820	0,125	Železo	7860	0,012
Galium	5900	0,018	Voda	998	0,21
Hliník	2700	0,024	Titan	4530	0,009
Hořčík	1740	0,026	Vanad	6000	0,008
Chrom	7100	0,008	Vápník	1540	0,025
Iridium	22500	0,006	Wolfram	19300	0,004
Jod	4930	0,93	Zinek	7130	0,029
Kadmium	8640	0,03	Platina	21450	0,009
Kobalt	8800	0,012	Rhodium	12400	0,009
Křemík	2330	0,002	Rubidium	1520	0,09
Lithium	534	0,056	Selen	4400	0,037
Mangan	7300	0,023	Sodík	971	0,072
Měď	8930	0,017	Stříbro	10500	0,019
Molybden	10200	0,005	Tantal	16600	0,006
Nikl	8900	0,013			
Olovo	11340	0,029			
Osmium	22480	0,006			
Palladium	12000	0,012			

4 Automatizace pomocí počítače

4.1 Použité přístroje

Reálný experiment využíval Analytické váhy Radwag XA 310/X k měření hmotnosti



obr 4-1 Analytické váhy Radwag XA 310/X

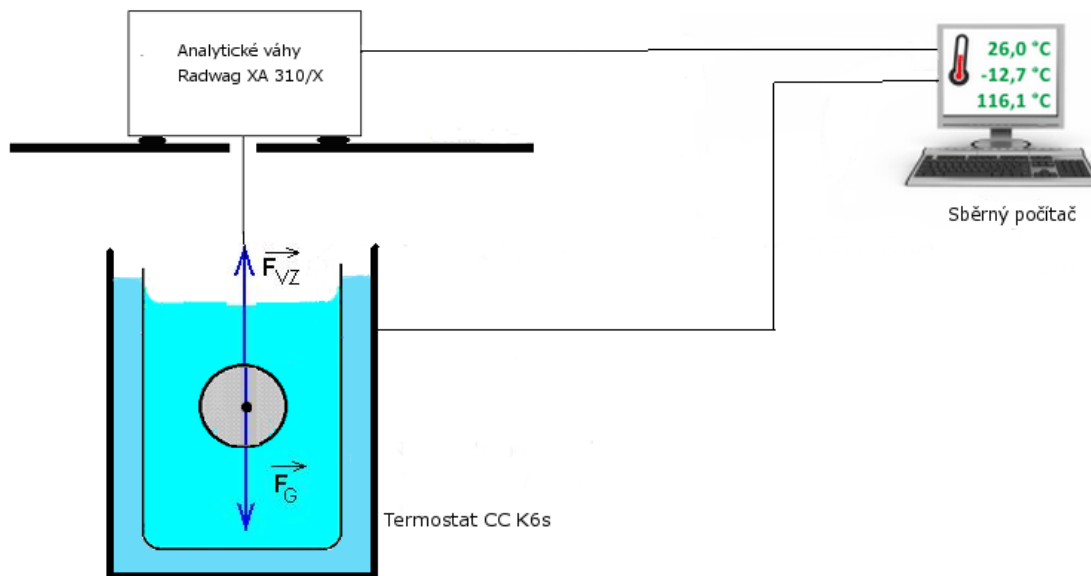
Dále byl využit Termostat CC K6s k nastavení a měření teploty



obr 4-2 Termostat CC K6s

K vyhodnocení a propojení vah s termostatem byl použit Stolní počítač

4.2 Schéma zapojení



obr 4-3 Schéma zapojení automatice

4.3 Princip automatizace

Princip automatizace spočívá v propojení měřicích přístrojů s počítačem ve kterém se hodnoty zaznamenají a později vyhodnotí obsluhou, která během měření nemusí být přítomná.

Na analytických váhách se zadá v programu Pomiar Win sběr hodnot v závislosti na čase, na teplotní lázni se zadá teplotní profil, tento profil udává nárůst teploty v závislosti na čase.

I když váhy mohou měřit přímo hustotu zaznamenáváme pouze hmotnost, kvůli omezení softwaru, který je dostupný zdarma. Ke změření hustoty se měří ponorné tělísko na vzduchu několikrát a hodnotu zprůměrujeme, dále měříme váhu v kapalině, na to je potřeba obsluha, proto měříme pouze hmotnost a hustotu vypočítáme dle vzorce.

$$\rho = \frac{m_v - m_k}{V} + d \quad (11)$$

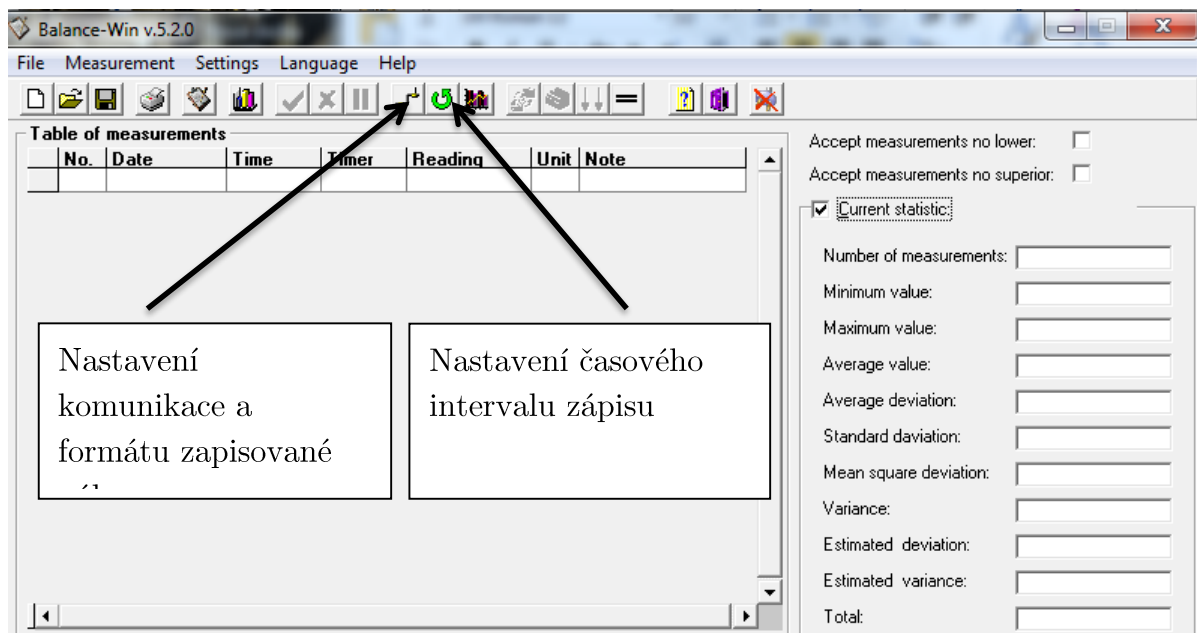
Kde m_v = Hmotnost ponorného tělíska na vzduchu, m_k = Hmotnost ponorného tělíska ponořeného ve vzorku, V = Objem ponorného tělíska ($10,0180 \text{ cm}^3$), D = Hustota vzduchu

Váhu ponorného tělíska na vzduchu změříme několikrát před začátkem měření, tyto hodnoty zprůměrujeme a výslednou hodnotu dosadíme do vzorce.

4.4 Nastavení Programů

Program k váhám (Pomiar Win)

Po nainstalování a spuštění programu viz obr. 4-4 musíme nejdříve nastavit jakým způsobem bude program komunikovat.

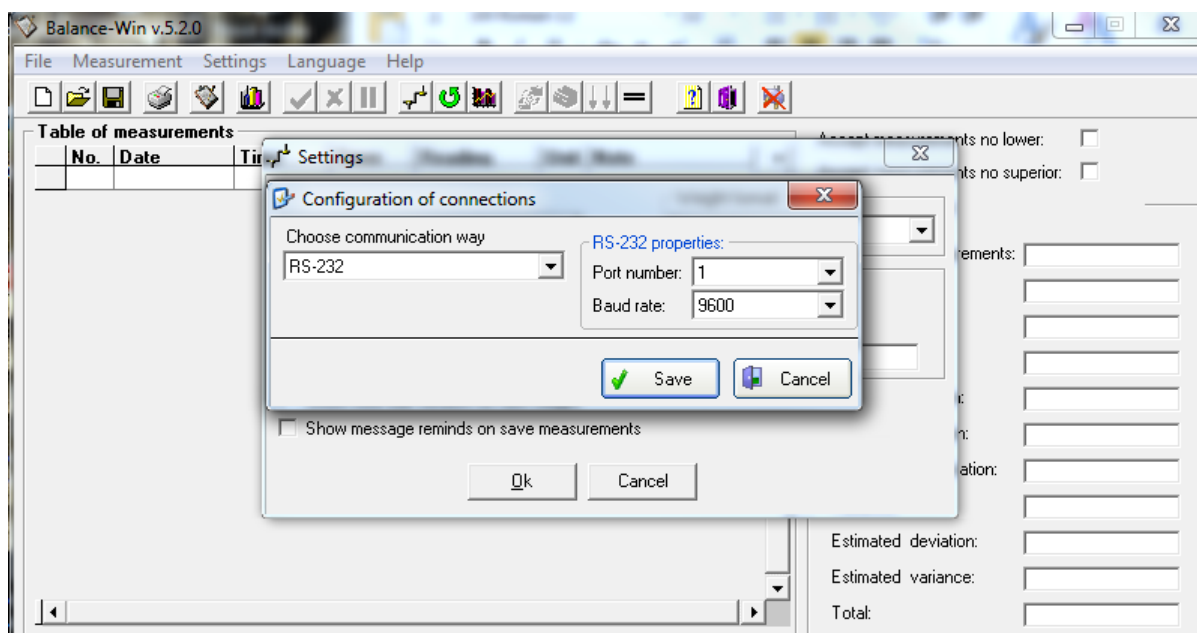


obr 4-4 Nastavení programu Pomiar Win

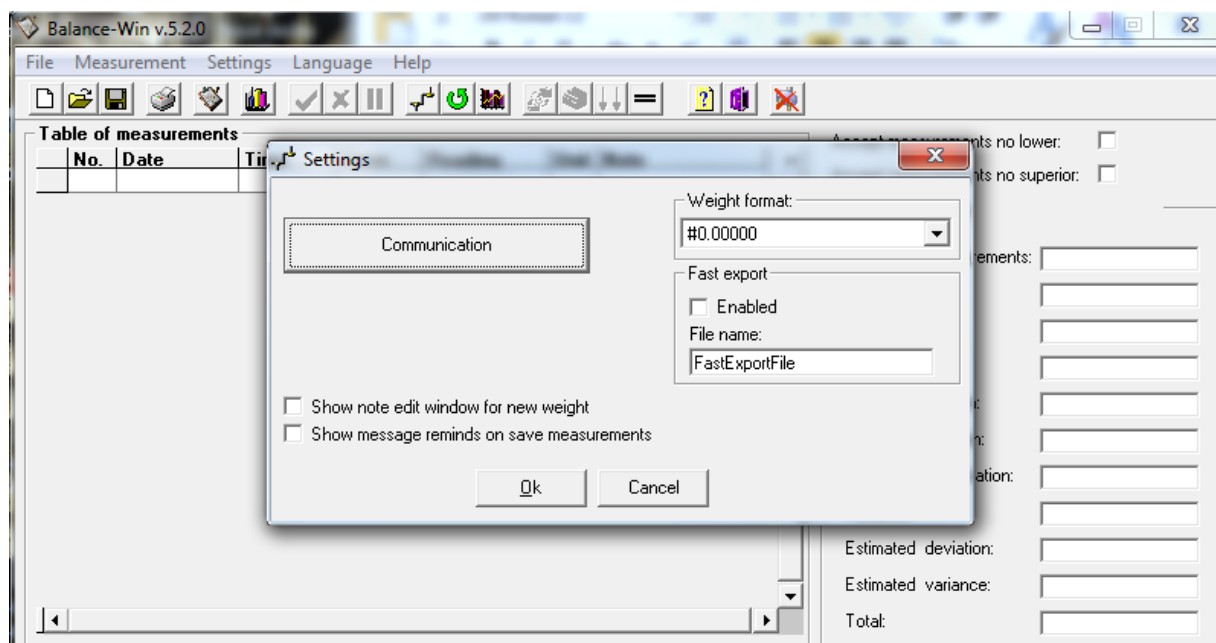
V okně pro nastavení komunikace nastavíme, jakým způsobem máme váhy připojené, dále k jakému portu jsou váhy připojené a rychlost přenosu. V našem případě se jedná o konektor RS-323, port číslo 1 a rychlost 9600 Baudů viz obr. 4.4 (tato rychlost je ve váhách nastavená defaultně, pokud chceme jinou rychlost, musíme ji nejprve nastavit na váhách v nastavení vah a po té stejnou rychlost vložit i do programu). Po kliknutí na tlačítko save se program propojí s váhami, jako potvrzení váhy zapípají. Další krok je nastavení na kolik desetinných míst chceme výsledky zaznamenávat viz obr. 4-5, stiskem ok potvrdíme.

Dále musíme nastavit interval zápisu viz obr. 4.6 nastavení probíhá v sekundách, pro ukázkou jsem zvolil 50s. Při praktickém měření jsem měl nastaveno 60s.

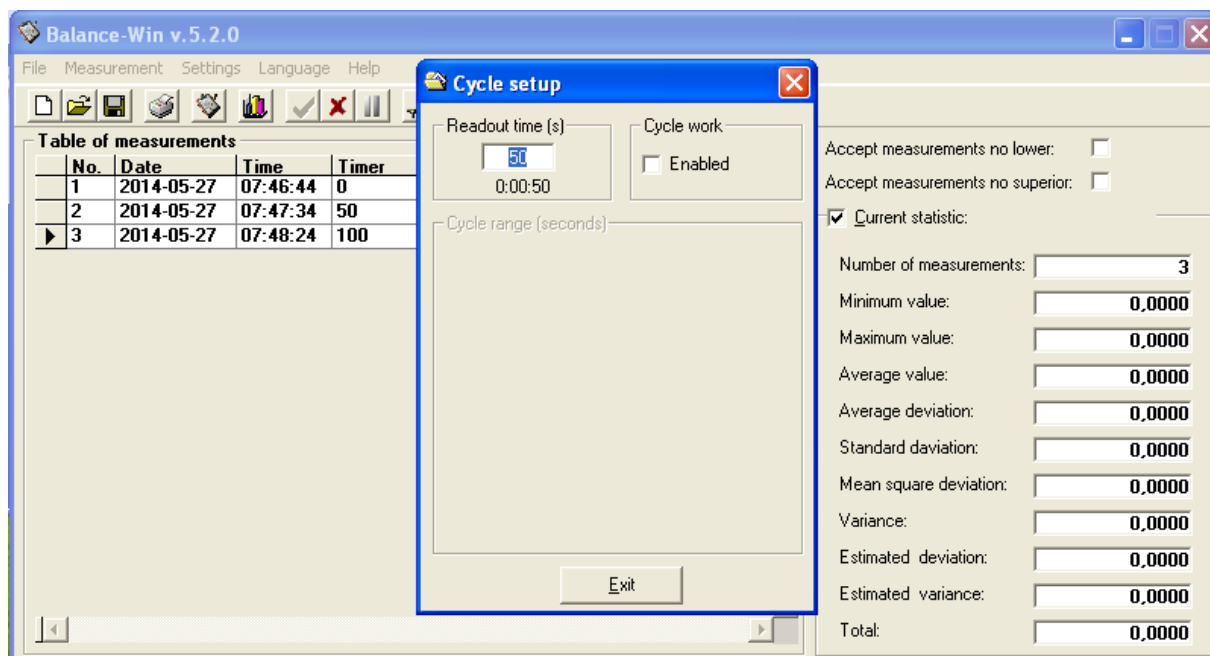
Na pravé straně se nám v průběhu měření zobrazují informace jako například: počet měření, maximální váha, minimální váha a průměrná váha.



obr 4-5 Nastavení programu Pomiar Win (připojení)



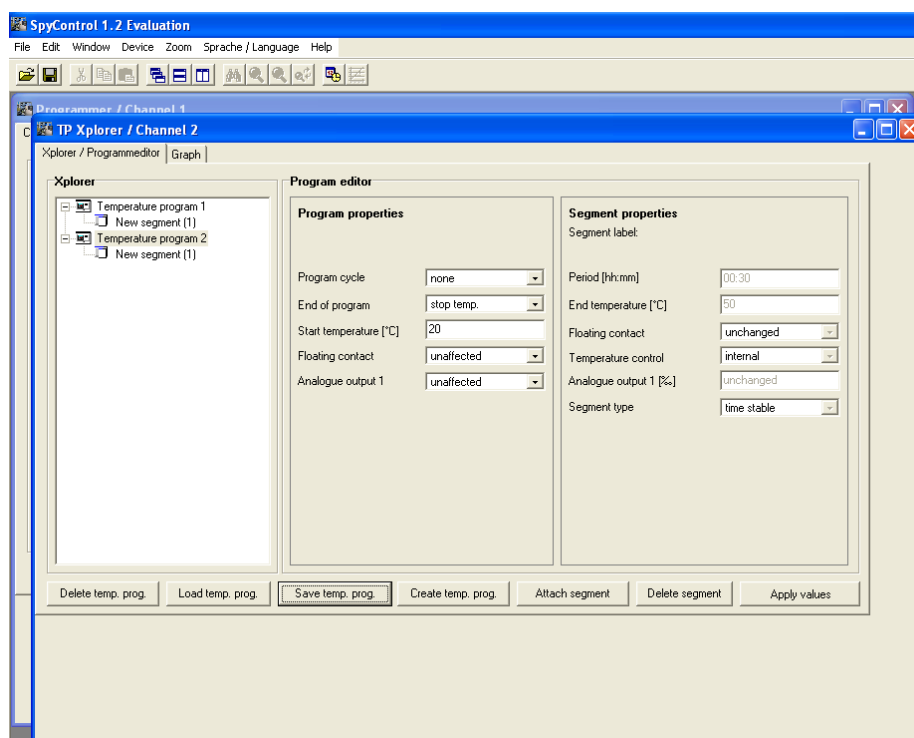
obr 4-6 Nastavení programu Pomiar Win (počet desetinných míst)



obr 4-7 Nastavení programu Pomiar Win (interval zápisu)

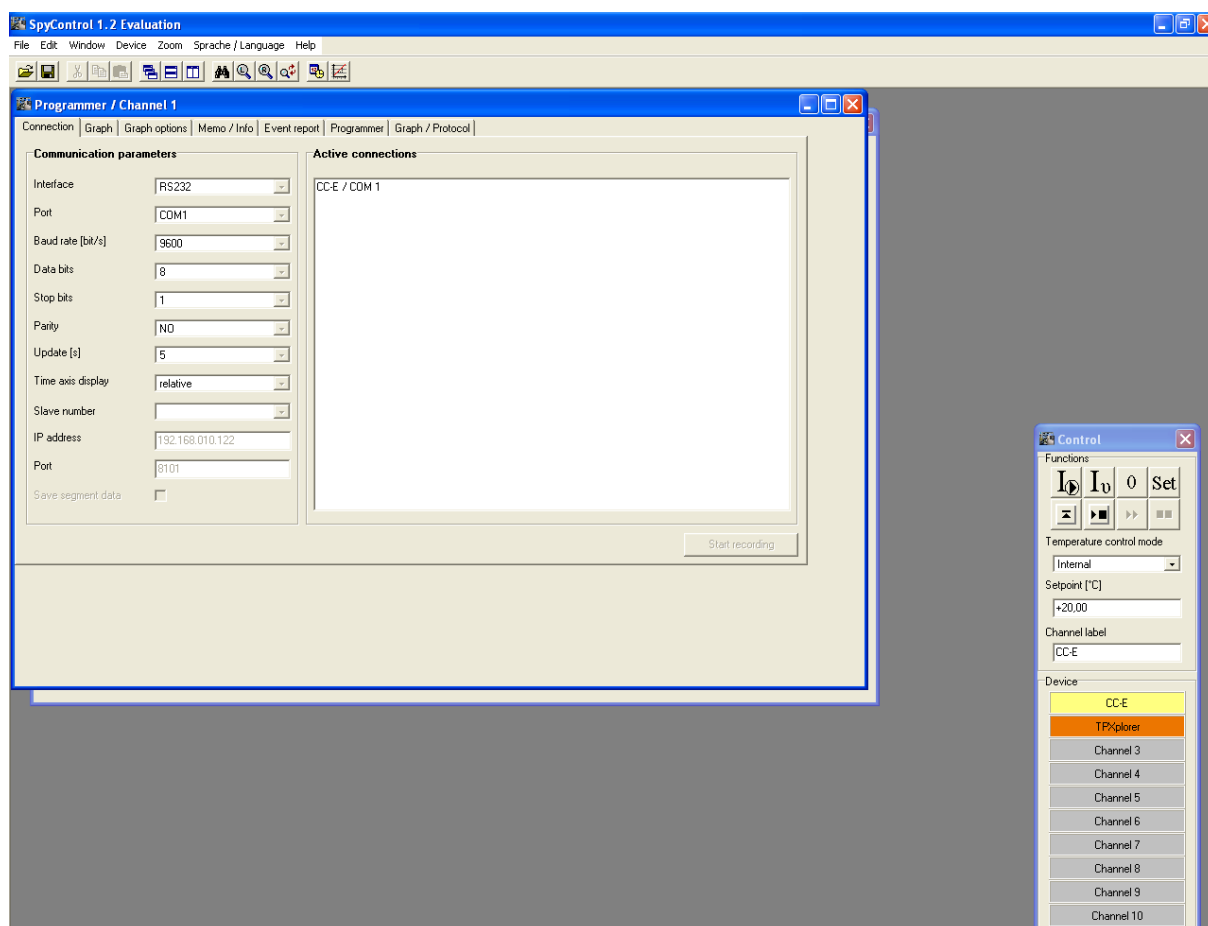
Program k Termostatu CC K6s SpyControl Evaluation

Při spuštění programu SpyControl si nejdříve naprogramujeme jaký teplotní nárůst za jakou dobu chceme mít. V horní liště volba file, poté new a TP Xplorer otevře se okno viz obr. 4-8



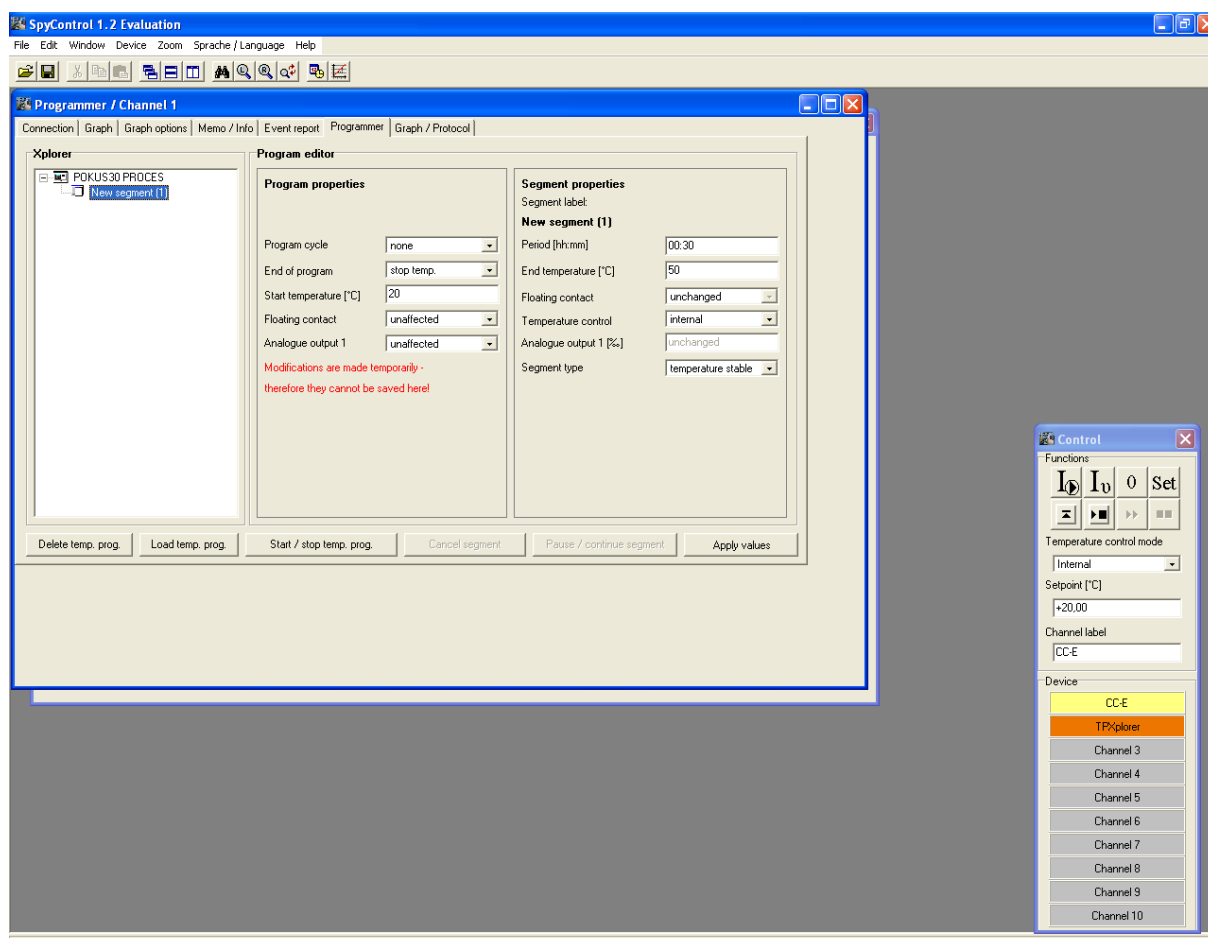
obr 4-8 Nastavení programu SpyControl (TP Xplorer)

V okně TP Xplorer můžeme nastavit například cyklování teplotního profilu, jak má program skončit, počáteční teplotu, časový úsek a konečnou teplotu. Po nastavení všeho co potřebujeme, uložíme teplotní profil přes file a zpusíme nový program kde nastavíme rozhraní přes které, se má program připojit (v našem případě RS232). Dále zvolíme, ke kterému portu je program připojen, rychlost přenosu viz obr. 4-9 zde je opět defaultně nastaveno 9600 Baudu , stejně tak i na vahách. Pro změnu rychlosti v Baudech musíme změnit, jak na termostatu, tak v programu. Dále už jen potvrdíme pomocí tlačítka start recodring, po jeho stisku se program připojí s termostatem.



obr 4-9 Nastavení programu SpyControl (Připojení)

Po připojení se otevře okno viz obr. 4-10, kde načteme námi vytvořený teplotní profil, zde máme možnost ještě profil upravit, aby nám více vyhovoval. Před odstartováním programu, je dobré si nastavit počáteční teplotu v okně control a počkat až termostat dané teploty dosáhne. Dále zde spustíme cirkulaci a teplotní kontrolu viz obr. Na konec spustíme teplotní profil a program se už o obsluhu termostatu stará sám.



obr 4-10 Nastavení programu SpyControl (teplotní profil)

Po zpuštění teplotního profilu se otevře okno, ve kterém vidíte graf teploty v závislosti na čase viz obr 4-11 , kde se výchozně zobrazí nastavený teplotní profil modrá čára. Dále aktuální teplota, která je zobrazena čarou zelenou. Pokud máme zájem sledovat další hodnoty v pravém rohu si je můžeme zaškrtnout a v grafu se nám zobrazí. Pro lepší přehlednost, po skončení měření je doporučeno vybrat na grafu pouze



Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Mikroelektronika a technologie**

Ústav elektrotechnologie

Student: Jiří Silvestr

ID: 125308

Ročník: 3

Akademický rok: 2015/16

NÁZEV TÉMATU:

Automatizované pracoviště pro stanovení teplotního součinitele objemové roztažnosti kapalin

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se se strukturou a vlastnostmi tuhých a kapalných materiálů, pojednejte o změně jejich vlastností v souvislosti s teplotou a možných aplikacích v technické praxi. Zpracujte přehled diagnostických metod používaných pro stanovení hustoty kapalných a tuhých materiálů. Z ověřených literárních zdrojů a databází vytvořte souhrnnou tabulku hustot materiálů a jejich příslušných teplotních součinitelů délkové či objemové roztažnosti.

S využitím dostupného laboratorního vybavení ústavu elektrotechnologie navrhnete a realizujete laboratorní pracoviště pro měření hustoty v teplotní závislosti ovládané počítačem. Měřicí proces automatizujete nejen s využitím běžně dostupných softwarových aplikací, ale i pomocí vlastního zdrojového kódu ve vhodném programovém prostředí. Funkčnost pracoviště ověřte na vybraných vzorcích kapalin a tuhých materiálů a získané teplotní závislosti matematicky vyhodnoťte a stanovte z nich teplotní součinitele objemové roztažnosti.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího práce.

Termín zadání: 8.2.2016

Termín odevzdání: 2.6.2016

Vedoucí práce: Ing. Martin Frk, Ph.D.

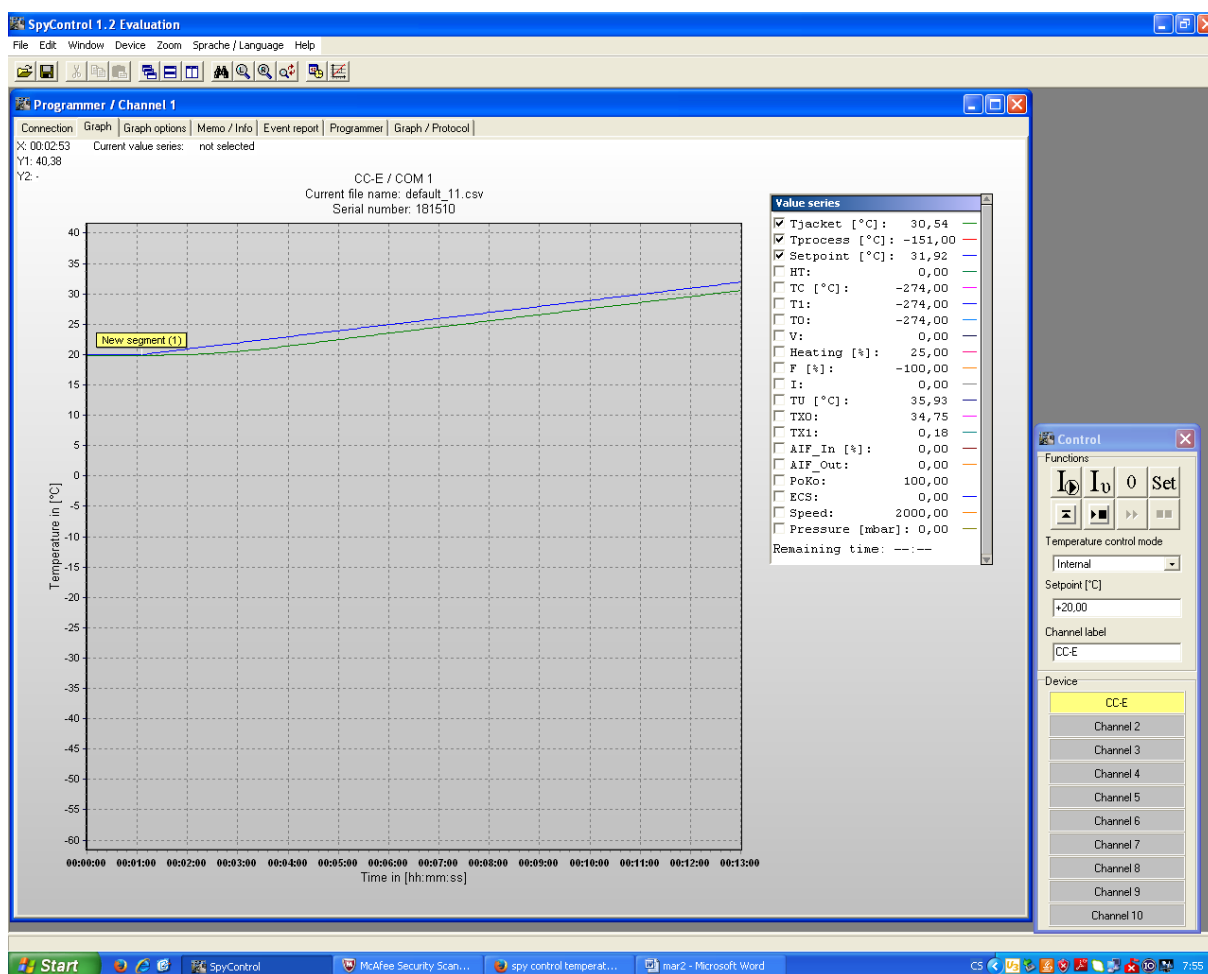
Konzultant bakalářské práce:

doc. Ing. Jiří Háze, Ph.D., předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Vysoké učení technické v Brně / Technická 3058/10 / 616 00 / Brno



obr 4-11 Nastavení programu SpyControl (graf teploty)

4.5 Postup měření

1. Nejprve si připravíme naše přístroje na svá místa, váhy Radwag tak aby bylo možné otvorem v desce stolu zavěsit na váhy ponorné tělísko. Změříme jeho váhu na vzduchu a tuto hodnotu později zprůměrujeme

2. Do termostatu dáme měřený materiál u kapalin ve skleněné nádobě a nastavíme termostat tak, aby se nacházel pod otvorem v dece stolu a ponorné tělísko bylo možné ponořit do měřené kapaliny. Závěs musí směřovat volně přímo od vah k termostatu (pokud by se někde zachytil měření by bylo zkreslené).

3. Propojíme váhy s počítačem přes konektor, připravíme si program k měření nastavením všech hodnot.

4. Propojíme termostat s počítačem a připravíme si program k měření. Před zpuštěním měření si ještě u termostatu počkáme než se nastaví počáteční hodnota teploty.

5. Zpustíme programy kde měření probíhá automaticky. Během měření nejsme potřební a po zkontrolování několika hodnot můžeme odejít.

6. Po skončení měření si z programů vytáhneme data, které zpracujeme.

Hustotu vypočítáme pomocí rovnice (11) z hmotnosti na vzduchu a v kapalině.

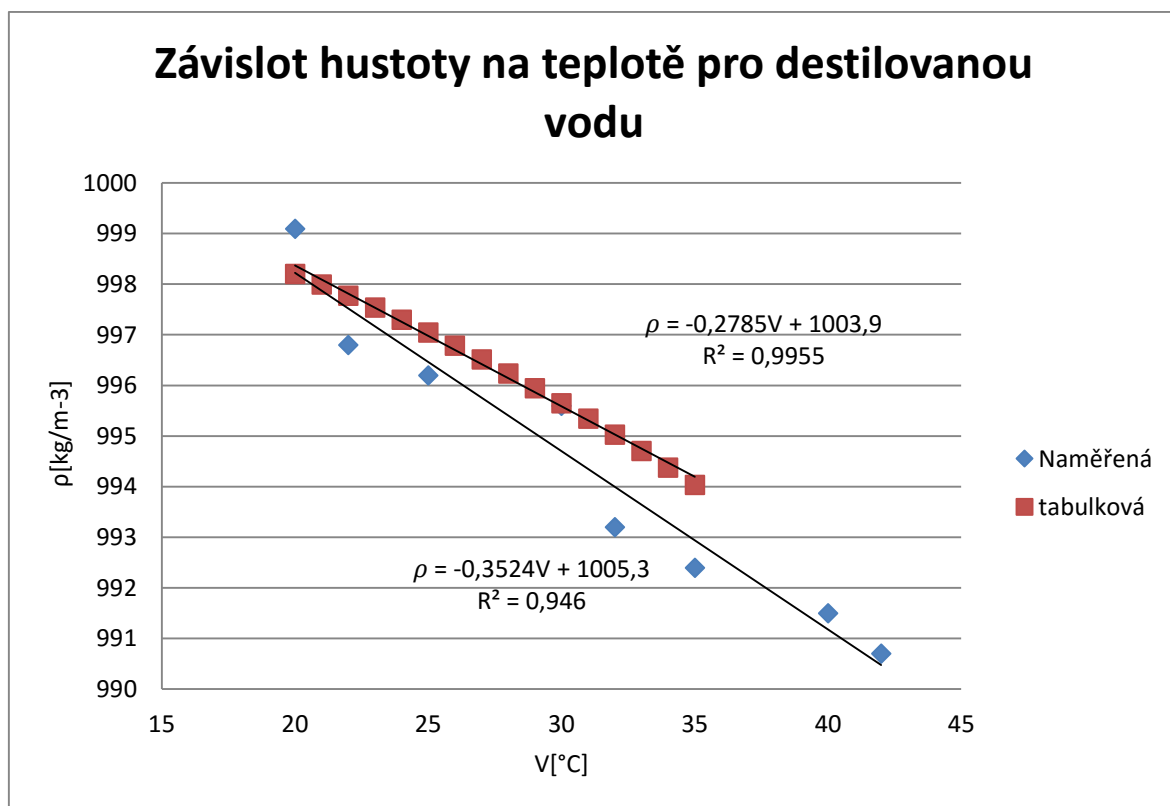
4.6 Praktické měření

Pomocí rovnice (11) se hmotnost přepočte na hustotu v grafu. Termostatu přiřadíme příslušnou teplotu, vznikne nám tabulka závislosti hustoty na teplotě. Viz tab. 2

Tab. 4-1 Naměřené hodnoty pro destilovanou vodu

kg/m ⁻³	V[°C]
999,1	20
996,8	22
996,2	25
995,3	30
994,2	32
992,4	35
991,5	40
989,7	42

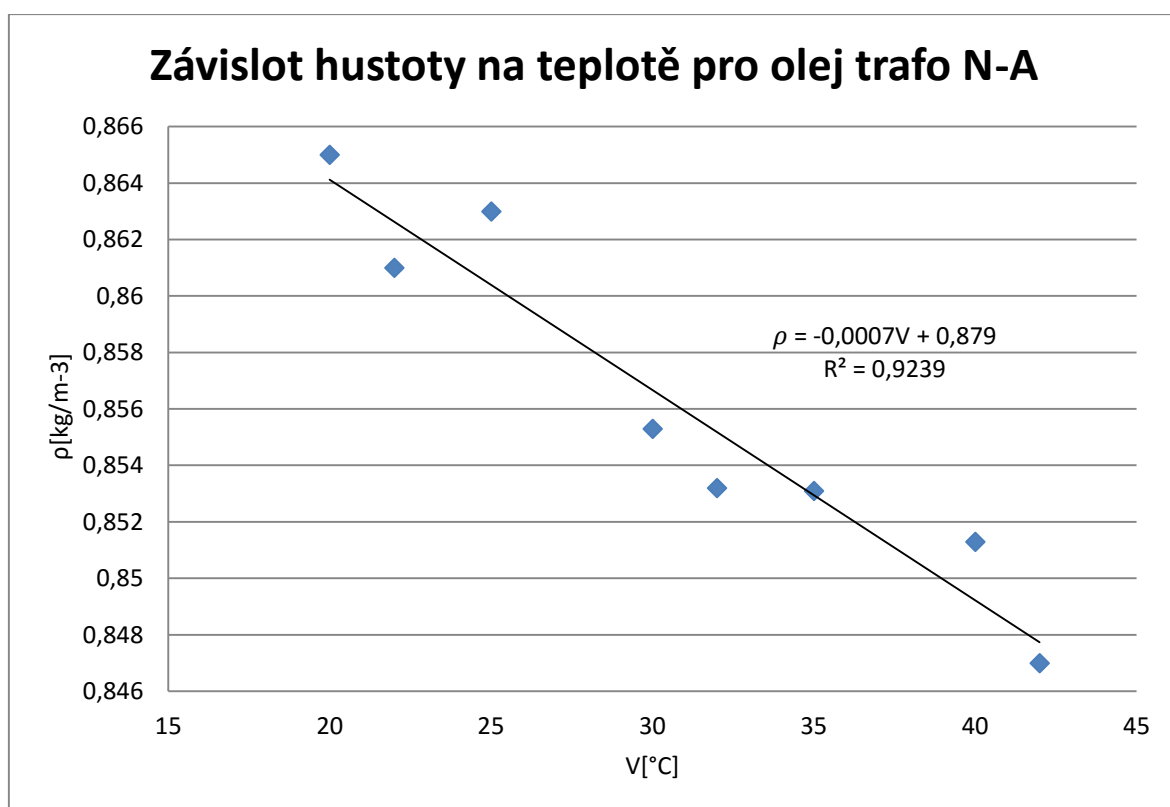
Graf 4-1



Tab. 4-2 Naměřené hodnoty pro olej trafo N-A

kg/m ⁻³	V[°C]
0,865	20
0,861	22
0,863	25
0,8553	30
0,8532	32
0,8531	35
0,8513	40
0,847	42

Graf 4-2



Tab. 4-3 Teplotní závislost hustoty destilované vody [kg/m⁻³]

t [°C]	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8
0	999.8426	999.8558	999.8683	999.8801	999.8912
1	999.9015	999.9112	999.9202	999.9284	999.9360
2	999.9429	999.9491	999.9546	999.9595	999.9636
3	999.9672	999.9700	999.9722	999.9738	999.9747
4	999.9750	999.9746	999.9736	999.9719	999.9696
5	999.9668	999.9632	999.9591	999.9544	999.9400
6	999.9430	999.9365	999.9293	999.9216	999.9132
7	999.9043	999.8948	999.8847	999.8740	999.8627
8	999.8500	999.8385	999.8256	999.8121	999.7980
9	999.7834	999.7682	999.7525	999.7362	999.7194
10	999.7021	999.6842	999.6658	999.9468	999.6274
11	999.6074	999.5869	999.5658	999.5443	999.5222
12	999.4996	999.4766	999.4530	999.4289	999.4043
13	999.3792	999.3536	999.3276	999.3010	999.2740
14	999.2464	999.2184	999.1899	999.1609	999.1315
15	999.1016	999.0712	999.0403	999.0090	998.9772
16	998.9450	998.9123	998.8791	998.8455	998.8114
17	998.7769	998.7419	998.7065	998.6706	998.6343
18	998.5976	998.5604	998.5228	998.4847	998.4462
19	998.4073	998.3680	998.3282	998.2880	998.2474
20	998.2063	998.1649	998.1230	998.807	998.0380
21	997.9948	997.9513	997.9073	997.8630	997.8182
22	997.7730	997.7275	997.6815	997.6351	997.5883
23	997.5412	997.4936	997.4456	997.3973	997.3485
24	997.2994	997.2499	997.2000	997.1487	997.0090
25	997.0480	996.9965	996.9447	996.8925	996.8399
26	996.7870	996.7337	996.6800	996.6259	996.5714
27	996.5166	996.4615	996.4059	996.3500	996.2938
28	996.2371	996.1801	996.1228	996.0651	996.0070
29	995.9486	995.8898	995.8306	995.7712	995.7113
30	995.6511	995.5906	995.5297	995.4685	995.4069
31	995.3450	995.2827	995.2201	995.1572	995.0939
32	995.0302	994.9663	994.9020	994.8373	994.7724
33	994.7071	994.6414	994.5755	994.5092	994.4425
34	994.3756	994.3083	994.2407	994.1728	994.1045
35	994.0359	993.9671	993.8978	993.8283	993.7585

4.7 Stanovení teplotního součinitele objemové roztažnosti

Objemovou roztažnost můžeme zjistit z rovnice regrese pro destilovanou vodu

Pro tabulkové hodnoty destilované vody je rovnice regrese

$$\rho = 0,2785V + 1003,9$$

Z rovnice regrese vyplývá, že objemová roztažnost je $0,2785 * 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ jelikož hustota je udávána v, m^{-3} je hodnota vynásobena hodnotou $* 10^{-3}$

Pro námi naměřené hodnoty destilované vody je rovnice regrese

$$\rho = 0,3524V + 1005,3$$

Po námi měřený prvek vyšla $0,3524 * 10^{-3} \text{ K}^{-1}$

Pro námi naměřené hodnoty olej trafo N-A je rovnice regrese

$$\rho = 0,0007V + 0,879$$

Po námi měřený prvek vyšla $0,0007 * 10^{-3} \text{ K}^{-1}$

5 Závěr

V této bakalářské práci jsou vysvětleny metody pro měření hustoty tuhých a kapalných materiálů. Většina metod je doplněna názornými obrázky a vzorci k výpočtu. Další část pojednává o aplikaci objemové a délkové roztažnosti v praxi a jejímu praktickému využití. Také o případech, kde je naopak nechtěným jevem, se kterým se musí počítat.

Poslední část je věnována automatizaci procesu k měření hustoty dostupnými přístroji v laboratoři. Na automatizaci bylo obtížné najít programy, které by optimálně pracovaly s přístroji. V data sheetu byl doporučený program Etisoft labels, který však i po stažení několika verzí nefungoval. Dále byly vyzkoušeny programy, které byly již nainstalované ve školním PC, ty se také neosvědčily. Nakonec byla nalezena freeware verze programu přímo do výrobce (Pomiar Win), která fungovala přesně tak, jak jsme potřebovali a díky tomu se nám podařilo proces automatizovat tak, že k procesu měření není potřeba obsluhy. Hodnoty pro destilovanou vodu se mírně lišily (můžeme pozorovat v grafu 4.1), to mohlo být způsobeno kontaminací destilované vody, nečistotami z nedokonalého vyčištění nádoby, či nedokonalostí měřicí metody. Pro olej Paramo Trafo N-A nemůžeme porovnat hustotu, jelikož výrobce uvádí pouze jednu hodnotu a to pro 15°C , kdy je hustota 895 kg/m^{-3} při této teplotě jsme hodnoty neměřili. Tento způsob měření bych však doporučil spíše na orientační měření, jelikož není měřená teplota vzorku, ale teplota lázně v termostatu. Díky tomu je odečítání teploty nepřesné. K jeho zpřesnění by se mohl využít například ponorný teploměr, který by se propojil s počítačem a zaznamenával přesné hodnoty vzorku.

SEZNAM OBRÁZKŮ

obr 1-1 Hydrostatická metoda	10
obr 1-2 Mohrovy váhy	12
obr 1-4 Hustoměr s popisem	13
obr 1-3 Reálný hustoměr.....	13
obr 1-5 Reálný hustoměr.....	14
obr 1-6 Pyknometr.....	15
obr 1-7 Spojité nádoby.....	15
obr 1-8 Pyknometr další varianty	16
obr 1-9 Váhový dilatometr.....	17
obr 1-10 Váhový dilatometr.....	17
obr 1-11 Dilatometr teploměrného typu.....	18
obr 1-12 Schéma vibračního hustoměru	18
obr 1-13 Vibrační hustoměr s optickým převodem.....	20
obr 1-14 Plovákový hustoměr Golubeva	21
obr 1-15 Plovákový hustoměr k měření nasycené kapaliny	22
obr 1-16 Hustoměr s vibrující strunou	23
obr 1-17 Uspořádání piezotermální	24
obr 1-18 Hustoměr k měření pomocí rázové vlny.....	25
obr 2-1 Bimetal.....	26
obr 2-2 Kapalinový teploměr	26
obr 4-1 Analytické váhy Radwag XA 310/X	28
obr 4-2 Termostat CC K6s	28
obr 4-3 Schéma zapojení automaticke.....	29
obr 4-4 Nastavení programu Pomiar Win.....	30
obr 4-5 Nastavení programu Pomiar Win (připojení)	31
obr 4-6 Nastavení programu Pomiar Win (interval zápisu).....	32
obr 4-7 Nastavení programu SpyControl (TP Xplorer)	33
obr 4-8 Nastavení programu SpyControl (Připojení)	34
obr 4-9 Nastavení programu SpyControl (teplotní profil).....	35
obr 4-10 Nastavení programu SpyControl (graf teploty)	37

SEZNAM TABULEK

Tab. 3-1 Hustota materiálů a jejich příslušných teplotních součinitelů objemové či délkové roztažnosti	27
Tab. 4-1 Naměřené hodnoty pro destilovanou vodu	38
Tab. 4-2 Naměřené hodnoty pro olej trafo N-A	39
Tab. 4-3 Teplotní závislost hustoty destilované vody [kg/m^{-3}]	40

LITERATURA

- [1] BARTOŇ. Stanovení hustoty pevných a kapalných látek. [online]. [cit. 2015-12-16]. Dostupné z: <http://tilia.zf.mendelu.cz/~pavlacka/af/download/c09.pdf>
- [2] FARSKÝ, Jaroslav. Určování hustoty materiálů. STÁTNÍ SPRÁVA. Puncovní úřad [online]. Praha, 15. 2. 2008 [cit. 2015-12-16]. Dostupné z: <http://www.puncovniurad.cz/cz/doc/31%20Ur%C4%8Dov%C3%A1n%C3%AD%20hustoty%20materi%C3%A1l%C5%AF%20-%20ve%C5%99.pdf>
- [3] HOLEŇA, Jiří. Radiometrické metody a přístroje pro stanovení hustoty materiálů. Státní technická knihovna, 1968
- [4] Základní fyzikálně-chemické veličiny a jejich měření [online]. Praha, 2006 [cit. 2015-12-16]. Dostupné z: http://www.vscht.cz/fch/cz/pomucky/FCHV_all_7.pdf. Učební text. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze. Vedoucí práce Doc. Ing. Ivan Cibulka, CSc.
- [5] RNDr. MIKULČÁK, Jiří, CSc. *MATEMATICKÉ FYZIKÁLNÍ A CHEMICKÉ TABULKY: pro střetí školy*. 1. vyd. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1989. Pomocné knihy pro žáky.
- [6] Čmelík, M., Machonský, L., Šíma, Z. Fyzikální tabulky. Liberec: TU Liberec, 2001.
- [7] DVOŘÁK, L. Vlastnosti tekutin [on-line]. Ostrava, 2010 [cit. 2015-12-16]. 62 s. Syllabus předmětu. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení. Dostupné z: www.338.vsb.cz/PDF/vlastnosti%20tekutin.pdf
- [8] RADWAG. Váhy laboratorní, analytické - váhy RADWAG [online]. [cit. 2015-12-16]. Dostupné z: <http://www.vahy-radwag.cz/>
- [9] HUBER. High precision thermoregulation: Huber [online]. [cit. 2015-12-16]. Dostupné z: <http://www.huber-online.com/en/index.aspx>

- [10] JAHODA. Mechanika tekutin: Fyzikální vlastnosti tekutin [online]. [cit. 2015-12-16] Dostupné z:
http://www.vscht.cz/uchi/ped/hydroteplota/materialy/vlastnosti_tekutin.pdf
- [11] Fyzika.fce.vutbr.cz [online]. [cit. 2015-12-16]. Dostupné z:
http://fyzika.fce.vutbr.cz/doc/vyuka_schauer/tabulky.pdf
- [12] KADLEC, Karel. Provozní snímače hustoty kapalin. s. 4. Dostupné z:
<http://www.odbornecasopisy.cz/provozni-snimace-hustoty-kapalin-cast-1-42735.html>
- [13] Horák , Praktická fyzika, SNTL, Praha, 1958, str. 257 až 263.
- [14] Brož a kol., Základy fyzikálních měření I, SPN, Praha, 1983, str. 98 až 104.