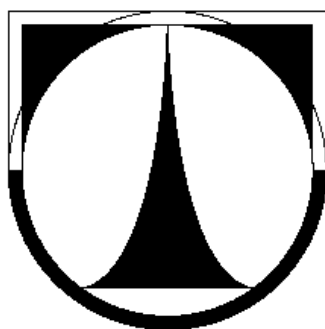


TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

**FAKULTA MECHATRONIKY, INFORMATIKY A
MEZIOBOROVÝCH INŽENÝRSKÝCH STUDIÍ**



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Automatizace měření vlhkosti vzduchu

2010

Vladimír Kadavý

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Hálkova 6, 461 17 Liberec

FAKULTA MECHATRONIKY, INFORMATIKY A MEZIOBOROVÝCH INŽENÝRSKÝCH STUDIÍ

Ústav řízení systémů a spolehlivosti

Studijní program: B 2612 - Elektrotechnika a informatika

Studijní obor: 1802R022 – Informatika a logistika

Automatizace měření vlhkosti vzduchu

Automation measuring humidity of air

Bakalářská práce

Autor: Vladimír Kadavý

Vedoucí práce: Ing. Lenka Kretschmerová Ph.D.

Rozsah práce:

Počet stran: 54

Počet obrázků: 24

Počet tabulek: 3

Počet příloh: 1x CD

Zadání

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé bakalářské práce a prohlašuji, že **s o u h l a s í m** s případným užitím mé bakalářské práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědom toho, že užít své bakalářské práce, či poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

V Liberci dne 4. 1. 2010

Podpis:

Poděkování

Touto cestou bych chtěl poděkovat především mé vedoucí bakalářské práce Ing. Lence Kretschmerové Ph.D. za odborné vedení, trpělivost a pomoc při zpracování této bakalářské práce.

Mé velké poděkování patří také celé mé rodině za všestrannou podporu při mém vysokoškolském studiu.

Automatizace měření vlhkosti vzduchu

Abstrakt

Cílem této bakalářské práce je vytvoření pracoviště pro měření vlhkosti vzduchu. V první části práce se seznámíme s pojmem vlhkost vzduchu. Jsou zde také popsány způsoby jejího měření. Práce obsahuje popis měřicího stanoviště včetně všech použitých součástí. K měření bylo užito zařízení Almemo od společnosti Ahlborn. Jedná se jak o snímače, tak o měřicí přístroje. Pro přesnější měření a snazší zpracování dat jsou přístroje propojeny s počítačem pomocí sériové linky. Uživatelské prostředí je vytvořeno v programu Almemo verze 4.4. od téže společnosti.

Byl vyhotoven návod k obsluze pracoviště spolu se zadáním laboratorního měření vlhkosti vzduchu. Nakonec bylo provedeno zkušební měření dle vypracovaného zadání. Výsledkem celé práce je funkční pracoviště pro měření vlhkosti vzduchu, které bude sloužit k praktickému vzdělávání studentů v dané problematice.

Klíčová slova:

absolutní vlhkost vzduchu

relativní vlhkost vzduchu

rosný bod

teplota

Automation measuring humidity of air

Abstract

The aim of this thesis is to create workplaces for measuring humidity. In the first part we become acquainted with the concept of humidity. There is also described how to measure it. The work contains a description of the measuring position, including all the components. The measurement device was used ALMEMO from Ahlborn. It means the sensors and the measuring device too. For accurate measurement and easy data-processing devices connected to a computer via serial line. User environment is created in the program ALMEMO version 4.4 from the same company.

It was drafted instruction manual work, together with laboratory measurement of moisture entering the air. Finally, test measurements was carried out according to prepared specifications. The result of the whole work is a functional workplace for measuring humidity, which will serve to the practical training of students in this area.

Key words:

absolute humidity

relative humidity

dewpoint

temperature

Obsah

Abstrakt.....	6
Abstract.....	7
Obsah.....	8
Úvod.....	9
1 Teorie měření vlhkosti vzduchu.....	10
1.1 Absolutní vlhkost vzduchu.....	10
1.2 Relativní vlhkost vzduchu.....	10
1.3 Psychrometrická metoda.....	11
1.4 Měření rosného bodu.....	14
1.5 Měření vlhkosti vzduchu pomocí teploty rovnovážného stavu mezi hygroskopickou látkou a vodní parou.....	16
1.6 Coulometrická metoda.....	17
1.7 Sorpční metody.....	17
1.8 Dilatační vlhkoměry.....	18
1.9 Odporové vlhkoměry.....	18
1.10 Kapacitní vlhkoměry.....	19
1.11 Rezonanční vlhkoměry.....	19
1.12 Gravimetrické vlhkoměry.....	20
1.13 Vlhkoměry s vyhřívanými termistory.....	20
1.14 Další metody měření vlhkosti.....	21
1.15 Seznámení s přístroji Almemo.....	21
2 Návrh a tvorba pracoviště.....	23
2.1 Popis starého pracoviště.....	23
2.2 Postup měření na starém pracovišti.....	23
2.3 Návrh nového pracoviště.....	24
2.4 Technické parametry použitých přístrojů.....	25
2.5 Tvorba regulovatelného zdroje.....	27
2.6 Popis nově vytvořeného pracoviště.....	32
3 Vytvoření návodu k obsluze pracoviště.....	34
3.1 Vytvoření programu pro automatický záznam.....	34
3.2 Návod k obsluze pracoviště.....	36
4 Závěrečné zkušební měření.....	41
4.1 Zkušební měření.....	41
5 Závěr.....	46
Použitá literatura.....	47
Seznam použitých zkratk a symbolů.....	48
Přílohy.....	50
Č. 1: Seznam součástí.....	50
Č. 2: Úplné technické parametry kapacitního snímač vlhkosti FH A646-1.....	51
Č. 3: Úplné technické parametry psychrometrického snímače vlhkosti ZA A846- AK.....	54
Č. 4: Úplné technické parametry univerzální přístroj Almemo 2590.....	55

Úvod

Cílem bakalářské práce bylo vytvořit funkční pracoviště pro měření vlhkosti vzduchu. Zpracování tohoto tématu by mělo sloužit pro studijní potřeby studentů při vzdělávání.

Dostupná literatura k uvedenému tématu se věnuje většinou teorii měření vlhkosti vzduchu a současně i popisu přístrojů užívaných k praktickému měření. Bohužel převážná část této literatury byla vydána již před rokem 1989, což sice zpracovanému tématu nevadí, chybí však zachycení vývoje dnešní technologie. Princip měření vlhkosti vzduchu se ale nezměnil.

V první kapitole práce se seznámíme se základní teorií týkající se principů měření vlhkosti vzduchu. Nejprve si vytyčíme primární pojmy, které nás budou provázet celou prací. Poté se zaměříme na jednotlivé metody.

Ve druhé kapitole se zaměříme na pracoviště, které doposud sloužilo k měření vlhkosti vzduchu. Autor zde uvede návrh na modifikaci starého pracoviště. K tvorbě nového pracoviště bude potřeba sestavit regulovatelný zdroj napětí, který bude ovládat nově přidané prvky (topná spirála, ventilátor).

Třetí kapitola bude obsahovat návod k obsluze vytvořeného pracoviště a požadavky na zpracování protokolu z provedeného měření.

Čtvrtá a zároveň stěžejní kapitola práce se zabývá zkušebním měřením vlhkosti vzduchu na daném pracovišti dle zadání měření, které bude uvedeno v předchozí kapitole. Hodnoty měření budou zaznamenávány a vyhodnoceny pomocí programu pro automatický záznam naměřených dat. Závěrečným měřením na nově vzniklém pracovišti bychom si měli ověřit jeho funkčnost.

1 Teorie měření vlhkosti vzduchu

V této kapitole se budeme zabývat se základními principy měření vlhkosti vzduchu. Je zde obsažen i popis přístrojů sloužících k měření vlhkosti vzduchu např. psychrometr, hygrometr atd.

1.1 Absolutní vlhkost vzduchu

Měření vlhkosti plynů je využitelné zvláště pro meteorologii, skladování různých produktů (zvláště zemědělských), klimatizaci, přepravu plynů plynovody apod.

Pro měření vlhkosti plynu, v našem případě se budeme zabývat zvláště vlhkostí vzduchu, je důležitá tzv. absolutní a relativní vlhkost. Absolutní vlhkost můžeme vyjádřit jako hmotnost vodní páry m [kg] obsažené v plynu, kterou vydělíme objemem vlhkého plynu V [m³].

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

Vzduch dokáže absorbovat při určité teplotě jen specifické největší množství vodní páry. Vodní pára vzduch v tomto případě plně nasytí, a poté ji již nepřijímá. Absolutní vlhkost pro případ nasycení se nazývá maximální absolutní vlhkost Φ_{MAX} . Čím je teplota vyšší, tím je vzduch schopen pojmout větší množství páry. Z toho vyplývá, že každá teplota má jinou hodnotu maximální vlhkosti. Absolutní vlhkost vzduchu se udává v jednotkách g/m³. [3]

1.2 Relativní vlhkost vzduchu

Relativní vlhkost je definována jako absolutní vlhkost plynu dělená vlhkostí plynu s nasycenými parami za stejné teploty a tlaku, tedy maximální absolutní vlhkostí Φ_{MAX} . Plyn je nasycen vodní párou za daného tlaku a teploty v případě, že je v dynamické rovnováze s hladinou vody při shodném tlaku a teplotě.

$$\varphi = \frac{\Phi}{\Phi_{MAX}} \cdot 100 \quad (2)$$

Ve své práci budu využívat výše uvedeného značení ve vzorcích, avšak v některých publikacích nalezneme i jiné typy označení, například $\Phi_{MAX} = a'$; $\Phi = a''$.

Rosný bod je pojem, který můžeme definovat jako teplotu, při které je vzduch nasycen vodními parami. Nemůže tedy již pojmout další páru, která se sráží na kondenzačních jádrech - okolních objektech. V meteorologii hovoříme o přeměně vodní páry na srážky. Jedná se tedy o teplotu, kdy je relativní vlhkost φ rovna 100%. [3]

1.3 Psychrometrická metoda

Princip měření pomocí psychrometrické metody spočívá v měření rozdílů teploty vzduchu a teploty teploměru, který je trvale navlhčován. Navlhčovaný teploměr se nazývá mokrý teploměr, druhý teploměr je klasického provedení a udává nám teplotu vzduchu. Čím je vzduch sušší, tedy čím je méně nasycen vodní parou, tím intenzivněji se vypařuje voda z mokrého teploměru. Teplotu mokrého teploměru označíme t_2 a teplotu klasického - suchého teploměru t_1 . Teplota t_2 je menší než t_1 .

Rychlost odpařování je úměrná rozdílu tlaku par nasycených E_2 při teplotě t_2 a tlaku par ve vzduchu skutečně obsažených e_1 a je nepřímo úměrná barometrickému tlaku b . Snížení teploty ($t_1 - t_2$) nazýváme psychrometrický rozdíl. Ke snížení teploty z t_1 na t_2 je zapotřebí tepla, které se odebírá z okolí, a to zajišťuje odpařování vody na mokřém teploměru.

Množství přivedeného tepla je úměrné rozdílu teplot teploměrů ($t_1 - t_2$). Tomuto rozdílu je úměrná i rychlost odpařování. Při měření se hodnota mokrého teploměru ustálí na takové teplotě, při které bude teplo přivedené z okolí shodné s teplem potřebným k odpaření. Rychlost proudění závisí na rychlosti proudění měřeného vzduchu a na základě těchto skutečností vyplývá vztah:

$$\frac{E_2 - e_1}{b} = A \cdot (t_1 - t_2), \quad (3)$$

kde A je psychrometrická konstanta, která je závislá na rychlosti proudění vzduchu přístrojem. Vyjádření tlaku par obsažených v měřeném vzduchu můžeme znázornit následovně:

$$e_1 = E_2 - A \cdot b \cdot (t_1 - t_2), \quad (4)$$

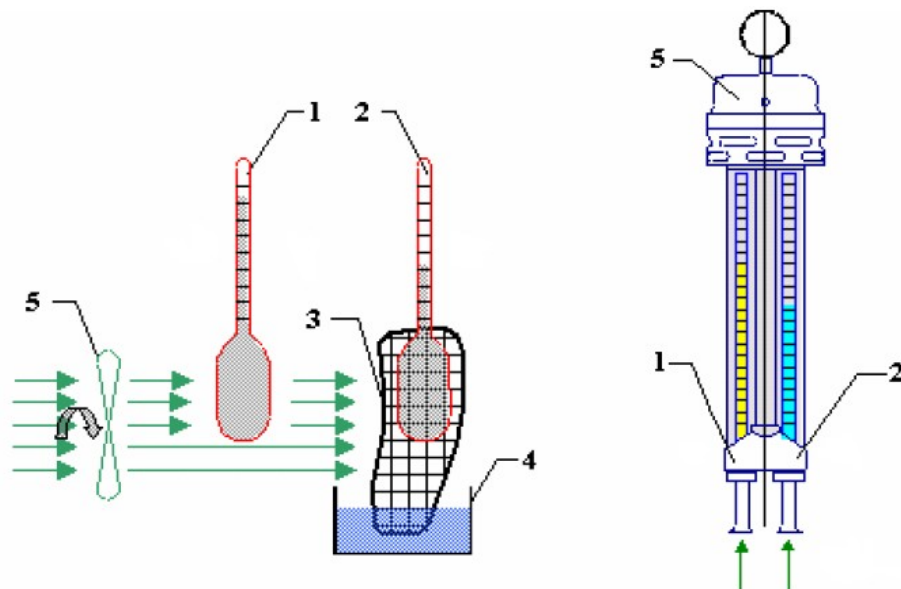
a relativní vlhkost:

$$\varphi = \frac{e_1}{E_1} \cdot 100 = \frac{E_2 - A \cdot b \cdot (t_1 - t_2)}{E_1} \cdot 100, \quad (5)$$

kde E_1 je tlak nasycených par při teplotě t_1 měřeného vzduchu.

Použité přístroje dělíme do tří kategorií:

1. kategorie: tzv. aspirační psychrometry, u kterých je průtok plynů zajišťován turbínkou poháněnou elektromotorem, či motorkem s hodinovou pružinou. Nejčastěji se u těchto psychrometrů používají rtuťové teploměry, pak bývá přesnost udávána $\pm 2 \%$.



Obrázek 1: Princip Aspiračního psychrometru; 1 je suchý teploměr udávající teplotu t_1 , 2 je mokrý teploměr udávající hodnotu t_2 , 3 je navlhčovaná punčoška, 4 je nádobka s vodou, 5 je turbínka. [9]

2. kategorie jsou psychrometry mávací, zde se proudění zajišťuje ručním otáčením kolem stabilní osy. Doba otáčení se pohybuje v rozmezí 15 - 30 sekund, poté se rychle odečte psychrometrický rozdíl a opakuje se měření do té doby, dokud výsledky dvou po sobě následujících měření nemají shodný výsledek. Dále se pomocí tabulek z psychrometrického rozdílu zjistí relativní vlhkost. Přesnost bývá udávána $\pm 2\%$.



Obrázek 2: Mávací psychrometr [8]

3. kategorie obsahuje stabilní psychrometry bez nucené cirkulace. Tyto nejsou v praxi příliš využívány, protože zde může nastat chyba měření až 20 % relativní vlhkosti. [3]



Obrázek 3: Stabilní psychrometr známý též jako Assmanův [9]

1.4 Měření rosného bodu

Princip stanovení rosného bodu je závislý na určení teploty povrchu vody, při níž nastává rovnováha mezi množstvím vody vypařujícím se z tohoto povrchu a množstvím molekul vodní páry dopadajícího na tento povrch z přilehlé vrstvy plynu.

V rovnováze bude tuto teplotu mít ta vrstva plynu, která se přímo dotýká povrchu vody a relativní vlhkost této vrstvy bude 100 %.

Stanovením teploty, kdy nastává rovnováha, teplotu rosného bodu stanovíme pomocí tabulek maximálních tlaků vodní páry, určíme tlak vodní páry v plynu. Rosný bod měříme tak, že ochlazujeme povrch čidla, většinou kovové zrcátko, do té doby, dokud se neobjeví kondenzát. Po objevení přerušíme chlazení a zapojíme ohřev. Měříme teplotu, při které se objevil kondenzát a při které zmizel. Poté stanovíme střední hodnotu těchto teplot a tuto hodnotu považujeme za rosný bod.

Výzkumné ústavy se na toto stanovování tepla zaměřily hlouběji a došli k závěru, že tato teplota se od rosného bodu poněkud liší. Tím dochází k chybě, kterou nelze přesně vyjádřit. Nejpřesnějších výsledků se dosáhlo při měření teploty ustanovené rovnováhy mezi kondenzátem a vodní parou. Proto se teplota na zrcátku

reguluje tak, aby tloušťka vrstvy kondenzátu zůstala stejná. Takto docílíme rovnováhy mezi kondenzátem a vodní párou. V tomto okamžiku měříme rosný bod. Pro ještě přesnější měření je stanoven následující postup.

Po dosažení rovnováhy se mírně snižuje teplota. Poté se změří teplota, při které se začne zvětšovat kondenzační vrstva, následně se teplota zvyšuje a změří se teplota, při níž se kondenzační vrstva začíná zmenšovat. Rosný bod je roven střední hodnotě těchto dvou teplot. Při tomto postupu měříme teplotu mezi kapalinou a párou na rozdíl od předchozího postupu, kde měříme teplotu mezi kapalinou a zrcátkem.

Přístroje na měření rosného bodu dělíme do 2 skupin. První skupina se používá v laboratorním prostředí. Jedná se o ty přístroje, jež pracují nespojitě. Naopak druhá skupina obsahuje přístroje, které pracují spojitě a využívají se v různých provozech.

1. Nespojitě přístroje vyžadují ke stanovení teploty rosného bodu lidský zrak. Změření teploty orosení potřebuje značné zkušenosti obsluhy a stanovení rosného bodu se liší u každého jedince. Z těchto důvodů nemají tyto přístroje v praxi již téměř žádné uplatnění.
2. Spojitě přístroje pracují automaticky a využívají k měření orosení nejčastěji tyto detektory: fotoelektrický, radiační a konduktometrický.

Fotoelektrická detekce: na lesklou kovovou plochu dopadá paprsek světla pod určitým úhlem a jeho odraz snímá fotoelektrický článek. V okamžiku, kdy se objeví na lesklé kovové ploše kondenzát, se sníží proud ve fotoelektrickém článku.

Radiační detekce pracuje na podobném principu jako výše zmíněná fotoelektrická detekce. Avšak pouze s tím rozdílem, že lesklá kovová plocha je opatřena tenkou vrstvou z radiačního materiálu. Při orosení lesklé kovové plochy se sníží intenzita záření α či β . Radiační detektory jsou zvýšeně citlivé na tloušťku vrstvy kondenzátu.

Při konduktometrické detekci se nepoužívá lesklá kovová plocha, ale nejčastěji skleněná destička z dielektrického materiálu. Jakmile se vyskytne na skleněné destičce kondenzát, prudce se sníží povrchový odpor. [1]

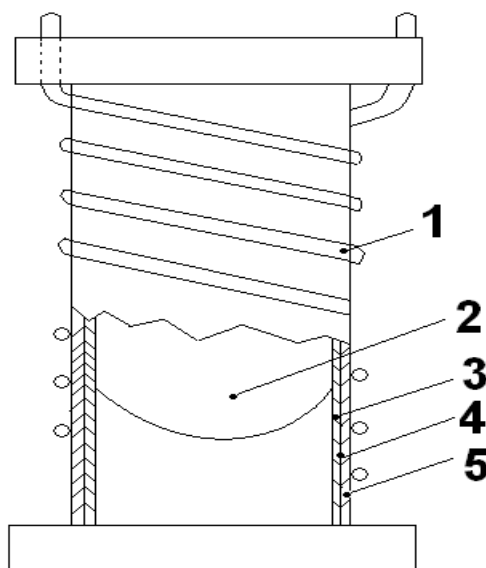
1.5 Měření vlhkosti vzduchu pomocí teploty rovnovážného stavu mezi hygroskopickou látkou a vodní parou

Vlhkoměry na tomto principu měří rovnovážnou teplotu mezi tlakem vodní páry nad nasyceným roztokem iontové soli a tlakem vodní páry v okolním prostředí. Každá iontová sůl má tuto teplotu přímo definovanou a slouží jako míra absolutní vlhkosti vzduchu. Pokud je nasycený roztok soli v prostředí o nižším tlaku vodní páry, než je rovnovážný tlak nad roztokem, dochází k odpařování vody z roztoku a naopak. Při tomto ději se výrazně mění elektrická vodivost nasyceného roztoku iontové soli.

Této změny se využívá pro automatický ohřev roztoku na takovou teplotu, aby tlak vodní páry ve vzduchu byl roven rovnovážnému tlaku nad nasyceným roztokem soli. Jako čidlo tohoto typu vlhkoměru slouží váleček, na kterém je natočena skleněná tkanina nasycená roztokem chloridu litného.

Chlorid litný je použit z toho důvodu, že jeho rovnovážný tlak je při teplotě místnosti dostatečně nízký. Na tkaninu jsou navinuty dvě elektrody, kterými prochází střídavé elektrické napětí. Pokud je tlak chloridu litného vyšší než tlak měřeného vzduchu, je jeho vodivost velká a procházející proud v elektrodách ho zahřívá.

V následku zahřívání se vypařuje voda z roztoku a tím se snižuje jeho elektrická vodivost, a to do té doby, dokud nedojde k rovnosti tlaku měřeného vzduchu a tlaku nad roztokem. Poté se změří teplota roztoku odpovídající této rovnováze, která je mírou absolutní vlhkosti měřeného vzduchu. Pro měření relativní vlhkosti vzduchu se musí změřit ještě teplota vzduchu. [2]



Obrázek 4: Princip elektrolytického čidla psychrometru; 1 je elektroda, 2 je odporový teploměr, 3 je kovová trubka, 4 je ochranná vrstva laku, 5 je skelná tkanina.

1.6 Coulometrická metoda

U coulometrického vlhkoměru je veškerá vlhkost obsažená ve vzduchu absorbována filmem hygroskopické látky a současně je elektrolizována stejnosměrným proudem. Nejčastěji se používá oxid fosforečný jako hygroskopická látka.

V důsledku probíhající chemické reakce je film oxidu fosforečného stále skoro suchý a je připraven vázat další vlhkost. Dle Faradayova zákona je pro 1 mol zapotřebí náboje $1,93 \times 10^5$ C. Proud potřebný k elektrolýze absorbované vlhkosti je tak přímou mírou vlhkosti vzduchu. [2]

1.7 Sorpční metody

U těchto metod se využívá pro měření vlhkosti vzduchu takových látek a materiálů, u kterých se při změně množství absorbované vody mění fyzikálně chemické vlastnosti. Senzory sorpčního typu by měly splňovat následující podmínky:

- odezva ve směru sorpce i desorpce by měla být rychlá, s velmi malou, či ideálně nulovou hysterezí
- změna měřené veličiny musí být dostatečně velká, pokud možno lineárně závislá na relativní vlhkosti nebo rosném bodu
- kalibrační křivky musí být neměnné
- měření by mělo být možné v širokém teplotním rozmezí a vliv teploty by měl být zanedbatelný [2]

1.8 Dilatační vlhkoměry

Jak již bylo uvedeno výše, dilatační teploměr využívá změny relativní vlhkosti vzduchu, která se projeví v našem případě ve změně délky lidského vlasu. Změna délky je způsobena navlhčením vlasu, které je závislé na relativní vlhkosti vzduchu. Závislost prodloužení vlasu na relativní vlhkosti udává vztah:

$$\varepsilon = C \cdot T \cdot \log \varphi \quad (6)$$

V tomto vztahu ε je relativní prodloužení prvku, φ je relativní vlhkost vzduchu, T je absolutní teplota, C je konstanta.

Ve vlhkoměrech tohoto typu se používá buď jeden vlas nebo svazek vlasů. Pro lepší přesnost se vlasy odmašťují. Při měření se musí dávat pozor na jejich přetížení či porušení, jinak by mohlo dojít ke změně vlastností vlasu a přístroj je nutné znovu zkalibrovat. [4]

1.9 Odporové vlhkoměry

U těchto vlhkoměrů se využívá změny elektrolytického odporu. Měří se odpor mezi dvěma elektrodami, které jsou připevněny na destičku, většinou z keramického materiálu, na které je nanesen roztok iontové soli. Nejčastěji se používá chlorid litný, ale jsou i jiné varianty, jako např. oxid seleničitý nebo florid barnatý.

Změna odporu je závislá na teplotě a vlhkosti prostředí. Je proto důležité měřit současně i teplotu okolí. Závislost odporu na relativní vlhkosti se blíží exponenciálně. Měřený odpor se pohybuje v řádu 10^4 až $10^8 \Omega$. [1]

1.10 Kapacitní vlhkoměry

Kapacitní vlhkoměry pracují na podobném principu jako odporové vlhkoměry. Při měření vlhkosti sorpce materiálu se mění odpor současně s kapacitou. Je tedy jedno, kterou změnu vlastností budeme měřit.

Elektrický odpor se vůči kapacitě měří snadno. Pro měření kapacity ale hovoří její velká citlivost a malý vliv znečištění oproti elektrickému odporu. Čidla lze přirovnat ke kondenzátorům. Dielektrikum je tvořeno nepatrnou vrstvou polymeru nebo kovového oxidu. Tyto látky sorbují vlhkost z okolního prostředí. Jedna elektroda je vždy propustná pro vodní páru, k sorpci vodní páry dochází v celé tloušťce vrstvy elektrody. [1]

1.11 Rezonanční vlhkoměry

Tento rezonanční vlhkoměr vychází z myšlenky změny hmotnosti v závislosti na množství vodní páry sorbovaného materiálu. Při růstu vlhkosti sorbent absorbuje větší množství vodní páry a jeho hmotnost se zvyšuje. Pro praktické využití musí být splněny následující požadavky:

- množství sorbentu musí být malé, příliš velké množství sorbované vody může ovlivnit koncentraci vodních par ve vzduchu
- na povrchu sorbentu se musí rychle ustavovat dynamická rovnováha mezi plynnou fází a sorbentem, aby byla co nejrychlejší odezva
- použitá metoda ke změně hmotnosti sorbentu musí být dostatečně citlivá.

V praxi se hmotnost měří pomocí křemenných rezonátorů. Výstupní frekvence křemenných rezonátorů zapojených do obvodu tranzistorového oscilátoru je závislá na rozměru výbrusu, úhlu, který svírá provedený řez z monokrystalu křemene a krystalografickými osami a hmotnosti. Lze vyjádřit závislost frekvence kmitajícího křemenného rezonátoru na hmotnosti:

$$\Delta f = -K \cdot \Delta m, \quad (7)$$

$$K = \frac{f^2}{N \cdot \rho \cdot S}, \quad (8)$$

kde Δf vyjadřuje změnu frekvence způsobenou změnou hmotnosti výbrusu o Δm , f je vlastní frekvence rezonátoru, N je frekvenční konstanta závislá na úhlu řezu, ρ je hustota křemene, S je plocha výbrusu a K je konstanta úměrnosti. [2]

1.12 Gravimetrické vlhkoměry

Gravimetrický vlhkoměr využívá na rozdíl od předchozích sorpčních vlhkoměrů sorbent, u kterého dochází k nevratné sorpci. Tato metoda zjišťuje skutečnou hodnotu vodní páry v daném objemu vzduchu. Měření je zdlouhavé, ale má velkou přesnost až 0,12 %. Gravimetrické vlhkoměry se převážně využívají ke kalibraci ostatních vlhkoměrů. [2]

1.13 Vlhkoměry s vyhřívanými termistory

Jde o metodu využívající závislost tepelné vodivosti vzduchu na jeho vlhkosti. Senzor obsahuje dva stejné termistory, z nichž jeden je hermeticky uzavřen v suchém dusíku a druhý je přístupný okolnímu prostředí. Termistory jsou zapojeny do série a tvoří jednu větev můstku. Druhá větev obsahuje pevné rezistory a trimr k nulování. Průchodem proudu se termistory zahřívají a dosažená teplota závisí na stupni jejich ochlazování, tj. na tepelné vodivosti okolního plynu. Můstek se vynuluje při umístění senzoru v suchém vzduchu a přítomnost vodní páry způsobí jeho rozvážení. Senzor poskytuje signál úměrný absolutní vlhkosti. Jeho přednostmi jsou schopnost pracovat při vysokých teplotách (až 200°C) a chemická odolnost.¹

¹BRANŠOVSKÝ, Pavel. Podpora výuky. [online]. 2. 12. 2009. URL: <http://is.sssep9.cz/podklady/bransovsky/Automatizace/AUT_1_13_Ukazovac%C3%AD%20a%20zobrazovac%C3%AD%20p%C5%99%C3%ADstroje.pdf>.

1.14 Další metody měření vlhkosti

K měření vlhkosti vzduchu lze využít i další metody, které však v praxi nenašly tak velké uplatnění. Zde uvádím pro příklad některé z nich:

- měření permitivity
- chromatografická metoda
- difúzní vlhkoměry
- měření tepelné vodivosti [2]

1.15 Seznámení s přístroji Almemo

Při samotném měření budu využívat přístroje Almemo. Jedná se o sadu univerzálních přístrojů vyvinutých německou společností Ahlborn GmbH. V České republice je zastoupena společností AHLBORN měřicí a regulační technika s.r.o. se sídlem v Praze.

Přístroje Almemo jsou k dostání hned v několika variantách. Princip činnosti je u všech stejný, liší se počtem vstupních konektorů pro připojení čidel a velikostí displeje. Velkou výhodou je, že se jedná o ruční přístroje, jsou napájené z baterie, samozřejmostí je i možnost napájení přímo ze sítě.

Největší předností těchto univerzálních přístrojů je jejich chytrý software. Pomocí univerzálního konektoru lze k přístroji připojit jakýkoliv snímač. V nabídce společnosti jich je nepřeberné množství, např. čidlo vlhkosti vzduchu, průtokový snímač, tlakový snímač atd. Tento konektor využívají i jiné společnosti vyrábějící měřicí čidla, tím je zajištěna kompatibilita a široké použití. Po připojení čidla se okamžitě na displeji přístroje zobrazí měřené hodnoty i s jednotkou. Ovládání je proto velmi jednoduché. Samozřejmostí je i možnost ukládání dat do paměti přístroje a propojení s PC pro následné vyhodnocení naměřených dat. Jedinou nevýhodou může být menu přístrojů, které je v německém jazyce. [10]



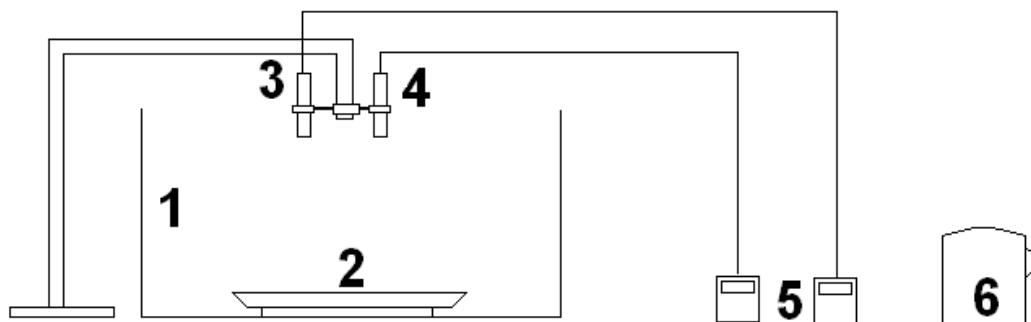
Obrázek 5: Ukázka univerzálního konektoru a univerzálního měřicího přístroje Almemo [10]

2 Návrh a tvorba pracoviště

V této kapitole se budu zabývat samotnou realizací nového pracoviště pro měření vlhkosti vzduchu.

2.1 Popis starého pracoviště

Pracoviště, na kterém se provádělo měření vlhkosti vzduchu, bylo složeno z otevřeného skleněného boxu (1). Na dně otevřeného skleněného boxu byla umístěna nádobka na vodu (2). Snímače pro měření vlhkosti byly připevněny na železném stojanu pomocí objímek. V jedné objímce byl upevněn psychrometrický snímač (3), ve druhé objímce snímač kapacitní (4). První snímač byl připojen k jednomu univerzálnímu měřicímu přístroji Almemo 2590 (5) a druhý snímač byl propojen s dalším shodným měřicím přístrojem Almemo 2590 (5). Součástí pracoviště byla i rychlovarná konvice (6) sloužící pro ohřev vody. Ohřátá voda se poté nalila do nádoby na vodu na dně boxu.



Obrázek 6: Schematické zapojení starého pracoviště; popis v textu viz. výše

2.2 Postup měření na starém pracovišti

Postup měření byl následující. Nejprve se zapojilo pracoviště znázorněné na obrázku č. 6. Následně se do nádoby nalilo půl konvice horké vody, ne vroucí. Vedle skleněného boxu se postavil stojan, na němž byl v první objímce upevněn psychrometrický snímač vlhkosti FN A846. V druhé objímce byl umístěn kapacitní

snímač vlhkosti FH A646-1. Z univerzálních měřících přístrojů Almemo 2590 se odečítaly tři hodnoty:

- teplota vzduchu [$^{\circ}\text{C}$]
- relativní vlhkost [%]
- teplota rosného bodu [$^{\circ}\text{C}$]

Tyto hodnoty si postupně studenti zapisovali do tabulky. Měření trvalo 10 minut, hodnoty se odečítaly v intervalu 30 sekund. Při tomto měření docházelo k přirozené změně relativní vlhkosti vzduchu v důsledku chladnutí vody v nádobce. Po ukončení měření se vylila voda z nádoby a studenti měli zpracovat protokol o provedeném měření.

Protokol obsahoval sestavené tabulky naměřených hodnot pro každý snímač samostatně, dále určení relativní vlhkost výpočtem z teploty okolí a teploty rosného bodu. V protokolu byly uvedeny i dva samostatné grafy závislosti relativních vlhkostí na čase (vypočtené a naměřené). Každý graf byl zpracovaný pro jeden snímač. V závěru protokolu bylo uvedeno zhodnocení naměřených charakteristik a vysvětlení rozdílných hodnot mezi naměřenými a vypočtenými hodnotami relativní vlhkosti.

2.3 Návrh nového pracoviště

Cílem nového pracoviště je zpřesnění měření. Toho chci docílit řízenou změnou teploty v uzavřeném skleněném boxu. Díky zavedení řízené změny teploty bude umožněno sledování změny relativní vlhkosti vlivem teploty. Teplotu v boxu budu regulovat pomocí topné spirály. V boxu bude umístěn i ventilátor, který bude rozhánět vzduch, aby byla teplota rovnoměrná.

K regulaci rychlosti otáček ventilátoru a intenzity sálání tepla ze spirály vytvořím přípravek neboli regulovatelný zdroj. K měření použiji kapacitní snímače vlhkosti FH A646-1. Kapacitní snímač bude připojen k univerzálnímu měřicímu přístroji Almemo 2590. Tento univerzální přístroj bude připojen k PC pomocí sériové linky.

Naměřené hodnoty se budou zpracovávat v programu Almemo, jehož popis je uveden dále. K měření nebude použit psychrometrický snímač vlhkosti ZA A846-AK z důvodu jeho funkce. Pokud by se do otvoru ve víku uzavíratelného

boxu umístil psychrometrický snímač, došlo by k odvětrávání vzduchu ze skleněného uzavíratelného boxu do okolí. Snímač by se dal použít v případě, kdyby byl vývod vzduchu umístěn uvnitř boxu. Vzhledem k velikosti sondy by musel být box nejméně o polovinu větší než box použitý pro měření.

2.4 Technické parametry použitých přístrojů

K měření bude použit, jak již bylo uvedeno, kapacitní snímač vlhkosti FH A646-1, který bude připojen k univerzálnímu měřicímu přístroji Almemo 2590. Uvedu zde i parametry psychrometrického snímače vlhkosti ZA A846-AK, kterého bude možno v budoucnosti při měření využít. Úplné technické parametry, které udává výrobce, jsou přílohou práce. Příloha číslo dvě: kapacitní snímač vlhkosti FH A646-1, příloha číslo tři: psychrometrický snímač vlhkosti ZA A846-AK a příloha číslo čtyři: univerzální přístroj Almemo 2590.

Kapacitní snímač vlhkosti FH A646-1

- teplota vzduchu -20 až $+80$ °C
- relativní vlhkost 5 až 98 %
- teplota rosného bodu -25 až $+100$ °C
- absolutní vlhkost 0 až 500 g/kg



Obrázek 7: Kapacitní snímač vlhkosti FH A646-1

Psychrometrický snímač vlhkosti ZA A846-AK

- teplota suché elektrody -50 až $+125$ °C
- teplota vlhké elektrody -50 až $+125$ °C
- relativní vlhkost 0 až 100 %
- teplota rosného bodu -25 až $+100$ °C
- absolutní vlhkost 0 až 500 g/kg



Obrázek 8: Psychrometrický snímač vlhkosti ZA A846-AK

Univerzální přístroj Almemo 2590

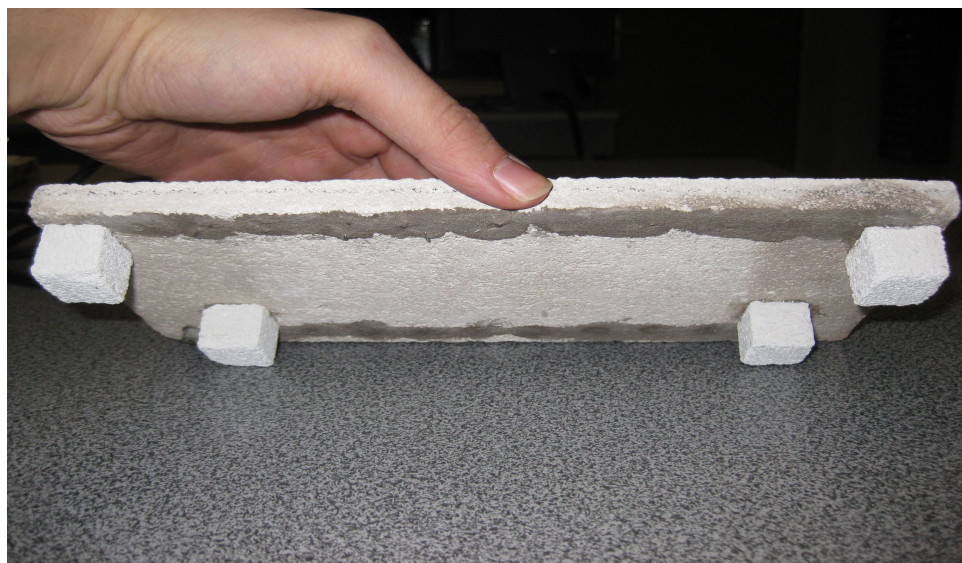
- 4 vstupní měřicí kanály
- 2 výstupní kanály pro všechny výstupní moduly (datové, analogové)
- osmiřádkový grafický displej 128x64 bodů
- 7 silikonových ovládacích tlačítek
- napájecí adaptér 230 V AC na 12 V DC, 200 mA



Obrázek 9: Univerzální přístroj Almemo 2590

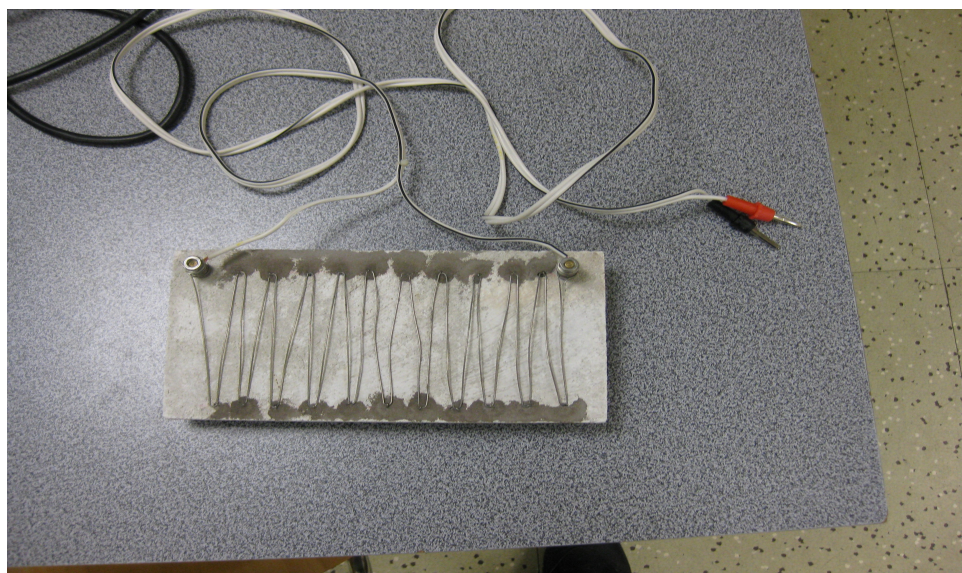
2.5 Tvorba regulovatelného zdroje

V první řadě jsem musel opatřit všechny potřebné součástky, které jsou uvedeny v seznamu součástek, jenž je přílohou číslo 1. Jednu z nejdůležitějších součástek, topnou spirálu, mi poskytla vedoucí práce. Topná spirála se stala základním prvkem celé tvorby zadaného pracoviště. Na tuto spirálu jsem připevnil nožičky pro lepší stabilitu tělesa. Skrz destičku jsou vedeny 2 šrouby, které slouží k propojení topné spirály s přívodním vodičem. Tyto šrouby původně způsobovaly nerovnost tělesa. Nožičky jsem vyrobil z tvárnice ytong. Tento materiál jsem volil proto, aby se shodoval s již využitým materiálem destičky, na kterém je navinuta topná spirála.



Obrázek 10: Topná spirála a její nožičky

Provedl jsem výměnu zkorodovaných banánků umístěných na konci vodičů topné spirály pro lepší vodivost. Poté jsem již mohl proměřit odpor topné spirály, který se rovnal $6\ \Omega$. Na základě této změřené hodnoty jsem odhadl velikost napětí, které je možno ke spirále připojit.



Obrázek 11: Topná spirála

Nejobtížněji se shánělo trafo. Podařilo se mi získat takové, které má 4 výstupy o těchto hodnotách:

- červený vodič: 10 V AC, 10 A
- hnědý vodič: 13,8 V AC, 5 A
- zelený vodič: 22 V AC, 5 A
- modrý vodič: 110 V AC, 0,5 A (tento výstup jsem v zapojení nevyužil)

Díky získanému trafu jsem již mohl přemýšlet o jeho zapojení. Zvolil jsem jako nejvhodnější variantu takové zapojení, kdy na 2 výstupy pomocí přepínače 2 z 6 přivádím různé velikosti napětí.

První pozice přepínače je nezapojená, tedy na výstupu je hodnota 0 V AC. Druhá pozice je napřímo propojená s červeným vodičem v trafu a je zde hodnota 10 V AC. Třetí pozice je napřímo propojená s hnědým vodičem v trafu a na výstupu je hodnota 13,8 V AC. Čtvrtá pozice je opět napřímo propojená se zeleným vodičem v trafu a je zde hodnota 22 V AC. Pátá pozice je sériově spojena s hnědým a zeleným vodičem v trafu, tedy je zde hodnota 35,8 V AC. Šestá, tedy poslední, pozice je sériové spojení všech 3 použitých výstupních napětí v trafu, což je: červený, hnědý a zelený vodič, přičemž je zde hodnota 45,8 V AC. Tak jsem vytvořil zapojení pro topnou spirálu. Čím vyšší napětí na výstupu přepínače, tím více se zahřívá topná spirála.

Pro připojení spirály slouží 2 zdířky, na které je napojen výstup z přepínače 2 z 6. Do těchto zdířek se pomocí banánků připojuje topná spirála. Další 2 zdířky umístěné na regulovatelném zdroji slouží k připojení ventilátoru. K připojení ventilátoru je využit druhý výstup (výše zmíněné 2 zdířky). Na tento výstup je připojeno druhé, nyní však stejnosměrné, trafo (DC). K regulaci otáček ventilátoru slouží potenciometr o hodnotě 220 Ω , který je zapojen do série k trafu. Celé zapojení bylo nutno umístit do nějaké konstrukční krabíčky či kontejneru.

Dalším krokem bylo tedy obstarat vhodnou konstrukční krabíčku pro dané účely. Ukázalo se velkým problémem sehnat krabíčku potřebných rozměrů, neboť žádná neodpovídala velikosti trafu (AC), které do ní mělo být také umístěno. Nakonec jsem byl nucen použít plastový kufřík, který původně sloužil jako obal pro aku vrtačku.

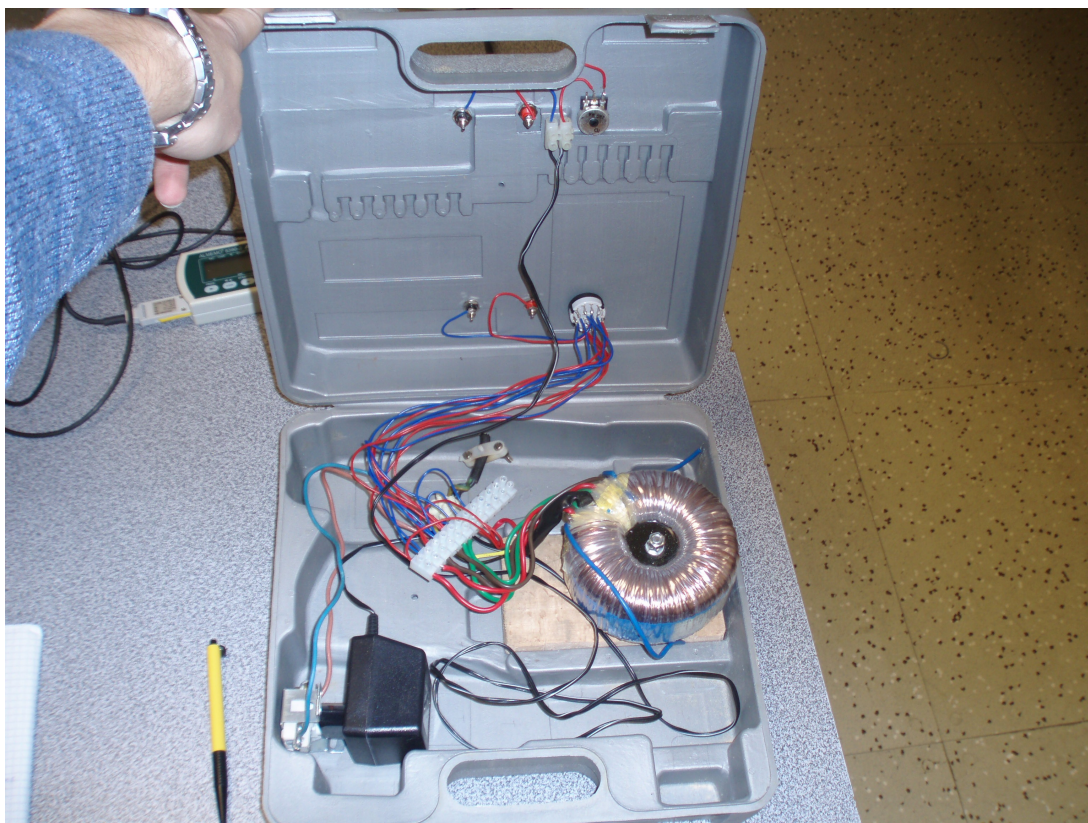
Nejdůležitějším krokem bylo promyšlení umístění trafu (AC), jehož hmotnost byla značně velká (cca 5 kg). Také bylo nutné vymyslet pevné uchycení

onoho trafo, aby při případné manipulaci s výrobkem nedošlo k poničení ostatních zařízení a zapojení v kufříku. Navíc jsem se snažil, aby trafo bylo upevněno nejen pevně, ale i tak, aby šroub, jímž bude přichyceno, nenarušil stabilitu kufříku (pokud by šroub vedl skrz kufřík, bylo by nutné připevnit ke kufříku navíc i nožičky, které by držely potřebnou stabilitu). Z různých materiálů jsem nakonec zvolil dřevo. Tento kus dřeva o velikosti cca 10x15x2,5 cm jsem opracoval do vhodného tvaru tak, aby pevně držel ve výlisku v kufříku. Na něj se již dalo pevně uchytit trafo (AC).

U druhého trafo (DC) jsem bohužel musel provrtat díru skrz stěnu kufříku, avšak zde se jedná o šroub menší velikosti a navíc směřující ven na okraji dna kufříku, kde tato nerovnost netvoří nikterak velkou překážku při manipulaci a zapojení výrobku a navíc je kufřík při položení na stůl či jinou pevnou podložku stabilní.

Dále jsem vyvrtal otvory pro již zmíněné 4 zdířky, potenciometr a přepínač 2 z 6. Jejich polohu jsem volil na základě již umístěných traf (AC i DC) tak, aby zbyl dostatečný prostor pro zapojení 4 zdířek, potenciometru a přepínače 2 z 6.

Napájel jsem vodiče k přepínači 2 z 6 a k potenciometru. Zdířky jsou připojeny na očko, čemuž jsem dal přednost před jejich pájením. Pro další spojení vodičů jsem použil svorkovnic. Snažil jsem se, aby vždy z jedné svorky vedly maximálně dva vodiče. Vodiče jsem nechal větší délky pro lepší a bezpečnější manipulaci s víkem kufříku.



Obrázek 12: Regulovatelný zdroj vnitřní část



Obrázek 13: Regulovatelný zdroj

Po dokončení regulovatelného zdroje jsem provedl měření napětí na výstupních svorkách pro topnou spirálu měřícím přístrojem Metex Dual Display M – 3650 D, v.č. IJ 204270 přesnost 0,8 % + 3 dogity. V tabulce jsou uvedeny předpokládané hodnoty napětí a naměřené hodnoty napětí.

Tabulka 1: Naměřené hodnoty regulovatelného zdroje na výstupních svorkách pro topnou spirálu.

POLOHA PŘEPÍNAČE	PŘEDPOKLÁDANÁ NAPĚTÍ [V]	NAMĚŘENÉ NAPĚTÍ [V]
1	0,0	$0,00 \pm 0,17$
2	10,0	$10,8 \pm 0,3$
3	13,8	$14,6 \pm 0,3$
4	22,0	$23,5 \pm 0,3$
5	35,8	$38,2 \pm 0,4$
6	45,8	$49,0 \pm 0,4$

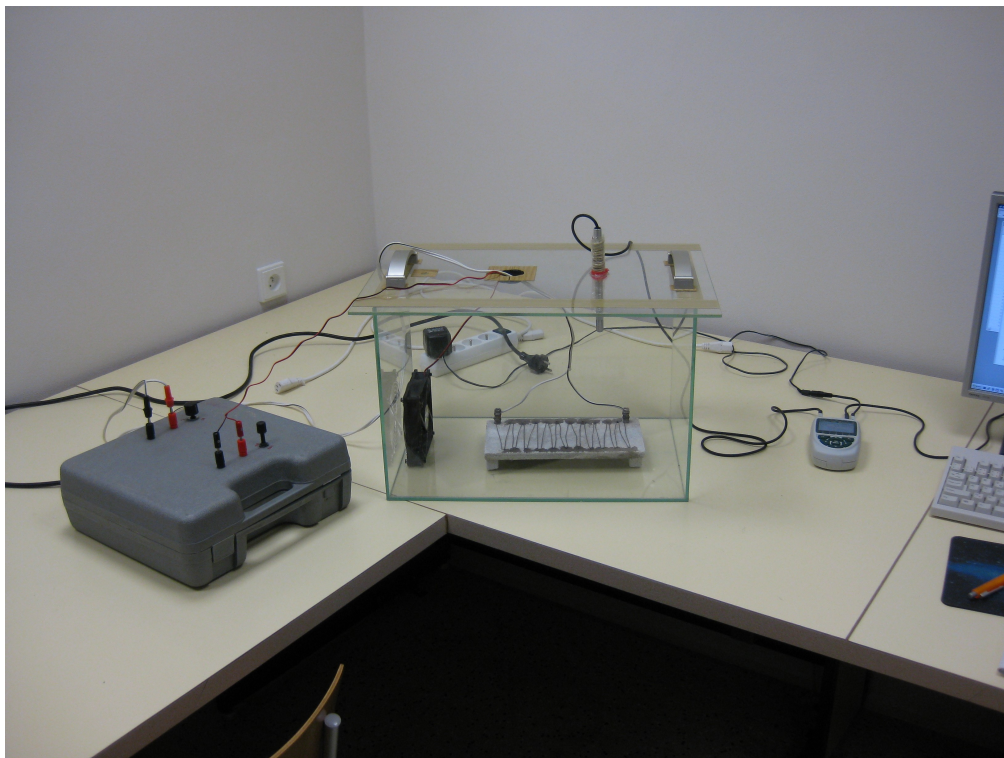
2.6 Popis nově vytvořeného pracoviště

Zhotovené pracoviště se nachází v laboratoři TUL a je vyobrazeno na obrázku č. 14. Vlhkost vzduchu se měří v uzavíratelném skleněném boxu z důvodu snazší regulace teploty.

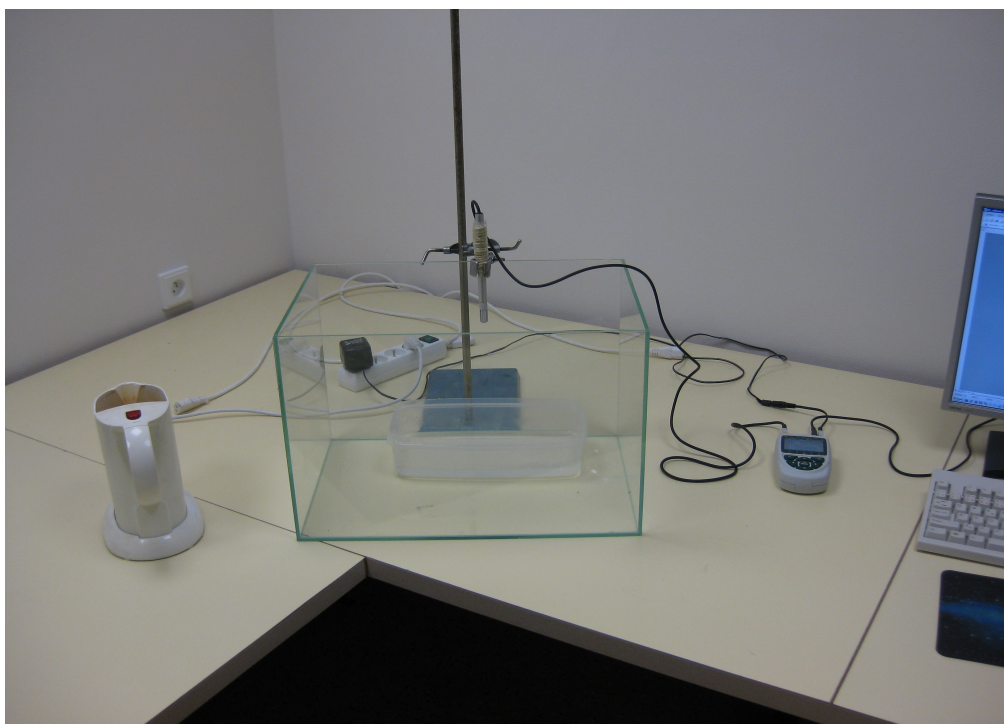
V uzavíratelném skleněném boxu je umístěna topná spirála sloužící k ohřevu vzduchu. Dále je zde umístěn ventilátor, který je potřebný k rovnoměrnému rozhánění teplého vzduchu v boxu. Ve víku boxu jsou 3 otvory. První otvor slouží pro zavedení vodičů, topné spirály a ventilátoru. Spirála i ventilátor jsou připojeny k regulovatelnému zdroji každý svou vlastní zdírkou. Barvy banánků odpovídají barvě zdírek. Druhý otvor je možné v budoucnu využít k umístění psychrometrického snímače vlhkosti ZA A846-AK. Ve třetím otvoru je umístěn kapacitní snímač vlhkosti FH A646-1. Kapacitní snímač je připojen k univerzálnímu přístroji Almemo 2590. Na univerzálním přístroji Almemo se měří:

- teplota vzduchu [°C]
- relativní vlhkost [%]
- teplota rosného bodu [°C]
- absolutní vlhkost vzduchu [g/kg]

Univerzální přístroj Almemo 2590 je připojen pomocí sériové linky k PC. Zde se snímají a ukládají hodnoty z prováděného měření. Popis prostředí programu je specifikován níže.



Obrázek 14: Nové pracoviště



Obrázek 15: Využití starého pracoviště

3 Vytvoření návodu k obsluze pracoviště

V této kapitole se budu zabývat vytvořením návodu na obsluhu nového pracoviště, přičemž při měření využiji částečně i pracoviště starého, abych mohl porovnat rozdíly naměřených hodnot. Zároveň bude vytvořen program pro automatický záznam naměřených dat.

3.1 Vytvoření programu pro automatický záznam

Pro automatický záznam dat z univerzálního měřicího přístroje Almemo 2590 jsem zvolil program Almemo verze 4.4. Po seznámení se s funkcemi programu jsem začal vytvářet prostředí pro dané měření.

Nejprve jsem v programu zvolil tlačítko Komunikace/připojení přístroje. Zde jsem nastavil pro komunikaci port COM 1 a zvolil rychlost komunikace na 9600, tato hodnota je doporučena výrobcem. Poté jsem připojil univerzální měřicí přístroj Almemo 2590. K nahrání informací o měřicím přístroji do programu je nutné stisknout tlačítko Navázání/ukončení spojení s přístrojem. Po stisku tlačítka Zobraz/nastavení přístroje jsem nastavil cyklus čtení měřených hodnot na dobu 15 sekund. Nyní jsem již mohl začít nastavovat vizualizaci programu.

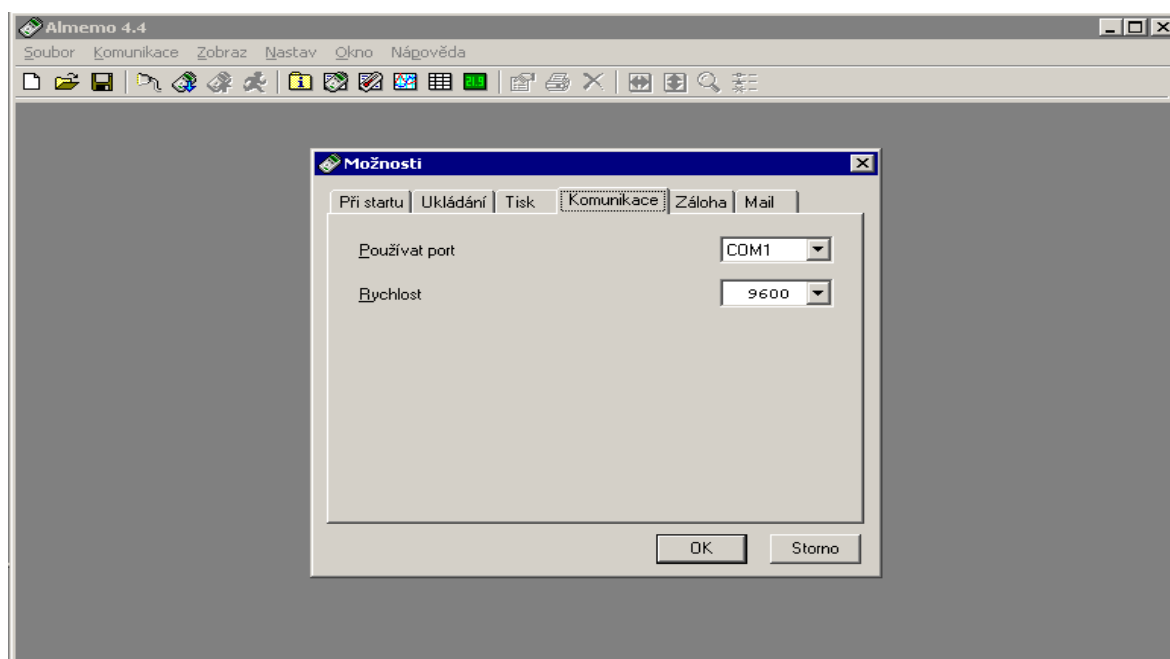
Po stisku Tabulky/nová tabulka jsem nastavil tabulku. V tabulce bude v prvním sloupci čas měření ve formátu HH:MM:SS, ve druhém sloupci teplota v uzavřeném skleněném boxu [°C], ve třetím sloupci relativní vlhkost [%], ve čtvrtém sloupci teplota rosného bodu [°C] a v pátém sloupci absolutní vlhkost vzduchu [g/kg].

Po spuštění měření budou v tabulce po 15 sekundách automaticky přibývat naměřené hodnoty. Další nastavení se týká grafu. Po stisku tlačítka Grafy/vytvořit nový se nám zobrazí okno, ve kterém nastavíme graf. Nastavení grafu je omezené, na ose x je napevno nastaven čas v sekundách, což nedává velký prostor k vlastnímu nastavení. Graf jsem tedy nastavil tak, že na ose x je již zmíněný čas měření v sekundách a na ose y jsou všechny ostatní měřené hodnoty. Pro snadnější orientaci jsem je oddělil barevně. Legenda je zobrazena na grafu.

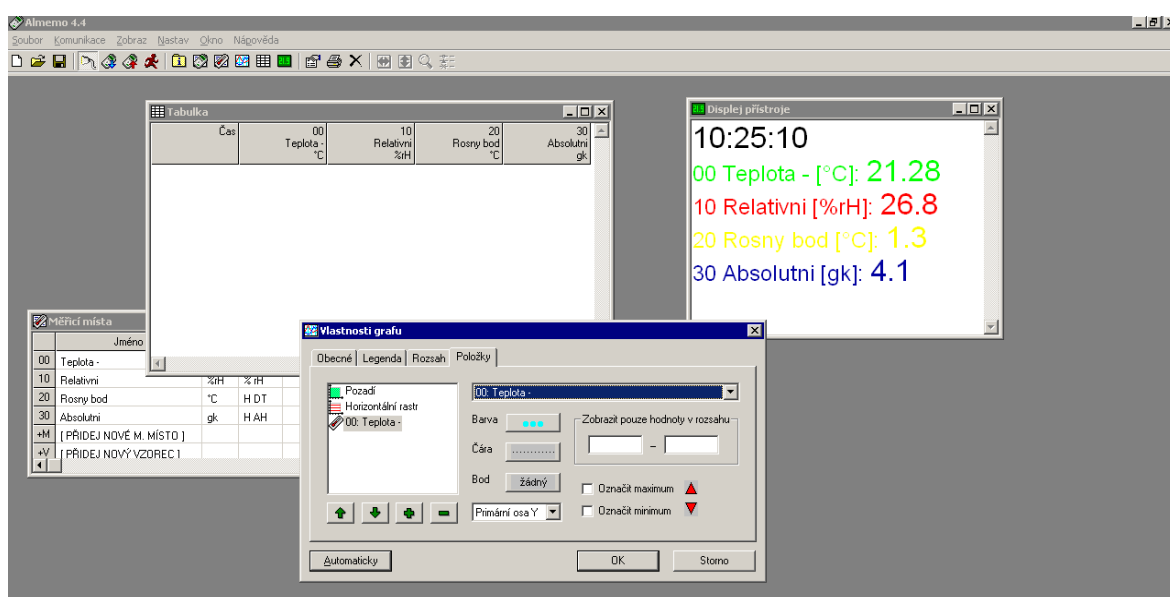
Poslední částí, kterou bylo nutno nakonfigurovat, byl displej přístroje. Po stisku tlačítka Displeje/nový displej jsem mohl toto nastavení provést. Na displeji

jsou zobrazeny všechny měřené hodnoty ve stejném barevném provedení jako na grafu.

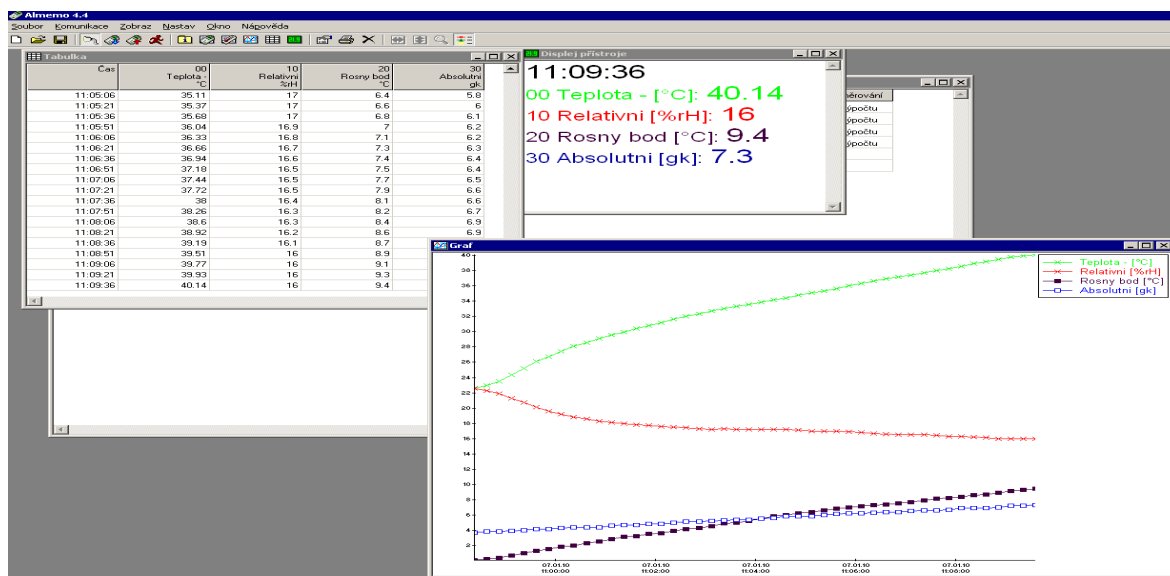
Toto nastavení jsem uložil přes tlačítko Soubor/uložit jako šablonu. Při dalším zapnutí stačí nahrát tuto šablonu a program se nastaví dle mé konfigurace. Po ukončení měření se data z tabulky uloží pomocí Soubor/export. Data se uloží ve formátu xls, tedy v tabulkovém procesoru, programu Microsoft Excel.



Obrázek 16: Ukázka prostředí Almemo 4.4. nastavení komunikace



Obrázek 17: Ukázka prostředí Almemo 4.4. nastavení grafu

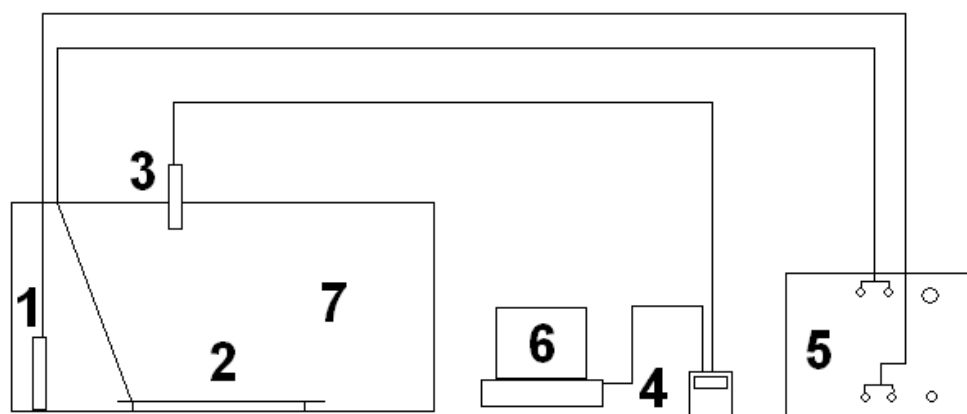


Obrázek 18: Ukázka hotového modulu v prostředí Almemo 4.4. po odměření

3.2 Návod k obsluze pracoviště

Měření číslo 1

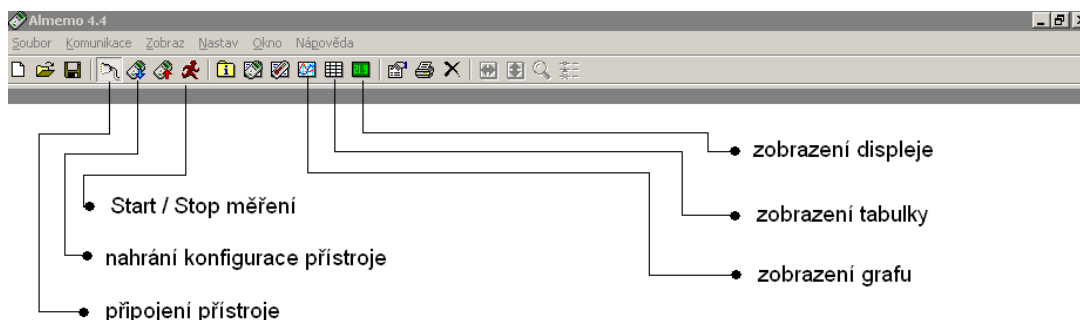
Zapojte pracoviště dle obrázku č. 19. Při připojování topné spirály a ventilátoru dodržte barevnost konektorů a zdírek.



Obrázek 19: Schéma zapojení pracoviště; 1 je ventilátor, 2 je topná spirála, 3 je kapacitní senzor, 4 měřicí přístroj Almemo, 5 regulovatelný zdroj, 6 je PC, 7 je uzavíratelný skleněný box

Pomocí kapacitního snímače vlhkosti FH A646-1 a univerzálního přístroje Almemo 2590 připojeného k PC změřte:

- teplotu vzduchu [°C]
- relativní vlhkost [%]
- teplotu rosného bodu [°C]
- absolutní vlhkost vzduchu [g/kg]



Obrázek 20: Nastavení programu Almemo 4.4.

Po spuštění PC připojte sériový kabel do PC na port COM 1 a na port M 1 univerzálního měřicího přístroje Almemo 2590. Spustěte program Almemo verze 4.4. umístěný na ploše.

Po zobrazení úvodního okna klikněte na tlačítko Soubor/otevřít jako šablonu. Zde zvolte soubor uložený na ploše s názvem mereni_vlhkosti.alm. Otevře se vám okno s názvem Měřicí místa. Poté klikněte na tlačítko z panelu nástrojů Navázání/ukončení spojení s přístrojem. Následně klikněte na tlačítko z panelu nástrojů Přenos z přístroje do počítače a zvolte položku Konfiguraci.

Klikněte na tlačítko z panelu nástrojů Displeje a zvolte položku Celý displej, zobrazí se vám displej s měřenými hodnotami a jednotkami. Poté klikněte na tlačítko Tabulky a zvolte Celé měření, otevře se vám okno s tabulkou, kde jsou v hlavičce uvedeny hodnoty, které se budou měřit.

Dalším krokem se přistoupí k hlavnímu měření. Stiskne se tlačítko Start/stop měření. Po stisku tlačítka vyběhne tabulka, kde se zaškrtně položka nesynchronizovat a potvrdí se tlačítkem OK. Již dochází k samotnému měření, které můžete pozorovat přibýváním hodnot v tabulce. Hodnoty se připisují do tabulky v periodě 15 sekund. Pro ukončení měření se stiskne opět tlačítko Start/stop měření.

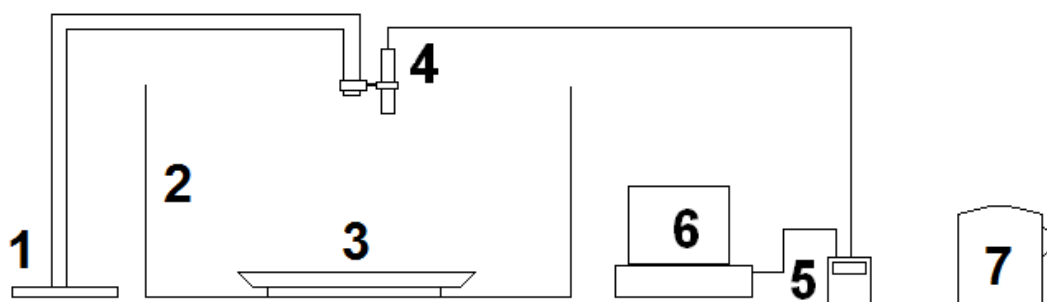
Pro uložení hodnot v tabulce klikněte na Soubor/export. Zadejte jméno souboru a uložte. Data se uloží ve formátu jmeno.xls, tedy v tabulkovém procesoru, programu Microsoft Excel. Nyní klikněte na tlačítko Navázání/ukončení spojení s přístrojem a zavřete program.

Přepínač na regulovatelném zdroji u topné spirály nastavte do polohy 4. Rychlost otáček ventilátoru nastavte na minimum. Poté započnete s měřením.

Po ukončení měření zapojte pracoviště dle obrázku č. 21.

Měření číslo 2

Po zapojení pracoviště dle obrázku č. 21 pokračujte dle uvedených instrukcí.



Obrázek 21: Schéma zapojení pracoviště pro druhé měření; 1 je železný stojan, 2 je skleněný box, 3 je nádoba na vodu, 4 je kapacitní senzor, 5 je měřicí přístroj Almemo, 6 je PC a 7 je rychlovarná konvice

Pro druhé měření ohřejte polovinu vody v rychlovarné konvici, voda nesmí být vroucí. Poté přelijte obsah konvice do nádoby umístěné na dně skleněného boxu, umístěte kapacitní senzor. Měřte po dobu 10 minut. Postup nastavení v programu Almemo 4.4. je stejný jako v předchozím měření.

Pokyny pro zpracování protokolu:

Měření číslo 1

- Upravte tabulku naměřených hodnot získanou prostřednictvím programu Almemo 4.4.

- Vypočtete relativní vlhkost pomocí teploty okolí a teploty rosného bodu, pro výpočet použijte Tabulku nasyceného vlhkého vzduchu (tabulka č. 2). Pokud hodnota není přesně uvedena, spočtete ji pomocí lineární interpolace. Vzorec pro výpočet relativní vlhkosti je:

$$\varphi = \frac{\Phi''_{tr}}{\Phi''_t},$$

(9)

kde Φ''_{tr} je teplota rosného bodu a Φ''_t je teplota okolí.

- Pro měření vypracujte dva grafy. V prvním grafu bude uvedena závislost vypočtené a změřené relativní vlhkosti vzduchu na čase. Ve druhém grafu bude závislost vypočtené a změřené relativní vlhkosti vzduchu na teplotě.

Měření číslo 2

- Upravte tabulku naměřených hodnot získanou prostřednictvím programu Almemo 4.4.
- Vypočtete relativní vlhkost pomocí teploty okolí a teploty rosného bodu, postup je shodný jako u měření číslo jedna.
- Pro měření vypracujte graf závislosti vypočtené a změřené relativní vlhkosti vzduchu na čase.
- Popište rozdíly změřených a vypočtených hodnot relativní vlhkosti vzduchu.

Tabulka 2: Tabulka nasyceného vlhkého vzduchu.

ϑ [°C]	p'' [Pa]	Φ'' [g.m ⁻³]
-4	436,89	3,514
-3	475,62	3,812
-2	517,30	4,131
-1	562,41	4,474
0	610,76	4,827
1	656,6	5,189
2	705,4	5,555
3	757,5	5,945
4	812,9	6,357
5	871,9	6,793
6	934,7	7,256
7	1001,3	7,746
8	1072,1	8,265
9	1147,3	8,815
10	1227,7	9,398
11	1311,8	10,01
12	1401,6	10,66
13	1496,7	11,34
14	1597,4	12,06
15	1704,1	12,82
16	1817,0	13,63
17	1936,4	14,47
18	2062,0	15,36
19	2196,0	16,30
20	2337,0	17,29

ϑ [°C]	p'' [Pa]	Φ'' [g.m ⁻³]
21	2486	18,33
22	2643	19,42
23	2808	20,57
24	2982	21,77
25	3166	23,04
26	3360	24,37
27	3564	25,76
28	3779	27,26
29	4004	28,75
30	4241	30,37
31	4491	32,05
32	4753	33,81
33	5029	35,65
34	5318	37,58
35	5622	39,62
36	5940	41,72
37	6274	43,92
38	6624	46,23
39	6991	48,64
40	7375	51,15
41	7777	53,76
42	8198	56,49
43	8639	59,35
44	9101	62,34
45	9584	65,44

ϑ [°C]	p'' [Pa]	Φ'' [g.m ⁻³]
46	10088	68,68
47	10614	72,05
48	11163	75,57
49	11736	79,23
50	12335	83,06
51	12960	86,96
52	13612	91,07
53	14292	95,35
54	15001	99,80
55	15740	104,4
56	16510	109,2
57	17312	114,2
58	18146	119,3
59	19014	124,7
60	19917	130,2
61	20860	136,0
62	21840	142,0
63	22850	148,2
64	23910	154,6
65	25010	161,3
66	26150	168,2
67	27330	175,3
68	28560	182,7
69	29840	190,3
70	31170	198,2

4 Závěrečné zkušební měření

Tato poslední kapitola obsahuje zkušební měření, které potvrdí funkčnost vzniklého pracoviště na měření vlhkosti vzduchu.

Měření bude provedeno podle návodu k obsluze pracoviště.

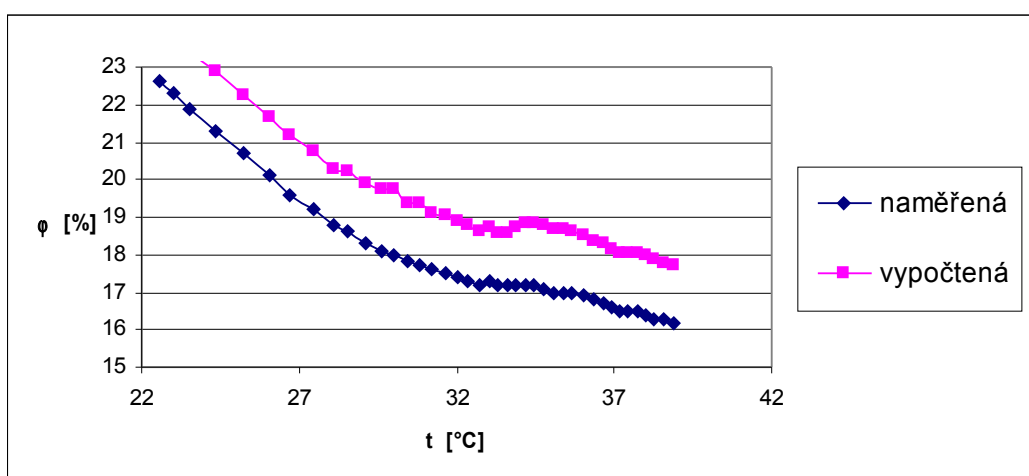
4.1 Zkušební měření

Tabulka 3: Tabulka naměřených a vypočtených hodnot; měření číslo 1.

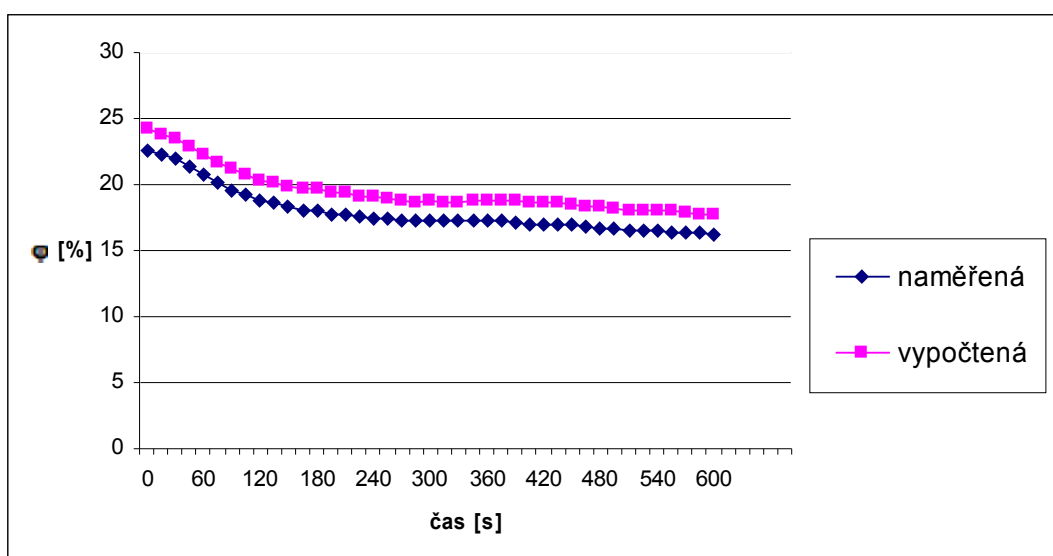
Čas měření [s]	Teplota okolí [°C]	Relativní vlhkost [%]	Rosný bod [°C]	Absolutní vlhkost [g/kg]	Relativní vlhkost vypočtená [%]
0	22,58	22,6	0,1	3,7	24,2
15	22,99	22,3	0,2	3,8	23,8
30	23,53	21,9	0,4	3,8	23,4
45	24,35	21,3	0,7	3,9	22,9
60	25,21	20,7	1	4	22,3
75	26,08	20,1	1,3	4,1	21,6
90	26,71	19,6	1,5	4,1	21,2
105	27,44	19,2	1,8	4,3	20,7
120	28,09	18,8	2	4,4	20,3
135	28,54	18,6	2,3	4,4	20,2
150	29,08	18,3	2,5	4,4	19,9
165	29,6	18,1	2,8	4,6	19,7
180	29,99	18	3,1	4,7	19,7
195	30,42	17,8	3,2	4,7	19,4
210	30,84	17,7	3,5	4,8	19,4
225	31,18	17,6	3,6	4,8	19,1
240	31,62	17,5	3,9	5	19,1
255	32,02	17,4	4,1	5,1	18,9
270	32,36	17,3	4,3	5,1	18,8
285	32,7	17,2	4,5	5,2	18,6
300	33,02	17,3	4,9	5,3	18,8
315	33,31	17,2	5	5,4	18,6
330	33,59	17,2	5,2	5,4	18,6
345	33,89	17,2	5,5	5,5	18,7
360	34,2	17,2	5,8	5,6	18,8
375	34,44	17,2	6	5,8	18,9
390	34,78	17,1	6,2	5,8	18,8
405	35,11	17	6,4	5,8	18,7
420	35,37	17	6,6	6	18,7
435	35,68	17	6,8	6,1	18,6
450	36,04	16,9	7	6,2	18,5
465	36,33	16,8	7,1	6,2	18,4

Pokračování tabulky číslo 3 ze strany č. 41

480	36,66	16,7	7,3	6,3	18,3
495	36,94	16,6	7,4	6,4	18,2
510	37,18	16,5	7,5	6,4	18,1
525	37,44	16,5	7,7	6,5	18,0
540	37,72	16,5	7,9	6,6	18,0
555	38	16,4	8,1	6,6	18,0
570	38,26	16,3	8,2	6,7	17,9
585	38,6	16,3	8,4	6,9	17,8
600	38,92	16,2	8,6	6,9	17,7



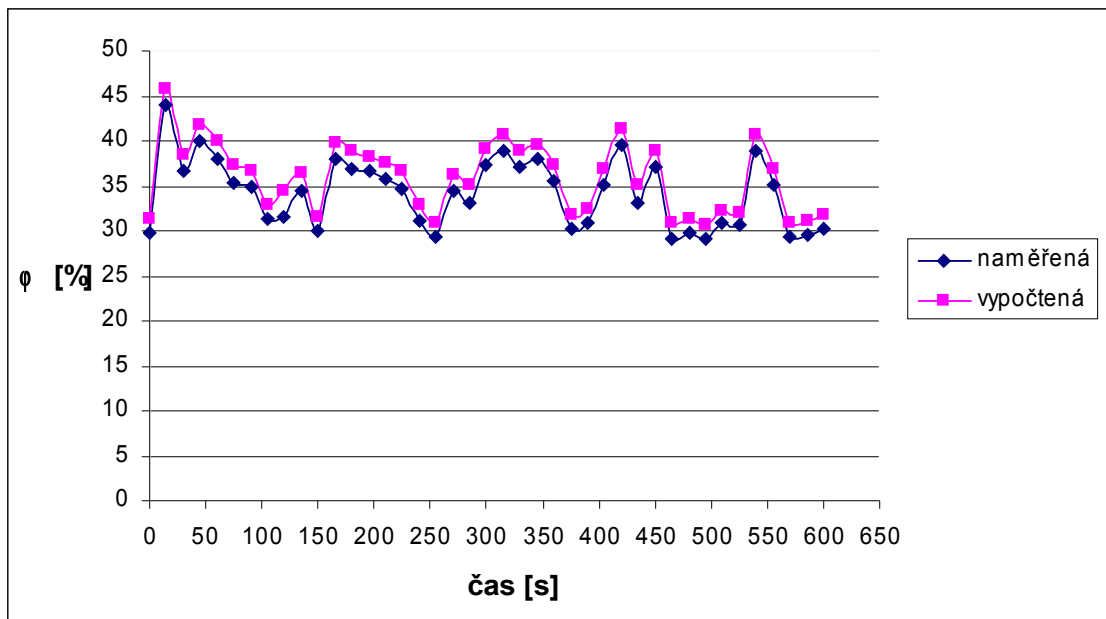
Obrázek 22: Závislost teploty na změřené a vypočtené relativní vlhkosti vzduchu; měření číslo 1



Obrázek 23: Závislost času na změřené a vypočtené relativní vlhkosti vzduchu; měření číslo 1

Tabulka 4: Tabulka naměřených a vypočtených hodnot, měření číslo 2.

Čas měření [s]	Teplota okolí [°C]	Relativní vlhkost [%]	Rosný bod [°C]	Absolutní vlhkost [g/kg]	Relativní vlhkost vypočtená [%]
0	23,12	29,7	4,4	5,1	31,4
15	23,2	43,9	10,2	7,7	45,7
30	23,24	36,6	7,5	6,4	38,4
45	23,31	40,1	8,9	7	41,8
60	23,35	38,1	8,2	6,7	39,9
75	23,41	35,4	7,2	6,2	37,3
90	23,44	34,8	7	6,2	36,7
105	23,45	31,3	5,4	5,5	33,0
120	23,46	31,6	5,6	5,6	34,4
135	23,47	34,5	6,9	6,1	36,4
150	23,46	30	4,8	5,3	31,5
165	23,48	38	8,3	6,8	39,9
180	23,48	37	7,9	6,5	38,8
195	23,49	36,7	7,7	6,5	38,3
210	23,5	35,7	7,4	6,3	37,6
225	23,5	34,7	7	6,2	36,6
240	23,48	31,1	5,4	5,5	32,9
255	23,47	29,4	4,5	5,2	31,0
270	23,47	34,4	6,8	6,1	36,2
285	23,46	33,2	6,3	5,8	35,0
300	23,46	37,3	8	6,6	39,1
315	23,48	38,9	8,6	6,9	40,6
330	23,5	37,2	7,9	6,6	38,8
345	23,5	37,9	8,2	6,7	39,6
360	23,49	35,6	7,3	6,3	37,3
375	23,48	30,3	5	5,4	31,8
390	23,44	30,8	5,2	5,4	32,4
405	23,45	35,2	7,1	6,2	36,9
420	23,45	39,6	8,8	7	41,2
435	23,45	33,1	6,3	5,8	35,1
450	23,46	37,2	7,9	6,6	38,9
465	23,44	29,2	4,4	5,1	30,8
480	23,42	29,7	4,6	5,2	31,2
495	23,39	29,1	4,3	5,1	30,8
510	23,37	30,8	5,1	5,4	32,3
525	23,36	30,6	5	5,4	32,1
540	23,37	38,9	8,5	6,9	40,6
555	23,38	35,1	7	6,2	36,8
570	23,37	29,4	4,4	5,1	31,0
585	23,36	29,6	4,5	5,2	31,2
600	23,36	30,2	4,8	5,3	31,7



Obrázek 24: Závislost času na změřené a vypočtené relativní vlhkosti vzduchu; měření číslo 2

Zhodnocení měření

Naměřené hodnoty relativní vlhkosti vzduchu se od vypočtených hodnot relativní vlhkosti vzduchu liší řádově o 1,5 %. Tento rozdíl není velký a je způsobený čerpáním hodnot z tabulky nasyceného vlhkého vzduchu. Tato tabulka byla stanovena také měřením. S přihlédnutím k chybám měření se tento rozdíl jeví jako zanedbatelný.

5 Závěr

Tato práce si stanovila za cíl vytvořit nové pracoviště pro měření vlhkosti vzduchu. Nejprve bylo toto pracoviště vytvořeno modifikací pracoviště starého. Jeho funkčnost byla vyzkoušena závěrečným měřením v poslední části práce. Toto měření bylo provedeno přesně podle vytvořeného zadání úlohy.

Vlhkost vzduchu je měřena ve dvou částech, v první se pomocí topné spirály ohřívá vzduch, ve druhé se měří postupné chladnutí horké vody. Měření probíhá v uzavíratelném skleněném boxu.

V rámci bakalářské práce jsem vytvořil i program pro automatický záznam naměřených dat. Bohužel se v tomto programu při využití funkce „uložit jako šablona“ nezobrazí všechna vytvořená okna (graf, tabulka, displej), při otevření této šablony, ale musí se zobrazit ručně.

Velikou výhodou je automatické snímání hodnot při měření vlhkosti vzduchu, které se ukládá ve formátu xls. To nám usnadní práci při zpracování naměřených hodnot.

Díky úspěšnému závěrečnému měření jsme mohli zhodnotit jeho průběhy. Měření v závislosti teploty na změřené relativní vlhkosti vzduchu vykazuje lineární průběh oproti skokovým změnám závislosti relativní vlhkosti na čase při měření číslo 2.

Domnívám se, že jsem splnil vytyčené cíle bakalářské práce a že tento projekt bude sloužit k lepšímu pochopení dané problematiky u studentů TUL.

Použitá literatura

- [1] TEYSSLER, Vladimír, *Technická měření ve strojnictví*. 2. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1957. 320 s.
- [2] FEXA, Josef; ŠIROKÝ, Karel. *Měření vlhkosti*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1983. 264 s.
- [3] KOVANDA, Jan. *Přístroje pro měření fyzikálních veličin*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1965. 112 s.
- [4] BLAHNÍK, Roman; KOSOBUD, Josef. *Metody laboratorního vytváření a měření vlhkosti*. 1. vyd. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1969. 133 s.
- [5] BINDER, Robert. *Základy automatického řízení*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1985. 144 s.
- [6] PLÍVA, Zdeněk; DRÁBKOVÁ, Jindra. *Metodika zpracování diplomových, bakalářských a vědeckých prací na FM TUL*. 1. vyd. Liberec: TUL, 2009. 38 s. ISBN: 978-80-7372-189-3.
- [7] BRANŠOVSKÝ, Pavel. *Podpora výuky*. 2. 12. 2009. URL: <http://is.sssep9.cz/podklady/bransovsky/Automatizace/AUT_1_13_Ukazovac%C3%AD%20a%20zobrazovac%C3%AD%20p%C5%99%C3%ADstroje.pdf>.
- [8] *Soubor:Sling psychrometer.JPG*. 2.12.2009. URL: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Sling_psychrometer.JPG>.
- [9] *Měření vlhkosti vzduchu*. 2.12.2009. URL: <<http://www.micro.feld.cvut.cz/home/X34SES/cviceni/Navody%20na%20cviceni/07.Mereni%20vlhkosti.pdf>>.
- [10] *Měřicí přístroje ALHBORN*. 2.12.2009. URL <<http://www.ahlborn.cz/>>.

Seznam použitých zkratek a symbolů

Φ	[g/m ³]	absolutní vlhkost vzduchu
Φ_{MAX}	[g/m ³]	maximální absolutní vlhkost
φ	[%]	relativní vlhkost vzduchu
V	[m ³]	objem vlhkého plynu
m	[kg]	hmotnost vodní páry
t	[°C]	teplota
t_1	[°C]	teplota suchého teploměru u psychrometru
t_2	[°C]	teplota mokrého teploměru u psychrometru
A		psychrometrická konstanta
e_1	[Pa]	tlak nasycených par při teplotě měřeného vzduchu
b	[Pa]	barometrický tlak
E_1	[Pa]	tlak nasycených par při teplotě t_1
E_2	[Pa]	tlak nasycených par při teplotě t_2
ε	[m]	relativní prodloužení prvku
T	[°C]	absolutní teplota
C		dilatační konstanta
U	[V]	napětí
I	[A]	proud
Δf	[Hz]	změna frekvence
Δm	[m]	změna hmotnosti výbrusu
f	[Hz]	vlastní frekvence rezonátoru
N		frekvenční konstanta závislá
ρ	[kg/m ³]	hustota křemene
S	[m ²]	plocha výbrusu a
K		konstanta úměrnosti
Φ''_{tr}	[°C]	teplota rosného bodu
Φ''_t	[°C]	teplota okolí
n	[mol]	molární hmotnost
DC		stejnoseměrné napětí

AC	střídavé napětí
v.č.	výrobní číslo
s	sekunda
č.	číslo

Přílohy

Č. 1: Seznam součástek

SOUČÁSTKY/ POČET KUSŮ		PARAMETRY
Trafo AC / 1	výrobce:	GV elektronik
	v.č.	9500808
	vstupní napětí:	AC 230 V 50 Hz
	výstupní napětí:	červený vodič : AC 10 V/10A
		hnědý vodič : AC 13,8V/5A
		zelený vodič : AC 22V/5A
Ventilátor / 1		modrý vodič : AC 110 V/ 0,5 A
	výrobce:	Codler Master
	v.č.	A12025-12CB-4KN-L1
	vstupní napětí:	DC 12V/ 0,12A
	typ:	PL12S12L
Trafo DC / 1	rozměr:	120 x 120 x 10 cm
	výrobce:	Benkor
	v.č.	není uvedeno
	vstupní napětí:	AC 230 V 50Hz 96mA
	výstupní napětí:	DC 15 V 800mA 12VA
Plastový kufřík / 1	typ:	DX15V800E
	rozměr:	30 x 30 x 11 cm
Svorkovnice / 3		1 x počet svorek 12
		2 x počet svorek 2
Třížilový přívodní kabel s koncovkou / 1		
Plastová svorka na dva šrouby / 1		
Zásuvka na 230 V / 1		
Banánky / 4	výrobce:	GM elektronik
	typ:	1 x bannana black – černý o průměru 4 mm
		1 x bannana red – červený o průměru 4 mm
	rozměr:	1 x banánek dvoudílný – černý o průměru 4 mm
		1 x bannánek dvoudílný – červený o průměru 4 mm
Přístrojové zdířky / 4	typ:	2 kusy K201- černá o průměru 4 mm
	typ:	2 kusy K201 R – červená o průměru 4 mm
Přepínač otočný 2 z 6 / 1	výrobce:	GM elektronik
	typ	PDS2
Potenciometr / 1	výrobce:	GM elektronik
Potenciometr / 1	parametry:	220 Ω 4 W
	rozměr:	plast průměr 6 mm
Propojovací vodiče / 22	rozměr:	průměr 2 mm

Č. 2: Úplné technické parametry kapacitního snímač vlhkosti FH A646-1

ALHORN
www.alhorn.com

09

LUFTFEUCHTE

Kapazitiver Feuchtefühler
Typ FHA646-E1 / -E1C / -E2C / -E3C



- ▶ Handlicher Fühler für Kontrollmessungen und stationären Einsatz bis 60 °C
- ▶ Fühlerrohr aus Kunststoff.
- ▶ intelligente ALMEMO®-Verlängerungskabel bis 100 m.



- ▶ Robuster Fühler für Kontrollmessungen und stationären Einsatz bis 80 °C
- ▶ Fühlerrohr aus Edelstahl.
- ▶ Spritzwassergeschützte Kabelverschraubung.
- ▶ Aktive Kompensation der Feuchtemessung mit dem eingebautem Temperatursensor (neuer Messbereich für alle ALMEMO®-Geräte ab 2003).
- ▶ Großer Arbeitstemperaturbereich.
- ▶ Intelligente ALMEMO®-Verlängerungskabel bis 100 m.

Zubehör:

Schutzkappen siehe Seite 09.06
Haltewinkel für Wandmontage, Wandabstand ca. 40 mm
verschiebbare Aluminium-Verschraubung mit Teflon-Dichtring
Anschlussflansch für Verschraubung, Lochkreis 38 mm ø
Verlängerungskabel, 2 m lang
Verlängerungskabel, 4 m lang
intelligentes Verlängerungskabel, 5 m lang
intelligentes Verlängerungskabel, 10 m lang
intelligentes Verlängerungskabel, 20 m lang
intelligentes Verlängerungskabel, 30 m lang
intelligentes Verlängerungskabel, 50 m lang
intelligentes Verlängerungskabel, 100 m lang

Ausführungen inkl. Hersteller-Prütschein:

Feuchtefühler mit Kunststoffrohr, -20...+60 °C
Feuchtefühler mit Edelstahlrohr 160mm, aktive Temperaturkompensation, -20...+80 °C
Feuchtefühler mit Edelstahlrohr 270mm, aktive Temperaturkompensation, -20...+80 °C
Feuchtefühler mit Edelstahlrohr 530mm, aktive Temperaturkompensation, -20...+80 °C

Technische Daten:

Einsatzbereich:
FHA646-E1 -20...+60 °C/ 5...98 % r.H.
FHA646-E1C/ E2C/ E3C -20...+80 °C/ 5...98 % r.H.

Feuchte-Messkreis

Messbereich: 0 ... 100 % r.H.
Sensor: kapazitiv
Genauigkeit: ±2% r.H. bei Nenntemperatur
Reproduzierbarkeit: < 1% r.H. bei Nenntemperatur
Nenntemperatur: 25°C ±5°C
Sensorbetriebsdruck: atmosphärischer Druck
Ansprechzeit T_{90} : ca. 10 s (ohne Filter) bei 5 m/s

Temperatur-Messkreis

Sensor: NTC Typ N
Genauigkeit: -20 ... 0°C: ±0,4°C
0 ... 70°C: ±0,1°C
70 ... 80°C: ±0,6°C

Reproduzierbarkeit: 0,1°C

Mechanische Ausführung

Fühlerrohr: Durchmesser 12 mm
FHA646-E1 Kunststoff 155 mm lang
FHA646-E1C Edelstahl 160 mm lang
FHA646-E2C Edelstahl 270 mm lang
FHA646-E3C Edelstahl 530 mm lang
Schutzkappe: SK7 Metallgitterfilter
Kabelverschraubung: spritzwassergeschützt (nur FHA646xxC)
Kabel: 1,5 m lang mit ALMEMO®-Stecker, längeres ALMEMO® Kabel (bis 30m) auf Anfrage

Best.-Nr. ZB9600W
Best.-Nr. ZB9600KV
Best.-Nr. ZB9600F
Best.-Nr. ZA9060VK2
Best.-Nr. ZA9060VK4
Best.-Nr. ZA9060VK5
Best.-Nr. ZA9060VK10
Best.-Nr. ZA9060VK20
Best.-Nr. ZA9060VK30
Best.-Nr. ZA9060VK50
Best.-Nr. ZA9060VK100

Best.Nr. FHA646E1
Best.Nr. FHA646E1C
Best.Nr. FHA646E2C
Best.Nr. FHA646E3C

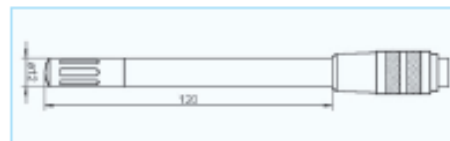
09.04

ALHORN Mess- und Regeltechnik GmbH • 85602 Hallertshausen • Deutschland • Tel. +49 89 24 3007 0 • FAX +49 89 24 3007 10

01/2007 Intim und Änderungen vorbehalten

LUFTFEUCHTE

Kapazitiver Feuchtefühler Typ FHA646KxC



- ▶ Einbaufühler mit robustem ALMEMO®-Rundsteckeranschluss
- ▶ Fühlerrohr aus Edelstahl
- ▶ Aktive Kompensation der Feuchtemessung mit dem eingebauten Temperatursensor (neuer Messbereich für alle ALMEMO®-Geräte ab 2003).
- ▶ Großer Arbeitstemperaturbereich.
- ▶ Intelligente ALMEMO®-Anschlusskabel bis 100 m.

Zubehör:

Schutzkappen siehe 09.06

Haltewinkel für Wandmontage, Wandabstand ca. 40 mm

Verschiebbare Aluminium-Verschraubung mit Teflon-Dichtring

Anschlussflansch für Verschraubung, Lochkreis 38 mm Ø

Best.-Nr. ZB9600W

Best.-Nr. ZB9600KV

Best.-Nr. ZB9600F

Ausführungen inkl. Hersteller-Prüfschein :

Feuchtefühler mit Edelstahlrohr, aktive Temperaturkompensation, -20...+80 °C, mit ALMEMO®-Rundstecker,

Fühlerlänge = 120 mm

Fühlerlänge = 260 mm

Fühlerlänge = 520 mm

Best.Nr. FHA646K1C

Best.Nr. FHA646K2C

Best.Nr. FHA646K3C

intelligente ALMEMO®-Anschlusskabel mit 8-poliger ALMEMO®-Rundkupplung

Länge = 5 m

Länge = 10 m

Länge = 20 m

Länge = 30 m

Länge = 50 m

Länge = 100 m

Best.-Nr. ZA9060VKCR5

Best.-Nr. ZA9060VKCR10

Best.-Nr. ZA9060VKCR20

Best.-Nr. ZA9060VKCR30

Best.-Nr. ZA9060VKCR50

Best.-Nr. ZA9060VKCR100

Technische Daten:

Einsatzbereich: -20...+80 °C/ 5...98 % r.H.

Feuchte-Messkreis:

Messbereich: 0 ... 100 % r.H.

Sensor: kapazitiv

Genauigkeit: ±2% r.H. bei Nenntemperatur

Reproduzierbarkeit: < 1% r.H. bei Nenntemperatur

Nenntemperatur: 25°C ±3°C

Sensorbetriebsdruck: atmosphärischer Druck

Ansprechzeit T_{90} : ca. 10 s (ohne Filter) bei 5 m/s

Temperatur-Messkreis

Sensor: NTC Typ N

Genauigkeit: -20 ... 0°C: ±0,4°C

0 ... 70°C: ±0,1°C

70 ... 80°C: ±0,6°C

Reproduzierbarkeit: 0,1°C

Mechanische Ausführung

Fühlerrohr: Durchmesser 12 mm, Edelstahl

Schutzkappe: SK7 Metallgitterfilter

Anschluss: 8-poliger ALMEMO®-Rundstecker

LUFTFEUCHTE

Schutzkappen für kapazitive Feuchtefühler Typ FHA646-E1x/-KxC/-E7C/-5x

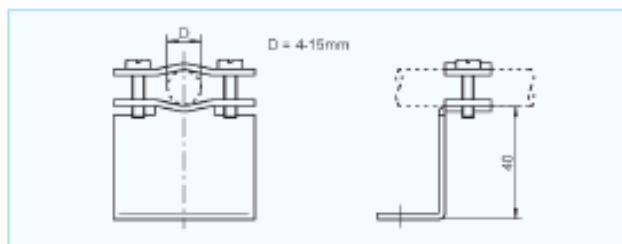


Maße: Durchmesser 12mm, Länge ca. 33mm

Ausführungen:

Bezeichnung	Porengröße	max. Temperatur	typische Anwendung	Typ
SK7 Metallgitterfilter im PC-Gehäuse	100 µm	120°C	universell, für mittlere Schmutzbelastung, auch Hochfeuchte	Best.Nr. ZB9600SK7
SK6 PTFE-Sinterfilter	50 µm	180°C	hohe chemische Beständigkeit	Best.Nr. ZB9600SK6
SK8 Edelstahl-Sinterfilter	10 µm	180°C	für starke mechanische Belastung, hohe Schmutzbelastung, hohe Luftströmung	Best.Nr. ZB9600SK8

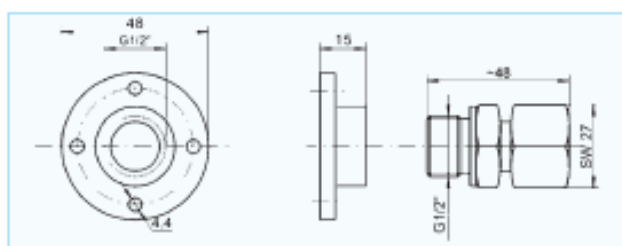
Haltewinkel für Wandmontage



Haltewinkel für Wandmontage, Wandabstand ca. 40mm

Best.-Nr. ZB9600W

verschiebbare Verschraubung



verschiebbare Aluminium - Verschraubung mit Teflon - Dichtung
Anschlussflansch für Verschraubung, Lochkreis Ø 38mm

Best.-Nr. ZB9600KV
Best.-Nr. ZB9600F

Č. 3: Úplné technické parametry psychrometrického snímače vlhkosti ZA A846-AK

ALHLEBORN
www.alhborn.com

09

LUFTFEUCHTE PSYCHROMETRISCH

Handpsychrometergeber Typ FNA846



- Geber einsetzbar im Bereich 0 ... 60°C / 10 ... 100%r.H.
- Ablesbare Werte: Trockentemperatur, rel. Feuchte, Taupunkt, Mischungsverhältnis, Feuchtemperatur, Partialdampfdruck



Für Präzisionsmessungen kann bei ALMEMO®-Geräten der aktuelle Luftdruck eingegeben und der Messwert automatisch korrigiert werden.

Zubehör:

Messmodul für barometrischen Druck	Best.-Nr. FDA612MA
Anschlusskabel 0,2m für Druckmessmodul	Best.-Nr. ZA9060AK1
Verlängerungsrohr 200 mm lang	Best.-Nr. ZB9846VR
Plastik-Ansaugschlauch, 300 mm lang	Best.-Nr. ZB9846PS
Aufstellfuß	Best.-Nr. ZB9846AF
Ersatzdichte (2 Stück)	Best.-Nr. ZB9846ED

Technische Daten:

Feuchte

Messbereich:	10 ... 100% r.H.
Messart:	psychrometrisch
Genauigkeit:	±1% r.H. bei Nennbedingungen
Reproduzierbarkeit:	<1% r.H.
Nennbedingungen:	25°C ±3°C, 1013 mbar, 50% r.H.

Temperatur

Sensor:	2 x NTC Typ N
Genauigkeit:	0 ... 60°C: ±0,1K

Elektrische Versorgung

Betriebsspannung:	9 V DC über ALMEMO® Gerät
Stromverbrauch:	ca. 10 mA

Mechanische Ausführung

Gehäuse:	Kunststoff
Abmessungen:	Ø 50 mm, 245 mm lang
Gewicht:	ca. 300 g
Kabel:	1,5 m lang mit ALMEMO®-Stecker

Ausführung:

Hand-Psychrometer-Geber, inkl. Wasserflasche, 1Paar Dichte dho. mit abschaltbarem Motor für WBGT-Messung

Best.-Nr. FNA846
Best.-Nr. FNA846WB

09.14

Alhborn Mess- und Regelungs-technik GmbH • 83602 Holzkirchen • Deutschland • Tel. +49 8024 3007 0 • FAX. +49 8024 3007 10

Irrtum und Änderungen vorbehalten

1/2007

Č. 4: Úplné technické parametry univerzální přístroj Almemo 2590

AHLBORN
www.ahlborn.cz

ALMEMO 2590-2, 2590-3S, 2590-4S

01

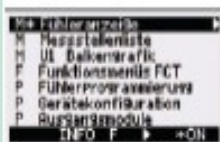
Univerzální měřicí přístroje se
2 až 4 vstupy, s pamětí měřených
hodnot, 2 výstupy USB, RS232,
ethernet, analogovým



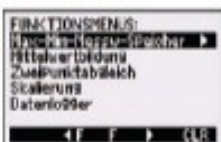
Popis:

- moderní kompaktní pouzdro
- 2 až 4 galv. oddělené vstupy pro čidla
- 2 výst. zásuvky pro digit. rozhraní, analog. výstup, paměť.kartu, alarm-kontakty apod.
- AD-převodník s vysokým rozlišením 18 bit
- četnost měření až 10 za sekundu
- grafický displej bíle podsvícený, ovládání silikonovými tlačítky
- přehledný systém menu: 3 měřicí menu -1 menu volitelné z 50 funkcí
- zobrazení číselně 1 až 12 hodnot sloupcovým grafem
- menu v češtině, němčině a angličtině
- funkce: max., min., průměrování, nulování, kalibrace, výpočet průtoku, paměť pro 99 hodnot, tlumení, korekce
- programování čidel: rozsah, jednotka, komentář, korekční a limitní hodnoty
- u 2590-3/4S paměť pro 7 – 12000 hodnot, EEPROM lineární nebo kruhová
- paměť. konektor s MMC-kartou až 128MB
- sleep-mód pro dlouhodobá měření

volba menu:



funkční menu:



Technická data:

Vstupy: 2590-2 ... 2 vstupy
2590-3S... 3 vstupy
2590-4S... 4 vstupy
galv.oddělení: 50V
měř.kanály: 4 / vstup + 4 interní
AD-převodník: delta-sigma 18 bit
2,5 nebo 10 měř./s
napájení čidel: max. 150 mA

Výstupy: 2 zásuvky pro všechny
výst. Moduly (datové,
analogové, reléové,
paměťové, trigger)

Vybavení:

displej: grafický 128x64 bodů
8 řádek, osvětlený
tastatura: 7 silikonových tlačítek
čas a datum: hodiny reálného času
jištění baterií přístroje
vnitřní paměť: jen 2590-xS: 59kB
EPROM (7 až 12000 hodnot)

Napájení:

baterie: 3 alkalické typ AA
adapter: ZA1312NA1, 230 VAC
na 12 V DC, 200 mA
DC-kabel: ZA2690UK, 10...30 V,
0,25A, galv.oddělený
spotřeba aktivní mód: ca.20mA
bez modulů: s osvětlením: 40mA
sleep-mód: 0,05mA

Přehled výrobků:

přístroj ALMEMO 2590-2 MA25902
2 vstupy, 2 výstupy, LCD-grafický displej, hodiny
přístroj ALMEMO 2590-3S MA25903S
jako 2590-2 ale 3 vstupy a paměť 59 kB
přístroj ALMEMO 2590-4S MA25904S
jako 2590-2 ale 4 vstupy a paměť 59 kB

opce síťové měření dle VDI2080 OA2590VN

Příslušenství:

síťový adapter 12V/200mA ZA1312NA1
napájecí kabel 10...30VDC ZA2690UK
externí paměť MMC 128MB ZA1904MMC
datakabel USB, max.230,4 kB ZA1919DKU
datakabel RS232, max.115,2kB ZA1909DK5
analog.kabel 0,1 mV/digit ZA1801RK
ethernet-kabel, max.115,2kB ZA1945DK
alarm a trigger-kabel (0,5A,50V) ZA1008EGK
kabel pro propoj. více přístrojů
do sítě, max.115,2kB ZA1909NK5
přístrojový kufřík ZB2490TK