

Česká zemědělská univerzita v Praze
Technická fakulta

Zemědělské vlhkoměry

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: Volodymyr Ryzhenko, Ph.D.

Autor práce: Zdeněk Vaněček

PRAHA 2016

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Zdeněk Vaněček

Obchod a podnikání s technikou

Název práce

Zemědělské vlhkoměry

Název anglicky

Agricultural moisture meters

Cíle práce

Z dostupných zdrojů zachytit principy měření vlhkosti vzduchu a pevných látek (obilovin, půdy, dřeva), vypracovat přehled vlhkoměrů podle využívaného fyzikálního principu a použití.

Metodika

Na základě studia dostupných materiálů vypracovat bakalářskou práci dle předložené osnovy. Předpokládá se rešeršní práce bez vlastních experimentů.

Doporučený rozsah práce

30 stran

Klíčová slova

vlhkost, rosný bod, vlhkoměry, vlhkostní senzor

Doporučené zdroje informací

Dostupný z [www: http://biom.cz/cz/odborne-clanky/mereni-vlhkosti-paliv](http://biom.cz/cz/odborne-clanky/mereni-vlhkosti-paliv)

Dostupný z [www: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=28979](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=28979)

1. Hanzal, J.: Vlhkoměry, Automa, 2003, 11

2. Baláš, M., Moskalík, J.: Měření vlhkosti paliv

3. <http://www.pawlica.cz/produkty/merici-pristroje/vlhkomery-nedestruktivni/kapacitni-vlhkometer-granomat/>

4. http://homel.vsb.cz/~khe0007/opory/opory.php?stranka=drevo_zk

5. <http://hydropedologie.agrobiologie.cz/neprime.html>

6. Novotný, F. : Metodiky chemických rozborů pro hodnocení kvality odrůd. 2.vydání, Brno: ÚKZÚZ Brno, 2006. ISBN 80-86548-81-3

Předběžný termín obhajoby

2014/15 LS – TF

Vedoucí práce

Volodymyr Ryzhenko, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra elektrotechniky a automatizace

Elektronicky schváleno dne 15. 1. 2014

prof. Ing. Jaromír Volf, DrSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 3. 2. 2014

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

V Praze dne 21. 03. 2016

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením Volodymyra Ryzhenka, Ph.D. a uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Praze, dne 31. 3. 2016

Zdeněk Vaněček

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce panu Volodymyru Ryzhenkovi, Ph.D. za odborné vedení a konzultace při vypracování této práce.

Zemědělské vlhkoměry

Abstrakt:

V této práci jsou uvedeny druhy vlhkoměrů podle využívaného fyzikálního principu. Jsou zde také popsány způsoby, kterými je možno vyjadřovat vlhkost, jednotlivé metody měření vlhkosti a také výhody a nevýhody některých metod měření.

Klíčová slova:

vlhkost, rosný bod, vlhkoměry, vlhkostní senzor

Agricultural moisture meters

Summary:

In this work, there are introduced the types of hygrometers according to the used physical principle. There are also described methods in which you can express humidity, the different methods of moisture measuring and the advantages and disadvantages of some methods of measurements.

Key words:

humidity, dew point, hygrometers, humidity sensor

Obsah

1	Úvod	10
2	Cíl práce	11
3	Jednotky a způsoby vyjadřování vlhkosti	12
3.1	Jednotky	12
3.2	Způsoby vyjadřování vlhkosti	12
3.2.1	Relativní (poměrná) vlhkost	13
3.2.2	Absolutní vlhkost	13
3.2.3	Měrná vlhkost vzduchu	13
4	Metody měření vlhkosti	15
4.1	Metoda hygrometrická	15
4.1.1	Deformační vlhkoměr	15
4.1.2	Odporový vlhkoměr	16
4.1.3	Kapacitní vlhkoměr	18
4.2	Metoda psychrometrická	18
4.2.1	Psychrometr	19
4.3	Metoda gravimetrická	21
4.4	Metoda kondenzační	22
4.5	Ostatní metody	24
4.5.1	Elektrolytický vlhkoměr	24

4.5.2	Vlhkoměr s vyhřívanými termistory	24
4.5.3	Rezonanční vlhkoměr	25
4.5.4	Rezonanční metoda 1	26
4.5.5	Rezonanční metoda 2	28
4.5.6	Coulometrická metoda	28
4.5.7	Metoda difúze	29
4.5.8	Sorpční metoda	29
4.5.9	Infračervená metoda	29
4.5.10	Bakteriální metoda	30
5	Měření vlhkosti pevných látek	31
5.1	Měření vlhkosti dřeva	31
5.1.1	Váhová metoda	33
5.1.2	Elektrická metoda	33
5.2	Měření vlhkosti stavebních materiálů	34
5.2.1	Zjišťování vlhkosti pro sanaci zdiva	35
5.2.2	Metody měření vlhkosti ve zdivu	36
5.3	Měření vlhkosti půdy	37
5.3.1	Definice a funkce půdy	37
5.3.2	Rozdělení jednotlivých metod	38
5.3.3	Měření objemové vlhkosti	38
5.3.4	Výpočty vlhkosti půdy	40

5.3.5	Praktická aplikace (využití naměřených hodnot)	41
5.3.6	Indexy používané během monitorování vlhkosti půdy	41
5.4	Měření vlhkosti obilovin.....	46
5.4.1	Vzorek pro stanovení hmotnosti tisíce semen (zrn, nažek)	46
5.4.2	Vzorek pro stanovení vlhkosti semen, zrn a nažek	46
5.4.3	Vzorek pro stanovení sena (suché hmoty).....	48
6	Závěr.....	49
7	Seznam použitých zdrojů	51
7.1	Seznam internetových zdrojů	51
7.2	Seznam knižních zdrojů.....	52
8	Seznam obrázků a tabulek	53

1 Úvod

Vlhkoměry jsou přístroje, které se používají k měření množství vody, která je obsažena v dané látce, jako je atmosférický vzduch, dřevo, stavební materiál atd. Naměřená vlhkost se vyjadřuje v procentech. Zjištěná informace o obsahu vlhkosti v dané látce je užitečná v mnoha ohledech, například k určení, zda potřebný materiál má ideální vlhkost pro další použití. Vlhkost vyjadřuje přítomnost kapaliny, především vody, obvykle ve stopovém množství. Má různé účinky na různé produkty, které mají vliv na výslednou kvalitu výrobku.

Měření vlhkosti především půdy je důležité hlavně pro zemědělce a používá se v řadě výzkumných aplikací, převážně v zemědělství a zahradnictví, včetně plánování zavlažování, výzkumu klimatu nebo vědy o životním prostředí. Zemědělci by měli znát podmínky vlhkosti půdy na svých polích, což jim umožňuje efektivněji spravovat zavlažovací systémy. Znalost přesných podmínek vlhkosti půdy na svých polích umožňuje použití menšího množství vody pro pěstování plodin. Díky tomu jsou zemědělci schopni zvýšit výnosy a kvalitu plodin následkem lepšího hospodaření s půdní vlhkostí během růstu rostlin.

2 Cíl práce

Cílem práce je zachytit z dostupných zdrojů principy měření vlhkosti vzduchu a pevných látek (obilovin, půdy, dřeva) a vypracovat přehled vlhkoměrů podle využívaného fyzikálního principu a použití.

3 Jednotky a způsoby vyjadřování vlhkosti

3.1 Jednotky

Obsah vodní páry, který se nachází ve vzduchu, je omezen. Když je vzduch nasycen vodní parou, není schopen přijímat další vlhkost. Určitá výše vlhkosti je závislá hlavně na teplotě a se vzrůstající teplotou vlhkost také narůstá.

Jedním z dalších kritérií pro měření vlhkosti vzduchu je teplota. Vzorek, který měříme, je třeba ochladit na určitou teplotu, pokud chceme, aby byl nasycen vodní parou. Poté, co se vzorek na tuto teplotu ochladí, začne kondenzovat vodní pára. Tato teplota se nazývá rosný bod. Udává se ve stupních Celsia, nebo v Kelvinech [1].

Teplota (°C)	Vlhkost (g/m ³)
-100	0,000 018
-80	0,000 6
-60	0,011
-40	0,120
-20	0,888
0	4,87
10	9,44
20	17,4
25	23,1
30	30,5
40	51,3
60	130
80	292
100	591

Tabulka 1: Teplota v závislosti na absolutní vlhkosti vzduchu při nasycení vodní parou [1]

3.2 Způsoby vyjadřování vlhkosti

Existují tři různé způsoby, pomocí kterých lze vyjádřit vlhkost vzduchu. Patří sem relativní, absolutní a měrná vlhkost.

3.2.1 Relativní (poměrná) vlhkost

Tímto rozumíme poměr mezi okamžitým množstvím vodních par ve vzduchu a množstvím par, které by vzduch měl o stejném tlaku a teplotě při úplném nasycení. Relativní vlhkost se vyjadřuje v procentech (%). V některých případech se tato vlhkost označuje jako poměrná vlhkost [2].

Relativní vlhkost vzduchu lze vyjádřit jako

$$\varphi = \frac{\rho_v}{\rho_{v''}} = \frac{p_v}{p_{v''}}$$

$\rho_{v''}$ [kg/m³] – udává hustotu nasycených vodních par za dané teploty

p_v [Pa] – rozumíme parciální tlak vodních par nacházejících se ve vlhkém vzduchu

$p_{v''}$ [Pa] – udává tlak nasycených vodních par za dané teploty.

3.2.2 Absolutní vlhkost

Absolutní vlhkost vzduchu se vyjadřuje jako hmotnost vodní páry, která se nachází v jednotce objemu vzduchu.

$$a = \frac{M_v}{V}$$

M_v [kg] – hmotnost vodní páry

V [m³] – objem vzduchu

3.2.3 Měrná vlhkost vzduchu

Měrná vlhkost vzduchu vyjadřuje hmotnost vodní páry připadající na 1 kg suchého vzduchu.

Zde platí vztah:

$$x = \frac{M_v}{M_a} = \frac{\rho_v}{\rho_a}$$

M_v [kg] – hmotnost vodní páry

M_a [kg] – hmotnost suchého vzduchu

ρ [kg/m³] – hustota suchého vzduchu

ρ [kg/m³] – hustota vodních par [2;13]

4 Metody měření vlhkosti

Měření vlhkosti vzduchu, plynů atd. se často používá v potravinářství, meteorologii, v chemickém průmyslu a papírenství, při upravování vzduchu a v mnoha jiných odvětvích. Jednotlivé obory kladou odlišné nároky na rychlost odezvy, stabilitu, přesnost atd. Z tohoto důvodu se používají různé druhy vlhkoměrů.

4.1 Metoda hygrometrická

Někdy se tato metoda nazývá sorpční (schopnost látek udržet svoji vlastní vlhkost). Při této metodě je potřeba využít přijatelných tuhých materiálů, které mění elektrický odpor vlivem sorpční vlhkosti, délku, dielektrické vlastnosti atd. Na sorpční senzory se kladou následující požadavky:

- 1) Stálost kalibračních křivek.
- 2) Rychlá odezva s malou hysterezí nejen ve směru sorpce, ale i desorpce.
- 3) Měření musí být umožnitelné v širokém rozmezí teplot při zanedbatelném teplotním vlivu.
- 4) Dostatečná velikost změny měřené veličiny [3].

4.1.1 Deformační vlhkoměr

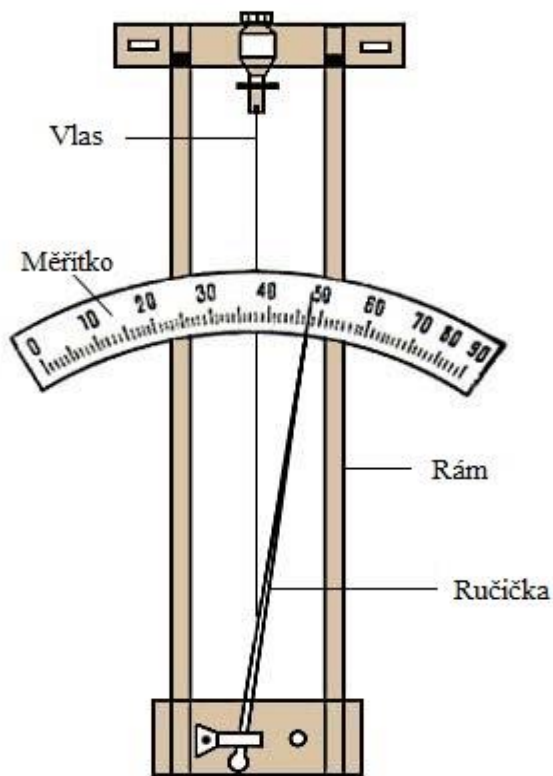
Tyto vlhkoměry pracují na základě deformace nebo změny délky organického materiálu. Mezi tento materiál se řadí přírodní materiály, které jsou upravené, a syntetické produkty, které mohou absorbovat určité množství vody. Patří sem lidské vlasy, hedvábí, koňské žíně, blány živočišného původu, nylon nebo butyrát celulózy. Pokud dochází k absorpci vlhkosti, tak se tento jev projeví na změně rozměru, která je převáděna mechanismem na výchylku ručky. Tato metoda, co se týká měření vlhkosti vzduchu, se řadí mezi nejstarší.

K deformačním hygrometrům se jako nejznámější a nejčastěji využívaný řadí vlasový hygrometr. Pracuje na principu relativního prodloužení λ a je závislý na relativní vlhkosti φ . Jako materiál se používá svazek odmaštěného lidského vlasu. Vyplývá ze vztahu:

$$\lambda = k * T * \log \varphi$$

k – hygrometrická konstanta

T – absolutní teplota [K]



Obrázek 1: Vlasový vlhkoměr (Zdroj: <http://megabook.ru/stream/mediapreview?Key=%D0%93%D0%B8%D0%B3%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%80&Width=200>)

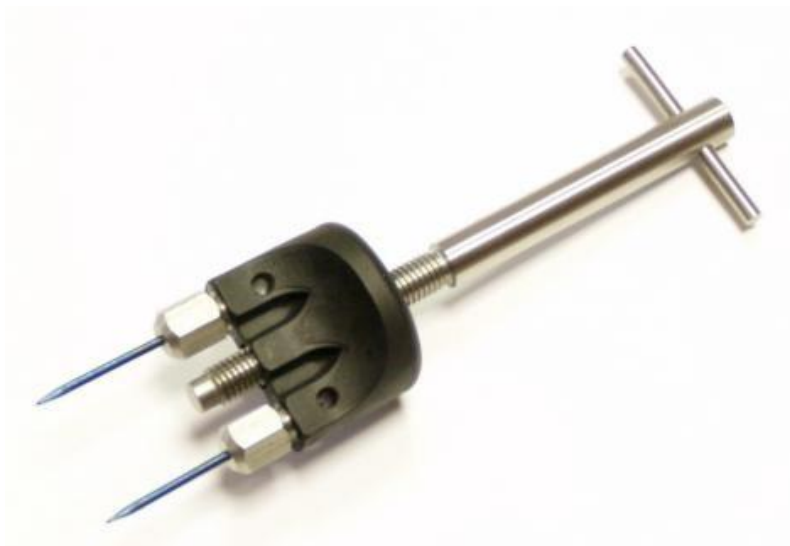
Velkou roli při používání organických látek hraje významný faktor stárnutí a tudíž změna vlastností. Po delší době používání je nutná regenerace. Deformační hygrometry jsou použitelné pouze v případě měření vlhkosti z orientačního hlediska. Jedná se o přístroje, které mají vysokou toleranci měření.

4.1.2 Odporový vlhkoměr

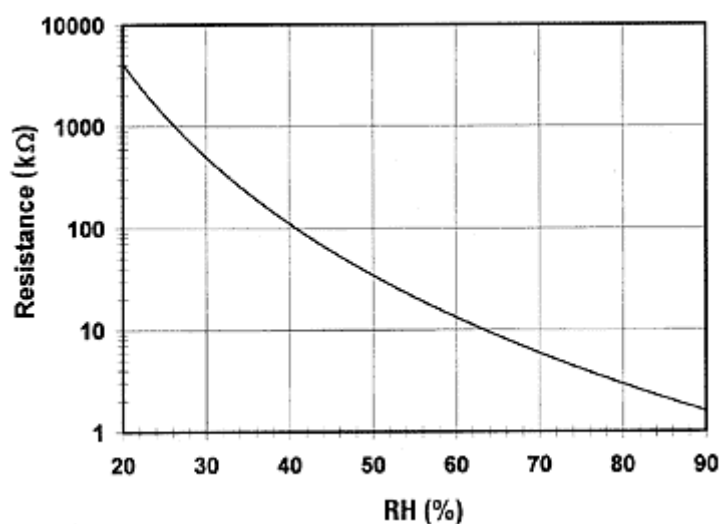
Mechanismus odporového hygrometru pracuje na principu změny elektrické vodivosti [S], neboli na principu elektrického odporu [Ω]. Mezi nejpoužívanější materiály na měření patří polymery, solné roztoky atd.

Aktivní část odporového hygrometru tvoří tenká izolační trubička, která je potažena do skelné tkaniny a naplněna roztokem chloridu lithného. Jako další součást jsou zde používány

dvě elektrody složené z platiny, které jsou umístěny bifilárním způsobem vedle sebe, aniž by se vzájemně dotýkaly a zároveň jsou chráněny krytem. Tyto elektrody jsou napojeny na zdroj napětí. Při průchodu proudu dochází k zahřátí chloridu lithného a také se odpařuje pohlčená voda. Chlorid sodný se zahřívá a zvyšuje svoji elektrickou vodivost z důvodu dobrého pohlcování vodní páry ze vzduchu. Relativní vlhkosti je potom přímo úměrná teplotě. Tento typ hygrometru se vyznačuje dobrou stabilitou a vysokou přesností.



Obrázek 2: Zapichovací sonda pro odporový vlhkoměr (Zdroj: <http://www.epristroje.cz/media/images/259862146.jpg>)

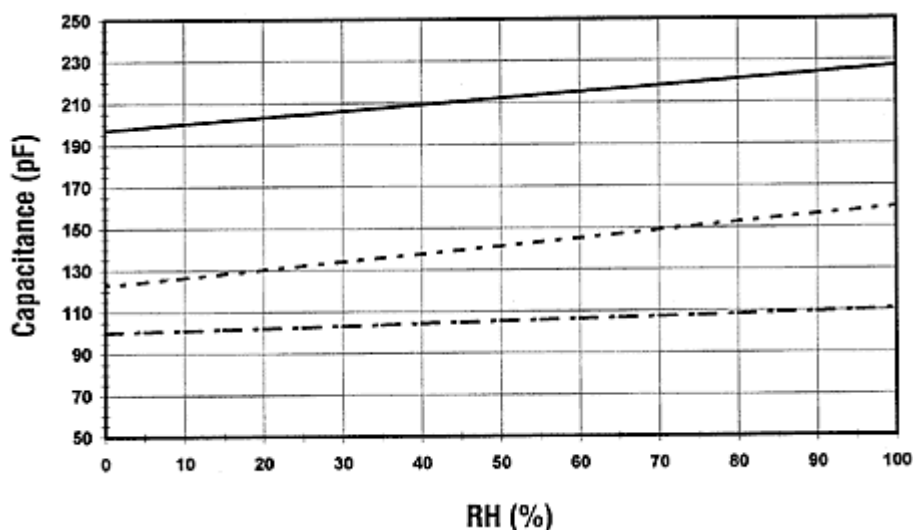


Obrázek 3: Závislost relativní vlhkosti na odporu (Zdroj: <http://vyvoj.hw.cz/teorie-a-praxe/dokumentace/vlhkomery.html-0>)

4.1.3 Kapacitní vlhkoměr

Zde je využívána absorpce vodní páry, která se nachází v polymerním materiálu. Jako sledovaná veličina je v tomto případě změna kapacity kondenzátoru, kde je jako dielektrikum polymer. Aby byl umožněn kontakt s polymerním dielektrikem, musí být jedna elektroda děrována. Když dojde ke změně kapacity, tak je tato změna velice malá z důvodu nízké absorpce polymeru.

Také se vyrábějí typy tohoto hygrometru, které mají integrované zpracování signálu. Pro tento hygrometr je charakteristická odolnost proti kondenzaci a vysokým teplotám, nízká doba odezvy, odolnost proti chemikáliím [13].



Obrázek 4: Závislost relativní vlhkosti na kapacitě čidla (Zdroj: <http://www.micro.feld.cvut.cz/home/x34ses/cviceni/Navody%20na%20cviceni/07.Mereni%20vlhkosti.pdf>)

4.2 Metoda psychrometrická

Při této metodě se používají psychrometry. Během adiabatického sycení vzduchu vodní parou se měří teplota mokrého a suchého teploměru. Z psychrometrického rozdílu je pak možné určit relativní vlhkost.

4.2.1 Psychrometr

Tento typ vlhkoměru slouží k měření relativní vlhkosti vzduchu. Skládá se z kombinace suchého a vlhkého teploměru podobného typu. Vlhký teploměr má nádobku, která je vybavena navlhčovanou punčoškou namočenou v misce, kde se nachází destilovaná voda. Při odpařování vody z punčošky dochází k odnímání tepla nádobce vlhkého teploměru. Rychlost, při níž dochází k tomuto ději, je závislá na vlhkosti vzduchu, kterou je možné určit z psychrometrických tabulek. Vzniklý rozdíl teplot při měření na suchém a vlhkém teploměru je nazýván jako rozdíl psychrometrický. Vlhkoměr tohoto typu je také součástí vybavení meteorologické budky.

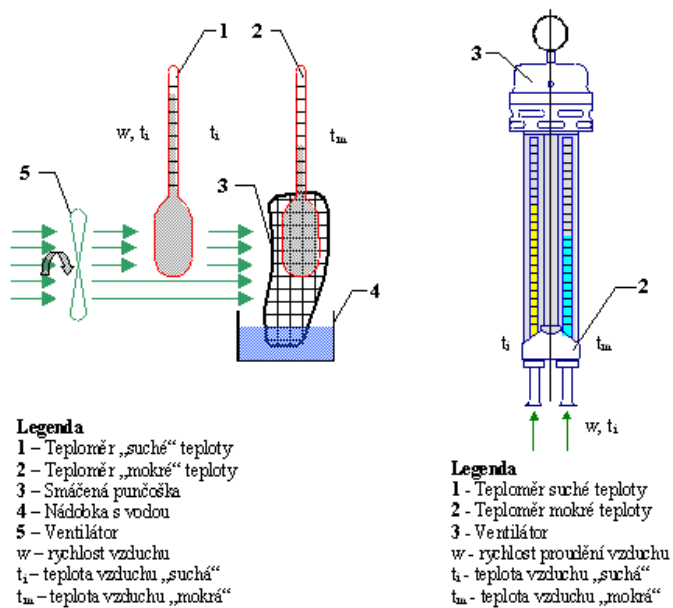
Při měření relativní vlhkosti je třeba stanovit chybu, která je závislá na teplotě vzduchu, rozměru a tvaru teploměru, slunečním záření, vlivu radiace atd. Ke stoupání chyby dochází při nízké teplotě. Psychrometrický rozdíl je výrazně malý při vysokých hodnotách relativní vlhkosti, z tohoto důvodu je ho třeba stanovit s vysokou přesností. Dokonalé smáčení mokrého teploměru se špatně určuje naopak při velmi nízké vlhkosti.

Psychrometrický princip je založen na přístrojích, které se dělí na dvě skupiny:

- a) Aspirační psychrometr – s konstantním průtokem plynu



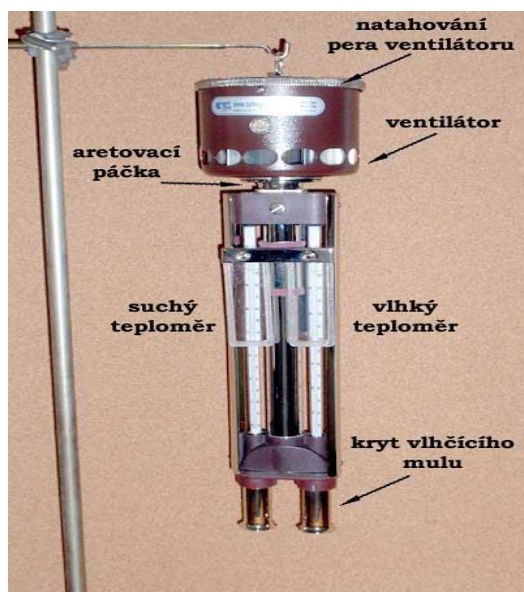
Obrázek 5: Aspirační psychrometr (Zdroj: <http://www.qiban365.net/file/upload/201212/06/15-29-21-49-225.jpg>)



Psychrometr

Obrázek 6: Princip aspiračního psychrometru (Zdroj: <http://www.e-automatizace.cz/ebooks/mmrw/Images/psychrometr.gif>)

b) Stabilní psychrometr – bez cirkulace měřeného plynu (známý jako Assmanův)



Obrázek 7: Assmanův psychrometr (Zdroj: <http://cit.vfu.cz/biochemie/biofyz12/vlhkost.html>)

Psychrometrická metoda vychází ze vztahu:

$$\varphi = \frac{p_m}{p_1} - \frac{p_s}{p_1} * A(t_1 - t_m)$$

t_1 – teplota suchého teploměru ($^{\circ}\text{C}$),
 t_m – teplota mokrého teploměru ($^{\circ}\text{C}$),
 p''_m a p''_1 – parciální tlaky syté páry při teplotách t_m , t_1 ,
 p_1 – parciální tlak nenasyceného vzduchu,
 p_s – statický tlak, obvykle barometrický,
 A – psychrometrická konstanta (K^{-1}).

U moderních psychrometrů probíhá při měření teploty mokrého teploměru doplnění vody automaticky. Jako teplotní senzor obvykle slouží termoelektrický nebo odporový senzor, nikoliv kapalinový teploměr. Díky elektrickému výstupu je možno je využít ke zpracování jiných informací. Není ovšem doporučeno používat psychrometry za vysokých teplot a v uzavřených prostorech [3].

4.3 Metoda gravimetrická

Jedná se o jednu z nejpřesnějších metod. Gravimetrický vlhkoměr je z oblasti meteorologie považován za standart. Nejdříve se zkoumaný vzorek zcela kompletně zbaví vody a vzniklý váhový úbytek se porovnává s hmotností vzorku před vysušením. Gravimetrické vlhkoměry pracují na principu sušidla, které je schopno absorbovat vzdušnou vodní páru o známém objemu. Potom, co vzorek uschne, zkoumá se úbytek hmotnosti oproti počátku. Měření touto metodou je časově náročné, především za malé vlhkosti. Gravimetrický vlhkoměr je z finančního hlediska nákladný a dá se s ním pracovat pouze v laboratořích.

Jako první tento vlhkoměr vyrobil Leonardo da Vinci v letech 1480 až 1486. Zakládal si na tom, že existují látky jako sůl, bavlna a čím větší vlhkost tyto látky mají, tím větší je jejich hmotnost. Uložil do jedné z misek rovnoramenné váhy vosk (není schopen pohlcovat vlhkost), a do druhé misky naopak látku, která vlhkost pohlcuje. Za normálního počasí váhy nařídil tak, aby byly v rovnováze. Po určité době se začalo počasí měnit a přitom i vlhkost vzduchu. Miska s látkou pohlcující vlhkost začala klesat dolů a tím se pohybovala ručička na stupnici, pomocí které se dal zjistit hmotnostní rozdíl – tudíž i vlhkost vzduchu.

V dnešní době metoda spočívá v tom, že třemi naplněnými trubicemi, které mají tvar U, proudí oxid fosforečný nebo chloristan hořečnatý. Po průchodu plynu se první dvě trubice

zváží a spočítá se střední hodnota vlhkosti pomocí přírůstku hmotnosti a známého objemu plynu. Ke kontrole a zabránění difúzi vlhkosti do opačného směru slouží třetí trubice.

4.4 Metoda kondenzační

Tato metoda je založena na principu určování rosného bodu – neboli teploty, při které je vzduch plně načerpán vodní párou. Kovový materiál se průběžně ochlazuje, dokud se na jeho povrchu nezačne vytvářet rosa (kapičky vody). V tento okamžik je třeba změřit teplotu materiálu (plochy), a poté ji označit jako teplotu rosného bodu.

Pro určování rosného bodu se u určitých typů vlhkoměrů ochlazuje senzor do doby, než dojde k objevení kondenzátu. Od této chvíle se přestane s ochlazováním senzoru a začne se s ohřevem. Poté je nutno změřit teplotu při objevení kondenzátu a teplotu, při které kondenzát zmizel. Z těchto dvou hodnot se vyčíslí střední hodnota, která se považuje jako rovnovážná. Teplota určena tímto způsobem je odlišná od rosného bodu a tak vznikne chyba, kterou není možno určit pomocí výpočtu.

Rosný bod a relativní vlhkost plynu vyplývá ze vztahu:

$$p_T' = p_0 \cdot \exp\left[\frac{\Delta H}{R_m} \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T}\right)\right]$$

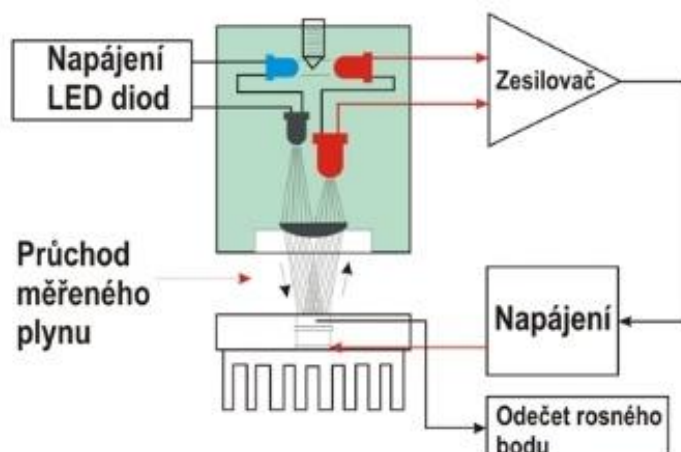
p_T' – tlak nasycené vodní páry

T – teplota

ΔH – změna entalpie

R_m – molární plynová konstanta

Ital Galileo Galilei jako první vyvinul kondenzační vlhkoměr, který pracuje na principu měření rosného bodu. Na tenkou a čistou misku z kovu vylil éter. Potom, co se éter začal vypařovat za pomoci proudícího vzduchu, miska se začala postupně ochlazovat. K orosení povrchu došlo ve chvíli, kdy teplota misky dosáhla rosného bodu. V tuto chvíli došlo k odečtení teploty, která vykazovala závislost na vzdušné vlhkosti.



Obrázek 8: Kondenzační vlhkoměr (princip) (Zdroj: <http://www.micro.feld.cvut.cz/home/x34ses/cviceni/Navody%20na%20cviceni/07.Mereni%20vlhkosti.pdf>)

Při měření je nejdříve nutné zjistit rosný bod – tedy teplotu, kdy vodní pára na povrchu senzoru kondenzuje. Je nutné opatřit ochlazovací zdroj (např. vodní lázeň, odpařování čpavku atd.). Novější modely kondenzačních hygrometrů užívají na ochlazování termoelektrický chladič. Pomocí nich je nutné chladit plochu, kde se sleduje srážení vlhkosti. Nejčastěji používaný materiál je deska z kovu, která má odrazovou plochu ze skla podobnou zrcadlu. Na plochu dopadá světelný paprsek, který se odráží od povrchu a odraz se snímá světlo-citlivými prvky.

Jakmile se kovová plocha začne rosit, množství odraženého světla, které se zachytilo pomocí světlo-citlivého prvku, se sníží. Poté se teplota za pomoci řídicího systému mění, dokud nenastane rovnovážný stav. Teploměr, který je zde přiložen, určí poté naměřenou teplotu rosného bodu. Z této teploty je potom možné zjistit relativní vlhkost – k tomu je potřeba použít například integrovaný mikroprocesor.

Výhodou kondenzačního vlhkoměru je vysoká přesnost, dlouhodobá stabilita a odolnost proti chemikáliím. U tohoto čidla na rozdíl od čidel založené na chemické bázi není třeba časté kalibrace [13].

4.5 Ostatní metody

4.5.1 Elektrolytický vlhkoměr

Tento vlhkoměr zpracovává vlhkost vzduchu, která stětavá se speciálním roztokem, přičemž se elektrolyticky vylučuje chemická látka. Elektrický náboj, který projde je přímo úměrný absolutní vlhkosti vzorku vzduchu. Tyto vlhkoměry se vyznačují značnou stabilitou.

Elektrolytický senzor, který snímá vlhkost, se řadí ihned po gravimetrickém principu k nejvíce přesným. Přesnost se pohybuje okolo \pm jednoho procenta. Je zde využívána vlastnost určitých látek udržet vlastní množství vlhkosti za rovnovážného stavu vůči okolnímu vzduchu [1;14].



Obrázek 9: Elektrolytický vlhkoměr (Zdroj: <http://www.kytara.net/img/nt312.jpg>)

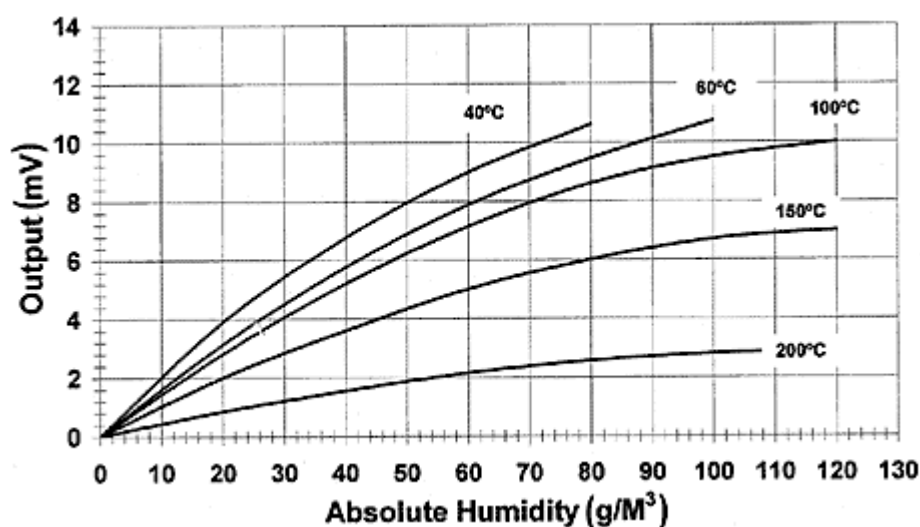
4.5.2 Vlhkoměr s vyhříváními termistory

U této metody je využívána závislost vzdušné tepelné vodivosti na vlhkosti. Je zde senzor, ve kterém se nachází dva stejné termistory. Jeden senzor je uzavřen v pouzdře, kde je umístěn suchý dusík. Druhý senzor musí být přístupný prostředí, ve kterém se nachází, a podle toho je také umístěn. Tyto termistory jsou zapojené do série a musí tvořit větev. Druhou větev tvoří pevné rezistory a trimr, který se používá při nastavení nulového proudu, který teče můstkem ve chvíli, kdy je ve vyváženém stavu. Při průchodu elektrického proudu se začnou

termistory zahřívát. Teplota, kterou termistory dosáhnou, je závislá na stupni ochlazování. Po umístění senzoru v suchém vzduchu se můstek vynuluje a vodní pára má za následek rozvážení můstku. Senzor vysílá signál, který je úměrný absolutní vlhkosti. Mezi jeho přednosti patří schopnost pracovat za vysokých teplot a chemická odolnost [5].



Obrázek 10: Vyhřívané termistory (Zdroj: boza.praha12.net/temp/dp/diplomka.doc)



Obrázek 11: Závislost absolutní vlhkosti na výstupu (Zdroj: http://img.hw.cz/v/Vlhkomery/thermal_graf.gif)

4.5.3 Resonanční vlhkoměr

Množství vody, kterou absorbuje materiál, se projeví na absolutní vlhkosti. Praktickou funkčnost této metody zajišťují následující podmínky:

- a) Sorbované množství nesmí být velké, ale pouze malé. Přílišné množství sorbované vody by mělo za následek ovlivnění koncentrace vodní páry v měřeném plynu.

- b) Rychlé usazování dynamické rovnováhy mezi plynnou fází a sorbentem na povrchu sorbentu z důvodu rychlé odezvy.
- c) Dostatečně rychlá metoda pro měření změny hmotnosti.

Platí zde následující vztah:

$$\Delta f = K - \Delta m$$

$$K = \frac{f^2}{N \cdot \rho \cdot S}$$

f – frekvence oscilátoru

Δf – změna frekvence následkem změny hmotnosti výbrusu o Δm

ρ – hustota křemene

N – frekvenční konstanta

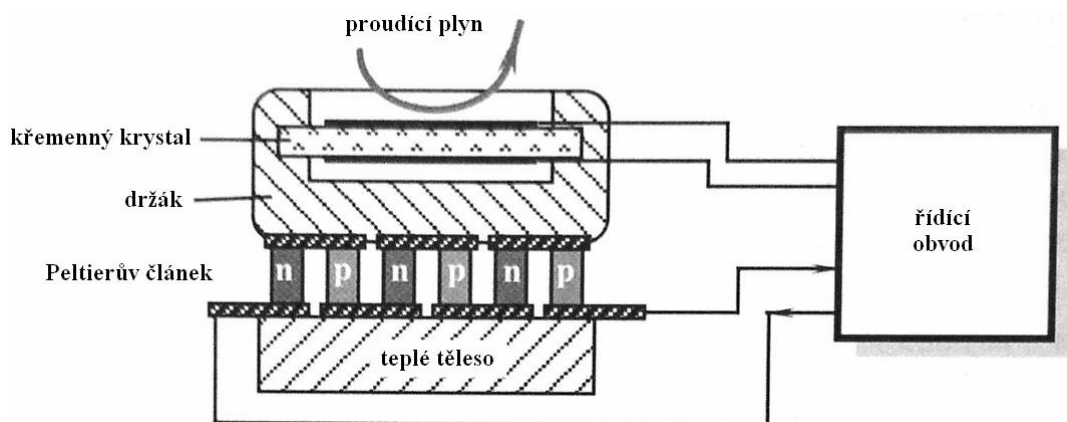
S – plocha výbrusu

K – konstanta úměrnosti [3]

4.5.4 Rezonanční metoda 1

Tento princip se velice podobá principu rosného bodu. Rozdíl spočívá v tom, že v tomto principu nehraje roli optická odrazivost zrcátka, které ochlazujeme, nýbrž hlídání změny krystalového kmitočtu. Krystal talířového tvaru ochlazuje Peltierový článek. Tento článek má také na starost řízení teploty krystalu a disponuje vysokou přesností. Když dojde k poklesu teploty na hranici rosného bodu, na talíři z křemene se začínají vytvářet kapičky vodní páry, která je zkondenzována. Následkem toho se postupně mění krystalový kmitočet, který je závislý na tloušťce vrstvičky vody. Ihned co dojde k zaznamenání změny kmitočtu řídicím obvodem, urychleně zanechá pomocí Peltierového článku ochlazování křemene. Jakmile se z křemene všechny kapičky odpaří, dojde k navrácení kmitočtu na původní stav a

nastane znovu ochlazování krystalu pomocí řídicího členu. Pomocí tohoto cyklu dojde k ustálení teploty na rosný bod a z něj je možné určit vyčtením z grafu relativní vlhkost [15].



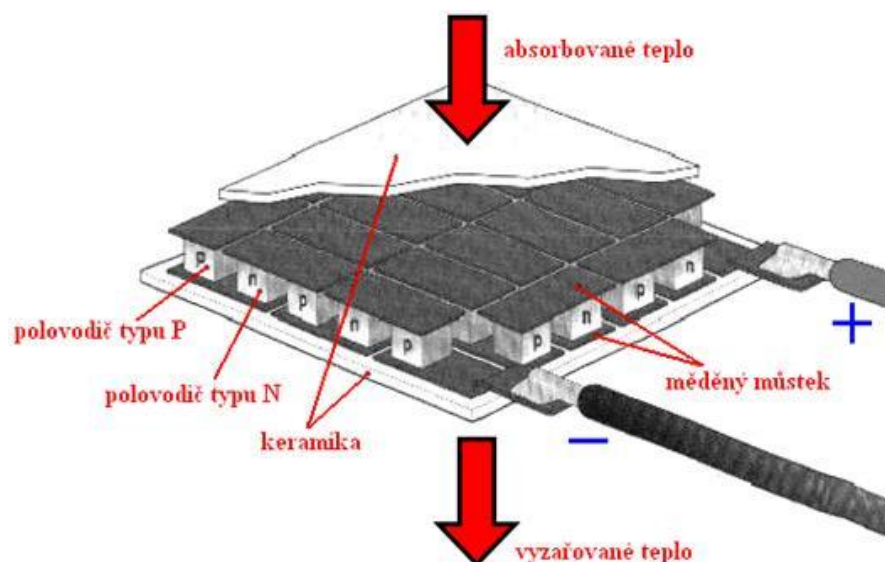
Obrázek 12: Rezonanční metoda (Zdroj: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=7844)

4.5.4.1 Peltierův článek

Jedná se o součástku, ve které se využívá Peltierův jev, který objevil Peltier v roce 1834. Funkce je založena na pohybu volných nosičů, který má náboj, a to způsobí vytvoření teplotních rozdílů na rozhraní dvou oblastí, když jimi prochází elektrický proud. Tento článek tvoří dvě polovodičová tělíska a spojovací můstek. Když se připojí elektrické napětí, začne se jedna strana zahřívat a druhá chladnout. Jakmile dojde k otočení polarit tohoto článku, uskuteční se zároveň prohození zahřívající se strany a také strany, která chladne. Peltierův článek je velice slabý zdroj napětí – jakmile se připojí zatížení, dojde k poklesu napětí prakticky na nulu. Většinou jsou spojovány v sérii. Výhoda spočívá ve schopnosti chladit nebo zahřívat velice malé plochy.

Využití:

- chladnička
- chladič mikroprocesorů, zesilovačů
- chladič biologického materiálu atd. [6]



Obrázek 13: Peltierův článek (Zdroj: http://fyzika.jreichl.com/data/E_vznik_proudu_termojevny/image038.jpg)

4.5.5 Rezonanční metoda 2

Jedná se o metodu, kde se měří relativní vlhkost plynů. Hraje zde roli změna frekvence výstupu, která je závislá na relativní vlhkosti. Křemenový krystal je natřený do hygroskopického nátěru a je zapojený jako oscilátor do obvodu. Možnost kmitání krystalu ovlivňuje nátěr, který je na něm umístěn. Výstupní kmitočet a četnost krystalového kmitu je přímo závislý na množství absorbované vody ze vzduchu přes nátěr. Výstupní krystalový kmitočet poté srovnává přístroj s hodnotami, které jsou dopředu známy a jsou to hodnoty závislosti krystalového kmitočtu na vlhkosti. Výsledek se projeví zobrazením hodnoty relativní vlhkosti pomocí displeje. Použití těchto přístrojů a čidel v praxi není příliš časté z důvodu vysoké pořizovací ceny a zároveň z důvodu složité kalibrace. Další nevýhoda je pomalá odezva vůči jednotkové změně vlhkosti – přibližně jedna minuta [16;17].

4.5.6 Coulometrická metoda

Při měření coulometrickým vlhkoměrem se všechna vlhkost, která se nachází v měřeném plynu, pohlcuje pomocí filmu v hygroskopické látce (oxid fosforečný). Zároveň probíhá elektrolyzování pohlcené vlhkosti pomocí stejnosměrného proudu.

Film je třeba udržovat neustále na suchu, aby byl schopen na sebe vázat další množství vlhkosti. Množství proudu nutné na elektrolyzu látky, která byla pohlcena, je přímo úměrné plynné vlhkosti.

Tento způsob se používá hlavně při měření velice malého obsahu vlhkosti. Používaná zařízení jsou dobrá z hlediska přesnosti i dynamiky. Nelze tato zařízení používat za podmínek, kdy plyn reaguje s materiálem senzoru.

4.5.7 Metoda difúze

Vlhkoměr pracuje na základě difundování molekul vzduchu a vodních par pomocí pórovité přepážky různými rychlostmi. Přepážka se skládá především z keramického materiálu, celou řadou polymerů atd. Využívá se při konstantní teplotě za přiměřeně velkého tlaku páry.

4.5.8 Sorpční metoda

Funkce této metody je založena na měření tepla při sorpci. Během sorpce kapalného nebo tuhého materiálu probíhá uvolňování tepla. Pohlcování tepla probíhá během desorpce. Množství tepla, které se vyvine, je závislé na vlastnosti sorbentu, vlhkosti a množství. Důležitou roli hraje také teplota. Plyn, který se analyzuje, se rozděluje do dvou částí. Jedna z těchto dvou částí je vedena hned do senzoru. Druhá část je nejdříve vysušena a poté je také vedena do senzoru. Ke spotřebě tepla dochází v jedné části a v té druhé zase k uvolňování tepla. Vzniká rozdíl teploty obou částí, který se měří. Desorpci a sorpci je nutno prostřídávat, nikoliv aplikovat oba režimy v jeden okamžik [3].

4.5.9 Infračervená metoda

U přístrojů, jejichž funkce je založena na základě infračervené metody, se využívá pohlcování infračerveného záření, které závisí na množství vody měřené látky. Přístroj tvoří infračervený zdroj, ve kterém se nachází filtr, který má za úkol propouštět pouze záření určitých vlnových délek. Hodnota vlnové délky vycházející ze zdroje záření by se měla pohybovat okolo 1,50 μm až 2,90 μm . Záření jde přes měřené prostředí. Po průchodu prostředím záření dopadne na infračervený senzor, jehož citlivost je nejvyšší v místě záření. Následně dojde k vyhodnocení vlhkosti na základě intenzity záření po jeho dopadu na senzor. Hodnota vlhkosti nesmí být menší než 0,01 %. Pomocí této metody je možné změřit všechny formy skupenství – tj. kapalnou, plynnou i pevnou [16].

4.5.10 Bakteriální metoda

Senzor je umístěn na destičce z křemíku, na které se nachází bakterie zvaná *Bacillus sereus*. Pomocí těchto bakterií je poté tvořen most na rozhraní elektrod senzoru. Abychom získali závislost vodivosti senzoru na relativní vlhkosti, musíme tuto destičku potopit do lázně, ve které se nacházejí zlaté nanočástice. Ihned po potopení destičky dojde k zahynutí bakterií a k vytvoření vodivé vrstvy ze zlata, jejíž konce jsou propojeny na elektrody. V tento okamžik je senzor připraven. Bakterie umístěné na senzoru jsou schopné pracovat i po zahynutí. Čidla tohoto typu se vyznačují až čtyřikrát vyšší přesností než elektronický senzor. Nevýhoda spočívá v době životnosti z důvodu měnícího se objemu bakterií přibližně jeden měsíc [4].

5 Měření vlhkosti pevných látek

5.1 Měření vlhkosti dřeva

Když se řekne vlhkost dřeva, rozumí se tím množství vody ve dřevě, která je volná či vázaná. Tuto vlhkost vyjadřujeme pomocí procenta hmotnosti absolutně vysušeného a suchého dřeva při teplotě okolo sto stupňů Celsia. Když se strom nachází v růstové fázi, podíl vlhkosti je tvořen vodou vázanou a volnou. Volnou vodu a její množství určuje pórovitost dřeva, stupeň jeho nasycení vodou a místo ve kmeni, kde se nachází. Tato voda se nenachází ve vyschlém dřevě za přístupu vzduchu a ve dřevě, které je vysušeno uměle.

Čtyři stupně vlhkosti dřeva:

- 1) Vlhkost dřeva mokrého
- 2) Vlhkost dřeva, kterou má čerstvě pokácený strom
- 3) Vlhkost dřeva vysušeného za přístupu vzduchu
- 4) Vlhkost uměle vysušeného dřeva

U právě pokáceného stromu je vlhkost velice odlišná a ovlivňuje jí doba pokácení, druh dřeviny, věk stromu apod. U některých druhů dřevin je nejvyšší vlhkost v období jara, u jiných okolo podzimu nebo zimy. U stejného druhu dřeviny je důležité stáří, které strom má. Vyšší vlhkost bývá u mladých stromů – mladý strom dosahuje větších výkyvů vlhkosti v průběhu roku.

Mokré dřevo dosahuje větší vlhkosti než dřevo, které má právě pořezaný strom. Pokud se nechá dřevo z právě pořezaného stromu poněkud déle za přístupu vzduchu, dojde k dosažení vlhkosti, které má vyschlé dřevo za přístupu vzduchu.

Vlhkost dřeva ovlivňuje teplota a vlhkost vzduchu. Pokud je dřevo uloženo ve vytopeném prostoru, vlhkost dřeva poklesne.

Dřevina	Počet měsíců po těžbě			
	6	12	18	24
Habr	24,08	20,18	18,77	17,94
Buk	23,24	19,34	17,40	17,74
Dub	29,63	23,75	20,74	19,16
Bříza	23,28	18,10	15,98	17,17
Jedle	28,56	16,65	14,78	17,22
Smrk	29,31	28,54	15,81	17,76

Tabulka 2: Procentuální vlhkost dřeva (štěpina)

Dřevina	Počet měsíců po těžbě			
	6	12	18	24
Habr	31,38	25,89	22,33	19,30
Buk	33,48	24,00	19,18	20,32
Dub	31,20	26,90	24,55	21,09
Bříza	37,34	28,99	24,12	21,78
Jedle	28,29	17,41	15,09	18,66
Smrk	35,3	17,59	15,72	17,39

Tabulka 3: Procentuální vlhkost dřeva (kuláč)



Obrázek 14: Rovnovážná vlhkost dřeva v závislosti na teplotě a vlhkosti okolního vzduchu (Zdroj: <http://www.tzb-info.cz/docu/clanky/0015/001535o2>)

5.1.1 Váhová metoda

Jedná se o metodu nejvíce přesnou. Z testovaného vzorku řeziva (tloušťka max. 35 mm) se odřeže konec dlouhý min. 25 cm, poté dojde k odříznutí destiček, které mají tloušťku 10 – 15 mm. Je nutné zajistit úplný průřez destiček směrem napříč, nesmí obsahovat suky a podobné vady, které můžou ovlivnit zkoušku. Dále dojde k očištění destiček od pilin, odstraní se kůra, volné odštěpky a okamžitě se zváží. Pokud nedojde ke zvážení destiček okamžitě potom, co se odříznou, začnou ztrácet na povrchu vlhkost. Jakmile se destičky zváží, suší se při teplotě 101 – 105 °C. Doba sušení je závislá na tloušťce destičky. Jestliže jednotlivé destičky přestanou ztrácet váhu, jsou již zcela suché. Poté, co se suchá destička vyjme ze sušárny, je nutné její okamžitě zvážení, aby nedošlo k pohlčení vlhkosti z okolního vzduchu a následného nabrání hmotnosti.

Mezi nevýhody tohoto způsobu měření patří delší doba určení vlhkosti. Lze tuto dobu zkrátit tím, že nevyřizneme pouze jednu destičku, ale tři, z nichž každá tvoří jednu třetinu původního kusu. Tyto tři kusy se zváží dohromady a vysuší.

5.1.2 Elektrická metoda

Je založena na principu, že když probíhá klesání vlhkosti dřeva, dochází zároveň ke stoupání elektrického odporu a poklesu kapacity. Chceme-li určit vlhkost dřeva, použijeme k tomu elektrický vlhkoměr. Díky němu je možné určit vlhkost okamžitě – má ovšem nižší přesnost.

Typy elektrického vlhkoměru:

- 1) Odporový
- 2) Kapacitní

Funkce odporového vlhkoměru je založena na změně ohmického odporu dřeva v poměru k jeho vlhkosti. V dřevařství je používána celá řada odporových vlhkoměrů. Nejvyšší elektrická vodivost je přístrojem zobrazena v místě, kde se jehla dotýká dřeva (nelze měřit vlhkost po celé tloušťce materiálu).

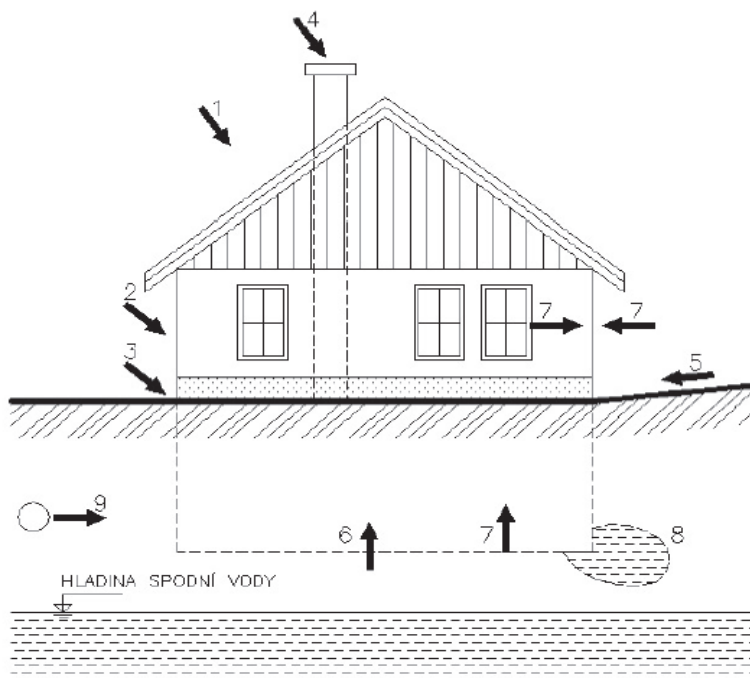
Při měření kapacitním vlhkoměrem se využívá dielektrická konstanta. Ke změně elektrické kapacity dřeva dochází společně se změnou vlhkosti dřeva. Změna probíhá po celý

rozsah i v okamžiku, kdy je stav dřeva suchý, a i v době, kdy je dřevo čerstvé. Dřevěný kus mezi deskami kondenzátoru slouží jako dielektrikum, přičemž desky jsou napájeny pomocí vysokofrekvenčního proudu. Dielektrická vlastnost, kterou má dřevo, způsobuje změny vysokofrekvenčního okruhu, který se měří. Výsledek se poté převede na jednotky vlhkosti dřeva [18].

5.2 Měření vlhkosti stavebních materiálů

Stavební materiál se běžně nevyskytuje zcela suchý, nýbrž s určitým obsahem vlhkosti. Vlhkost materiálu musí být přiměřená. Při nepřiměřené vlhkosti dochází k značnému ovlivňování fyzikálních, tepelně-technických, statických a estetických vlastností materiálu a to může způsobit poškození stavebních materiálů nebo konstrukcí.

Během stavebního průzkumu, který je spojen s vytvořením znaleckého posudku se běžně objevuje vlhkost – když porušíme hydroizolaci, nebo při poruše vodovodního a kanalizačního řádu. Vyhledat zdroj, odkud pochází nadměrná vlhkost, je velice náročné, protože k pohybu vody dochází po celé konstrukci. Z tohoto důvodu se může vlhkost vyskytnout daleko od jejího zdroje [7].



Obrázek 15: Příčiny vlhnutí zdiva: 1 – voda srážková-děšť, sníh, 2 – voda srážková hnaná větrem, 3 – voda srážková odšťikující, 4 – srážková voda pronikající komínovými a větracími průduchy, 5 – srážková voda povrchová, 6 – voda vzlínající, 7 – voda kondenzovaná, 8 – voda působící hydrostatickým tlakem, 9 – porucha kanalizace nebo vodovodního řádu.

(Zdroj: <http://www.sinz.cz/archiv/docs/si-2005-03-175-178.pdf>)

5.2.1 Zjišťování vlhkosti pro sanaci zdiva

Když je zdivo příliš vlhké, projeví se tato vlhkost buď jako zavlhlá tmavá plocha, nebo se projeví tím, že omítka začne opadávat a rozpadat se. Příčina spočívá v soustředění rozpustné soli, působení mikroorganismů, bakterií a plísní. Také se snižuje únosnost zdiva a zhorší se tepelně technické vlastnosti. Na ploše zdiva dochází ke kondenzaci vodních par a tudíž k vytvoření ideálních podmínek pro mikroorganismy a plísně, působících nepříznivě pro člověka. Takové objekty nejsou hygienicky použitelné.

5.2.1.1 Průzkum stavby

Jako technický podklad pro sanační opatření slouží prozkoumání stavby, tzn. nalezení důvodů, proč zdivo zavlhlá, a také nalezení parametrů a charakteristické veličiny. Je nutné:

- posoudit technický stav konstrukce (mechanická odolnost, stabilita)
- zjistit vlhkost, obsah a druh soli, kterou tvoří privilegované vrstvy zdiva
- provést chemickou analýzu vody v podzemí, která se nachází v blízkosti stavby
- posoudit inženýrsko-geologické a hydrogeologické poměry, které má zkoumaný objekt

Průzkum stavby lze rozdělit do dalších fází:

1) Fáze přípravy

Představuje obstarávání důležitých podkladů a informací, které jsou nutné pro výzkum. Tím se rozumí především dokumentace aktuálního stavu.

2) Prozkoumání stavby

Rozumíme tím revizi objektu a obstarání technického podkladu o stavbě.

3) Prozkoumání stavby z důvodu zjištění charakteristické veličiny

V tomto bodě se jako samozřejmost měří vlhkost hluboko v konstrukci tam, kde je zavlhlá, poté vlhkost stěny na jejím zevnějšku a také pH. Dále je možno zjistit množství soli,

elektrický potenciál, teplotu vnějšíku stěny, elektrickou vodivost a provést analýzu privilegované vrstvy ve zdivu.

5.2.2 Metody měření vlhkosti ve zdivu

Když se měří vlhkost nacházející se ve zdi, je možné to zjistit už jenom pouhým změřením. Je několik možností jak lze provést výzkum vlhkosti.

- a) Destruktivní metoda – při měření touto metodou se nevyhneme zásahu do struktury stavby. Principem je odběr analyzovaného materiálu ze zdi v místě, kde se vlhkost projevuje (rozrušená a rozpadající se omítka, viditelná skvrna).

Řadíme sem:

- gravimetrickou metodu
- karbidovou metodu

- b) Nedestruktivní metoda – není nutno zasahovat do struktury stavby, je zde využíváno elektrických měřících přístrojů.

Dělení:

- odporová
- kapacitní

Zde je vyobrazen seznam všech způsobů:

Klasické metody s běžnými přístroji	Nové metody (přístroje nejsou běžné k dispozici)
GRAVIMETRICKÉ	TERMOELEKTRICKÉ
Vysušování zvýšením teploty, snížením tlaku vodní páry	Tepelná vodivost, infračervená termografie
CHEMICKÉ	ELEKTRICKÉ (nad 100MHz)
Metoda karbidová Titrační metoda	Mikrovlnné

ELEKTRICKÉ (do 100 MHz)	JADERNÉ
Vodivost	Gama záření
Kapacita	Neutronografické
	Magnetická rezonance

Tabulka 4: Přehled metod zjišťování vlhkosti zdiva [19]

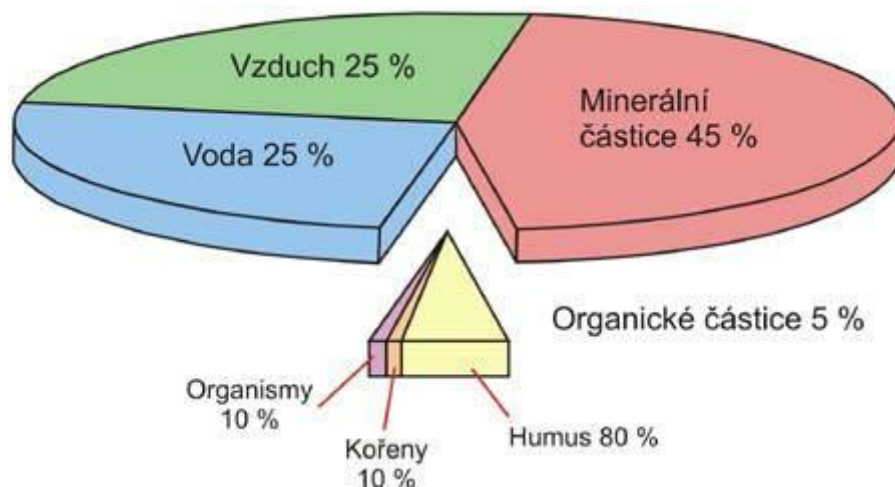
5.3 Měření vlhkosti půdy

5.3.1 Definice a funkce půdy

Půda je chápána jako nezávislá přírodní jednotka, která vzniká z povrchové zvětraliny a z živočišných pozůstatků za účinku půdotvorných faktorů. Pěstují se na ní kulturní rostliny, a také slouží jako prostředí k životu různých organismů. Jedná se o neustále se rozvíjející organickou soustavu. Je prostým bohatstvím kterékoli země a je důležité jí ochraňovat nejen v současné době, ale také se značnou vyhlídkou do budoucnosti.

Nelze stanovit její jedinou nejpodstatnější funkci z důvodu jejího podílu na komplikovaných vazbách v ekosystému. Nejdůležitější funkce půdy:

- produkuje plodiny
- slouží jako stanoviště pro všechny typy vegetace
- filtruje a plní podzemní vody
- lze z ní těžit nerostné suroviny
- možnost postavení jakékoliv stavby na jejím povrchu [8;9]



Obrázek 16: Složení půdy (Zdroj: http://moodle.deblinsko.org/pluginfile.php/428/mod_page/content/8/pudni%20slozky.jpg)

5.3.2 Rozdělení jednotlivých metod

- Metoda polní a laboratorní
- Destruktivní (je nutné odebrat vzorek půdy)
- Nedestruktivní (nedochází k narušení půdy)
- Přímá (zjišťujeme reálné množství půdní vody)
- Nepřímá (např. pomocí čidla, které umístíme do půdy)

Způsoby měření půdní vlhkosti	
Objemová vlhkost	Sací tlak
Gravimetrický způsob	Tensiometry
Radioaktivní způsob – metoda neutronová	Odporový princip – sádrové bločky, GMS (Granular Matrix Sensor)
Dielektrický princip – kapacitní metoda, TDR (Time Domain Reflectometry), TDT (Time Domain Transmission), Fázový posun	

Tabulka 5: Způsoby měření půdní vlhkosti

5.3.3 Měření objemové vlhkosti

5.3.3.1 Metoda gravimetrická a kapacitní

Již popsáno v kapitole 4.3 a 4.1.3.

5.3.3.2 Neutronová sonda

Zakládá se na termalizaci neutronů. Jako nejsilnější moderátor jsou zde atomy vodíku. Moderační účinnost půdy je závislá hlavně na množství obsažené vody. Dochází k vytváření „oblaka“ okolo zdroje, který má kulový tvar pomocí zpomalených neutronů. Ke zpomalení neutronu dochází o to dříve, čím je vlhkost půdy vyšší. Suchá půda má poloměr koule termalizovaného neutronu velký, vlhká půda malý. Určitý segment neutronů, které jsou termalizované, se navrátí zpátky k sondě, kde dojde k jejich výpočtu detektorem.

Výhody:

- Měření v různé hloubce pomocí jedné sondy

- Přesnost a stálost
- Salinita půdy neovlivňuje výsledek
- Daná půda má stabilní kalibraci

Nevýhody:

- Se sondou mohou pracovat pouze zaškolení pracovníci
- Na každou půdu se volí jiná kalibrace
- Větší hmotnost a rozměry přístroje
- Není možné provést kontinuální měření
- Vyšší pořizovací cena
- Závislost dosahu měření na vlhkosti půdy

5.3.3.3 TDR (metoda pulsní reflektometrie)

Tato metoda se původně užívala k detekování a lokalizaci poruchy v kabelech. Od 70. let se používá pro měření vlhkosti půdy v prostředí pole. Spočívá v tom, že se nejdříve určí permitivita prostředí tím, že se změří rychlost šíření vysokofrekvenčního elektromagnetického impulsu. Zjištěnou permitivitu je nutné přepočítat na půdní vlhkost přes empiricky stanovené vzorce. Jedná se o vztahy, které mají nejvyšší přesnost pro měření v písčitéch půdách – přesnost klesá s rostoucím množstvím jílovitých částic. Délka používaných elektrod je obdobná s hloubkovým dosahem této metody.

Výhody:

- Vysoká přesnost
- Ve většině měření není nutná kalibrace pro daný typ půdy
- K narušení půdy při instalaci dochází minimálně
- Možnost měření elektrické vodivosti půdy

Nevýhody:

- Vysoká nákupní cena
- Menší možnost užití ve velmi zasolené půdě
- Lze měřit pouze menší objem půdy s poloměrem 3-4 cm podél elektrody

5.3.3.4 TDT (Time Domain Transmission)

Tato metoda je velice podobná metodě TDR. Odlišuje se pouze v tom, že nedojde k odražení vlny zpět na konci zářiče, nýbrž dojde po vyslání impulsu k přijetí této vlny a k následnému zjištění fázového posunu. To je důvod, proč nemohou mít snímače u tohoto principu hrotovité elektrody.

5.3.3.5 Metoda fázového posunu

Tento fázový posun probíhá oproti vyslanému signálu během přechodu elektromagnetické vlny. Fázový posun a jeho velikost ovlivňuje dráha, po které se šíří, a také rychlost šíření a frekvence. Rychlost šíření nepřímo ovlivňuje permitivita prostředí. Permitivitu v půdním prostředí nejvíce ovlivňuje obsah vody. Když je konstantní frekvence a délka zářičů, fázový posun závisí na množství obsažené vody v půdě.

Výhody:

- Při použití správné kalibrace vysoká přesnost
- Možnost měření velkých objemů půdy
- Možnost připojení k odlišným řídicím a registračním jednotkám
- Nízká pořizovací cena

Nevýhody:

- Během instalace se poruší přirozený půdní profil
- Nutná kalibrace pro daný typ půdy
- Senzitivní na zasolení
- Použití pouze v případech trvalého sledování

5.3.4 Výpočty vlhkosti půdy

- 1) Výpočet objemové vlhkosti půdy – jedná se o poměr mezi objemem vody a objemem vzorku půdy

$$\Theta = V_w / V_s$$

V_w – objem vody

V_s – objem měřeného vzorku

- 2) Výpočet hmotnostní vlhkosti půdy – rozumíme poměr hmotnosti vody na hmotnost tuhé fáze půdy

$$w = m_w/m_z$$

m_w – hmotnost vody

m_z – hmotnost půdy při nulové vlhkosti.

- 3) Vzájemný přepočítání

$$\Theta = w \cdot \rho_d / \rho_w$$

ρ_d – jedná se o objemovou hmotnost půdy

ρ_w – objemová hmotnost vody

5.3.5 Praktická aplikace (využití naměřených hodnot)

- Sledování vlhkosti půdy
- Ověření modelu ohledně simulace půdní vlhkosti
- Odhalení anomálie během chodu půdní vlhkosti
- Řízení závlahy [10]

5.3.6 Indexy používané během monitorování vlhkosti půdy

Spektrálními indexy rozumíme souhrn algoritmů, které slouží k zvýrazňování zájmových vlastností sledovaného objektu pomocí většího množství pásem z naměřených dat. Těchto indexů existuje mnoho.

5.3.6.1 Index NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)

Tento index byl navržen jako index hustoty a vegetačního zdraví. K jeho vypočítání se využívají dvě pásma červeného a blízkého infračerveného spektra. Užívají se tyto části spektra, protože v nich dochází k vykazování typického spektrálního chování vegetace, které

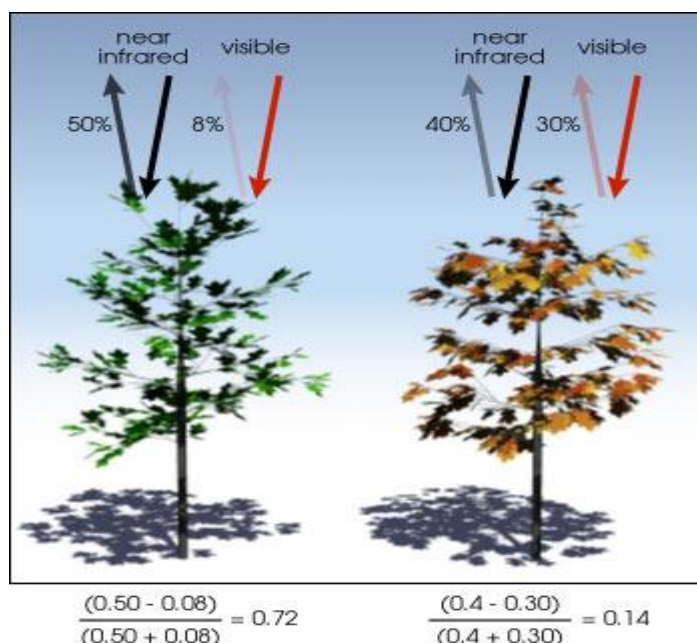
se liší od jiných předmětů na povrchu zemském. Záření je silně absorbováno vegetací, která fotosyntetizuje, v RED spektru především díky obsahu chlorofylu a jiných pigmentačních látek v listech. Dochází zde k nízké odrazivosti. Pokud přejdeme z vlnové délky RED na NIR, dojde k okamžitému vzrůstu odrazivosti. Závisí to na morfologické struktuře listů, která není u všech rostlin stejná. Ke snižování odrazivosti v NIR dochází, pokud vystavíme vegetaci určité formě stresu. Odrazivost v RED se zvýší následkem nízkého produkování chlorofylu. To může způsobit zežloutnutí listů.

Výpočet indexu:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

NIR, RED – hodnoty zaznamenaných pixelů

Index NDVI se stal jako hlavní nástroj používaný k mapování změny ve vegetačním krytu a analyzování dopadu environmentálního jevu. Využívá se k přesnému popisu krajinného pokryvu, k monitorování srážkového úhrnu a sucha a k dalším různým problematikám ohledně ekologie, zemědělství atd.



Obrázek 17: Odrazivost zdravého a strádajícího stromu s výpočtem NDVI (Zdroj: http://earthobservatory.nasa.gov/Features/MeasuringVegetation/Images/ndvi_example.jpg)

5.3.6.2 Index VCI (Vegetation Condition Index)

Problém ohledně interpretace NDVI by mohl nastat v heterogenní oblasti. Index má prostorovou proměnlivost, která souvisí s klimatem, typem půdy, topografií atd. Vyšší hodnoty NDVI bude vykazovat oblast, která má přívnětivé podmínky pro určitý typ vegetace, než oblast, která má podmínky nepřívlnivé. Stav počasí je další parametr, který má vliv na hodnotu NDVI a je také důležitější v průběhu studia vlhkosti. Efekty, které souvisejí s přírodními podmínkami, je nutné odfiltrvat kvůli odhadování následků počasí na vegetaci a jejího zdravotního stavu. Toho je možné dosáhnout, pokud využijeme index vegetačního stavu (zkratka VCI):

$$VCI_{yc} = 100 \frac{NDVI_{yc} - NDVI_{minc}}{NDVI_{maxc} - NDVI_{minc}}$$

$NDVI_{max}$ a $NDVI_{min}$ rozumíme hodnoty NDVI pro minimum a maximum každého pixelu pro danou oblast, c představuje číslo kompozice a y znamená číslo roku. Extrémní meteorologická událost obsahuje minimum a maximum NDVI.

5.3.6.3 Index TCI (Temperature Condition Index)

Funkce tohoto indexu je obdobná, jako u indexu VCI. Nepoužívá se však během výpočtu vegetační index, ale radiační teplota, značena BT. Pokud je teplota vysoká, značí to nepřívlnivé nebo suché podmínky. Při nízké teplotě jsou přívnivé podmínky. Index TCI slouží k poskytování doplňkových informací ohledně rostlinného stresu. Díky tomuto indexu je možné určit, jestli stres způsobuje převládající sucho nebo nadměrná vlhkost. Zde je zobrazena rovnice tohoto indexu:

$$TCI_{yc} = 100 \frac{BT_{maxc} - BT_{yc}}{BT_{maxc} - BT_{minc}}$$

BT_{min} , BT_{max} – minimální a maximální teplota z dlouhodobého hlediska, c znamená číslo kompozice a y číslo roku.

5.3.6.4 Index WSVI (Water Supplying Vegetation Index)

Pokud je rostlina sužována suchem, dojde k částečnému uzavření průduchů na listech z důvodu co nejvyššího omezení výdeje vody. Následkem toho se navýší teplota na zevnějšku listů, které také uvadají a to sníží hodnotu NDVI. Rovnice vypadá následovně:

$$WSVI = \frac{NDVI}{BT}$$

BT rozumíme radiační teplotu a NDVI znamená normalizovaný diferenční vegetační index.

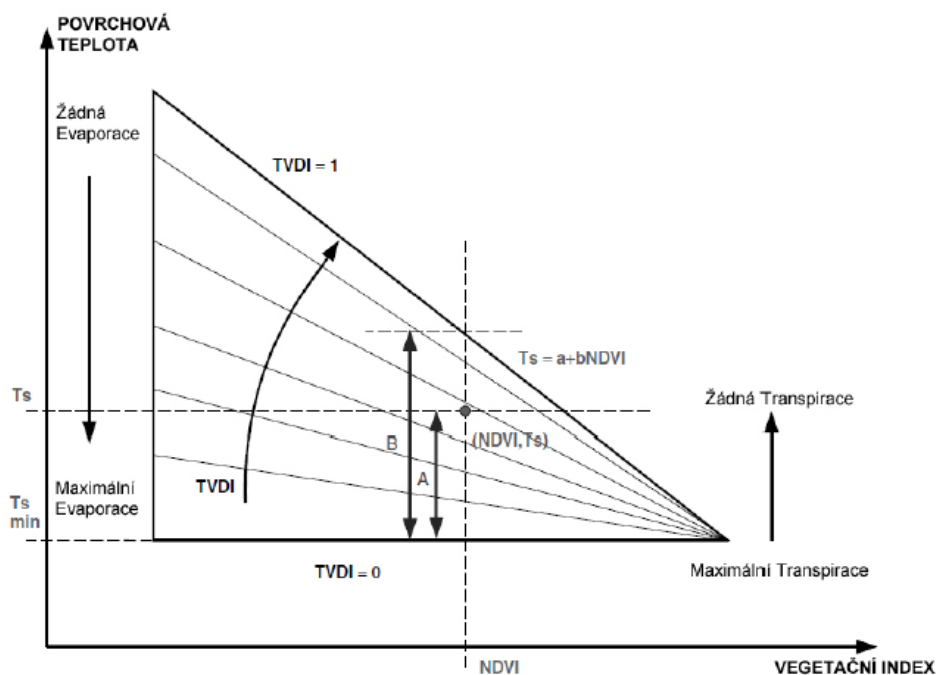
5.3.6.5 Index TVDI (Temperature-Vegetation Dryness Index)

TVDI užívá kombinace povrchových teplot s indexem NDVI během určování suchého a vlhkého povrchu. Jeho podstata je založena ve ztvárnění umístění pixelů vevnitř NDVI/LST oblasti.

Levou stranou trojúhelníku je zastoupena holá půda. Dolní součást je vlhká, s nízkou hodnotou LST a s nejvyšší evaporací. Horní část neobsahuje žádnou vlhkost, nevykazuje evaporaci a má naopak vysokou hodnotu LST. Při postupování směrem napravo se navýšuje množství vegetace, z evaporace se stává transpirace a zároveň dochází k poklesu povrchové teploty LST. Horní část napravo se vyznačuje tím, že na rostliny zde působí vodní stres a nedochází v tomto místě k transpiraci. Ve spodní součásti je přítomna vegetace, která je zdravá, dochází zde k poklesu teploty listů a transpirace je zde nejvyšší. Vypočítá se následovně:

$$TVDI = \frac{T_s - T_{smin}}{a + bNDVI - T_{smin}}$$

T_{smin} znamená minimum trojúhelníkového LSD, T_s je sledovaná LST v určitém pixelu, NDVI je normalizovaný diferenční vegetační index, b a a definují suchý okraj.



Obrázek 18: Definice indexu TVDI (Zdroj: ANDERSEN et al. 2002)

5.3.6.6 Index VTCI (Vegetation Temperature Condition Index)

Funkce je založena na podobném principu jako má index TVDI. Byl prvně navržen během sledování vlhkosti v Číně. Lze ho definovat následovně:

$$VTCI = \frac{LST_{NDVI_{i,max}} - LST_{NDVI_i}}{LST_{NDVI_{i,max}} - LST_{NDVI_{i,min}}}$$

$$LST_{NDVI_{i,min}} = a' + b'NDVI_i$$

$$LST_{NDVI_{i,max}} = a + bNDVI_i$$

$LST_{NDVI_{i,min}}$ a $LST_{NDVI_{i,max}}$ představují minimální a maximální teplotu pixelů – tyto pixely mají totožnou hodnotu $NDVI_i$ ve sledované oblasti. LST_{NDVI_i} vyjadřuje teplotu na povrchu pixelu, přičemž jeho $NDVI$ je $NDVI_i$. Konstanty a' , b' , a , b formulují trojúhelníkový tvar.

Tento index má také souvislost ohledně změn LST pixelů s totožnou hodnotou $NDVI$. Čím více poklesne hodnota $VTCI$, tím je sucho závažnější [11].

5.4 Měření vlhkosti obilovin

5.4.1 Vzorek pro stanovení hmotnosti tisíce semen (zrn, nažek)

Vzorek, pomocí kterého se stanoví hmotnost, se odebere z úplného vzorku. Velikost tohoto vzorku je zhruba pětinasobná od předpokládané hmotnosti tisíců zrn, nažek nebo semen. Obvykle se ze vzorku dle potřeb odstraňují různé nečistoty a příměsi.

5.4.1.1 Stanovení hmotnosti tisíce semen (zrn, nažek)

Ke zjištění této hmotnosti slouží počítací semen, anebo ji lze zjistit pomocí ručního odpočítání a následného zvážení sečteného množství semen – přesnost musí být minimálně na 3 číslice (100 g; 11,2 g; 6,12 g).

Pokud je odchylka u obou výpočtů, které byly provedeny pomocí počítací semen vyšší než 5 procent jejich aritmetického průměru, které má osivo s HTS (s hmotností tisíce semen) přesahující 25g nebo vyšší než 10 procent, které má osivo s HTS méně než 25g, je nutné zkoušku zopakovat. Jestliže dojde k přesáhnutí rozdílu požadované hodnoty přesnosti i během druhé zkoušky, je nutné vypočítat HTS z každého opakování.

5.4.2 Vzorek pro stanovení vlhkosti semen, zrn a nažek

Ze souhrnného vzorku se odebere určené množství produktu. Vzorek se uloží do uzavřené vzorkovnice, která je naplněna po okraj. Poté se zpracovává buď ihned na místě, anebo se okamžitě pošle na určení vlhkosti do laboratoře. Pokud není možné zpracovávat vzorek ihned na místě ten samý den, je nutné ho uchovat v chladném prostředí a zpracovat do 24 hodin.

5.4.2.1 Stanovení vlhkosti pomocí vážkové metody

Ze vzorku se oddělí přibližně 50 g a následně dojde k rozemletí na laboratorním mlýnku. Napřed se usuší vysoušečky z hliníku a zváží se. Do vysoušeček se naveze vzorek, který je rozemletý a promíchaný, jehož hmotnost je přibližně 10 g. Vysoušečky se následně vloží do sušárny, která je předehřátá. Dosažení určené teploty nesmí trvat déle, než 30 minut. Teplota a doba sušení je uvedena v tabulce 6. Dobu sušení zjistíme, jakmile je dosažena

předepsaná teplota. Okamžitě, když skončí sušení, se uzavřou vysoušečky, uloží se kolem sebe do exsikátoru a nechají se chladnout cca 30-45 minut. Potom se zváží na analytické váze. Všechna vážení se uvádějí s přesností třech desetinných míst.

PLODINA	VZOREK	SUŠENÍ
OBILOVINY (neplatí pro kukuřici)	mletý	130 – 133 °C 2 hod
KUKURICE	mletý nemletý	130 – 133 °C 4 hod 130 – 133 °C 38–40 hod
LUSKOVINY	mletý	103 – 105 °C 4 hod
OLEJNINY (řepka, řepice, hořčice, len, sója, mák, konopí, slunečnice, lnička)	mletý nebo nemletý	103 – 105 °C 4 hod
KOŘENÍ (kmín)	mletý nebo nemletý	100 °C 6 hod

Tabulka 6: Teplota a doba sušení

Vztah pro výpočet vlhkosti:

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_0} * 100$$

W – procentuální vyjádření vlhkosti

m₀ – hmotnost váženky (g)

m₁ – hmotnost zkušební vzorku a váženky (g)

m₂ – hmotnost vysušeného zkušební vzorku a váženky (g)

5.4.2.2 Stanovení vlhkosti pomocí vlhkoměru

Dvě souběžná stanovení se provádějí ze souhrnného vzorku, který má minimální objem 1 litr a výsledkem je jejich průměr. Pokud rozdíl hodnoty vlhkosti obou souběžných stanovení přesáhne 0,5 %, z toho samého vzorku proběhnout další dvě souběžná stanovení a výsledkem je průměr dalších souběžných stanovení. Jestliže dojde k překročení rozdílu povolené tolerance i u těchto dvou stanovení, jako výsledek se bere průměr z každého ze čtyř stanovení. Vypočtený údaj se uvádí s jedním desetinným místem.

- Pokud se vyskytne jeden nebo větší množství vzorků, u nichž je vlhkost vyšší než 17 %, je nezbytné ověřit vlhkost u těchto vzorků pomocí vážkové metody.

- Pokud dojde k situaci, kdy u vzorku, byť pouze u jednoho, je rozdíl mezi vlhkostí změřenou vážkově a změřenou vlhkoměrem větší než 0,9 %, je nutné provést změření vlhkosti u všech pokusů vážkovou metodou. Vlhkoměrem stanovené výsledky měření použijeme pro celý pokus v případě, že rozdíl mezi vlhkostí naměřenou vážkově a vlhkoměrem je do 0,9 %.
- Vždycky platí pravidlo, že pro celý pokus se používá jedna metoda stanovení vlhkosti.
- U kukuřice, sóji a slunečnice se nestanovuje sklizňová vlhkost vlhkoměrem.
- Každý z užívaných vlhkoměrů musí splňovat nejvyšší třídu přesnosti, kalibraci je nutné alespoň jednou ročně vyměnit.

5.4.2.3 Stanovení vlhkosti principem NIRS (blízké infračervené spektrometrie)

Pomocí metody blízké infračervené spektrometrie je možné určit vlhkost celé velikosti zrn. Výsledky analýzy může mletí vzorků nepříznivě ovlivnit. Tato metoda se nepoužívá u těchto plodin: sója, kukuřice, slunečnice. Předpokládá se zde kalibrace přístroje každý rok.

5.4.3 Vzorek pro stanovení sena (suché hmoty)

Během sklizně píce se z každého pozemku odejme vzorek zeleného materiálu, který má hmotnost dva až tři kilogramy. Tyto vzorky se sjednotí do jednoho úplného vzorku. Když vzorky nejsou sklizeny pomocí sklízecí řezačky, je nezbytné je co nejrychleji přepravit z pole a pořezat pomocí stacionární řezačky. Z veškerého objemu řezanky se odejme vzorek do laboratoře, který má hmotnost přibližně 2 kg a zjistí se jeho hmotnost s přesností na gramy.

5.4.3.1 Stanovení sena (suché hmoty)

Vzorek z laboratoře se suší v sušárně komorového nebo boxového typu za teploty okolo 50 °C. Vzorky se vícekrát promíchají v průběhu sušení, aby sušení probíhalo rovnoměrně a co nejrychleji. Sušení probíhá tak dlouho, dokud nedojde k hladkému zlomení s prasknutím kterékoliv části vzorku, především stonku. Potom dojde k vyjmutí vzorků, které se nechají v laboratoři vychlázet nejméně 24 hodin a zváží se. Tento proces není platný pro kukuřici na siláž [12].

6 Závěr

Měření vlhkosti vzduchu a kteréhokoliv materiálu je pro některá odvětví velice důležité a nezbytné. V meteorologii patří vlhkost mezi primární vlastnosti vzduchu. Hodnoty vlhkosti se mění dle místa měření, vlhkost vzduchu je také limitována teplotou. Určování vlhkosti vzduchu patří mezi nejvýznamnější měření ohledně vlhkosti. Velice významnou roli hraje také určování vlhkosti zdiva. Když se ve zdivu nachází příliš mnoho vlhkosti, dochází k rozpadání omítky a ke vzniku plísní. Jednu z nejdůležitějších rolí hraje také určování vlhkosti půdy, která rozhoduje, zda je dotyčná půda vhodná pro pěstování některých plodin.

Tato práce je určena pro ty čtenáře, kteří mají zájem se blíže seznámit s principy a metodami měření vlhkosti. Při určování vlhkosti půdy, obilovin, vzduchu atd. je v první řadě důležité znát jednotky a pojmy, jako je například rosný bod. Důležitou roli také hrají způsoby, kterými vlhkost vyjádříme. Pro každou metodou se hodí jiný způsob výpočtu vlhkosti. Volba metody měření závisí především na tom, v jakém odvětví se nacházíme. Při skladování zemědělských plodin, jako je obilí, sláma, seno, siláže, je nutné měřit jejich vlhkost, aby nedošlo k znehodnocení. Vlhkoměry mohou posloužit i k určení obsahu sušiny, pokud mluvíme o senáži a siláži. U obilí měříme kvalitu zrní (vlhkost). Vlhkoměry určené pro tyto účely mají už dnes naprogramované druhy obilí a plodin, jsou snadno obsluhovatelné a výhodou je ten fakt, že stačí malé množství vzorku, který je rychle vyhodnocen. Mezi nejlevnější patří ty vlhkoměry, které slouží k měření vlhkosti vzduchu (vyskytují se v řadě domácností). Naopak mezi nejdražší se řadí vlhkoměry sloužící k měření vlhkosti obilovin, jejichž cena daleko převyšuje deset tisíc korun. Za standardní je považován gravimetrický vlhkoměr, ovšem měření gravimetrickou metodou je zdlouhavé a nákladné. Kondenzační vlhkoměr je velmi přesný a odolný proti chemikáliím. U klasického psychrometru se hodnoty teplot odečítají ručně, existují ale také elektrické psychrometry. Odporový senzor vlhkosti je také velmi přesný, ale nelze ho využít při vyšších teplotách, protože je citlivý na orosení. Kapacitní senzory vlhkosti jsou odolné proti kondenzaci, rychlé a přesné. Jsou odolné vůči chemikáliím a vyšším teplotám. Pro práci při vysokých teplotách se hodí vlhkoměry s vyhřívanými termistory – jsou zároveň odolné i proti chemikáliím.

Práce popisuje většinu metod měření vlhkosti a typy vlhkoměrů, čímž bohatě splňuje postavené cíle. Doporučený rozsah bakalářské práce umožnil zabývat se pouze nejrozšířenějšími metodami měření pro jejich podrobný rozbor. V rámci svého rozsahu se

práce zabývá také stručněji způsoby vyjadřování vlhkosti, které jsou ovšem důležitou a nedílnou součástí měření vlhkosti. V případě možnosti většího rozsahu uvedená práce by mohla být rozšířena ještě o další metody, např. o metodu, na které pracuje neutronový vlhkoměr, vlhkoměr s gama zářičem, nebo o způsob měření vlhkosti paliv. Případně by bylo možné se způsobům měření vlhkosti již uvedeným v této práci věnovat více.

7 Seznam použitých zdrojů

7.1 Seznam internetových zdrojů

[1] *Profesionální elektronika* [online]. 2004 [cit. 2016-03-09]. Dostupné z:

<http://www.hw.cz/teorie-a-praxe/dokumentace/vlhkomery.html-0>

[2] *Wikipedia* [online]. 2015 [cit. 2016-03-09]. Dostupné z:

https://cs.wikipedia.org/wiki/Vlhkost_vzduchu

[3] *ČVUT: Návod na cvičení* [online]. [cit. 2016-03-10]. Dostupné z:

<http://www.micro.feld.cvut.cz/home/x34ses/cviceni/Navody%20na%20cviceni/07.Mereni%20Ovlhkosti.pdf>

[4] *VUT: Fakulta podnikatelská* [online]. Brno, 2007 [cit. 2016-03-10]. Dostupné z:

https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=784

[5] *Boza* [online]. Praha, 2009 [cit. 2016-03-12]. Dostupné z:

boza.praha12.net/temp/dp/diplomka.doc

[6] *MUNI: Peltierův článek* [online]. Praha [cit. 2016-03-12]. Dostupné z:

https://kdf.mff.cuni.cz/tabor/2007/projekty/peltieruv_clanek.pdf

[7] *Soudní inženýrství: Měření vlhkosti v praxi soudního inženýra* [online]. Brno, 2005 [cit.

2016-03-14]. Dostupné z: <http://www.sinz.cz/archiv/docs/si-2005-03-175-178.pdf>

[8] *VFU* [online]. Brno [cit. 2016-03-14]. Dostupné z: [http://cit.vfu.cz/ivbp/wp-](http://cit.vfu.cz/ivbp/wp-content/uploads/2011/07/Definice_vyznam_a_funkce_pudy.pdf)

[content/uploads/2011/07/Definice_vyznam_a_funkce_pudy.pdf](http://cit.vfu.cz/ivbp/wp-content/uploads/2011/07/Definice_vyznam_a_funkce_pudy.pdf)

[9] *ČZU: Fakulta lesnická a dřevařská* [online]. Praha [cit. 2016-03-14]. Dostupné z:

http://fle.czu.cz/~hejcman/Prednasky/Ochrana_pudy1.pdf

[10] *MUNI: Přednáška Dr. Litschmann* [online]. Brno, 2010 [cit. 2016-03-14]. Dostupné z:

http://is.muni.cz/el/1431/jaro2010/Z0075/um/Prednaska_Dr_Litschmann_PudniVlhkost.pdf

[11] *MUNI: Přírodovědecká fakulta* [online]. Brno, 2013 [cit. 2016-03-14]. Dostupné z:

http://is.muni.cz/th/270543/prif_m/DP_Gaja.pdf

[12] *Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský* [online]. Brno, 2009 [cit. 2016-03-14].
Dostupné z: <http://eagri.cz/public/web/file/112354/ObecnaCast2013.pdf>

7.2 Seznam knižních zdrojů

[13] Matuška T.: *Experimentální metody v technice měření*, Praha 2005, Česká technika – nakladatelství ČVUT, ISBN 80-01-03291-4.

[14] Norton H.: *Handbook of transducers*. Prentice-Hall, Inc., 1989,
ISBN 0-13-382599-X

[15] Fraden, J.: *Handbook of modern sensors: physics, designs and applications*.
Springer science + business media, Inc., 2004, ISBN 0-387-00750-4

[16] Webster J.: *Measurement instrumentation and sensors*. CRC PRESS, 1999,
ISBN 0-8493-8347-1

[17] Norton H.: *Handbook of transducers*. Prentice-Hall, Inc., 1989,
ISBN 0-13-382599-X

[18] LYSÝ, František a Pavel JÍRŮ. *Nauka o dřevě*. 1. Praha: SNTL, 1954.

[19] Ing. Lenka Široká: článek „Metody zjišťování vlhkosti pro sanace zdiva“, vydáno v
JUNIORSTAV 2008

8 Seznam obrázků a tabulek

Obrázek 1: Vlasový vlhkoměr	16
Obrázek 2: Zapichovací sonda pro odporový vlhkoměr	17
Obrázek 3: Závislost relativní vlhkosti na odporu.....	17
Obrázek 4: Závislost relativní vlhkosti na kapacitě čidla.....	18
Obrázek 5: Aspirační psychrometr	19
Obrázek 6: Princip aspiračního psychrometru.....	20
Obrázek 7: Assmanův psychrometr.....	20
Obrázek 8: Kondenzační vlhkoměr (princip)	23
Obrázek 9: Elektrolytický vlhkoměr	24
Obrázek 10: Vyhřívané termistory	25
Obrázek 11: Závislost absolutní vlhkosti na výstupu	25
Obrázek 12: Rezonanční metoda.....	27
Obrázek 13: Peltierův článek.....	28
Obrázek 14: Rovnovážná vlhkost dřeva v závislosti na teplotě a vlhkosti okolního vzduchu. 32	
Obrázek 15: Příčiny vlhnutí zdiva	34
Obrázek 16: Složení půdy.....	37
Obrázek 17: Odrazivost zdravého a strádajícího stromu s výpočtem NDVI	42
Obrázek 18: Definice indexu TVDI	45
Tabulka 1: Teplota v závislosti na absolutní vlhkosti vzduchu při nasycení vodní parou	12
Tabulka 2: Procentuální vlhkost dřeva (štěpina)	32
Tabulka 3: Procentuální vlhkost dřeva (kuláč).....	32
Tabulka 4: Přehled metod zjišťování vlhkosti zdiva	37
Tabulka 5: Způsoby měření půdní vlhkosti	38
Tabulka 6: Teplota a doba sušení	47