

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
FAKULTA STAVEBNÍ
Katedra technologie staveb**



**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
Porovnání měřících metod vlhkosti
vybraných stavebních materiálů**

**Filip Hůrka
2019**

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Linda Veselá, Ph.D.

České vysoké učení technické
Fakulta stavební
Katedra technologie staveb

**Prohlašuji, že jsem předkládanou bakalářskou práci vypracoval(a) samostatně
pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.**

V Praze dne

.....

Filip Hůrka

Poděkování

Rád bych zde poděkoval své vedoucí bakalářské práce paní Ing. Lindě Veselé, PhD. za její čas strávený na konzultacemi mé bakalářské práce a její cenné rady a připomínky. Dále bych rád poděkoval panu Pavlovi Kučerovi, DiS ze společnosti Metrostav a.s., za vyřízení zpřístupnění staveb, pro potřeby měření a odběr zkušních vzorků.



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Hůrka	Jméno: Filip	Osobní číslo: 458785
Zadávací katedra: Katedra technologie staveb		
Studijní program: Stavební inženýrství		
Studijní obor: Příprava, realizace a provoz staveb		

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Porovnání měřících metod vlhkosti vybraných stavebních materiálů	
Název bakalářské práce anglicky: Comparison of moisture measurement methods of selected building materials	
Pokyny pro vypracování: 1) Provedení rešerše k metodám měření vlhkosti a vlivu vlhkosti na stavební konstrukce 2) Návrh experimentu měření vlhkosti in-situ 3) Provedení měření ve vybraných budovách a variantách 4) Provedení srovnávacího měření v laboratoři 5) Vyhodnocení měření a návrh kalibračních křivek pro vybrané měřicí metody	
Seznam doporučené literatury: ČSN 74 4505 Podlahy – Společná ustanovení ČSN EN ISO 12570 Tepelné vlhkostní chování stavebních materiálů a výrobků - Stanovení vlhkosti sušením při zvýšené teplotě Vysušování zdiva I., Michael Balík Sanace vlhkého zdiva, Pavel Fára, STOP - společnost pro technologie ochrany památek	
Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Linda Veselá, Ph.D	
Datum zadání bakalářské práce: 19.2.2019	Termín odevzdání bakalářské práce: 26.5.2019 <i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i>
Podpis vedoucího práce	Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)
-----------------------	---------------------

Porovnání měřících metod vlhkosti vybraných stavebních materiálů

V této bakalářské práci se autor zaměřil na problematiku zjišťování vlhkosti stavebních materiálů. Úvodní teoretická část je zaměřena na metody průzkumu vlhkých staveb. Následující praktická část je zaměřena na přesnost metod měření vlhkosti vybraných stavebních materiálů a jejich porovnání.

Klíčová slova:

vlhkost stavebního materiálu, metody měření vlhkosti, přesnost měření, maximální povolená vlhkost konstrukce, destruktivní metoda, nedestruktivní metoda

Comparison of moisture measurement methods of selected building materials

In this bachelor thesis the author focused on the issue of moisture detection in building materials. The introductory theoretical part focuses on the methods of surveying damp in buildings. The following practical part is focused on the accuracy of moisture measurement methods of selected building materials and their comparison.

Keywords:

dampness in building material, methods of moisture measurement, accuracy of measurement, maximal permitted construction dampness, destructive method, non-destructive method

Obsah

1.	ÚVOD.....	9
2.	LITERÁRNÍ PŘEHLED PROBLEMATIKY.....	10
2.1.	Základní pojmy	10
2.2.	Zdroje vlhkosti stavebních konstrukcí	13
2.3.	Nejvyšší dovolená vlhkost materiálu dle ČSN.....	15
2.4.	Přehled nejčastěji používaných metod pro měření vlhkosti materiálů....	17
2.4.1.	Měření vlhkosti gravimetrickou metodu.....	18
2.4.2.	Měření vlhkosti karbidovou metodou (CM).....	19
2.4.3.	Měření vlhkosti kapacitními vlhkoměry.....	19
2.4.4.	Měření vlhkosti odporovými vlhkoměry	20
3.	Experimentální část.....	22
3.1.	Cíle experimentální části.....	22
3.2.	Návrh experimentu měření vlhkosti v in-situ	22
3.3.	Měřicí přístroje pro vybrané metody	23
3.3.1.	Přístroje použité pro měření gravimetrické metody.....	23
3.3.2.	Přístroje použité pro měření karbidovou metodou	25
3.3.3.	Přístroje pro měření kapacitní metody	26
3.3.4.	Přístroje pro měření odporové metody.....	27
3.4.	Postupy vybraných měřících metod.....	28
3.4.1.	Postup gravimetrické metody.....	28
3.4.2.	Postup karbidové metody.....	31
3.4.3.	Postup pro měření kapacitními vlhkoměry	34
3.4.4.	Postup pro měření odporovými vlhkoměry.....	36
3.5.	Výsledky měření	39

3.6. Vyhodnocení přesnosti karbidové metody a návrh převodních tabulek mezi [%-CM] a [%] hmotnostní vlhkosti	45
3.7. Výpočty přesnosti měření jednotlivých metod měření v závislosti na měřeném materiálu	50
3.7.1. Srovnání vybraných metod měření vlhkosti prováděné na keramickém střepu.....	50
3.7.2. Srovnání vybraných metod měření vlhkosti prováděné na betonu	52
3.7.3. Srovnání vybraných metod měření vlhkosti prováděné na vápenocementových omítkách.....	53
3.7.4. Srovnání vybraných metod měření vlhkosti prováděné na anhydritových potěrech	55
3.7.5. Srovnání vybraných metod měření vlhkosti prováděné na keramickém střepu.....	56
3.7.6. Srovnání metod měření vlhkosti.....	57
4. ZÁVĚR	60

1. ÚVOD

Voda je základním kamenem pro život na Zemi. Bez ní by se lidský život neobešel. I když nám mnoho dává, umí se také projevit jako živel, který páchá škody na majetku či na zdraví. Obdobně se chová i vzdušná vlhkost, která spolu s dalšími tvoří vnitřní mikroklima v budově působící na jednotlivé stavební konstrukce. Zvýšená vlhkost těchto konstrukcí často vykazuje poruchy ve formě zvýšené tepelné vodivosti, tvorby plísní, postupné degradace konstrukce až ztráty pevnosti a tím i její únosnosti.

V bakalářské práci se zabývám porovnání metod měření hmotnostní vlhkosti vybraných materiálů. V literární části bude shrnuta základní teorie o vlhkosti, zdroje vody a vodní páry v materiálu a rešerše s nejpoužívanějšími metodami pro měření vlhkosti materiálu s jejich přesností.

V praktické části budu vytvářet experiment s měřením vlhkosti vybraných materiálů více metodami. K měření vlhkosti materiálu jsou vybrány metody nejčastěji používané v praxi. A to kapacitní, odporové a karbidové. Mezi vybrané stavební materiály jsem zařadil keramický stěp, beton, vápenocementovou omítku, anhydritový potěr a cementový potěr. A to z toho důvodu, že tyto materiály jsou ve stavební praxi hojně využívány a kontrola vlhkosti u těchto materiálů je častá. Bude nutné, aby byla zpracována metodika experimentu měření. Jako referenční měření bude provedena gravimetrická zkouška. Výsledkem pokusu bude výpočet přesností jednotlivých metod měření a jejich vzájemné porovnání či možné vypracování kalibračních vztahů.

2. LITERÁRNÍ PŘEHLED PROBLEMATIKY

2.1. Základní pojmy

Vlhkost materiálu

Vlhkost materiálu je množství fyzikálně vázané vody obsažené v pórovitém prostředí látky. Tato voda může být v jakémkoliv skupenství. Obecně vlhkost rozlišujeme na vlhkost hmotnostní w_m , kterou vypočteme ze vztahu (1.1) a vlhkost objemovou w_v , kterou vypočteme ze vztahu (1.2)

$$w_m = \frac{m - m_0}{m_0} \cdot 100 [\%] \quad (1)$$

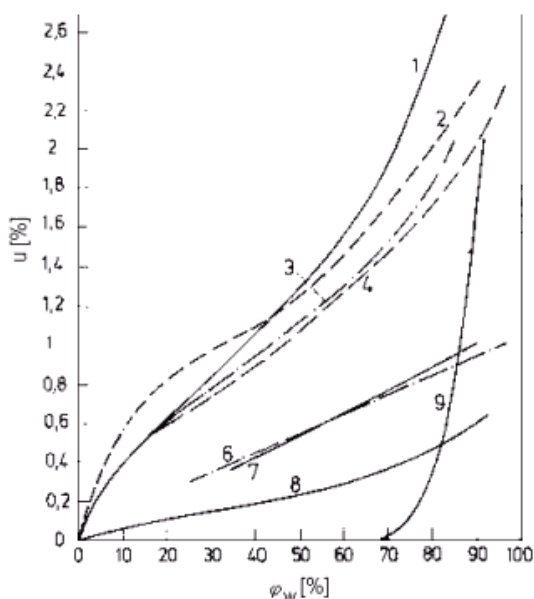
kde m je hmotnost vzorku odebraného na stavbě před vysušením [g] a m_0 je hmotnost vysušeného vzorku [g].

$$w_v = \frac{V_v}{V_s} \cdot 100 [\%] \quad (2)$$

kde V_v je objem vody obsažené v materiálu [m^3] a V_s je objem vysušeného vzorku [m^3].

Rovnovážná (sorpční) vlhkost

Za ustálených teplotních a vlhkostních poměrů dochází k rovnováze mezi vlhkostí materiálu a vlhkostí vzduchu, tedy k rovnovážné vlhkosti. Je-li však parciální tlak vodní páry ve stavebním materiálu nižší než v okolním vzduchu, pak tato konstrukce vodní páru přijímá. V opačném případě konstrukce vodní páru uvolňuje. Tak vzniká sorpce a desorpce. Rovnovážná vlhkost, které je dosaženo za stálé teploty a relativní vlhkosti vzduchu, je charakterizována nulovým přírůstkem hmotnosti. [1]



Graf 1 – Rovnovážná vlhkost vybraných technických materiálů v závislosti na vlhkosti okolního vzduchu [2], 1 - křemelina, 2 - korek, 3 - cementová omítka, 4 - beton, 5 - skelná vlna, 6 - pryž, 7 - cihly, 8 - sádra

Počáteční výrobní vlhkost

Do každé konstrukce, která byla provedena mokřým procesem, byla na počátku vnesena určitá fyzikálně vázaná voda. Množství této vody v konstrukci se v určitém časovém období ustálí na rovnovážnou vlhkost. Doba tohoto vysychání je závislá na druhu materiálu, rozměrech konstrukce, zabudování a lokace ve stavebním díle a dalších okrajových podmínkách. Zpravidla tato doba bývá v rozmezí 1 rok až 7 let.

Kritická vlhkost

Je definována jako maximální přípustná vlhkost materiálu zabudovaného do konstrukce. Po překročení kritické vlhkosti materiál zásadně mění fyzikální a chemické vlastnosti do té míry, že je nevhodný až nebezpečný.

Vlhkost vzduchu

Ve stavební fyzice rozeznáváme absolutní a relativní vlhkost vzduchu.

Absolutní vlhkost vzduchu φ [$\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$] je dána poměrem mezi hmotností vodní páry a objemem vzduchu. Udává tedy hmotnost vodní páry obsažený v jednom metru krychlovém vzduchu.

$$\varphi = \frac{m}{V} [g \cdot m^{-3}] \quad (3)$$

kde m je hmotnost vodní páry [g] a V je objem vzduchu [m^3].

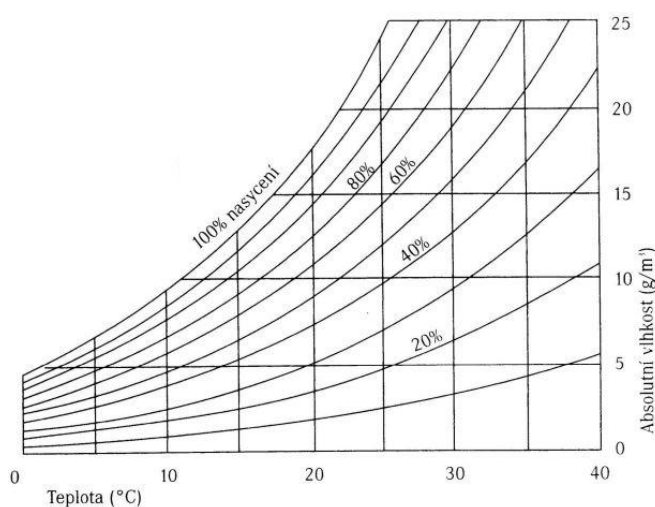
Relativní vlhkost φ [%] udává poměr mezi okamžitým množstvím vodní páry ve vzduchu a možným maximálním množstvím nasycené vodní páry ve vzduchu.

$$\varphi = \frac{m}{M} \cdot 100 [\%] \quad (4)$$

kde m je hmotnost vodní páry [g] a M je hmotnost nasycené vodní páry [g]

Rosný bod

Rosný bod udává teplotu vzduchu, při které se hmotnost vodní páry ve vzduchu rovná hmotnosti nasycené vodní páry ve vzduchu, tedy relativní vlhkost se rovná 100%. Při poklesu této teploty nastává kondenzace a tím změna skupenství z plynného na kapalný.



Graf 2 – Zjednodušený hygrometrický graf dle Molliera [3]

Teplotní faktor vnitřního povrchu

Nejnižší vnitřní povrchová teplota povrchu je dle ČSN 73 0540 - *Teplná ochrana budov* definována teplotním faktorem vnitřního povrchu f_{Rsi} [°C]. Norma cílí na možnosti povrchové kondenzace vodní páry u výplní stavebních otvorů a možnosti vzniku plísní na stavebních konstrukcích.

Dle normy musí být splněna podmínka:

$$f_{Rsi} \geq f_{Rsi,N} = f_{Rsi,cr} \quad (5)$$

kde f_{Rsi} je teplotní faktor vnitřního povrchu [$^{\circ}\text{C}$], $f_{Rsi,N}$ je požadovaná hodnota nejnižšího teplotního faktoru vnitřního povrchu [$^{\circ}\text{C}$] a $f_{Rsi,cr}$ je kritický teplotní faktor vnitřního povrchu [$^{\circ}\text{C}$].

Transport vody materiálem se uskutečňuje buď difúzí, nebo vzlínáním.

Difuze

Při difuzi probíhá samovolný transport vodní páry z prostředí o vyšším tlaku vodní páry do prostředí o nižším tlaku vodní páry. Významnou roli zde hraje součinitel difuzního odporu μ [-], což je materiálová vlastnost, která udává schopnost propustnosti vodní páry difuzí v materiálu. Ekvivalentní tloušťka vrstvy s_d [m] charakterizuje míru odporu vrstvy proti difuzi vodních par a je definována jako součin tloušťky konstrukce a součinitele difuzního odporu.

Vzlínání

Vzlínání je jev, který způsobuje vzestup vody v pórovitém materiálu nad úroveň hladiny vody. Způsobený je kapilární elevací v kapilárně aktivních pórech, jejichž velikost je mezi 0,1 [μm] až 0,1 [mm].

Vzlínání je zapříčiněno působením kapilárních sil a dochází k němu tehdy, jestliže jsou kohezní síly v kapalině menší, než adhezní síly v místě kontaktu kapaliny a povrchu kapiláry.[4]

V důsledku vzlínání může voda v materiálu a stavební konstrukci vystoupat vysoko (i v řádech metrů). Výška vzlínání je závislá na velikosti kapilárně aktivních pórů, typu a materiálu povrchové úpravy, obsah solí ve vodě, stupně nasycení zeminy v místě kontaktu s konstrukcí apod.

2.2. Zdroje vlhkosti stavebních konstrukcí

Voda se do stavební konstrukce může dostat v různém skupenství. Nejčastěji však v kapalném a plynném skupenství.

Vzlínání

Kapilární vzlínání probíhá u konstrukcí, které jsou v přímém kontaktu se zemínou, nebo přímo vodou. Ve stavební praxi takto namáhané konstrukce najdeme ve spodní stavbě, opěrných zdech nebo soklové části domu. Ochranou proti vzlínající vodě je provedení vhodného hydroizolačního systému, konstrukční úpravou či volbou vhodného materiálu konstrukce.

Tlaková voda

Tlaková voda působí na konstrukci buď dlouhodobě v podobě zvýšené hladiny podzemní vody, nebo krátkodobě, když srážková voda v geologickém prostředí narazí na méně propustnou vrstvu. Voda se tak nestíhá vsakovat touto vrstvou a způsobuje tak tlakovou vodu na konstrukci. Mezi opatření se řadí hydroizolační systémy odolné vůči tlakové vodě, provedené tzv. bílé vany, snížení hladiny podzemní vody nebo provedení drenážního systému se huněným propustným zásypem.

Srážková voda

Srážková voda působí na konstrukce převážně ve svislém směru ve formě dešťových kapek a namáhá tak nejvíce střešní plášť a klempířské výrobky. Správné provedení klempířských prvků a vhodně navržená střešní skladba pláště zajišťuje její vodotěsnost budovy.

Srážkovou vodou hnanou větrem rozumíme déšť, působící na svislé konstrukce. Namáhání větrem na konstrukci vyvíjí tlak, který pomáhá vodě dostat se do ještě větší hloubky. Nejvhodnějším patřením proti hnané vodě je použití hydrofobní nenasákavé omítky nebo hydrofobní nátěry na konstrukce.

U říms, balkónů, teras, soklové části anebo jiných výčnělků na svislých konstrukcích působí srážková odstříkující voda. Často tak bývá i v kombinaci s vodou hnanou. Je kladen důraz na nenasákavou povrchovou úpravu a skladbu konstrukce, zejména použití nenasákavé tepelné izolace min 300 mm od spodního kraje ostřikové zóny.

Voda kondenzovaná

Podstatný podíl vlhkosti vnášené do stavebních konstrukcí tvoří zkondenzovaná voda. Při běžném provozu v budově vzniká velké množství vodní páry například ze sušení prádla, vaření, sprchování a i z osob. To způsobuje zvýšenou relativní vlhkost. Při překročení teploty rosného bodu se bude na povrchu či uvnitř konstrukce tvořit kondenzát. Ten se při podchlazení konstrukce může tvořit i na exteriérových plochách. Mezi opatření k redukování kondenzované vody je snižování relativní vlhkosti vzduchu v objektu větráním nebo strojní úpravou vzduchu. Další možností je naopak zvýšení teploty rosného bodu na povrchu nebo uvnitř konstrukce.

2.3. Nejvyšší dovolená vlhkost materiálu dle ČSN

V dnešní době se málokterá stavba obejde bez mokrých procesů ve výstavbě. To je dáno tradicí, místní zvyklostí, nebo technickým požadavkem na konstrukci. Zejména se jedná o zdění, betonování, provádění omítek, cementového potěru a anhydritového potěru. Volbou použití mokrého procesu ale nastává problém s vnesením velkého množství vody do stavební konstrukce. Počáteční výrobní vlhkost se poté podle okrajových podmínek prostředí postupně zmenšuje na vlhkost rovnovážnou. Ve stavení praxi je často udáván čas na vysychání konstrukce prováděné mokrým procesem jeden den na jeden milimetr tloušťky konstrukce. Pro možnost provádění navazujících konstrukcí jsou stanoveny nejvyšší dovolené vlhkosti podkladních materiálů.

Norma ČSN 74 4505 *Podlahy - společná ustanovení* udává nejvyšší dovolené vlhkosti cementového potěru a potěru na bázi síranu vápenatého v hmotnostních % v době pokládky nášlapné vrstvy.

Nášlapná vrstva	Cementový potěr	Potěr na bázi síranu vápenatého
Kamenná nebo keramická dlažba	5,0 %	0,5%
Lité podlahoviny na bázi cementu	5,0 %	Nelze provádět
Syntetické lité podlahoviny	4,0 %	0,5 %
Paropropustná textilie	5,0 %	1,0 %
PVC, linoleum, guma, korek	3,5 %	0,5 %
Dřevěné podlahy, parkety, laminátové podlahoviny	2,5 %	0,5 %

Tabulka 1 – Nejvyšší dovolená vlhkost cementového potěru, nebo potěru na bázi síranu vápenatého v hmotnostních % v době pokládky nášlapné vrstvy [5]

Po změnách v normě ČSN 74 4505 *Podlahy - společná ustanovení* platné z roku 2015 je možné, aby výrobce nášlapné vrstvy stanovil méně přísné požadavky na hmotnostní vlhkost cementového potěru nebo potěru na bázi síranu vápenatého než jsou udávané v normě. Požadavek na vlhkost podkladu by měl být jasně specifikován v technickém listu. Tato změna umožňuje lepší časovou variabilitu pokládky nášlapné vrstvy.

V případě, že součástí podlahy je systém podlahového vytápění, musí být požadavek na nejvyšší dovolenou vlhkost u cementového potěru snížen o 0,5%, u potěrů na bázi síranu vápenatého o 0,2%. [5]

Norma ČSN 73 2310 *Provádění zděných konstrukcí* udává nejvyšší hmotnostní vlhkost pro zděný podklad pod omítky. Tato norma byla ale roku 2010 zrušena a jako alternativní náhrada byla zavedena norma ČSN EN 1996-2 *Eurokód 6: Navrhování zděných konstrukcí – Část 2: Volba materiálů, konstruování, a provádění zdiva*, ve které nejsou nejvyšší povolené hmotnostní vlhkosti zděného podkladu definovány.

Zděný podklad pod omítky	4 % u zdiva z pálených cihel
	3,5 % u zdiva z vápenopískových cihel
	4 % u betonových cihel a tvárnic
	6 % u ziva z lehkých betonových tvárnic
	8 % u zdiva z pórobetonových a křemelinových tvárnic

Tabulka 2 – Nejvyšší dovolená vlhkost pro zděný podklad pod omítky v hmotnostních % [6]

Požadované hodnoty v t

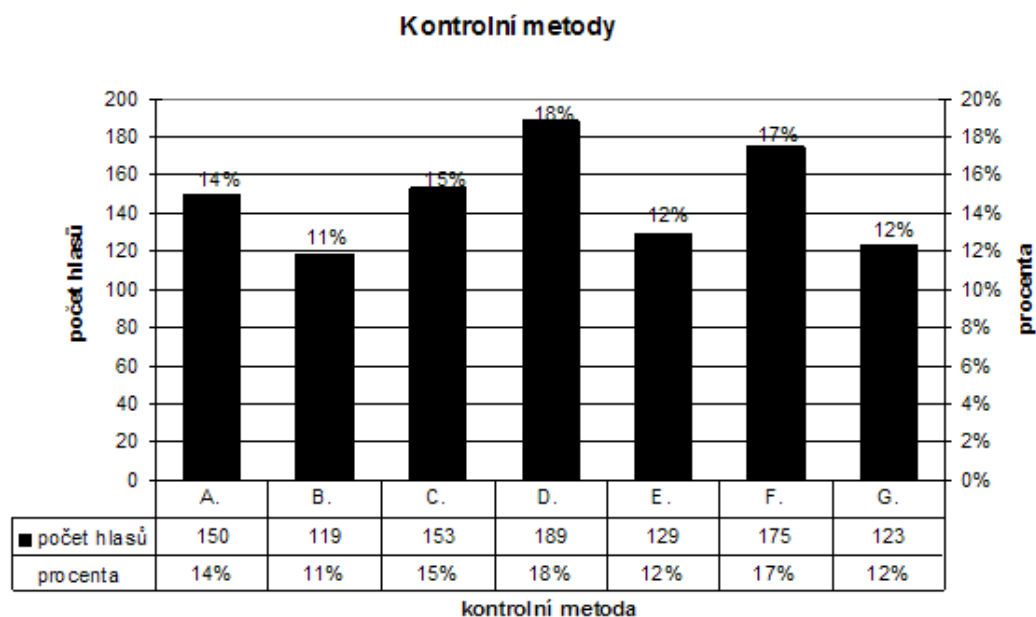
tabulce 2 musí být dodrženy v zimním období.

2.4. Přehled nejčastěji používaných metod pro měření vlhkosti materiálů

Na počátku roku 2011 provedena internetová anketa zjišťující informace o kontrolních metodách používaných v ČR. V anketní otázce: *Jakým způsobem kontrolujete vlhkost podkladu před pokládkou finální vrstvy podlahy?* bylo možné vybírat z těchto odpovědí: [7]

- A. karbidová metoda,
- B. gravimetrická metoda,
- C. příložné kapacitní vlhkoměry,
- D. zapichovací odporové vlhkoměry,
- E. žádnou kontrolní metodu nepoužívám,
- F. jiná destruktivní metoda (blíže nespecifikováno),
- G. jiná nedestruktivní metoda (blíže nespecifikováno).

V anketě bylo obdrženo 1038 hlasů. Rozložení jednotlivých odpovědí znázorňuje následující graf: [7]



Graf 3 – Rozložení jednotlivých odpovědí na anketu [7]

2.4.1. Měření vlhkosti gravimetrickou metodu

Gravimetrická neboli hmotnostní metoda je destruktivní, normová a nejpřesnější metoda pro zjišťování vlhkosti materiálu, která je prováděna dle ČSN EN 12570. V případě soudního sporu s účastníky výstavby je, díky dostatečné opoře v normě, dostatečně průkazná. Dle ČSN 74 4505 – Podlahy – Společná ustanovení, se může tato metoda nahradit jinou metodou, nicméně musí být prokázáno, že nahrazující metoda vede ke stejným výsledkům jako metoda gravimetrická.

Principem gravimetrické metody je stanovení množství vody obsažené v pórech materiálu pomocí laboratorním vysoušením vzorku.

Přesnost gravimetrické zkoušky

Gravimetrické zkoušky jsou v porovnání s ostatními metodami zjišťování hmotnostní vlhkosti materiálu nejpřesnější. Norma ČSN EN ISO 12570 uvádí, že za předpokladu splnění všech postupů a použití předepsaných zkušebních zařízení je přesnost hmotnostní zkoušky odhadem 3 %.

2.4.2. Měření vlhkosti karbidovou metodou (CM)

Karbidová metoda měření vlhkosti je destrukční zkouška. Založená je na známé chemické reakci, při které vzniká tlak plynů ve speciální tlakové nádobě. Díky jednoduchosti, praktičnosti a možnosti provádění měření na stavbě (in-situ), je tato metoda velice často používána v celé Evropě, zejména v Německu. Tam má přímo oporu v místních normách (DIN 18560-4:2012-06). V České republice je tato metoda zakotvená v ČSN 74 4505, podle které je to vhodná alternativní metoda pro cementové potěry a potěry na bázi síranu vápenatého. Rozsah měření je 0,14 až 22,90 [CM-%] s použitím konverzní tabulky.

Principem zkoušky je chemická reakce volné vody a vlhkosti materiálu s *karbidem vápenatým*, při které vzniká v uzavřené tlakové nádobě *hydroxid vápenatý* a *acetylen*, který vytváří v uzavřené nádobě tlak.



Tlak acetylenu v nádobě se měří manometrem v barech [bar] a poté se převádí dle tabulky č. 5. Nebo lze přímo z budíku nanometru odečíst na stupnici procenta CM [CM-%].

Udávaná přesnost karbidové metody

Přesnost karbidová metoda měření vlhkosti materiálu bývá oproti gravimetrické metodě horší. Často udávanou přesností je $\pm 3\%$. Tato odchylka je zapříčiněna mnoha vlivy například přenesení vlhkosti z prstů, nepřesnost vážení na stavbě, vzdušná vlhkost, povětrnostní podmínky či sluneční svit.

2.4.3. Měření vlhkosti kapacitními vlhkoměry

Měření vlhkosti pomocí kapacitních vlhkoměrů je nedestruktivní zkouška. Přístroj pro měření je z finančního hlediska dostupný, jednoduchý na užívání a výsledky jsou známé ihned na stavbě. Její velkou nevýhodou je to, že naměřené hodnoty vlhkosti jsou pouze orientační. Tedy v případě sporu se o tuto metodu nelze opřít. Další nevýhodou je hloubka měření.

Signál proniká pouze do hloubky cca 20 - 40 mm, dle typu přístroje a objemové hmotnosti materiálu.

Udávaná přesnost měření kapacitními vlhkoměry

Přesnost měření kapacitními vlhkoměry obvykle nebývá velká. Dostupná odborná literatura uvádí, že přesnost kapacitní metody bývá dobrá pouze u materiálů s nízkou vlhkostí do 5-7%. V normě ČSN EN 13183-3: Vlhkost vzorku řeziva – Část 3: Odhad kapacitní metodou je tato metoda zakotvena pouze jako odhad vlhkosti. Z pohledu kontroly kvality ve stavebnictví se často na tuto metodu nelze spolehnout.

2.4.4. Měření vlhkosti odporovými vlhkoměry

Měření vlhkosti odporovými vlhkoměry je dnes nejrozšířenější metodou pro zjišťování vlhkosti materiálů na stavbě. A to pro svou jednoduchost, rychlost a možnost zjištění vlhkosti ihned na stavbě. V obecné rovině je měření odporovými vlhkoměry nedestruktivní metodou. Avšak dle druhu elektrod se odporové vlhkoměry dělí na hrotové a vlhkoměry s kartáčovými sondami. Hrotové odporové vlhkoměry mají na přístroji či jeho příslušenství zabudované dva hřeby, které vytvářejí elektrody. Ty se buď zapíchnou, přitlačí nebo zatloukají do měřeného materiálu. Takto provedené měření nevykazuje porušení povrchu, či je porušení měřeného povrchu minimální. Tato metoda se nejčastěji používá pro konstrukce do 30mm (například omítky), protože hroty lze zavést pouze do malé hloubky měřeného materiálu.



Obrázek 1 – Hrotový vlhkoměr pro měření vlhkosti dřeva a stavebních materiálů
Greisinger GMH3810 [8]

Měření vlhkosti odporovými vlhkoměry pomocí vývrtů a kartáčových sond již vykazuje jisté porušení měřeného materiálu. A to z důvodu, že je nutné do materiálu vyvrtat dva vývrty pro kartáčové sondy. Tato metoda má výhody v možnosti měřit vlhkost v celé tloušťce měřeného materiálu. Její zásadní nevýhodou je nutnost provedení vývrtů a časová náročnost, protože vývrty se musí na 72 hod zaslepit.

Princip odporové metody je založen na vlastnosti vedení elektrického proudu látkou známé délky. Se zvyšující vlhkostí materiálu se vedení elektrického proudu zvyšuje a elektrický odpor se zmenšuje. To znamená, že čím sušší materiál, tím je elektrický odpor větší.

Udávaná přesnost měření odporovými vlhkoměry

Nepřesnost měření závisí na možnosti vzniku přechodového odporu. Ten vzniká mezi elektrodou a měřeným materiálem, když k němu elektroda dostatečně nepřiléhá (např. když je průměr vývrtu větší, než průměr elektrody). Tato chyba se může eliminovat nanesením vodivé pasty na elektrody. Odporová metoda není zakotvena v žádné normě ČSN, a tak se může použít pouze pro orientační měření vlhkosti materiálu.

3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

3.1. Cíle experimentální části

Hlavní cíle experimentální části bakalářské práce jsou:

- Návrh experimentu měření vlhkosti in-situ
- Provedení měření ve vybraných budovách a variantách
- Provedení srovnávacího měření v laboratoři
- Vyhodnocení měření a návrh kalibračních křivek či pro vybrané měřicí metody

3.2. Návrh experimentu měření vlhkosti v in-situ

Z rešeršní části bakalářské práce vyplývá, že přesnosti měření jednotlivých metod jsou značně rozdílné. Jelikož cílem zadání je porovnání různých destruktivních a nedestruktivních metod měření vlhkosti materiálů, je nutné toto měření provádět na homogenních vzorcích, nejlépe na stejných místech. Proto byla sestavena následující metodika měření.

Pomocí kapacitních vlhkoměrů budou vybrána místa pro měření, a to s ohledem na co nejširší zastoupení vlhkostí daného materiálu. S předstihem 72 hodin se předvrtají a řádně utěsní vývrty pro kartáčové sondy odporového měření. Po uplynutí 72 hodin budou provedeny nedestruktivní měření pomocí kapacitních vlhkoměrů Berner a Gann hydromat CM Compact B. Následně se změří vlhkost materiálu odporovým vlhkoměrem Greisinger electronic GHH 91 KK. Po provedení nedestruktivních metod bude možné ručně odebrat vysekáním vzorky pro destruktivní metody. Z vysekaného vzorku se odebere potřebná hmotnost materiálu pro karbidovou metodu, která se bude provádět ihned na místě pomocí přístroje GANN HYDROMAT CM. Zbylá část odebraného vzorku materiálu se zabalí do dvojitého parotěsného obalu, a co v nejkratší době se převezde do laboratoře, kde se bude provádět gravimetrická zkouška.

Stavby a místa odběrů budou zajištěna společností Metrostav a.s. Gravimetrická zkouška bude prováděna v laboratořích Ústavu skla a keramiky Vysoké školy chemicko-technologické v Praze.

Při stanovování přesnosti měření nebude počítáno s odchylkami přesnosti měření gravimetrické metody, podle které se budou jednotlivé metody porovnávat.

3.3. Měřicí přístroje pro vybrané metody

3.3.1. Přístroje použité pro měření gravimetrické metody

Komorová sušárna WTC BINDER FD-53

Komorová sušárna se používá k vysoušení odebraného vzorku na konstantní hmotnost. Přístroj má vystavený kalibrační certifikát.

Specifikace:

Teplotní rozsah:	5 – 300 [°C]
Teplotní odchylka při 70 [°C]	± 0,8 [°C]
Teplotní odchylka při 150 [°C]	± 2,0 [°C]
Teplotní odchylka při 300 [°C]	± 3,7 [°C]
Vnitřní objem:	53 [l]
Vnitřní rozměry:	400x400x330 [mm]
Maximální zatížení na polici:	15 [kg]
Celkové povolené zatížení:	40 [kg]
Jmenovitý výkon:	1200 [W] [9]



Obrázek 2 – Komorová sušárna WTC BINDER FD-53 (archiv autora)



Obrázek 3 – Komorová sušárna WTC BINDER FD-53 (archiv autora)

Komorová sušárna BTM HS 202 A

Komorová sušárna se používá k vysoušení odebraného vzorku na konstantní hmotnost pomocí nucené cirkulace horkého vzduchu. Příklad má vystavené osvědčení o jakosti.

Specifikace:

Teplotní rozsah:	50 – 200 [°C]
Rozložení teploty v pracovním prostoru	± 1 [%] Tj
Kolísání teploty:	± 1 [%] Tj
Vysálané teplo:	3600 [kJ.h ⁻¹]
Vnitřní objem:	202 [l]
Vnitřní rozměry (šxvxh):	565x880x400 [mm]
Zdánlivý výkon:	3,3 [kVA] [10]



Obrázek 4 – Komorová sušárna BMT HS 202 A (archiv autora)



Obrázek 5 – Komorová sušárna BMT HS 202 A - vnitřní pracovní prostor (archiv autora)

Laboratorní váha Kern PCB3500

Laboratorní váha je určena pro prvotní vážení odebraného vzorku a následovné vážení vysušeného vzorku. Pro docílení přesného vážení musí být váha ve vodorovné rovině. K tomu slouží vestavěná krabicová libela. Z důvodu poškození tenzometrů na váze se na vážící plochu smí pokládat pouze vychladlé vzorky.

Specifikace:

Přesnost:	0,01 [g]
Maximální hmotnost váženého tělesa:	3500 [g]



Obrázek 6 – Laboratorní váha Kern PCB3500 (archiv autora)

3.3.2. Přístroje použité pro měření karbidovou metodou

GANN HYDROMAT CM

Hydromat CM je měřicí souprava pro měření vlhkosti materiálu na stavbě. Převážný kufr obsahuje všechny potřebné nástroje a přípravky pro úspěšné měření.



Obrázek 7 – Souprava GANN HYDROMAT CM v kufru (archiv autora)

Souprava pro měření obsahuje kartáč na nádobu, elektrickou váhu, časovač, ampule zkušební vody, nádobu na úlomky materiálu, ampule s karbidem vápenatým, lžičku, tlakovou nádobu s víkem a manometrem, štětec, hmoždíř, OOPP, ampule s karbidem vápenatým, kladivo, plochý sekáč, HYDROMETTE COMPACT B a sadu ocelových kuliček.

Rozsah měření:

Odečet z manometru: 0,30 - 7,5 CM-%

Přepočet přes tabulku: 0,14 – 22,9 CM-%

3.3.3. Přístroje pro měření kapacitní metody

Berner Baufeuchtemessgerät

Berner Baufeuchtemessgerät je dielektrický kapacitní přístroj pro měření vlhkosti materiálu. Z hlediska použitých frekvencí je tento přístroj nízkofrekvenční.

Specifikace:

Art.Nr.: 017374

Rozsah měření: 0 - 200 [-]

Hloubka měření: 20 - 40 [mm] [11]

Kalibrace: automatická při zapínání

Přesnost měřidla: není uvedeno



Obrázek 8 – Berner Baufeuchtemessgerät (archiv autora)

Gann hydromat CM Compact B

Dielektrický kapacitní přístroj pro měření vlhkosti materiálu je hlediska použitých frekvencí vysokofrekvenční.

Specifikace:

Rozsah měření:	0 - 100 [-]
Hloubka měření:	20 - 40 [mm] dle hustoty materiálu
Kalibrace:	automatická při zapínání
Přesnost měřidla:	není uvedeno



Obrázek 9 – Gann hydromat CM Compact B (archiv autora)

3.3.4. Přístroje pro měření odporové metody

Greisinger electronic GHH 91 KK

Přístroj pro měření vlhkosti materiálu odporovou metodou s příslušenstvím. Sada se skládá z měřicího přístroje GHH 91 KK, měřicího kabelu, teplotního čidla pro vnější teplotní kompenzaci, kartáčových elektrod, zarážecích elektrod a sady ocelových hřebů.

Specifikace:

Měřicí rozsah přístroje:	3 - 100 [%]
Rozlišení:	0,1 [%]
Přesnost měření udávané výrobcem:	3 - 25 [%]: 0,2 [%] 25 - 60 [%]: 0,5 [%] 60 – 100 [%]: 2,5 [%] [12]



Obrázek 10 – Greisinger electronic GHH 91 KK s příslušenstvím (archiv autora)



Obrázek 11 – Kartáčové elektrody (nahore), zářezací elektrody (dole), (archiv autora)

3.4. Postupy vybraných měřících metod

3.4.1. Postup gravimetrické metody

Zkušební vzorek se odebírá ručně pomocí plochého sekáče a kladiva o předem určené hmotnosti. Z důvodu zkreslování výsledků se nedoporučuje ale ani nevylučuje odběr pomocí elektrického náradí např. bouracího kladiva, protože při jejím použití dochází ke vzniku tepla a následnému odparu vody. Nejvíce odpovídající vzorek má rozměr cca 50 mm x 50 mm x tloušťka vrstvy (nejčastěji po separační vrstvě). Místo odběru vzorku se určuje zpravidla v předpokládaném nejvlhčím místě měřené konstrukce. Taková místa bývají

rohy plošných konstrukcí ve vzdálenosti 500 mm od svislých konstrukcí a místa se sníženou cirkulací vzduchu.

Zkušební vzorky odebírané na stavbě se mohou vážit s přesností 0,1% jejich hmotnosti ihned na staveništi, nebo se vzorky zabalí pro transport do laboratoře. Pro transport se vzorky umístí do dvojitého parotěsného obalu s ekvivalentní difúzní tloušťkou $s_d \geq 1000 \text{ m}$ například PE fólie s tl. 0,2 mm nebo parotěsné kovové nádoby. V případě, že odběr vzorku se provádí pod vodou nebo na dešti, vzorek se musí osušit vlhkou houbou.

Pokud se vzorky v na stavbě nevážily, tak se jejich hmotnost zjistí s přesností 0,1% jejich hmotnosti v laboratoři i s obalovým materiálem či parotěsnou nádobou. Poté se vzorky a obalový materiál vysuší na konstantní hmotnost.

Materiál	Teplota sušení °C
Materiály, které nemění svou strukturu při 105°C, např. některé minerální materiály, dřevo	105 ± 2
Materiály, u kterých může dojít ke změně struktury mezi 70°C a 105°C, např. některé lehčené plasty	70 ± 2
Materiály, u kterých může vyšší teplota vést k uvolnění krystalizační vody nebo uvolnit nadouvadla, např. sádra a některé pěny	40 ± 2

Tabulka 3 – Teploty sušení [13]

Sušení zkušebních vzorků a obalového materiálu probíhá ve větrané komorové sušárně při teplotě dle tabulky 3 a s relativní vlhkostí $\varphi < 10\%$.

Konstantní hmotnosti je dosaženo, pokud změna hmotnosti mezi třemi následujícími váženími provedenými nejméně po 24 h je menší než 0,1% celkové hmotnosti. [12]



Obrázek 12 – Sušení vzorků v komorové sušárně (archiv autora)

Výpočet hmotnostní vlhkosti gravimetrickou metodou

Výpočet hmotnostní vlhkosti zkušební vzorku se provádí po zjištění jeho konstantní hmotnosti m_0 . V závislosti na místě provádění měření hmotnosti zkušební vzorku m , volíme výpočet z následujících dvou možností.

a) Zkušební vzorek je vážený přímo na stavbě (in-situ)

Hmotnostní vlhkost zkušební vzorku w se vypočítá dle vztahu:

$$w_m = \frac{m - m_0}{m_0} \cdot 100 [\%] \quad (7)$$

kde m je hmotnost vzorku odebraného na stavbě před vysušením [g] a m_0 je hmotnost vysušeného vzorku [g].

b) Zkušební vzorek je v místě odběru zabalený do parotěsného obalu a vážení poté probíhá v laboratoři

Hmotnostní vlhkost zkušební vzorku w se vypočítá dle vztahu:

$$w_m = \frac{m - m_0 - m_p}{m_0} \cdot 100 [\%] \quad (8)$$

kde m je hmotnost vzorku odebraného na stavbě před vysušením [g], m_0 je hmotnost vysušeného vzorku [g] a m_p je hmotnost parotěsného obalu po vysušení [g].

3.4.2. Postup karbidové metody

Pro provedení karbidové zkoušky a stanovení vlhkosti materiálu se používá CM přístroj (viz obr.: 13)



Obrázek 13 – GANN HYDROMAT CM, zleva: HYDROMETTE COMPACT B, plochý majzlík, kladivo, nádoba na úlomky materiálu, lžička, štětec, hmoždíř, tlaková nádoba s víkem a manometrem, sada ocelových kuliček, ampule s karbidem vápenatým, elektrická váha, časovač, ampule zkušební vody, kartáč na nádobu, OOPP (archiv autora)

Pro vyhledání nejnepříznivějšího, tedy nejvlhčího místa konstrukce lze použít nedestruktivní zkoušku vlhkosti materiálu, například HYDROMETTE COMPACT B. V předem určeném rastru ihned orientačně změří nejvlhčí místo. Průběh a vyhodnocení měření kapacitními vlhkoměry popisuje 3.4.3.

Zkušební vzorek by měl být co nejvíce odpovídající. U podlah se odběr vzorku dělá přes celou zkoumanou vrstvu až na vrstvu separační. Odběr se provádí ručním vysekáním pomocí plochého sekáče a kladiva. Použitím elektrického či pneumatického náradí pro vysekání materiálu, může vést k zavádějícím výsledkům. Proto se použití této mechanizace nedoporučuje.

Zkoušený materiál se v misce nadržuje na velikost zrna menší než 5mm. Při tom dbáme, aby drcení materiálu bylo provedeno co nejrychleji a to na místě, které je chráněno před větrem. Ze vzorku materiálu by se měla vyjmout zrna příměsí větší než 2mm (například křemen). Použitím ocelového hmoždíře se nejlépe eliminuje ztráta vlhkosti materiálu. Důležité je, aby se po

drcení tlaková nádoba vyčistila pomocí kartáče a hadříku do sucha. Použitím hmoždíře jsou výsledky zkoušky přesnější a zkracuje se celková doba zkoušky.

Vážení vzorku musí probíhat na místě chráněné před větrem. Pro vážení čisté hmotnosti materiálu se používají pérové nebo elektronické digitální váhy s přesností na 0,1 gramu. Z důvodu možného poškození manometru na víku tlakové lahve se musí odhadnout pravděpodobná vlhkost materiálu a tím zvolit vhodnou hmotnost zkušební vzorku dle tabulky 4 Pro orientační zjištění vlhkosti materiálu lze použít kapacitní vlhkoměr.

Odhadovaná vlhkost materiálu w [%]	Maximální hmotnost vzorku m [g]
Do 0,7	100
0,8 - 2,0	50
2,0 - 5,0	20
5 - 10	10
10 - 20	5

Tabulka 4 – Maximální hmotnost vzorku pro přístroj CM [14]

Přesně navážený vzorek se nasype do důkladně vyčištěné suché tlakové nádoby. Poté se do ní přidají tři ocelové kuličky a s velkou opatrností se vloží skleněná ampule karbidu vápenatého. Tlaková nádoba se hermeticky uzavře víkem s manometrem. Po uzavření se tlakovou nádobou pořádně zatřepe, čímž se rozbije skleněná ampule karbidu vápenatého. To té se nechá cca minutu v klidu. Rozbití ampule se projeví vzrůstajícím tlakem na manometru. Další drcení se provede třesením láhve ve svislé poloze. Toto drcení trvá 1- 3 minuty dle předchozího předdrcení vzorku. Poté se krouživými pohyby směs v nádobě spojí a čeká se na vytvoření konstantního tlaku v láhvi. Čekací doba bývá 9-13 minut, při které probíhá chemická reakce (6).

Po odečtení konstantního tlaku se pomocí přepočítávací tabulky (tabulka 5) určí vlhkost materiálu v [CM-%]. Dle výrobce jsou na některých

manometrech zobrazeny stupnice udávající přímo vlhkost materiálu v [CM-%] podle navážky vzorku.

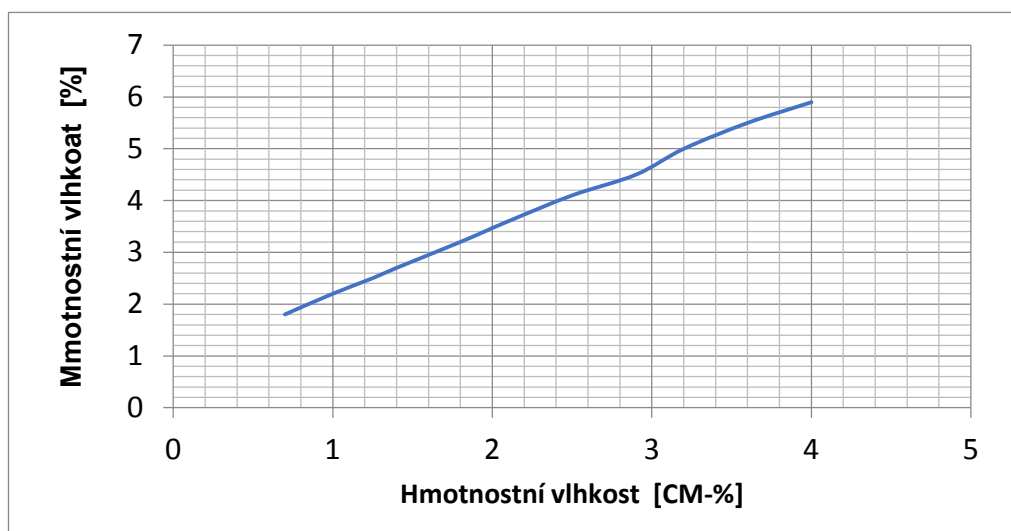
Tlak [bar]	Množství zkušební vzorku				
	5 g	10 g	20 g	50 g	100 g
0,2	2,91	1,45	0,68	0,29	0,14
0,3	4,43	2,21	1,15	0,44	0,21
0,4	5,95	2,98	1,53	0,58	0,28
0,5	7,48	3,74	1,91	0,74	0,35
0,6	9,01	4,50	2,29	0,88	0,42
0,7	10,53	5,27	2,67	1,03	0,49
0,8	12,06	6,03	3,05	1,18	0,57
0,9	13,59	6,79	3,43	1,32	0,64
1,0	15,19	7,63	3,82	1,47	0,71
1,1	16,72	8,40	4,20	1,62	0,78
1,2	18,24	9,16	4,58	1,76	0,85
1,3	19,85	9,92	4,96	1,92	0,95
1,4	21,37	10,69	5,34	2,06	0,99
1,5	22,90	11,45	5,73	2,21	1,06
1,6			6,10	2,35	1,13
1,7			6,50	2,50	1,20
1,8			6,86	2,65	1,27
1,9			7,27	2,79	1,34
2,0			7,40	2,94	1,41

Tabulka 5 – Přepočítávací tabulka tlaku pro GANN HYDROMAT CM v [CM-%] [14]

Pro zjištění vypovídající mnohostnní vlhkosti materiálu je vhodné převést jednotky [CM-%] na [%] hmotnostní vlhkosti. V současné době je normově dána přepočítávací tabulka (tab. 6) pouze pro cementové potěry dle ČSN 74 4505. Tato tabulka lze také převést do grafu (graf 4)

	Vlhkost									
Gravimetrická metoda [%]	1,8	2,2	2,7	3,2	3,6	4,1	4,5	5,0	5,5	5,9
Karbidová metoda [CM-%]	0,7	1,0	1,4	1,8	2,1	2,5	2,9	3,2	3,6	4,0

Tabulka 6 – Přepočítávací tabulka gravimetrické a karbidové metody [5]



Graf 4 – Přepočítávací graf gravimetrické a karbidové metody [5]

3.4.3. Postup pro měření kapacitními vlhkoměry

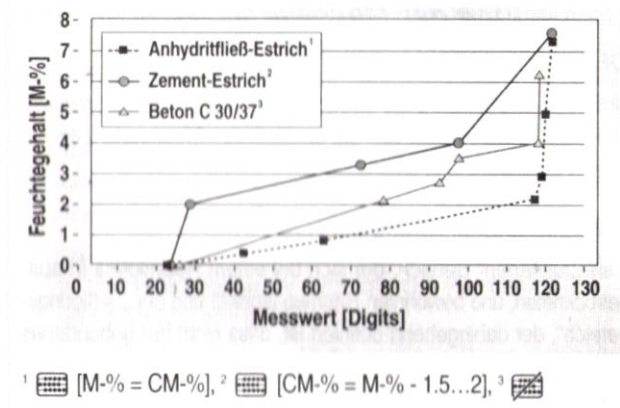
Po zapnutí přístroje by se provede jeho automatická kalibrace. Poté se může ihned přiložit sonda k měřenému materiálu. K neoptimálnějšímu výsledku měření se musí přístroj držet k měřené ploše pod úhlem 90°. Sonda by se měla pevně potýkat měřeného materiálu.

Postup pro přístroj Berner



Obrázek 14 – Měření kapacitním vlhkoměrem Berner (archiv autora)

Po přiložení přístroje se odečte naměřená hodnota z digitálního ukazatele. Pro zjištění vlhkosti materiálu se musí naměřená hodnota převést pomocí přepočítávací tabulky (tab.: 7, 8, 9) nebo grafu (graf č. 5) na hmotnostní vlhkost v závislosti na měřeném materiálu.



Graf 5 – Přepočítávací graf pro vlhkoměr Berner, na vodorovné ose: naměřená hodnota na přístroji [-], na svislé ose: hmotnostní vlhkost [%] [11]

Naměřená hodnota na přístroji [-]	26	78	92	118	119
Hmotnostní vlhkost [%]	0,0	2,1	2,8	4,0	6,2

Tabulka 7 - Přepočítávací tabulka pro vlhkoměr Berner - pro beton C30/37 [11]

Naměřená hodnota na přístroji [-]	22	42	118	120	122	124
Hmotnostní vlhkost [%]	0,0	0,4	2,2	2,9	5,0	7,4

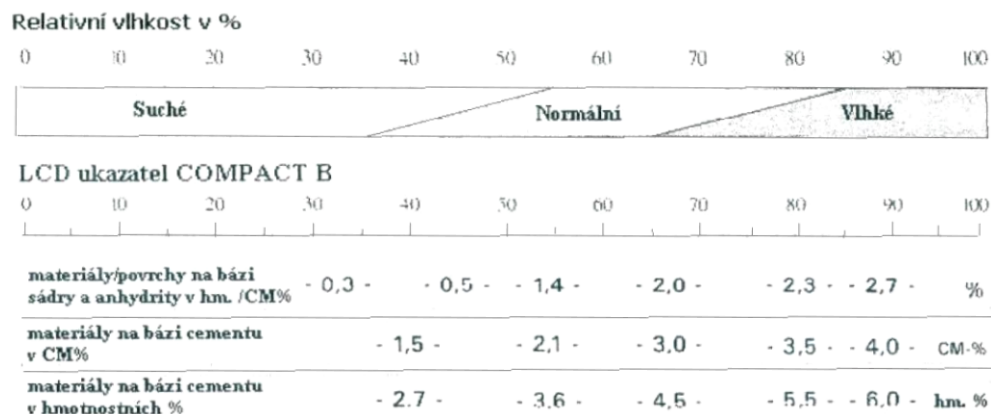
Tabulka 8 – Přepočítávací tabulka pro vlhkoměr Berner - pro anhydritové potěry [11]

Naměřená hodnota na přístroji [-]	25	27	71	98	124
Hmotnostní vlhkost [%]	0,0	2,0	3,2	4,0	7,5

Tabulka 9 – Přepočítávací tabulka pro vlhkoměr Berner - pro cementové potěry [11]

Postup pro přístroj Gann hydromat CM Compact B

Po přiložení přístroje se odečte naměřená hodnota z digitálního ukazatele. Pro zjištění vlhkosti materiálu se musí naměřená hodnota převést pomocí přepočítávací tabulky (tab.: 10,11) nebo grafu (graf 6) na hmotnostní vlhkost v závislosti na měřeném materiálu.



Graf 6 – Přepočítávací graf pro vlhkoměr Gann hydromat CM Compact B [14]

Naměřená hodnota na přístroji [-]	33	45	54	67	80	89
Hmotnostní vlhkost [%]	0,3	0,5	1,4	2,0	2,3	2,7

Tabulka 10 – Přepočítávací tabulka pro vlhkoměr Gann hydromat CM Compact B- pro materiály na bázi sádry a anhydrity [14]

Naměřená hodnota na přístroji [-]	40	55	67	80	89	106
Hmotnostní vlhkost [%]	2,7	3,6	4,5	5,5	6,6	6,9

Tabulka 11 – Přepočítávací tabulka pro vlhkoměr Gann hydromat CM Compact B- pro materiály na bázi cementu [14]

3.4.4. Postup pro měření odporovými vlhkoměry

Před samotným měřením se musí přístroj sestavit podle druhu měřeného materiálu. Nutné je správné zvolení odpovídajícího nástavce. Trny - pro měkké stavební materiály (omítky), kartáčové elektrody - pro tvrdé materiály (beton, anhydrid, zdivo). Poté se musí elektrody spojit kabelem s přístrojem. Důležité je správné navolení typu měřeného stavebního materiálu dle typu přístroje. Pro odporový vlhkoměr Greisinger electronic GHH 91 je nastavení přístroje na typ „B“ - stavební materiály.

Vlastní měření probíhá tak, že trny zarazíme do měkkých materiálů. Na měření tvrdých materiálů se používají kartáčové elektrody, na které před

zaražením do předem vyvrtaných otvoru nanese vodivou pastu. Je nutné, aby vodivá pasta nepropojila obě elektrody, protože by mohlo dojít k velkým chybám v měření.

Vývrty pro kartáčové elektrody je nutné předpřipravit 72 hodin před samotným měřením. Při vrtání totiž vzniká teplo, které oblast vývrty vysuší. Během této čekací doby musí být vývrty opatřeny záslepkou. Jedině tak se docílí vyrovnání vlhkostního stavu měřeného materiálu.



Obrázek 15 – Odporové měření pomocí kartáčových sond (archiv autora)



Obrázek 16 – Odporové měření pomocí zatloukacích trnů (archiv autora)

Optimální teplota měřeného materiálu je mezi 10°C a 30°C. Po stisknutí tlačítka na přístroji se musí naměřená hodnota stabilizovat. Poté se může hodnota na přístroji odečíst. Odečtená hodnota se převede pomocí přepočtové tabulky 12 na správná hmotnostní procenta.

Korekční tabulka pro stavební materiály

Přepínač na přístroji přepnout na „B“ a do zdílek připojit adaptér GRB91 (udáno ve váhových procentech)

Dišleje (%)	vápenná malta	cementová malta	sádrová omítka	cementová stěrka bez přísad	cementová stěrka s um. přísadou	cementová stěrka s bitumenem	andráp – cementová stěrka	anhydrit – stěrka AE/AFE	sádrová stěrka	beton B 15	beton B25	beton B35	plynobeton
90,0													
85,0	28,0	7,0	18,0	3,4	6,0	4,8	2,4	3,5	6,4	2,8	3,1	3,0	
80,0	19,0	5,5	14,0	3,0	4,5	4,6	2,0	2,8	4,5	2,3	2,7		
75,0	12,0	4,7	11,0		3,9			2,1	4,5	2,0	2,5		23,8
70,0	7,0	4,0	8,7	2,5	3,5	4,2		1,7	3,0	1,8	2,4	2,5	19,5
65,0	5,0	3,7	7,0		3,4	4,0	1,6	1,3	2,5	1,7			17,0
60,0	4,7	3,6	6,5						2,3				15,0
56,0	4,2	3,4	6,0						2,0				
54,0	3,8	3,4	5,8	2,4		3,9				1,5	2,0		13,0
52,0	3,4	3,2	5,3		3,3		1,5						
50,0	3,3	3,1	5,0				1,4						12,0
48,0	3,1	3,0	4,8					1,0		1,4			
46,0	2,8	2,8	4,5	2,3		3,8		0,8	1,5				11,0
44,0	2,7	2,7	4,1				1,3						
42,0	2,4		3,8							1,3	1,7		10,0
40,0	2,3	2,6	3,4	2,1		3,7		0,5	1,3				9,5
38,0	2,1	2,5	3,0		3,0								
36,0	2,0	2,4	2,8										9,0
34,0	1,9	2,3	2,6	1,9		3,6	1,1		1,0				8,5
32,0	1,8	2,4	2,4										8,0
30,0	1,7	2,2	2,1	1,7		3,5	1,0	0,3		1,2			7,5
28,0	1,6	2,1	2,0		2,8				0,7				7,0
26,0	1,5	2,0	1,8	1,6		3,4	0,9				1,5		6,0
24,0	1,4	1,9	1,4							1,0			5,5
22,0	1,3	1,7	1,2			3,3	0,7						5,0
20,0	1,2	1,6	1,0	1,5		3,2			0,5				4,5
18,0	1,0	1,5	0,8										4,0
16,0	0,9	1,4	0,5	1,3			0,6	0,2					3,5
14,0	0,8	1,3	0,3			3,1				0,9		1,5	3,3
12,0	0,7	1,2											3,0
10,0	0,6	1,1		1,0		3,0	0,5		0,4		1,0		2,5
8,0	0,5				2,5								2,2
6,0	0,5	1,0				2,9							2,0
4,0	0,4	0,9		0,9	2,4	2,8	0,4						2,0
2,0	0,3	0,8											

Příklad: Sádrová omítka: přístroj ukazuje hodnotu 60%, ale skutečná hodnota = 7% váhových

Tabulka 12 – Korekční tabulka pro stavební materiály pro přístroj Greisinger electronic GHH 91 KK [12]

3.5. Výsledky měření

V následujících tabulkách 13 - 18 jsou zpracované výsledné hmotnostní vlhkosti dle postupů metod v kapitole 2.4. V příloze č. 1 bakalářské práce je zpracován průběh gravimetrické metody.

Číslo vzorku	Materiál	Hmotnost mokrého vzorku	Hmotnost suchého vzorku	Vlhkost materiálu dle gravimetrické metody $w=(m-m_0)/m$
		m	m_0	
-	-	(g)	(g)	%
1	keramický stěp	153,84	135,76	13,32
2	keramický stěp	133,04	119,76	11,09
3	keramický stěp	231,98	219,43	5,72
4	keramický stěp	131,78	129,93	1,42
5	keramický stěp	174,22	174,04	0,10
6	keramický stěp	213,11	208,45	2,24
7	keramický stěp	197,24	194,92	1,19
8	keramický stěp	214,98	209,48	2,63
9	keramický stěp	276,48	275,70	0,28
10	keramický stěp	186,74	184,35	1,30
11	keramický stěp	364,08	362,89	0,33
12	beton	378,25	358,18	5,60
13	beton	302,64	284,43	6,40
14	beton	384,10	357,18	7,54
15	beton	318,93	299,08	6,64
16	beton	306,76	293,78	4,42
17	beton	258,46	248,37	4,06
18	beton	338,67	322,40	5,05
19	beton	332,44	311,49	6,73
20	beton	358,86	349,96	2,54
21	vápenocem. omítky	297,42	286,05	3,97
22	vápenocem. omítky	198,52	188,81	5,14
23	vápenocem. omítky	242,01	233,89	3,47
24	vápenocem. omítky	265,29	257,63	2,97
25	vápenocem. omítky	218,31	212,60	2,69
26	vápenocem. omítky	205,76	201,44	2,14
27	vápenocem. omítky	154,16	147,13	4,78
28	vápenocem. omítky	218,69	214,41	2,00
29	vápenocem. omítky	221,69	215,62	2,82
30	vápenocem. omítky	222,08	216,07	2,78
31	vápenocem. omítky	228,56	220,02	3,88
32	anhydritový potěr	196,98	194,87	1,08
33	anhydritový potěr	203,49	200,68	1,40
34	anhydritový potěr	177,81	175,56	1,28
35	anhydritový potěr	197,22	187,91	4,95
36	anhydritový potěr	159,10	156,74	1,51
37	anhydritový potěr	203,97	200,62	1,67
38	anhydritový potěr	199,60	195,29	2,21
39	anhydritový potěr	212,55	208,91	1,74
40	cementový potěr	246,93	230,04	7,34
41	cementový potěr	226,46	211,17	7,24
42	cementový potěr	155,61	144,59	7,62
43	cementový potěr	199,94	186,10	7,44
44	cementový potěr	237,83	224,17	6,09

Tabulka 13 – Měření vlhkostí gravimetrickou metodou

Číslo vzorku	Materiál	Hmotnost vzorku	Tlak v nádobě	Vlhkost v procentech CM	Vlhkost v hmotnostních procentech
-	-	(g)	(Pa)	(% CM)	(%)
1	keramický stěp	20	1,37	5,10	7,33
2	keramický stěp	20	1,89	7,15	9,90
3	keramický stěp	20	1,34	5,00	7,21
4	keramický stěp	20	1,16	4,45	6,52
5	keramický stěp	50	0,00	0,00	0,94
6	keramický stěp	50	1,05	1,55	2,88
7	keramický stěp	50	0,71	1,05	2,26
8	keramický stěp	50	1,05	1,57	2,91
9	keramický stěp	50	0,00	0,00	0,94
10	keramický stěp	100	1,18	0,76	1,90
11	keramický stěp	100	0,21	0,15	1,13
12	beton	50	1,52	2,32	3,85
13	beton	50	1,77	2,62	4,22
14	beton	50	1,50	2,21	3,71
15	beton	50	1,65	6,35	8,90
16	beton	50	1,13	1,67	3,03
17	beton	50	1,70	2,52	4,10
18	beton	50	2,01	2,95	4,64
19	beton	50	2,03	2,99	4,69
20	beton	100	1,50	1,06	2,27
21	vápenocem. omítky	20	0,81	3,11	4,84
22	vápenocem. omítky	50	1,96	2,91	4,59
23	vápenocem. omítky	100	1,99	1,39	2,68
24	vápenocem. omítky	100	1,95	1,37	2,66
25	vápenocem. omítky	100	1,73	1,21	2,46
26	vápenocem. omítky	100	1,29	0,90	2,07
27	vápenocem. omítky	100	2,00	1,41	2,71
28	vápenocem. omítky	100	1,06	0,75	1,88
29	vápenocem. omítky	100	1,77	1,25	2,51
30	vápenocem. omítky	50	1,24	1,83	3,24
31	vápenocem. omítky	20	0,73	2,78	4,43
32	anhydritový potěr	100	0,78	0,62	1,72
33	anhydritový potěr	50	0,51	0,75	1,88
34	anhydritový potěr	100	1,10	0,78	1,92
35	anhydritový potěr	50	1,27	1,88	3,30
36	anhydritový potěr	50	0,65	0,97	2,16
37	anhydritový potěr	100	1,47	1,04	2,25
38	anhydritový potěr	50	0,98	1,46	2,77
39	anhydritový potěr	50	0,82	1,23	2,48
40	cementový potěr	20	1,35	5,10	7,33
41	cementový potěr	20	1,39	5,30	7,58
42	cementový potěr	20	1,33	5,00	7,21
43	cementový potěr	20	1,46	5,51	7,85
44	cementový potěr	20	1,17	4,50	6,58

Tabulka 14 – Měření vlhkosti CM přístrojem GANN HYDROMAT CM

Poznámka k tab. 2.3.3.: Červené hodnoty hmotnostní vlhkosti [%] jsou pouze orientačně přepočítané dle ČSN 74 4505 Podlahy – společná ustanovení z [%-CM] pro cementové potěry (tab. XXX). Pro ostatní materiály jsou zpracovány převodní vztahy z [%-CM] na [%] hmotnostní vlhkosti [%] v kapitole 3.6.

Číslo vzorku	Materiál	Naměřená hodnota na přístroji	Vlhkost v hmotnostních procentech
-	-	-	(%)
1	keramický stěp	161	>6,20
2	keramický stěp	147	>6,20
3	keramický stěp	148	>6,20
4	keramický stěp	98	3,07
5	keramický stěp	40	0,56
6	keramický stěp	147	>6,20
7	keramický stěp	148	>6,20
8	keramický stěp	158	>6,20
9	keramický stěp	65	1,57
10	keramický stěp	114	3,81
11	keramický stěp	83	2,35
12	beton	143	>6,20
13	beton	152	>6,20
14	beton	82	2,30
15	beton	148	>6,20
16	beton	127	>6,20
17	beton	110	3,63
18	beton	130	>6,20
19	beton	142	>6,20
20	beton	81	2,25
21	vápenocem. omítky	158	>6,20
22	vápenocem. omítky	159	>6,20
23	vápenocem. omítky	101	3,21
24	vápenocem. omítky	103	3,30
25	vápenocem. omítky	147	>6,20
26	vápenocem. omítky	83	2,35
27	vápenocem. omítky	153	>6,20
28	vápenocem. omítky	89	2,65
29	vápenocem. omítky	141	>6,20
30	vápenocem. omítky	155	>6,20
31	vápenocem. omítky	149	>6,20
32	anhydritový potěr	122	5,00
33	anhydritový potěr	140	>7,40
34	anhydritový potěr	138	>7,40
35	anhydritový potěr	159	>7,40
36	anhydritový potěr	144	>7,40
37	anhydritový potěr	140	>7,40
38	anhydritový potěr	145	>7,40
39	anhydritový potěr	143	>7,40
40	cementový potěr	145	>7,50
41	cementový potěr	146	>7,50
42	cementový potěr	142	>7,50
43	cementový potěr	145	>7,50
44	cementový potěr	143	>7,50

Tabulka 15 – Měření vlhkosti kapacitním vlhkoměrem Berner

Číslo vzorku	Materiál	Naměřená hodnota na přístroji	Vlhkost v hmotnostních procentech
-	-	-	(%)
1	keramický stěp	102	6,68
2	keramický stěp	95	6,31
3	keramický stěp	85	5,77
4	keramický stěp	71	4,52
5	keramický stěp	27	0,50
6	keramický stěp	77	5,26
7	keramický stěp	78	5,34
8	keramický stěp	105	6,84
9	keramický stěp	38	2,36
10	keramický stěp	53	3,48
11	keramický stěp	46	3,06
12	beton	89	6,00
13	beton	96	6,37
14	beton	50	3,30
15	beton	62	4,11
16	beton	72	4,88
17	beton	63	4,20
18	beton	73	4,96
19	beton	84	5,73
20	beton	51	3,36
21	vápenocem. omítky	103	6,74
22	vápenocem. omítky	99	6,52
23	vápenocem. omítky	89	6,00
24	vápenocem. omítky	84	5,72
25	vápenocem. omítky	103	6,74
26	vápenocem. omítky	67	4,50
27	vápenocem. omítky	102	6,68
28	vápenocem. omítky	52	3,42
29	vápenocem. omítky	94	6,26
30	vápenocem. omítky	101	6,63
31	vápenocem. omítky	96	6,37
32	anhydritový potěr	52	1,20
33	anhydritový potěr	63	1,82
34	anhydritový potěr	59	1,63
35	anhydritový potěr	103	3,32
36	anhydritový potěr	68	2,02
37	anhydritový potěr	60	1,69
38	anhydritový potěr	78	2,25
39	anhydritový potěr	75	2,18
40	cementový potěr	89	6,00
41	cementový potěr	95	6,31
42	cementový potěr	91	6,10
43	cementový potěr	97	6,40
44	cementový potěr	89	6,00

Tabulka 16 – Měření vlhkosti kapacitním vlhkoměrem Gann hydromat CM Compact B

Číslo vzorku	Materiál	Naměřená hodnota na přístroji	Vlhkost v hmotnostních procentech
-	-	-	(%)
1	keramický střep	80,2	2,71
2	keramický střep	73,4	2,45
3	keramický střep	69,4	2,40
4	keramický střep	64,9	2,30
5	keramický střep	18,6	1,32
6	keramický střep	65,4	2,31
7	keramický střep	45,6	1,78
8	keramický střep	81,7	2,83
9	keramický střep	66,8	2,33
10	keramický střep	67,2	2,37
11	keramický střep	22,6	1,43
12	beton	86,4	3,32
13	beton	88,9	3,76
14	beton	83,9	3,01
15	beton	80,8	2,76
16	beton	84,6	3,07
17	beton	82,1	2,87
18	beton	88,4	3,64
19	beton	83,7	2,99
20	beton	63,1	2,29
21	vápenocem. omítky	83,5	8,40
22	vápenocem. omítky	87,1	9,84
23	vápenocem. omítky	69,9	4,86
24	vápenocem. omítky	71,6	4,95
25	vápenocem. omítky	74,2	5,37
26	vápenocem. omítky	41,7	2,66
27	vápenocem. omítky	72,6	5,11
28	vápenocem. omítky	23,4	1,35
29	vápenocem. omítky	66,1	4,15
30	vápenocem. omítky	76,4	5,92
31	vápenocem. omítky	84,1	8,64
32	anhydritový potěr	40,9	0,53
33	anhydritový potěr	33,2	0,36
34	anhydritový potěr	23,5	0,25
35	anhydritový potěr	87,6	4,35
36	anhydritový potěr	48,2	0,81
37	anhydritový potěr	42,0	0,57
38	anhydritový potěr	77,8	3,19
39	anhydritový potěr	66,5	1,82
40	cementový potěr	77,4	2,91
41	cementový potěr	80,8	3,06
42	cementový potěr	44,2	2,24
43	cementový potěr	70,7	2,69
44	cementový potěr	68,2	2,60

Tabulka 17 – Měření vlhkosti odporovým vlhkoměrem Greisinger

Č. vz.	Materiál	Vlhkost mat. dle hmotnostní (gravimetr.) metody	Vlhkost materiálu dle CM přístroje		Vlhkost materiálu dle kapacitního vlhkoměru Berner	Vlhkost materiálu dle kapacitního vlhkoměru Gann	Vlhkost materiálu dle odporového vlhkoměru Greisinger
		(%) hmotnostní	(% CM)	(%) hmotnostní	(%) hmotnostní	(%) hmotnostní	(%) hmotnostní
-	-						
1	keramický stěp	13,32	5,10	7,33	>6,20	6,68	2,71
2	keramický stěp	11,09	7,15	9,90	>6,20	6,31	2,45
3	keramický stěp	5,72	5,00	7,21	>6,20	5,77	2,40
4	keramický stěp	1,42	4,45	6,52	3,07	4,52	2,30
5	keramický stěp	0,10	0,00	0,94	0,56	0,50	1,32
6	keramický stěp	2,24	1,55	2,88	>6,20	5,26	2,31
7	keramický stěp	1,19	1,05	2,26	>6,20	5,34	1,78
8	keramický stěp	2,63	1,57	2,91	>6,20	6,84	2,83
9	keramický stěp	0,28	0,00	0,94	1,57	2,36	2,33
10	keramický stěp	1,30	0,76	1,90	3,81	3,48	2,37
11	keramický stěp	0,33	0,15	1,13	2,35	3,06	1,43
12	beton	5,60	2,32	3,85	>6,20	6,00	3,32
13	beton	6,40	2,62	4,22	>6,20	6,37	3,76
14	beton	7,54	2,21	3,71	2,30	3,30	3,01
15	beton	6,64	6,35	8,90	>6,20	4,11	2,76
16	beton	4,42	1,67	3,03	>6,20	4,88	3,07
17	beton	4,06	2,52	4,10	3,63	4,20	2,87
18	beton	5,05	2,95	4,64	>6,20	4,96	3,64
19	beton	6,73	2,99	4,69	>6,20	5,73	2,99
20	beton	2,54	1,06	2,27	2,25	3,36	2,29
21	vápenocem. omítky	3,97	3,11	4,84	>6,20	6,74	8,40
22	vápenocem. omítky	5,14	2,91	4,59	>6,20	6,52	9,84
23	vápenocem. omítky	3,47	1,39	2,68	3,21	6,00	4,86
24	vápenocem. omítky	2,97	1,37	2,66	3,30	5,72	4,95
25	vápenocem. omítky	2,69	1,21	2,46	>6,20	6,74	5,37
26	vápenocem. omítky	2,14	0,90	2,07	2,35	4,50	2,66
27	vápenocem. omítky	4,78	1,41	2,71	>6,20	6,68	5,11
28	vápenocem. omítky	2,00	0,75	1,88	2,65	3,42	1,35
29	vápenocem. omítky	2,82	1,25	2,51	>6,20	6,26	4,15
30	vápenocem. omítky	2,78	1,83	3,24	>6,20	6,63	5,92
31	vápenocem. omítky	3,88	2,78	4,43	>6,20	6,37	8,64
32	anhydritový potěr	1,08	0,62	1,72	5,00	1,20	0,53
33	anhydritový potěr	1,40	0,75	1,88	>7,40	1,82	0,36
34	anhydritový potěr	1,28	0,78	1,92	>7,40	1,63	0,25
35	anhydritový potěr	4,95	1,88	3,30	>7,40	3,32	4,35
36	anhydritový potěr	1,51	0,97	2,16	>7,40	2,02	0,81
37	anhydritový potěr	1,67	1,04	2,25	>7,40	1,69	0,57
38	anhydritový potěr	2,21	1,46	2,77	>7,40	2,25	3,19
39	anhydritový potěr	1,74	1,23	2,48	>7,40	2,18	1,82
40	cementový potěr	7,34	5,10	7,33	>7,50	6,00	2,91
41	cementový potěr	7,24	5,30	7,58	>7,50	6,31	3,06
42	cementový potěr	7,62	5,00	7,21	>7,50	6,10	2,24
43	cementový potěr	7,44	5,51	7,85	>7,50	6,40	2,69
44	cementový potěr	6,09	4,50	6,58	>7,50	6,00	2,60

Tabulka 18 – Porovnání výsledků metod měření a naměřených vlhkostí

Poznámka k tab. 2.3.3.: Červené hodnoty hmotnostní vlhkosti [%] jsou pouze orientačně přepočítané dle ČSN 74 4505 Podlahy – společná ustanovení z [%-CM] pro cementové potěry (tab. XXX). Pro ostatní materiály jsou zpracovány převodní vztahy z [%-CM] na [%] hmotnostní vlhkosti [%] v kapitole 3.6.

3.6. Vyhodnocení přesnosti karbidové metody a návrh převodních tabulek mezi [%-CM] a [%] hmotnostní vlhkosti

V odborných literaturách je často udávaná přesnost karbidové metody je $\pm 3\%$. Následující tabulka (tab.:101) udává odchylku v měření a přesnost měření karbidové zkoušky.

Č. vz.	Materiál	Vlhkost materiálu dle gravimetrické metody	Vlhkost v procentech CM	Vlhkost v hmotnostních procentech dle ČSN 74 4505	Absolutní chyba měření	Přesnost měření
-	-	(%) hmotnostní	(%-CM)	(%)	(%)	(%)
40	cementový potěr	7,34	5,10	7,33	0,01	0,15
41	cementový potěr	7,24	5,30	7,58	0,34	4,50
42	cementový potěr	7,62	5,00	7,52	0,42	5,76
43	cementový potěr	7,44	5,51	7,85	0,41	5,20
44	cementový potěr	6,09	4,50	6,36	0,49	7,39
Průměrná odchylka v přesnosti a přesnost měření karbidové metody vůči metodě gravimetrické (%)					0,33	4,60

Tabulka 19 – Odchylka v přesnosti a přesnost měření karbidové metody

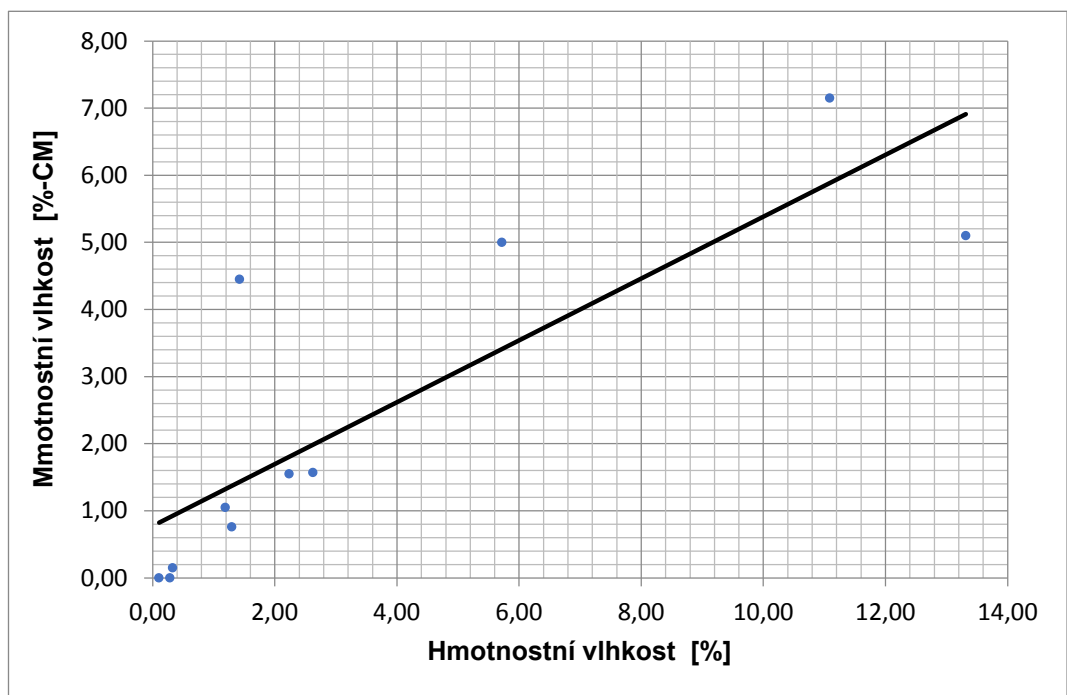
Při použití převodního vztahu z [%-CM] a z [%] pro cementové potěry dle ČSN 74 4505 je přesnost měření karbidové metody 4,60%. Při stanovování přesnosti měření není počítáno s odchylkami přesnosti měření gravimetrické metody, podle které jednotlivé metody porovnáváme. Přesnost gravimetrické metody dle normy ČSN EN ISO 12570 je $\pm 3\%$.

Při přihlédnutí k této skutečnosti je přesnost provedeného měření v souladu obecnými požadavky na přesnost metody a je možné podle této metodiky stanovit převodní grafy mezi [%-CM] a [%] hmotnostní vlhkosti pro jednotlivé materiály.

z grafu 4 v kapitole 3.4.2, který byl vytvořen dle ČSN 74 4505, je patrné, že závislost mezi převodem [%-CM] a [%] je lineární.

Číslo vzorku	Materiál	Vlhkost materiálu dle gravimetrické metody	vlhkost v procentech CM
-	-	(%) hmotnostní	(% CM)
1	keramický střep	13,32	5,10
2	keramický střep	11,09	7,15
3	keramický střep	5,72	5,00
4	keramický střep	1,42	4,45
5	keramický střep	0,10	0,00
6	keramický střep	2,24	1,55
7	keramický střep	1,19	1,05
8	keramický střep	2,63	1,57
9	keramický střep	0,28	0,00
10	keramický střep	1,30	0,76
11	keramický střep	0,33	0,15

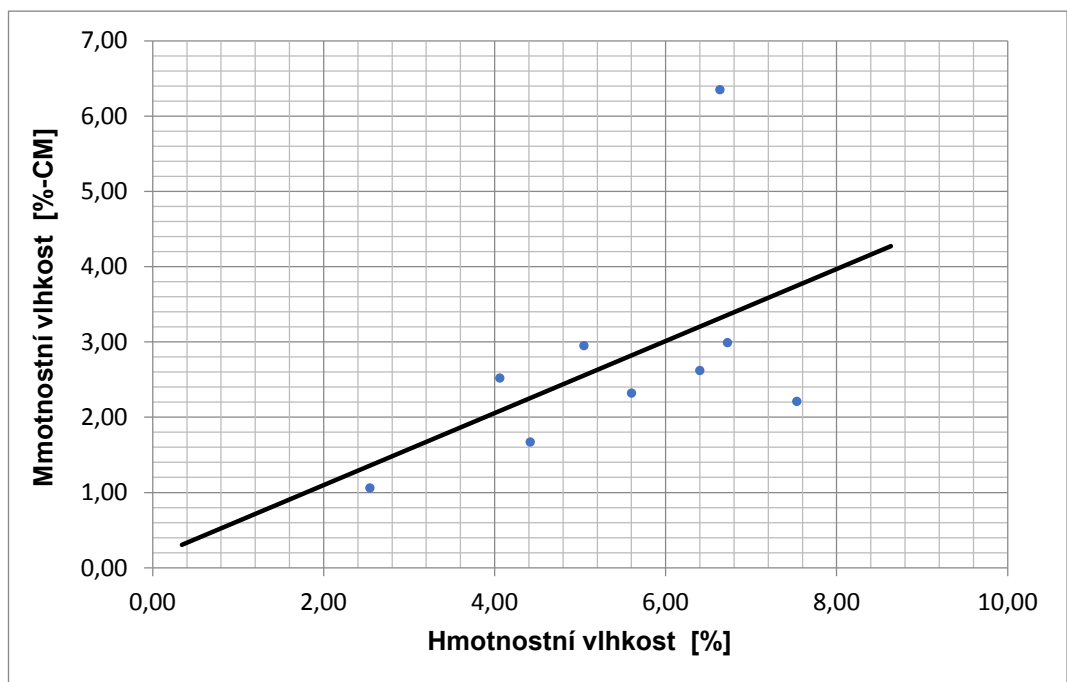
Tabulka 20 – Podklad pro převodní graf, materiál: keramický střep



Graf 7 – Převodní graf mezi [%-CM] a [%], materiál: keramický střep

Číslo vzorku	Materiál	Vlhkost materiálu dle gravimetrické metody	Vlhkost v procentech CM
-	-	(%) hmotnostní	(% CM)
12	beton	5,60	2,32
13	beton	6,40	2,62
14	beton	7,54	2,21
15	beton	6,64	6,35
16	beton	4,42	1,67
17	beton	4,06	2,52
18	beton	5,05	2,95
19	beton	6,73	2,99
20	beton	2,54	1,06

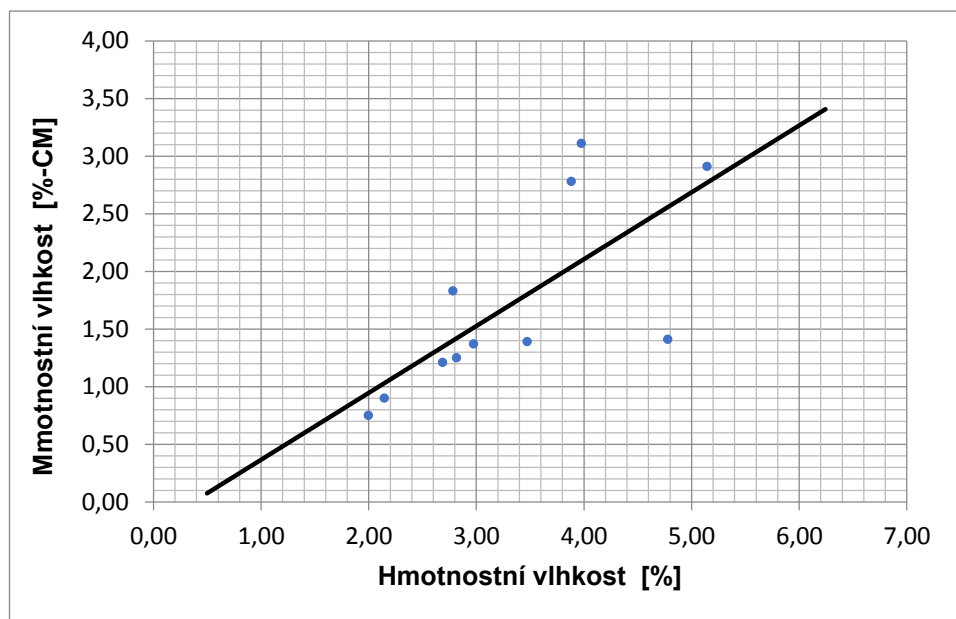
Tabulka 21 – Podklad pro převodní graf, materiál: beton



Graf 8 – Převodní graf mezi [%-CM] a [%], materiál: beton

Číslo vzorku	Materiál	Vlhkost materiálu dle gravimetrické metody	Vlhkost v procentech CM
-	-	(%) hmotnostní	(% CM)
21	vápenocem. omítky	3,97	3,11
22	vápenocem. omítky	5,14	2,91
23	vápenocem. omítky	3,47	1,39
24	vápenocem. omítky	2,97	1,37
25	vápenocem. omítky	2,69	1,21
26	vápenocem. omítky	2,14	0,90
27	vápenocem. omítky	4,78	1,41
28	vápenocem. omítky	2,00	0,75
29	vápenocem. omítky	2,82	1,25
30	vápenocem. omítky	2,78	1,83
31	vápenocem. omítky	3,88	2,78

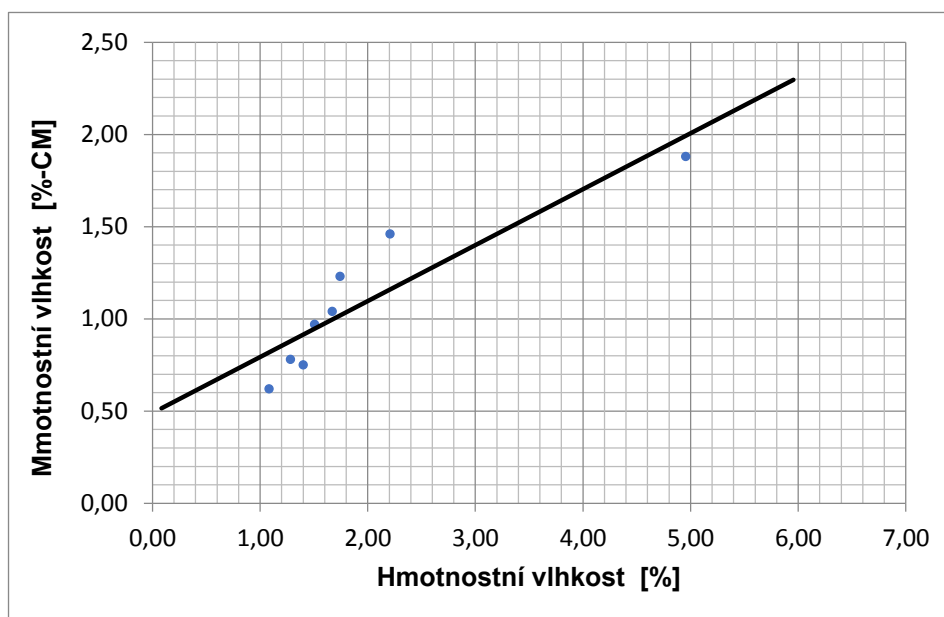
Tabulka 22 – Podklad pro převodní graf, materiál: vápenocementové omítky



Graf 9 – Převodní graf mezi [%-CM] a [%], materiál: vápenocementové omítky

Číslo vzorku	Materiál	Vlhkost materiálu dle gravimetrické metody	Vlhkost v procentech CM
-	-	(%) hmotnostní	(% CM)
32	anhydritový potěr	1,08	0,62
33	anhydritový potěr	1,40	0,75
34	anhydritový potěr	1,28	0,78
35	anhydritový potěr	4,95	1,88
36	anhydritový potěr	1,51	0,97
37	anhydritový potěr	1,67	1,04
38	anhydritový potěr	2,21	1,46
39	anhydritový potěr	1,74	1,23

Tabulka 23 – Podklad pro převodní graf, materiál: anhydritový potěr



Graf 10 – Převodní graf mezi [%-CM] a [%], materiál: anhydritový potěr

3.7. Výpočty přesnosti měření jednotlivých metod měření v závislosti na měřeném materiálu

Pro dostatečné hodnocení přesnosti dané metody je použita absolutní chyba měření a přesnost měření, které udává o kolik procent je daná metoda nepřesnější vůči gravimetrické metodě.

Výsledky měření jsou zpracovávány dle měřeného materiálu a přístroje a bude sloužit jako podklad pro budoucí zpracovávání kalibračních křivek.

3.7.1. Srovnání vybraných metod měření vlhkosti prováděné na keramickém střepu

Č. vz.	Materiál	Vlhkost materiálu dle gravimetrické metody	Vlhkost v hmotnostních procentech dle kapacitního přístroje Gann	Absolutní chyba měření	Přesnost měření
-	-	(%) hmotnostní	(%)	(%)	(%)
1	keramický střep	13,32	6,68	6,64	99,37
2	keramický střep	11,09	6,31	4,78	75,73
3	keramický střep	5,72	5,77	0,05	0,88
4	keramický střep	1,42	4,52	3,10	68,50
5	keramický střep	0,10	0,50	0,40	79,32
6	keramický střep	2,24	5,26	3,02	57,50
7	keramický střep	1,19	5,34	4,15	77,71
8	keramický střep	2,63	6,84	4,21	61,61
9	keramický střep	0,28	2,36	2,08	88,01
10	keramický střep	1,30	3,48	2,18	62,75
11	keramický střep	0,33	3,06	2,73	89,28
Průměrná absolutní chyba měření a průměrná přesnost měření kapacitního přístroje Gann vůči metodě gravimetrické (%)				3,03	69,15

Tabulka 24 – Průměrná absolutní chyba měření a průměrná přesnost měření kapacitního přístroje **Gann hydromat CM Compact B**

č. vz.	Materiál	Vlhkost materiálu dle gravimetrické metody	Vlhkost materiálu dle kapacit. vlhk. Berner	Absolutní chyba měření	Přesnost měření
-	-	(%) hmotnostní	(%)	(%)	(%)
1	keramický střep	13,32	>6,20	-	-
2	keramický střep	11,09	>6,20	-	-
3	keramický střep	5,72	>6,20	2,28	7,75
4	keramický střep	1,42	3,07	1,65	53,62
5	keramický střep	0,10	0,56	0,46	81,53
6	keramický střep	2,24	>6,20	5,76	63,94
7	keramický střep	1,19	>6,20	6,81	80,80
8	keramický střep	2,63	>6,20	5,37	57,65
9	keramický střep	0,28	1,57	1,29	81,98
10	keramický střep	1,30	3,81	2,51	65,97
11	keramický střep	0,33	2,35	2,02	86,05
Průměrná absolutní chyba měření a průměrná přesnost měření kapacitního přístroje Berner vůči metodě gravimetrické (%)				3,13	64,37

Tabulka 25 – Průměrná absolutní chyba měření a průměrná přesnost měření kapacitního přístroje **Berner**

č. vz.	Materiál	Vlhkost materiálu dle gravimetrické metody	Vlhkost v hmotnostních procentech dle odporového přístroje Greisinger	Odchylka v přesnosti	Přesnost měření
-	-	(%) hmotnostní	(%)	(%)	(%)
1	keramický střep	13,32	2,71	10,61	391,43
2	keramický střep	11,09	2,45	8,64	352,61
3	keramický střep	5,72	2,40	3,32	138,31
4	keramický střep	1,42	2,30	0,88	38,09
5	keramický střep	0,10	1,32	1,22	92,16
6	keramický střep	2,24	2,31	0,07	3,22
7	keramický střep	1,19	1,78	0,59	33,13
8	keramický střep	2,63	2,83	0,20	7,22
9	keramický střep	0,28	2,33	2,05	87,86
10	keramický střep	1,30	2,37	1,07	45,30
11	keramický střep	0,33	1,43	1,10	77,07
Průměrná absolutní chyba měření a průměrná přesnost měření odporového přístroje Greisinger vůči metodě gravimetrické (%)				2,70	115,13

Tabulka 26 – Průměrná absolutní chyba měření a průměrná přesnost odporového přístroje **Greisinger**

3.7.2. Srovnání vybraných metod měření vlhkosti prováděné na betonu

č. vz.	Materiál	Vlhkost materiálu dle gravimetrické metody	Vlhkost v hmotnostních procentech dle kapacitního přístroje Gann	Absolutní chyba měření	Přesnost měření
-	-	(%) hmotnostní	(%)	(%)	(%)
12	beton	5,60	6,00	0,40	6,61
13	beton	6,40	6,37	0,03	0,51
14	beton	7,54	3,30	4,24	128,39
15	beton	6,64	4,11	2,53	61,48
16	beton	4,42	4,88	0,46	9,46
17	beton	4,06	4,20	0,14	3,27
18	beton	5,05	4,96	0,09	1,74
19	beton	6,73	5,73	1,00	17,38
20	beton	2,54	3,36	0,82	24,31
Průměrná absolutní chyba měření a průměrná přesnost měření kapacitního přístroje Gann vůči metodě gravimetrické (%)				1,08	28,13

Tabulka 27 – Průměrná absolutní chyba měření a průměrná přesnost měření kapacitního přístroje **Gann hydromat CM Compact B**

č. vz.	Materiál	Vlhkost materiálu dle gravimetrické metody	Vlhkost materiálu dle kapacitního vlhkoměru Berner	Absolutní chyba měření	Přesnost měření
-	-	(%) hmotnostní	(%)	(%)	(%)
12	beton	5,60	>6,20	0,60	9,62
13	beton	6,40	>6,20	0,00	0,00
14	beton	7,54	2,30	5,24	227,69
15	beton	6,64	>6,20	0,00	0,00
16	beton	4,42	>6,20	1,78	28,74
17	beton	4,06	3,63	0,43	11,91
18	beton	5,05	>6,20	1,15	18,60
19	beton	6,73	>6,20	0,00	0,00
20	beton	2,54	2,25	0,29	13,03
Průměrná absolutní chyba měření a průměrná přesnost měření kapacitního přístroje Berner vůči metodě gravimetrické (%)				1,05	34,40

Tabulka 28 – Průměrná absolutní chyba měření a průměrná přesnost měření kapacitního přístroje **Berner**

Č. vz.	Materiál	Vlhkost materiálu dle gravimetrické metody	Vlhkost v hmotnostních procentech dle kapacitního přístroje Greisinger	Odchylka v přesnosti	Přesnost měření
-	-	(%) hmotnostní	(%)	(%)	(%)
12	beton	5,60	3,32	2,28	68,77
13	beton	6,40	3,76	2,64	70,27
14	beton	7,54	3,01	4,53	150,39
15	beton	6,64	2,76	3,88	140,47
16	beton	4,42	3,07	1,35	43,92
17	beton	4,06	2,87	1,19	41,55
18	beton	5,05	3,64	1,41	38,64
19	beton	6,73	2,99	3,74	124,94
20	beton	2,54	2,29	0,25	11,05
Průměrná absolutní chyba měření a průměrná přesnost měření odporového přístroje Greisinger vůči metodě gravimetrické (%)				2,36	76,67

Tabulka 29 – Průměrná absolutní chyba měření a průměrná přesnost odporového přístroje Greisinger

3.7.3. Srovnání vybraných metod měření vlhkosti prováděné na vápenocementových omítkách

Č. vz.	Materiál	Vlhkost materiálu dle gravimetrické metody	Vlhkost v hmotnostních procentech dle kapacitního přístroje Gann	Absolutní chyba měření	Přesnost měření
-	-	(%) hmotnostní	(%)	(%)	(%)
21	vápenocem. omítky	3,97	6,74	2,77	41,03
22	vápenocem. omítky	5,14	6,52	1,38	21,12
23	vápenocem. omítky	3,47	6,00	2,53	42,14
24	vápenocem. omítky	2,97	5,72	2,75	48,02
25	vápenocem. omítky	2,69	6,74	4,05	60,15
26	vápenocem. omítky	2,14	4,50	2,36	52,34
27	vápenocem. omítky	4,78	6,68	1,90	28,47
28	vápenocem. omítky	2,00	3,42	1,42	41,63
29	vápenocem. omítky	2,82	6,26	3,44	55,03
30	vápenocem. omítky	2,78	6,63	3,85	58,05
31	vápenocem. omítky	3,88	6,37	2,49	39,07
Průměrná absolutní chyba měření a průměrná přesnost měření kapacitního přístroje Gann vůči metodě gravimetrické (%)				2,63	44,28

Tabulka 30 – Průměrná absolutní chyba měření a průměrná přesnost měření kapacitního přístroje Gann hydromat CM Compact B

č. vz.	Materiál	Vlhkost materiálu dle gravimetrické metody	Vlhkost materiálu dle kapacitního vlhkoměru Berner	Absolutní chyba měření	Přesnost měření
-	-	(%) hmotnostní	(%)	(%)	(%)
21	vápenocem. omítky	3,97	>6,20	2,23	35,89
22	vápenocem. omítky	5,14	>6,20	1,06	17,05
23	vápenocem. omítky	3,47	3,21	0,26	8,15
24	vápenocem. omítky	2,97	3,30	0,33	9,90
25	vápenocem. omítky	2,69	>6,20	3,51	56,68
26	vápenocem. omítky	2,14	2,35	0,21	8,74
27	vápenocem. omítky	4,78	>6,20	1,42	22,93
28	vápenocem. omítky	2,00	2,65	0,65	24,67
29	vápenocem. omítky	2,82	>6,20	3,38	54,59
30	vápenocem. omítky	2,78	>6,20	3,42	55,14
31	vápenocem. omítky	3,88	>6,20	2,32	37,40
Průměrná absolutní chyba měření a průměrná přesnost měření kapacitního přístroje Berner vůči metodě gravimetrické (%)				1,71	30,10

Tabulka 31 – Průměrná absolutní chyba měření a průměrná přesnost měření kapacitního přístroje **Berner**

č. vz.	Materiál	Vlhkost materiálu dle gravimetrické metody	Vlhkost v hmotnostních procentech dle kapacitního přístroje Greisinger	Absolutní chyba měření	Přesnost měření
-	-	(%) hmotnostní	(%)	(%)	(%)
21	vápenocem. omítky	3,97	8,40	4,43	52,68
22	vápenocem. omítky	5,14	9,84	4,70	47,74
23	vápenocem. omítky	3,47	4,86	1,39	28,57
24	vápenocem. omítky	2,97	4,95	1,98	39,93
25	vápenocem. omítky	2,69	5,37	2,68	49,99
26	vápenocem. omítky	2,14	2,66	0,52	19,38
27	vápenocem. omítky	4,78	5,11	0,33	6,50
28	vápenocem. omítky	2,00	1,35	0,65	47,86
29	vápenocem. omítky	2,82	4,15	1,33	32,17
30	vápenocem. omítky	2,78	5,92	3,14	53,02
31	vápenocem. omítky	3,88	8,64	4,76	55,08
Průměrná absolutní chyba měření a průměrná přesnost měření odporového přístroje Greisinger vůči metodě gravimetrické (%)				2,35	39,35

Tabulka 32 – Průměrná absolutní chyba měření a průměrná přesnost odporového přístroje **Greisinger**

3.7.4. Srovnání vybraných metod měření vlhkosti prováděné na anhydritových potěrech

č. vz.	Materiál	Vlhkost materiálu dle gravimetrické metody	Vlhkost v hmotnostních procentech dle kapacitního přístroje Gann	Absolutní chyba měření	Přesnost měření
-	-	(%) hmotnostní	(%)	(%)	(%)
32	anhydritový potěr	1,08	1,20	0,12	9,77
33	anhydritový potěr	1,40	1,82	0,42	23,06
34	anhydritový potěr	1,28	1,63	0,35	21,37
35	anhydritový potěr	4,95	3,32	1,63	49,23
36	anhydritový potěr	1,51	2,02	0,51	25,46
37	anhydritový potěr	1,67	1,69	0,02	1,19
38	anhydritový potěr	2,21	2,25	0,04	1,91
39	anhydritový potěr	1,74	2,18	0,44	20,07
Průměrná absolutní chyba měření a průměrná přesnost měření kapacitního přístroje Gann vůči metodě gravimetrické (%)				0,44	19,01

Tabulka 33 – Průměrná absolutní chyba měření a průměrná přesnost měření kapacitního přístroje Gann hydromat CM Compact B

č. vz.	Materiál	Vlhkost materiálu dle gravimetrické metody	Vlhkost materiálu dle kapacitního vlhkoměru Berner	Absolutní chyba měření	Přesnost měření
-	-	(%) hmotnostní	(%)	(%)	(%)
32	anhydritový potěr	1,08	5,00	3,92	78,34
33	anhydritový potěr	1,40	>7,40	6,00	81,08
34	anhydritový potěr	1,28	>7,40	6,12	82,68
35	anhydritový potěr	4,95	>7,40	2,45	33,05
36	anhydritový potěr	1,51	>7,40	5,89	79,65
37	anhydritový potěr	1,67	>7,40	5,73	77,43
38	anhydritový potěr	2,21	>7,40	5,19	70,18
39	anhydritový potěr	1,74	>7,40	5,66	76,45
Průměrná absolutní chyba měření a průměrná přesnost měření kapacitního přístroje Berner vůči metodě gravimetrické (%)				5,12	72,36

Tabulka 34 – Průměrná absolutní chyba měření a průměrná přesnost měření kapacitního přístroje Berner

č. vz.	Materiál	Vlhkost materiálu dle gravimetrické metody	Vlhkost v hmotnostních procentech dle kapacitního přístroje Greisinger	Absolutní chyba měření	Přesnost měření
-	-	(%) hmotnostní	(%)	(%)	(%)
32	anhydritový potěr	1,08	0,53	0,55	104,30
33	anhydritový potěr	1,40	0,36	1,04	288,96
34	anhydritový potěr	1,28	0,25	1,03	412,65
35	anhydritový potěr	4,95	4,35	0,60	13,90
36	anhydritový potěr	1,51	0,81	0,70	85,89
37	anhydritový potěr	1,67	0,57	1,10	192,95
38	anhydritový potěr	2,21	3,19	0,98	30,82
39	anhydritový potěr	1,74	1,82	0,08	4,26
Průměrná absolutní chyba měření a průměrná přesnost měření odporového přístroje Greisinger vůči metodě gravimetrické (%)				0,76	141,71

Tabulka 35 – Průměrná absolutní chyba měření a průměrná přesnost odporového přístroje Greisinger

3.7.5. Srovnání vybraných metod měření vlhkosti prováděné na keramickém střepe

č. vz.	Materiál	Vlhkost materiálu dle gravimetrické metody	Vlhkost v hmotnostních procentech dle kapacitního přístroje Gann	Absolutní chyba měření	Přesnost měření
-	-	(%) hmotnostní	(%)	(%)	(%)
40	cementový potěr	7,34	6,00	1,34	22,37
41	cementový potěr	7,24	6,31	0,93	14,75
42	cementový potěr	7,62	6,10	1,52	24,94
43	cementový potěr	7,44	6,40	1,04	16,20
44	cementový potěr	6,09	6,00	0,09	1,56
Průměrná absolutní chyba měření a průměrná přesnost měření kapacitního přístroje Gann vůči metodě gravimetrické (%)				0,98	15,96

Tabulka 36 – Průměrná absolutní chyba měření a průměrná přesnost měření kapacitního přístroje Gann hydromat CM Compact B

č. vz.	Materiál	Vlhkost materiálu dle gravimetrické metody	Vlhkost materiálu dle kapacitního vlhkoměru Berner	Absolutní chyba měření	Přesnost měření
-	-	(%) hmotnostní	(%)	(%)	(%)
32	anhydritový potěr	1,08	5,00	3,92	78,34
33	anhydritový potěr	1,40	>7,40	6,00	81,08
34	anhydritový potěr	1,28	>7,40	6,12	82,68
35	anhydritový potěr	4,95	>7,40	2,45	33,05
36	anhydritový potěr	1,51	>7,40	5,89	79,65
37	anhydritový potěr	1,67	>7,40	5,73	77,43
38	anhydritový potěr	2,21	>7,40	5,19	70,18
39	anhydritový potěr	1,74	>7,40	5,66	76,45
Průměrná absolutní chyba měření a průměrná přesnost měření kapacitního přístroje Berner vůči metodě gravimetrické (%)				5,12	72,36

Tabulka 37 – Průměrná absolutní chyba měření a průměrná přesnost měření kapacitního přístroje **Berner**

č. vz.	Materiál	Vlhkost materiálu dle gravimetrické metody	Vlhkost v hmotnostních procentech dle kapacitního přístroje Greisinger	Absolutní chyba měření	Přesnost měření
-	-	(%) hmotnostní	(%)	(%)	(%)
40	cementový potěr	7,34	2,91	4,43	152,31
41	cementový potěr	7,24	3,06	4,18	136,62
42	cementový potěr	7,62	2,24	5,38	240,25
43	cementový potěr	7,44	2,69	4,75	176,46
44	cementový potěr	6,09	2,60	3,49	134,37
Průměrná absolutní chyba měření a průměrná přesnost měření odporového přístroje Greisinger vůči metodě gravimetrické (%)				4,45	168,00

Tabulka 38 – Průměrná absolutní chyba měření a průměrná přesnost odporového přístroje **Greisinger**

3.7.6. Srovnání metod měření vlhkosti

V tabulce 39 jsou shrnuté průměrné absolutní chyby měření vybraných stavebních materiálů v závislosti na použité metodě měření.

Materiál	Průměrná absolutní chyba měření (%)			
	Kapacitní vlhkoměr Gann	Kapacitní vlhkoměr Berner	Odporový vlhkoměr Greisinger	Karbidová metoda - CM přístroj
keramický střep	3,03	3,13	2,70	-
beton	1,08	1,05	2,36	-
vápenocementová omítka	2,63	1,71	2,35	-
anhydritový potěr	0,44	5,12	0,76	-
cementový potěr	0,98	0,47	4,45	0,33
Celková průměrná absolutní chyba měření	1,63	2,29	2,52	0,33

Tabulka 39 – Průměrné absolutní chyby měření vybraných stavebních materiálů v závislosti na použité metodě měření, celková průměrná absolutní chyba měření

V tabulce 40 jsou shrnuté výsledky přesnosti měření (%) z předchozích kapitol 3.6 a 37. Přesnost měření udává o kolik procent je daná metoda nepřesnější vůči gravimetrické metodě.

Materiál	Přesnost měření (%)			
	Kapacitní vlhkoměr Gann	Kapacitní vlhkoměr Berner	Odporový vlhkoměr Greisinger	Karbidová metoda - CM přístroj
keramický střep	69,15	64,37	115,13	-
beton	28,13	34,40	76,67	-
vápenocementová omítka	44,28	30,10	39,35	-
anhydritový potěr	19,01	72,36	141,71	-
cementový potěr	15,96	6,29	168,00	4,60
Průměrná přesnost metody	35,31	41,50	108,17	4,60

Tabulka 40 – Přesnosti měření vlhkosti vybraných stavebních materiálů v závislosti na použité metodě měření. Průměrná přesnost metody

Následující tabulka 41 seřazuje jednotlivé metody měření vlhkosti dle podle přesnosti a materiálu. V dolní části této tabulky je seřazeno celkové pořadí přístrojů dle průměrné přesnosti metody.

	pořadí dle přesnosti	Metoda měřená, přístroj	přesnost měření (%)
Keramický střeš	1	Kapacitní vlhkoměr Berner	64,4
	2	Kapacitní vlhkoměr Gann	69,2
	3	Odporový vlhkoměr Greisinger	115,2
Beton	1	Kapacitní vlhkoměr Gann	28,1
	2	Kapacitní vlhkoměr Berner	34,4
	3	Kapacitní vlhkoměr Gann	76,7
Vápenocementová malta	1	Kapacitní vlhkoměr Berner	30,1
	2	Odporový vlhkoměr Greisinger	39,4
	3	Odporový vlhkoměr Greisinger	44,3
Anhydritový potěr	1	Kapacitní vlhkoměr Gann	19,0
	2	Kapacitní vlhkoměr Berner	72,4
	3	Odporový vlhkoměr Greisinger	141,7
Cementový potěr	1	Karbidová metoda, CM přístroj	4,6
	2	Kapacitní vlhkoměr Berner	6,3
	3	Kapacitní vlhkoměr Gann	16,0
	4	Odporový vlhkoměr Greisinger	116,2
Průměrná přesnost metody	1	Karbidová metoda, CM přístroj	4,6
	2	Kapacitní vlhkoměr Gann	35,3
	3	Kapacitní vlhkoměr Berner	41,5
	4	Odporový vlhkoměr Greisinger	108,2

Tabulka 41 – Pořadí metod měření vlhkosti vybraných stavebních materiálů dle přesnosti

4. ZÁVĚR

V teoretické části této bakalářské práce autor charakterizoval typy vlhkostí ve stavebních konstrukcích, jejich zdroje a šíření v materiálech. Dále byly vytaženy normové požadavky zabývající se maximálních vlhkostí podkladu pro možnost pokládky podlahy či omítání stěn. V poslední řadě byla provedena rešerše nejčastěji používaných metod pro měření vlhkosti stavebních materiálů.

V praktické části se autor zaměřil na porovnání měřících metod vycházející z provedeného experimentu. Ten spočíval v měření vlhkosti vybraných materiálů více metodami v jednom místě. Celkem bylo provedeno 176 měření čtyřmi druhy vlhkoměrů a 44 měření gravimetrickou zkouškou.

Provedená normová gravimetrická zkouška se stala referencí pro ostatní metody měření.

Výsledné přesné hmotnostní vlhkosti gravimetrického měření pomohlo potvrdit přesnost karbidové metody, která vyšla 4,60%, bez odečtení jakékoliv odchylky přesnosti gravimetrické metody. Díky tak velké přesnosti měření se zpětně stanovily převodní vztahy mezi [%-CM] a [%] zkoumaných materiálů.

Dále byly provedeny potřebné výpočty ke stanovení průměrných přesností metod a absolutních chyb měření. Pomocí nich byly vyhodnoceny pořadí dle přesnosti dané metody (tabulka 41).

V závěru lze říci, že nejpřesnější metodou zůstává gravimetrická, která byla použita jako referenční měření. Druhou nejpřesnější je karbidová metoda (průměrná přesnost 4,6%). Avšak nevýhodou obou metod je, že jsou destruktivní. Jako třetí v pořadí je vysokofrekvenční kapacitní přístroj Gann hydromat CM Compact B, který je z nedestruktivních metod nejpřesnější (průměrná přesnost je 35,3%). Jako čtvrtý v pořadí se nachází nízkofrekvenční přístroj Berner (s průměrnou přesností 41,5%). Poslední skončil odporový přístroj Greisinger (s průměrnou přesností 108,2%). Tento

přístroj není vhodný pro měření vlhkosti materiálů kvůli vysoké nepřesnosti měření.

Změřené hodnoty vlhkostí budou podkladem pro tvorbu kalibračních křivek různých metod měření vlhkosti pro určité materiály.

Veškeré cíle této bakalářské práce, které byly stanoveny zadáním, se podařilo úspěšně naplnit.

Použitá literatura

- [1] BALÍK, Michael. Vysušování zdiva. 2. rozš. vyd. Praha: Grada, 1999. ISBN 80-716-9856-3. 83 strany.
- [2] FEXA, Josef; ŠIROKÝ, Karel. Měření vlhkosti. Praha: SNTL a ALFA, 1983. 262 strany.
- [3] Účinky vlhkosti na sbírkové materiály [online]. In: . s. 6 [cit. 2019-04-14]. Dostupné z:
https://www.slu.cz/slu/cz/projekty/webs/zkvalitneni/vystupy-1/uhv-m0096-preventivni-konzervace/vlhkost/at_download/file/
- [4] SOLAŘ, Jaroslav. Odstraňování vlhkosti: sanace vlhkého zdiva. Praha: Grada, 2013. ISBN 978-80-247-4708-8.
- [5] ČSN 74 4505 (744505). Podlahy - společná ustanovení. Praha: Český normalizační institut, 2012, 24s. Třídící znak 744505.
- [6] ČSN 73 2310 (732310). Provádění zděných konstrukcí. Praha: Český normalizační institut, 2012, 24s. Třídící znak 732310.
- [7] POCHMANOVÁ, Petra a Ivan MISAR. Kontrolní metody pro stanovení vlhkosti podkladních vrstev podlah [online]. 21.11.2011 [cit. 2019-04-11]. Dostupné z:
<https://stavba.tzb-info.cz/podlahy/8050-kontrolni-metody-pro-stanoveni-vlhkosti-podkladnich-vrstev-podlah>
- [8] Hrotový vlhkoměr pro měření vlhkosti dřeva a stavebních materiálů Greisinger GMH3810 [online]. [fotografie] Dostupné z:
<http://www.e-pristroje.cz/vlhkomery-drevo.html>
- [9] BINDER GmbH. Operating Manual APT. Line Serie BD / ED / FD (E1) [online]. Dostupné z:
<https://s-a-le.nl/wp-content/uploads/2017/04/Manual-Binder-FD-53-oven-1.pdf>
- [10] Brněnská medicínská technika a.s. Horkovzdušný sterilizátor HS 202 A. Technická dokumentace. [online]. Dostupné z:

<https://www.ast-czech.cz/rada-hs-a-sterimat-horkovzdušný-sterilizátor>

- [11] Berner. Dielectric moisture indicator: Operating manual. Version 2.1.
- [12] GREISINGER electronic GmbH. Návod k obsluze pro měřič vlhkosti dřeva a stavebních hmot GHH 91KK.
- [13] ČSN EN ISO 12570 (73 0573). Tepelně vlhkostní chování stavebních materiálů a výrobků – Stanovení vlhkosti sušením při zvýšené teplotě. Praha: Český normalizační institut, 2001, 12s. Třídící znak 62355.
- [14] GANN MESS- U. REGELTECHNIK GMBH. Operating Instructions: GANN HYDROMETTE COMPACT B. 01.10.2004. 2004.

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Hrotový vlhkoměr pro měření vlhkosti dřeva a stavebních materiálů Greisinger GMH3810 [5].....	21
Obrázek 2 - Komorová sušárna WTC BINDER FD-53 (archiv autora).....	23
Obrázek 3 - Komorová sušárna WTC BINDER FD-53 (archiv autora).....	24
Obrázek 4 - Komorová sušárna BMT HS 202 A (archiv autora).....	24
Obrázek 5 - Komorová sušárna BMT HS 202 A - vnitřní pracovní prostor (archiv autora)....	25
Obrázek 6 - Laboratorní váha Kern PCB3500 (archiv autora)	25
Obrázek 7 - Souprava GANN HYDROMAT CM v kufru (archiv autora).....	26
Obrázek 8 - Berner Baufeuchtemessgerät (archiv autora).....	27
Obrázek 9 - Gann hydromat CM Compact B (archiv autora).....	27
Obrázek 10 - Greisinger electronic GHH 91 KK s příslušenstvím (archiv autora).....	28
Obrázek 11 - Kartáčové elektrody (nahore), zarážecí elektrody (dole),(archiv autora).....	28
Obrázek 12 - Sušení vzorků v komorové sušárně (archiv autora).....	30
Obrázek 13 - GANN HYDROMAT CM, zleva: HYDROMETTE COMPACT B, plochý majzlík, kladivo, nádoba na úlomky materiálu, lžička, štětec, hmoždíř, tlaková nádoba s víkem a manometrem, sada ocelových kuliček, ampule s karbidem vápenatým, elektrická váha, časovač, ampule zkušební vody, kartáč na nádobu, OOPP (archiv autora).....	31
Obrázek 14 - Měření kapacitním vlhkoměrem Berner (archiv autora).....	34
Obrázek 15 - Odporové měření pomocí kartáčových sond (archiv autora).....	37
Obrázek 16 - Odporové měření pomocí zatloukacích trnů (archiv autora).....	37

Seznam grafů

Graf 1 - Rovnovážná vlhkost vybraných technických materiálů v závislosti na vlhkosti okolního vzduchu [2], 1 - křemelina, 2 - korek, 3 - cementová omítka, 4 - beton, 6 - skelná vlna, 7 - pryž, 8 - cihly, 9 – sádra.....	11
Graf 2 - Zjednodušený hygrometrický graf dle Molliera [3].....	12
Graf 3 - Rozložení jednotlivých odpovědí na anketu [6].....	18
Graf 4 - Přepočítávací graf gravimetrické a karbidové metody [14].....	34

Graf 5 - Přepočítávací graf pro vlhkoměr Berner, na vodorovné ose: naměřená hodnota na přístroji [-], na svislé ose: hmotnostní vlhkost [%] [10].....	35
Graf 6 - Přepočítávací graf pro vlhkoměr Gann hydromat CM Compact B [13].....	36
Graf 7 - Převodní graf mezi [%-CM] a [%], materiál: keramický střep.....	46
Graf 8 - Převodní graf mezi [%-CM] a [%], materiál: beton.....	47
Graf 9 - Převodní graf mezi [%-CM] a [%], materiál: vápenocementové omítky.....	48
Graf 10 - Převodní graf mezi [%-CM] a [%], materiál: anhydritový potěr.....	49

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Nejvyšší dovolená vlhkost cementového potěru, nebo potěru na bázi síranu vápenatého v hmotnostních % v době pokládky nášlapné vrstvy [5].....	16
Tabulka 2 - Nejvyšší dovolená vlhkost pro zděný podklad pod omítky v hmotnostních % [6].....	17
Tabulka 3 - Teploty sušení [12].....	29
Tabulka 4 - Maximální hmotnost vzorku pro přístroj CM [13].....	32
Tabulka 5 - Přepočítávací tabulka tlaku pro GANN HYDROMAT CM v [CM-%] [13].....	33
Tabulka 6 - Přepočítávací tabulka gravimetrické a karbidové metody [14]	34
Tabulka 7 - Přepočítávací tabulka pro vlhkoměr Berner - pro beton C30/37 [10].....	35
Tabulka 8 - Přepočítávací tabulka pro vlhkoměr Berner - pro anhydritové potěry [10].....	35
Tabulka 9 - Přepočítávací tabulka pro vlhkoměr Berner - pro cementové potěry [10].....	35
Tabulka 10 - Přepočítávací tabulka pro vlhkoměr Gann hydromat CM Compact B- pro materiály na bázi sádry a anhydrity [13].....	36
Tabulka 11 - Přepočítávací tabulka pro vlhkoměr Gann hydromat CM Compact B- pro materiály na bázi cementu [13].....	36
Tabulka 12 - Korekční tabulka pro stavební materiály pro přístroj Greisinger electronic GHH 91 KK [11]	38
Tabulka 13 - Měření vlhkostí gravimetrickou metodou.....	39
Tabulka 14 - Měření vlhkosti CM přístrojem GANN HYDROMAT CM	40
Tabulka 15 - Měření vlhkosti kapacitním vlhkoměrem Berner.....	41
Tabulka 16 - Měření vlhkosti kapacitním vlhkoměrem Gann hydromat CM Compact B.....	42
Tabulka 17 - Měření vlhkosti odporovým vlhkoměrem Greisinger.....	43
Tabulka 18 - Porovnání výsledků metod měření a naměřených vlhkostí	44
Tabulka 19 - Odchylka v přesnosti a přesnost měření karbidové metody.....	45
Tabulka 20 - Podklad pro převodní graf, materiál: keramický střep.....	46
Tabulka 21 - Podklad pro převodní graf, materiál: beton].....	47
Tabulka 22 - Podklad pro převodní graf, materiál: vápenocementové omítky.....	48

Tabulka 23 - Podklad pro převodní graf, materiál: anhydritový potěr.....	49
Tabulka 24 - Průměrná absolutní chyba měření a průměrná přesnost měření kapacitního přístroje Gann hydromat CM Compact B.....	50
Tabulka 25 - Průměrná absolutní chyba měření a průměrná přesnost měření kapacitního přístroje Berner.....	51
Tabulka 26 - Průměrná absolutní chyba měření a průměrná přesnost odporového přístroje Greisinger.....	51
Tabulka 27 - Průměrná absolutní chyba měření a průměrná přesnost měření kapacitního přístroje Gann hydromat CM Compact B.....	52
Tabulka 28 - Průměrná absolutní chyba měření a průměrná přesnost měření kapacitního přístroje Berner.....	52
Tabulka 29 - Průměrná absolutní chyba měření a průměrná přesnost odporového přístroje Greisinger.....	53
Tabulka 30 - Průměrná absolutní chyba měření a průměrná přesnost měření kapacitního přístroje Gann hydromat CM Compact B.....	53
Tabulka 31 - Průměrná absolutní chyba měření a průměrná přesnost měření kapacitního přístroje Berner.....	54
Tabulka 32 - Průměrná absolutní chyba měření a průměrná přesnost odporového přístroje Greisinger.....	54
Tabulka 33 - Průměrná absolutní chyba měření a průměrná přesnost měření kapacitního přístroje Gann hydromat CM Compact B.....	55
Tabulka 34 - Průměrná absolutní chyba měření a průměrná přesnost měření kapacitního přístroje Berner.....	55
Tabulka 35 - Průměrná absolutní chyba měření a průměrná přesnost odporového přístroje Greisinger.....	56
Tabulka 36 - Průměrná absolutní chyba měření a průměrná přesnost měření kapacitního přístroje Gann hydromat CM Compact B.....	56
Tabulka 37 - Průměrná absolutní chyba měření a průměrná přesnost měření kapacitního přístroje Berner.....	57
Tabulka 38 - Průměrná absolutní chyba měření a průměrná přesnost odporového přístroje Greisinger.....	57
Tabulka 39 - Průměrné absolutní chyby měření vybraných stavebních materiálů v závislosti na použité metodě měření, celková průměrná absolutní chyba měření.....	58
Tabulka 40 - Přesnosti měření vlhkosti vybraných stavebních materiálů v závislosti na použité metodě měření. Průměrná přesnost metody.....	58
Tabulka 41 - Pořadí metod měření vlhkosti vybraných stavebních materiálů dle přesnost..	59

Seznam vzorců

Vzorec 1 - Výpočet hmotnostní vlhkosti.....	18
Vzorec 2 - Výpočet objemové vlhkosti.....	18
Vzorec 3 - Výpočet absolutní vlhkosti vzduchu.....	18
Vzorec 4 - Výpočet relativní vlhkosti vzduchu.....	18
Vzorec 5 - Teplotní faktor vnitřního povrchu.....	18
Vzorec 6 - Chemická reakce vody a karbidu vápenatého.....	18
Vzorec 7 - Výpočet hmotnostní vlhkosti gravimetrické zkoušky.....	18
Vzorec 8 - Výpočet hmotnostní vlhkosti gravimetrické zkoušky (s obalem).....	18

Seznam příloh

Příloha 1 – měření vlhkostí gravimetrickou metodou – průběh