

MĚŘENÍ VLHKOSTI V PRAXI SOUDNÍHO INŽENÝRA

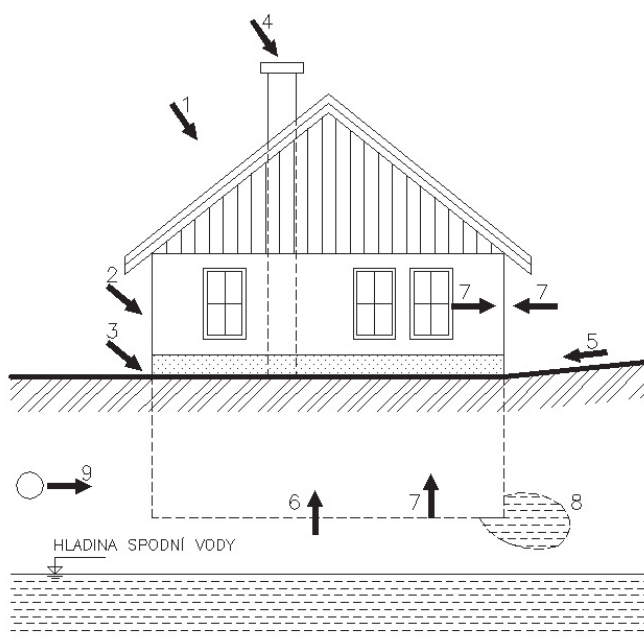
Příspěvek XIV. konference znalců – Brno 21. a 22. 1. 2005.

Abstrakt: Voda proniká do obytných staveb různými způsoby a bývá mnohdy obtížné určit její zdroj. Pro stanovení průniku vody do sklepních prostor rodinného domu byla s úspěchem odzkoušena radiometrická souprava Troxler – model 3411. Pro měření vlhkosti na svislých stěnách však musela být metoda měření vhodně upravena, a to použitím mobilního držáku soupravy, který byl pro tato měření speciálně vyvinut.

Klíčová slova: měření vlhkosti, radiometrické měření, vlhnutí zdiva

1. ÚVOD

Voda je v přírodě všudypřítomná. Pro život má nesporně příznivé účinky, ale může působit i negativně jako jsou např. povodně nebo nežádoucí působení vlhkosti v objektu. Vlhkost je voda vyskytující se ve vazbě na póry a kapiláry. Určité množství vlhkosti obsahuje za daných atmosférických podmínek každá pevná látka. Množství vlhkosti je závislé na teplotě, na vzdušné vlhkosti a na pórovitosti látky.



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

Stavební materiály se v praxi nevyskytují v suchém stavu, vždy obsahují určitou vlhkost. Nepříměřená vlhkost však do značné míry ovlivňuje tepelně-technické, fyzikální, statické, estetické vlastnosti stavebních materiálů a může mít často za následek znehodnocení stavebního materiálu či stavební konstrukce.

Při stavebních průzkumech spojených s vypracováním znaleckých posudků na stavební konstrukce se často vyskytuje vlhkost, buď jako následek porušení hydroizolace (nebo její absence) a to jak u základů tak střešních plášťů a nebo jako důsledek poruch vodovodních nebo kanalizačních řádů. Obr. 1 poukazuje na všechny možné příčiny vlhnutí zdiva [1]. Vyhledávání zdroje vlhkosti bývá velmi obtížné, neboť voda se pohybuje po různých nepropustných vrstvách konstrukce a může se objevit na místě vzdáleném od primárního zdroje. Je proto na znalci, aby uvážil, kterou z možných metod na stanovení vlhkosti použije.

2. METODY MĚŘENÍ VLHKOSTI

Metody měření můžeme rozdělit do dvou základních kategorií. Pokud pro určení vlhkosti musíme odebrat vzorek, nazývá se metoda destruktivní. Jestliže nedojde k porušení konstrukce, nazývá se metoda měření vlhkosti nedestruktivní. K nejběžnějším metodám měření vlhkosti patří metoda gravimetrická, karbidu vápníku, kapacitní, odporová.

2.1 Gravimetrická metoda

Tato nejpoužívanější metoda tzv. vážková spočívá v tom, že z místa vlhkosti je odebrán vzorek. Jedná se o destruktivní metodu. Tento vzorek je zvážen, vysušen a opět zvážen. Rozdíl hmotnosti vlhkého m_v a suchého vzorku m_s (vysušeného v sušárně za normou stanovených podmínek) je roven hmotnosti vody, která ve vzorku byla obsažena. Hmotnostní vlhkost se pak vypočítá dle vzorce:

Ing. Ondřej Anton, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví, Veveří 95, 602 00 Brno, asistent,
e-mail: anton.o@fce.vutbr.cz

Ing. Vendula Blažková, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví, Veveří 95, 602 00 Brno, studentka doktorského studijního programu, e-mail: blazkova.v@fce.vutbr.cz

Doc. Ing. Leonard Hobst, CSc., Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví, Veveří 95, 602 00 Brno, vedoucí ústavu,
e-mail: hobst.l@fce.vutbr.cz

$$w = \frac{m_v - m_s}{m_s} \cdot 100 [\%].$$

Tato destruktivní metoda má dvě nevýhody, kterými jsou nemožnost opakovaných měření v jednom místě a časové zpoždění informace, protože výsledek obdržíme až po vysušení odebraného vzorku.

2.2 Metoda karbidu vápníku

Je to jedna z chemických metod, která se používá nejen k měření vlhkosti pevných rozdrčených materiálů, ale hlavně k měření sypkých materiálů jako písků, jílu a usazenin. Reakce proběhne mezi vzorkem a známým množstvím karbidu. V důsledku tvoření acetylénu stoupá tlak v nádobě opatřené manometrem. Na stupnici manometru (kalibrováno jen pro určitý materiál) se odečte hodnota vlhkosti.

2.3 Mikrovlnná metoda

Tato metoda je založena na poznatku využívající vlivu vlhkosti na útlum mikrovlnného záření při průchodu prostředím pórovité látky. Největší vliv na útlum mikrovlnného záření má volná voda. K výhodám této metody patří, že je nedestruktivní a umožňuje měření vlhkosti v celém objemu látky. Díky výrazné odlišnosti elektromagnetických vlastností vody a suchých pórovitých látek, se dosahuje vysoké citlivosti v měření. Mikrovlnný měřič vlhkosti se na straně vysílače skládá z generátoru mikrovlnného záření (Gunnovy diody) a na straně přijímače je přijímací anténa napojena na detekční diodu a ta je dále propojena s vyhodnocovacím voltmetrem. Jedná se o laboratorní zařízení, kterým se měří vlhkost sypkého materiálu (písku, jílu), ale které je těžko využitelné pro práce v terénu.

2.4 Kapacitní metoda

Jedná se o elektrickou metodu, jejíž podstatou je určení závislosti elektrických vlastností nekovových stavebních materiálů na vlhkosti. Touto metodou se měří dielektrická konstanta hmoty, která je citlivě závislá na vlhkosti. Citlivost metody se posuzuje podle relativní permitivity ϵ . Běžné stavební materiály mají relativní permitivitu menší než 10, zatímco relativní permitivita vody je přibližně 82, tzn. že i malá přítomnost vody v materiálu působí na výrazné změny jeho relativní permitivity. K výhodám kapacitní metody patří zejména malý vliv na okolní teploty, malý vliv solí rozpuštěných ve vodě, možnost měření v širokém rozmezí vlhkostí. K nevýhodám patří nutnost kalibrovat přístroj pro každý materiál zvlášť.

2.5 Vodivostní metoda

Princip měření je založen na měření elektrické vodivosti. Materiál mezi dvěma elektrodami má specifický materiálový odpor jehož velikost závisí na obsahu vody v materiálu. Elektrická vodivost se zvyšuje s množstvím vody. Tato metoda se používá při měření všech materiálů, které nejsou elektrickými vodiči, například dřeva, zdíva, betonu.

2.6 Odporová metoda

Metoda je založena na principu vedení elektrického proudu pórovitou látkou známé délky, přičemž se měří velikost odporu látky. Suchá pórovitá látka je nevodič a se zvyšujícím obsahem

vody se elektrická vodivost zvyšuje. Tato metoda se užívá převážně k měření vlhkosti dřeva. Nepřesné měření nastává pokud dojde k přechodovému odporu mezi elektrodou a měřeným materiálem. Přechodový odpor může vzniknout kdykoliv během měření, zvláště, je-li vlhkost sledována v delším časovém úseku, nebo pokud by tlak materiálu na elektrody nebyl konstantní a dostatečný.

2.7 Metoda impedanční spektroskopie

Jedná se o laboratorní metodu, která využívá frekvenční závislosti impedančních charakteristik k analýze vlastností látky. Metoda je vhodná k nedestruktivnímu sledování kvality stavebních materiálů s nízkou vodivostí, např. plastů, skel, keramiky, cementů, kameniva a řady dalších.

2.8 Radiometrická metoda

Radiometrické měření objemové vlhkosti je založeno na principu moderace rychlých neutronů převážně atomy vodíku. Zdrojem rychlých neutronů je směsný zářič americium a berylium. Ve vlhkém prostředí jsou rychlé neutrony postupně zpomalovány srážkami s vodíkovými jádry. Jakmile mají stejnou tepelnou rovnováhu s jádry prostředí, jsou tyto neutrony registrovány detektory pomalých neutronů. Čím je vyšší vlhkost materiálu, tím menší objem ke zpomalení neutronů postačuje. Detektory pomalých neutronů jsou připojeny na vyhodnocovací jednotku a ta měření zpracovává. Detektor je trubice plněná trifluoridem bóru, heliem a nebo se používá scintilační detektor. Přitom platí, že čím větší je vlhkost materiálu, tím větší je odezva detektoru.

Měření vlhkosti může být nepřesné u materiálů, které obsahují vázanou vodu např. rašelina nebo u prvků, které pohlcují pomalé neutrony např. Cl, Cd, K, Br.

3. GEOMETRICKÉ USPOŘÁDÁNÍ RADIOMETRICKÝCH SOUPRAV

Podle geometrického uspořádání zářiče a detektoru rozlišujeme radiometrické soupravy hloubkové, povrchové a kombinované.

3.1 Radiometrická souprava hloubková

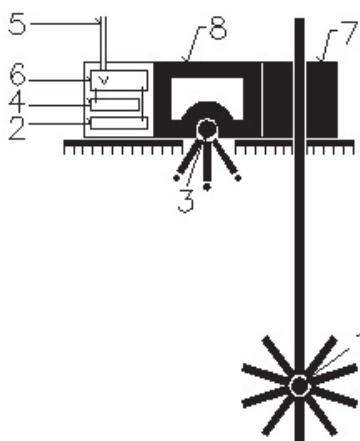
Radiometrická souprava hloubková je přizpůsobena k měření v kulové geometrii. Přístroj se spouští do předem osazených pažnic v materiálu nebo u soudržných materiálů pouze do vývrtů. Soupravy se používají pro měření vlhkosti v sypaných hrázích, zemních tělesech po výšce v různých úrovních. Může se jimi měřit i objemová vlhkost kameniva určeného pro betonárny.

3.2 Radiometrická souprava povrchová

Radiometrická souprava povrchová je uzpůsobena k měření v polokulové geometrii. Polokulová geometrie umožňuje rychlým neutronům pronikat do materiálů, kde jsou moderovány. Zpomalené neutrony se rozptylem dostávají do detektorů. Soupravy se používají u měření vlhkosti povrchových vrstev betonu a zemin.

3.3 Radiometrická souprava kombinovaná

Pomocí těchto souprav lze měřit jak objemovou vlhkost tak i objemovou hmotnost, díky tomu se dá při jednom měření získat více údajů o vlastnostech materiálu. Kromě objemové hmotnosti



Obr. 2 Kombinovaná radiometrická souprava: 1 – gamazářič, 2 – detektor záření gama, 3 – neutronový zářič, 4 – detektor pomalých neutronů, 5 – výstup k vyhodnocovací jednotce, 6 – předzesilovač, 7 – přepravní kryt gamazářiče, 8 – přepravní kryt neutronového zářiče.

a vlhkosti se dá určit i suchá objemová hmotnost a procento vlhkosti. Obsahují zvlášť zdroj rychlých neutronů a zářič gama. Detektor je buď jeden nebo dva (pro každý druh záření zvlášť).

V našem případě jsme v terénu použili tuto kombinovanou radiometrickou soupravu povrchovou Troxler model 3411 (obr. 3), jejíž schématické uspořádání je na obr. 2. Přenosný přístroj obsahuje zvlášť zdroj rychlých neutronů (americium a berylium) a zářič gama (cesium 137), detektor, předzesilovač a vyhodnocovací jednotku, která zpracovává výsledky měření. Výstupem měření přístroje v daném měřicím bodě je objemová hmotnost, suchá objemová hmotnost, procento vlhkosti a absolutní vlhkost.



Obr. 3 Radiometrická souprava Troxler model 3411.

4. MĚŘENÍ VLHKOSTI ZDIVA NA RODINNÉM DOMKU

V obci Kanice, která leží na okraji moravského krasu, severovýchodně od Brna, dochází v poslední době k rozsáhlé výstavbě rodinných domů. A právě u novostavby jednoho z rodinných domků se

v letních měsících objevila ve sklepních prostorách vlhkost. Příčina vlhkosti nebyla známa, ale protože k ní došlo po prvních podzemních deštích, byl vysloven předpoklad, že mohlo dojít při výstavbě k porušení hydroizolace, nebo byla nekvalitně provedena či navržena, stejně tak mohly být špatně navržené detaily hydroizolace spodní stavby.

Vizuálně na stěně byly patrné mapy zvýšené vlhkosti. Pro stanovení vlhkosti zdiva v hloubce pod povrchem byla proto odzkoušena radiometrická souprava Troxler. Ta je určena převážně pro měření na vodorovných plochách. Pro měření na svislých stěnách musela být vhodně upravena. Úprava spočívala ve zhotovení speciálního mobilního držáku, který přidržuje soupravu při měření svislé konstrukce v nastavené výšce (obr. 4).



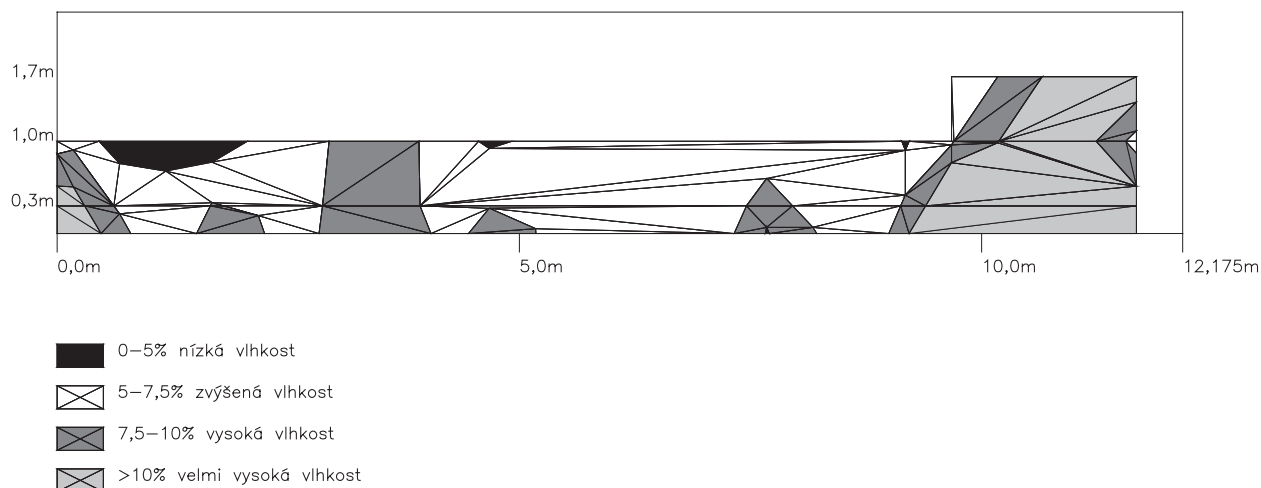
Obr. 4 Ukázka měření v praxi.

5. POSTUP MĚŘENÍ VLHKOSTI

Cílem měření bylo zjistit vlhkost zdiva v prostorách prvního podzemního podlaží. Jednalo se o místnosti klenutého sklepa na víno a přilehlého sklepa. Jednotlivé stěny byly rozděleny na měřicí body v síti ve výšce 0,3 m a v 1 m od stávající podlahové konstrukce, a po délce v krocích 0,5 m. V místě nárůstu vlhkosti bylo měření rozšířeno o další řadu ve vzdálenosti 1,7 m od podlahy konstrukce. Takto byly připraveny stěny s body, ve kterých bylo provedeno měření. V každém bodě byly určeny následující veličiny: objemová hmotnost, suchá objemová hmotnost, procento vlhkosti a absolutní vlhkost. Na základě těchto zjištěných hodnot byl vyhotoven graf průběhu procentuální vlhkosti a vlhkostní mapa (obr. 5) s touto klasifikací:

- vlhkost $w < 5\%$ je vlhkost nízká a z našeho hlediska zanedbatelná,
- $5\% < w < 7,5\%$ je vlhkost zvýšená,
- $7,5\% < w < 10\%$ je vlhkost vysoká a mohou zde růst plísně,
- $10\% < w$ je vlhkost velmi vysoká, lze předpokládat zvýšený výskyt bakterií.

Celkem se uskutečnilo 70 měření na stěnách sklepení o celkové rozvinuté délce 34,1 m. Měření prokázalo, že v pravé části měřené stěny dochází k prudkému nárůstu vlhkosti, která svědčí o tom, že zdroj vlhkosti leží právě v této části stěny sklepa.



Obr. 5 Pohled na stěnu B vinného sklepa s vyznačením vlhkostní mapy a s místem extrémního nárůstu vlhkosti.

9. ZÁVĚR

Pro stanovení nejvhodnější sanační metody, je třeba vyhotovit stavebně-vlhkostní průzkum. Součástí tohoto průzkumu je stanovení průběhu vlhkosti ve zdivu. Radiometrické měření pomocí soupravy Troxler se ukázalo být vhodnou metodou pro zjištění vlhkosti v tomto konkrétním případě. Přineslo požadované výsledky, aniž by docházelo k porušení materiálu.

10. LITERATURA

- [1] VLČEK M., MOUDRÝ I., NOVOTNÝ M., BENEŠ, P.: *Poruchy a rekonstrukce v pozemních stavbách II.* Brno, VUT FAST v Brně, 1996, 161 s.
- [2] SCHMID P.: *Základy zkušebnictví.* Brno, CERM, s.r.o., 2001, 112 s. ISBN 80-214-1816-8
- [3] HÖNIG A., ZAPLETAL V.: *Nedestruktivní zkušebnictví.* Brno: VUT v Brně, 1982, 392 s.
- [4] MICHÁLKO M., MIKŠ A., SEMERÁK P., KLEČKA T.: *Fyzikální a mechanické zkoušení stavebních materiálů.* Praha, ČVUT v Praze, 1998, 138 s. ISBN 80-01-01736-2
- [5] PAVLÍK A., DOLEŽEL J.: *Nedestruktivní vyšetřování betonových konstrukcí.* SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1977, 280 s.