

**UNIVERZITA PARDUBICE
FAKULTA DOPRAVNÍ JANA PERNERA**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2008

Vlastimil Mrštík

Univerzita Pardubice
Fakulta dopravní Jana Pernera

Experimentální stanovení vlhkosti cihelného zdiva v návaznosti na povodně
2002 v Praze
Vlastimil Mršík

Bakalářská práce
2008

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Katedra dopravní infrastruktury
Akademický rok: 2007/2008

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Vlastimil MRŠTÍK**
Studijní program: **B3709 Dopravní technologie a spoje**
Studijní obor: **Dopravní infrastruktura-Dopravní cesta**

Název tématu: **Experimentální stanovení vlhkosti cihelného zdiva
v návaznosti na povodně 2002 v Praze**

Zásady pro vypracování:

1. Úvod
2. Cíle řešení
3. Rozbor stávajícího stavu
4. Experimentální měření:
 - a) Popis použitých metod
 - b) Vlastní průběh měření
 - c) Vyhodnocení
5. Diskuze výsledku
6. Závěr

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

Semerák, P.; Rovnaníková, P.; Kotlík, P.: Průzkum přístrojů pro měření vlhkosti stavebních materiálů

Kutílek, M.: Vlhkost pórovitých materiálů

Balík, M.: Odvlhčování staveb

Fára, P.: Sanace vlhkého zdiva

Chyský, J.: Vlhký vzduch

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Vladimír Doležel, CSc.

Katedra dopravní infrastruktury

Datum zadání bakalářské práce:

30. listopadu 2007

Termín odevzdání bakalářské práce:

23. května 2008

prof. Ing. Bohumil Culek, CSc.

děkan

L.S.

Ing. Vladimír Doležel, CSc.

vedoucí katedry

dne

SOUHRN

Práce je věnována experimentálnímu stanovení vlhkosti zdiva v návaznosti na povodně 2002 v Praze se zaměřením na použití vodivostní elektrické odporové metody pro měření vlhkosti. Zkoumá různé druhy zkušebních těles, elektrodových sond a zabývá se jejich závislostmi na různých stavech vlhkosti. Experimentuje s různými typy sond, jejich zapojením, měřením a porovnáváním mezi sebou.

KLÍČOVÁ SLOVA

vlhkost, elektrický odpor, metody, experimenty, sondy, pórovitost

TITLE

Experimental determination of brick-built walls moisture in response to floods in Prague in 2002.

ABSTRACT

The work is devoted to the determination of brick-built walls moisture in response to floods in Prague in 2002, focusing on the use of electrical conductivity resistance methods for measuring the moisture. It examines the various kinds of testing body, electrode probes and deals with their dependences in various states of moisture. It experiments with different types of probes, their involvement, measurement and comparing them with each other.

KEYWORDS

humidity, electric resistance, methods, experiments, the probe, the porosity

OBSAH

1. Úvod	7
2. Cíle řešení	7
2.1. Základní pojmy	7
2.2. Posouzení a klasifikace vlhkosti	9
2.3. Teoretické aspekty pohybu vlhkosti v pórovitém systému stavebních materiálů	13
2.3.1. Pórovitý materiál a jeho definice	13
2.3.2. Pórovitost	14
2.3.3. Transport vody a vlhkosti v porézních materiálech	15
3. Rozbor stávajícího stavu	19
3.1. Řešení po povodních – vypořádání	19
3.2. Metodika návrhů sanací, druhy sanací	20
3.3. Metody měření vlhkosti	21
4. Experimentální měření	24
4.1. Popis použité měřicí metody	24
4.2. Vlastní průběh měření	25
4.2.1. Materiál a příprava vzorků	25
4.2.2. Použité přístroje	30
4.2.3. Postup zkoušek	30
4.3. Vyhodnocení	32
5. Diskuze výsledku	37
6. Závěr	39
7. Seznam použité literatury	40
8. Přílohy	41

1. Úvod

Cílem této práce je navázání na experimentální stanovení vlhkosti cihelného zdiva se zaměřením na metody měření vlhkosti s různými typy sond, jejich zapojení, měření a porovnání. Hlavní náplň jsou experimentální měření se sondami, jejichž cílem je porovnání všech zkušebních vzorků a jejich závislosti na vlhkost a různých metodách měření.

Povodně jsou přírodní fenomén, kterému lze jen těžko zabránit a se kterým se musí počítat. Na přelomu 20. a 21. století došlo k několika povodňovým událostem na našem území a s ohledem na již dlouho předvídanou změnu klimatu nás asi jistě ještě některé čekají. Vývoj klimatu směřuje k extrémnímu výkyvům počasí tzn. dlouhodobá období sucha, extrémní srážky, velký objem srážek v zimě s následným velkým táním, což může mít za následek vznik povodní.

I přes zdokonalující se proti povodňové opatření bude tedy zřejmé, že bude docházet ke škodám na majetku, které úzce souvisí s odstraňováním škod a poté se sanacemi navlhých objektů. A s tím taktéž úzce souvisí vlhkostí zdí, což je jeden z nejdůležitějších parametrů při určování nasazení druhu sanací.

2. Cíle řešení

2.1. Základní pojmy

Jak již bylo výše uvedeno, cílem bylo experimentální měření vlhkosti s různými typy sond. Těchto poznatků je možno využívat v řadě případů při odstraňování následků katastrofálních povodní. V důsledku povodní dochází k masivním narušením stability nadloží, k vyplavení zeminy i k poškození samotného zdiva.

Vlhkost materiálu je množství vody (v jakémkoli skupenství) obsažené v pórovitém prostředí látky. Vyjadřuje se hmotnostním nebo objemovým poměrem vody k pevné fázi suché látky. Vlhkost je nedílnou součástí prakticky všech pórovitých stavebních látek a z nich vytvářených konstrukcí. Určité množství vlhkosti osahuje za daných atmosférických poměrů každá pevná látka. Množství vlhkosti je závislé na teplotě, na vlhkosti okolního vzduchu, na pórovitosti, na průměru pórů a tvaru jejich stěn, na množství hygroskopických solí v zavlhlem zdivu atd.

Smáčivost a nesmáčivost je vztahem mezi tuhou látkou (podkladem) a kapalinou (vodou). Smáčivý systém znamená tendenci kapaliny potáhnou povrch tenkou vrstvou, filmem. Nesmáčivý systém je charakterizován vytvořením co nejmenší styčné plochy, kapalina se sbalí do kuličky, kapky. Většina zdících materiálů je pro vodu smáčivých, zvláště cihly, pískovec, opuka, vápenná i cementová malta, sádra. Působením hydrofobizátorů lze tento systém převést na nesmáčivý. Smáčivost lze kvantifikovat takzvaným smáčecím úhlem Θ , úhlem mezi tečnou k povrchu v místě kontaktu a povrchem podkladu. Je-li tento úhel ostrý, kapka vody se rozlévá po povrchu, systém je smáčivý, tupý úhel naopak značí sbalení vody do kuličky a systém je tedy nesmáčivý.

Obr. č.1 Smáčivost a nesmáčivost

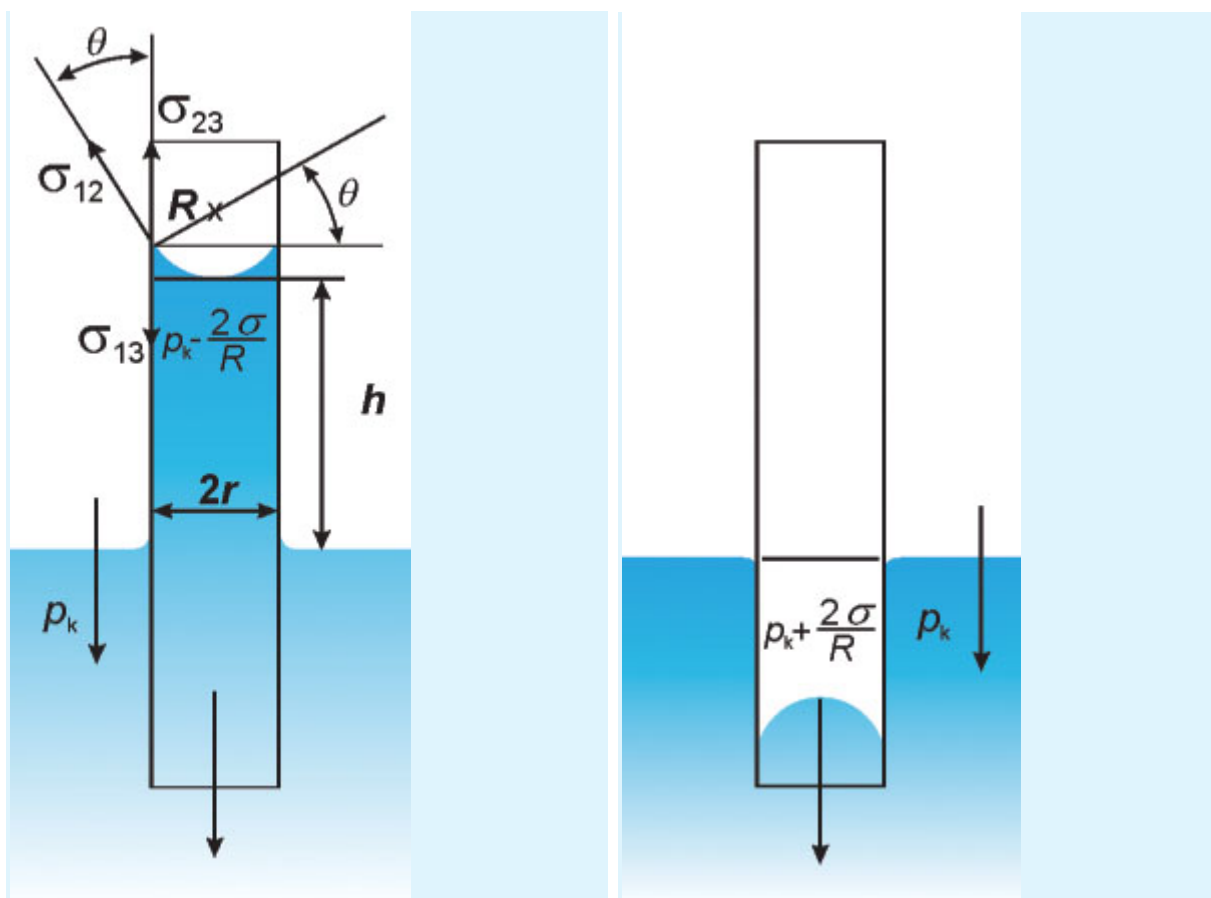


Zdroj: M. BALÍK A KOLEKTIV, *Odvlhčování staveb*. Grada Publishing., s. 30

Nasákavost – kapilární vztlakovost je vzestup vody v pórovité látce v důsledku kapilárního zdvihu (kapilární elevace) nad úroveň hladiny vody v okolí. Výška vztlínání h v kapilárně aktivních pórech je přímo úměrná povrchovému napětí σ a smáčecímu úhlu Θ a nepřímo úměrná velikosti pórů r a hustotě ρ .

$$h = \frac{2 \cdot \sigma \cdot \cos \Theta}{r \cdot g \cdot \rho}$$

Obr. č.2 Kapilární elevace a deprese



Obr 1a: Kapilární elevace. Kohezní tlak kapaliny p_k je snížen o kapilární tlak na hodnotu $p_k - 2\sigma/R$, což působí zdvih sloupce kapaliny.

Obr 1b: Kapilární deprese. Kohezní tlak kapaliny p_k je zvýšen o kapilární tlak na hodnotu $p_k + 2\sigma/R$, což působí pokles sloupce kapaliny.

Zdroj: <http://si.vega.cz/clanky/principy-vzlinani-kapalin/>

Porozita je obsah vzduchových dutin, pórů, ve stavební hmotě. Udává se jako podíl objemu vzduchových pórů v materiálu v objemových procentech. Lze jej měřit vyplněním volného objemu kapalinou, čehož využívá porozimetrie. Některé stavební materiály (perlit, pemza, plynosilikát) charakterizuje vysoká hodnota porozity, jiné (hutné horniny jako čedič, rula, slinitá keramika, sklo) velmi nízká hodnota objemu pórů. Kromě celkového objemu pórů je důležitý tvar a velikost pórů. Z hlediska tvaru je zásadní, zdali se jedná o otevřené póry, do kterých se může dostávat voda, nebo o póry uzavřené, které jsou pro vodu prakticky nepřístupné. Uzavřené póry mají cíleně některé tepelně izolační materiály (pěnové sklo, pěnový polystyren, expandovaný perlit). Zůstávají suché a vykazují tedy vysoký tepelný odpor i při užití ve vlhkém prostředí. Ostatní hmoty mají póry otevřené a může do nich teoreticky vnikat voda.

Obr. č.3 Dělení pórů podle velikosti

Název	Velikost pórů	Jev
Mikropóry	Menší než 10^{-7} m (pod 0,1 μ m)	Nenasákavost, vodotěsnost
Kapilárně aktivní póry	Mezi 10^{-7} m a 10^{-4} m (0,1 μ m až 0,1 mm)	Nasákavost, kapilární vztláčení
Makropóry	Větší než 10^{-4} m (nad 0,1 mm)	Nenasákavost, zatékání

Zdroj: M. BALÍK A KOLEKTIV, *Odvlhčování staveb*. Grada Publishing., s. 31

Mrazuvzdornost neboli odolnost zmrazovacím cyklům, je schopnost materiálu odolávat přeměně kapalné vody na led. Tato odolnost je tím vyšší, čím je vyšší pevnost materiálu, zvláště pevnost v tahu za ohybu. Materiály s nižším elastickým modulem (měkčí) se lépe podrobují krystalickému tlaku při přeměně na led. Sama fázová přeměna voda- led je doprovázena desetiprocentním nárůstem objemu. Přeměna z tuhého ledu na vodu již další destrukci nepůsobí.

Pro beton se tato zkouška provádí dle normy (ČSN 731326 Stanovení odolnosti povrchu cementového betonu proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek) na krychlicích, u kterých se stanovuje po 25, 50, 75, 100, 125 a 150 cyklech množství opadaného materiálu v gramech na metr čtvereční plochy povrchu (g/m²). Cyklus obsahuje rychlé zmrazení na -20°C a rozmrazovací do kapalného stavu.

2.2. Posouzení a klasifikace vlhkosti

Součástí celkového průzkumu staveb je průzkum z hlediska vlhkosti. Vlhkost je voda vyskytující se ve vazbě na póry a kapiláry stavebních hmot, zeminu (zemní vlhkost) nebo jiných pórovitých médií, případně voda ve vzduchu (vzdušná vlhkost). Nevytváří vodní hladinu ani spojitou fázi schopnou toku. [1]

Vlhkostí popisujeme obsah vody, a to volné nebo fyzikálně vázané. Vyjadřuje se poměrem množství vody v látce ke množství suché látky. Tento poměr může být vyjádřen poměrem hmotnosti vody k hmotnosti suché látky – hovoříme pak o vlhkosti hmotnostní, nebo objemem obsažené vody ku objemu vzorku látky – hovoříme pak o vlhkosti objemové. Při stanovení objemové vlhkosti předpokládáme, že se objem vzorku nemění, pokud tento předpoklad nelze učinit, nehovoříme a vlhkosti, nýbrž o kombinaci vlhkosti a bobtnavosti. Obsah vody obsažené v látce se prakticky nejnázne určí z rozdílu hmotnosti vzorku ve stavu vlhkém a následně vysušeném.

$$\text{Hmotnostní vlhkost bude tedy } W_h = \frac{m_k}{m_s} = \frac{m_w - m_s}{m_s}$$

$$\text{a objemová vlhkost } W_o = \frac{v_k}{v} = \frac{m_w - m_s}{\rho_k v}$$

kde m_s a m_w jsou hmotnosti suchého, resp. vlhkého vzorku látky,
 m_k je hmotnost vody, případně jiné v látce obsažené kapaliny,
 ρ_k je hustota vody, resp. jiné kapaliny,
 v je objem celé látky a v_x je objem kapaliny.

Protože na vlhkosti materiálu závisí řada ostatních vlastností, např. se vzrůstem vlhkosti stoupá objemová hmotnost, zvyšuje se tepelná vodivost, nastávají změny pevnosti, je vlhkost materiálů ve stavebním díle mnohdy zásadní vlhkost na níž závisí jeho správná funkce.

Určité množství vlhkosti obsahuje za daných atmosférických podmínek každá pevná látka. Množství vlhkosti je závislé na teplotě, na vzdušné vlhkosti, na pórovitosti, popřípadě na průměru pórů a tvaru jejich stěn, na množství hyroskopických solí v zavlhlé konstrukci a obvodového zdiva na světové straně.

Sorpční a desorpční vlhkost, rovnovážná vlhkost. Za ustálených teplotních a vlhkovostních poměrů dochází k rovnováze mezi vlhkostí materiálu a vlhkostí vzduchu, který je obklopuje. Je-li částečný tlak vodní páry v tělese nižší než v okolním vzduchu, pak těleso přijímá vodní páru ze vzduchu (sorpce). Je-li částečný tlak vodní páry v tělese vyšší, pak těleso vodní páru uvolňuje (desorpce).

Rovnovážná vlhkost je pro nejpoužívanější stavební materiály uvedena v na obr.č.4.

Je důležité si uvědomit, že po úspěšné sanaci vlhkého zdiva nelze očekávat, že se vlhkost zmenší pod uvedené hodnoty. Zpravidla nebude uvedených hodnot dosaženo! Dochází pouze ke zmenšení vlhkosti na novou menší hodnotu, která je dána vlastnostmi materiálu zdiva, teplotou a vlhkostí vzduchu. Jde o tzv. hyroskopickou rovnovážnou vlhkost.

Obr. č.4 Rovnovážná vlhkost stavebních materiálů při 5 °C a 85 % relativní vlhkosti vzduchu

Materiál	[%]	Materiál	[%]
cihelné zdivo	2,0	heraklit	5
omítky a malty ve spárách	4,5	perlit	až 100
železobeton	1,5	dřevotříska	7,0
pórobeton	5,6 - 6,0	azbestocement	10,0
skelná vata	1,5	písek	10,0
minerální plst'	11 - 26	hobra	12,0
škvárobeton	2,9 - 3,7	opuka	10,0
perlitbeton	3,0	pěnový polystyren	3,2 - 71

Zdroj: M. BALÍK A KOLEKTIV, *Odvlhčování staveb*. Grada Publishing., s. 90

Z praxe známe, že např.: "vysušení" nově postaveného cihelného domu trvá dva roky a obdobně to platí i pro zdivo po sanaci vlhkosti. Délku vysoušení zdiva je možno odhadnout z obr. č.5.

Obr. č.5 Čas vysychání zdiva stanovený výpočtem podle Gadierguese

Tloušťka neomítnutého zdiva [mm]	300	450	600	750	900	1050	1200	1350	1500	1650
Délka vysušování [roky]	0,8	1,6	2,8	4,5	6,3	8,5	11,0	14,0	17,0	21,0

Zdroj: M. BALÍK A KOLEKTIV, *Odvlhčování staveb*. Grada Publishing., s. 90

Nadměrnou vlhkostí zdiva rozumíme vlhkost hmot a materiálů ve zdivu, která podstatně zhoršuje funkci zdiva (statickou, tepelnou, elastickou) a vede k výkvětu solí a růstu mikroorganismů. Kritická vlhkost v trvalém stavu vede již k rozpadu povrchu zdiva a omítek. Projevuje se tmavnutím povrchů, s výraznými konturami, rekrystalizací materiálů. V okolí vlhkého místa s 6-9 % vlhkostí dobře rostou plísně, nad vlhkostí 10 % převládají bakterie a dřevokazné houby. Odborníci z oblasti sanace vlhkého zdiva budov uznávají jako přípustnou vlhkost 5 až 5,5 % (hmotnostní). Další důležitou vlastností porézních materiálů je nasákavost.

Nasákavost je možností vody, které pojme pórovitá látka, ponoří-li se do vody po určitou dobu. Podle nasákavosti můžeme usoudit na celkové množství tzv. otevřených pórů a na mrazuvzdornost stavební látky.

Obr. č.6 Pórovitost a nasákavost

Materiál	Pórovitost [%]	Nasákavost [%]
cihly pálené	20 - 37	17 - 31,5
malta cementová 1:4	31,5	24,7
malta vápenná 1:4	40,6	23,6
sádra	51 - 66	35 - 45
struska	59,9	59,5
písek	389,5	36,5
drobný štěrk	42,3	42,0
mramor	2,6	1,1
pískovec	0,5 - 25	0,5 - 24
vápenec	31,0	12,3
břidlice	1,6 - 2,5	1,6 - 1,8

Zdroj: M. BALÍK A KOLEKTIV, *Odvlhčování staveb*. Grada Publishing., s. 91

Obsah vody ve vzduchu vyjadřujeme buď relativní vlhkostí (%) nebo absolutní vlhkost ($\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$).

Procento nasycení vzduchu vodní párou je funkcí teploty. Relativní vlhkost je pro určitou hodnotu parciálního tlaku P_p (při stejné tenzi) různá při různé teplotě vzduchu. Při nasycení vzduchu vodní parou, tj. po dosažení maximální hodnoty P_p při dané teplotě vzduchu dosaženo tzv. rosného bodu (viz obr. 7 a 8.)

Obr. č.7 Rosný bod

Teplota vzduchu	[°C]	-20	-10	0	10	20	30
Max. množství páry ve vzduchu	[$\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$]	0,9	2,2	4,8	9,4	17,3	30,3

Zdroj: M. BALÍK A KOLEKTIV, *Odvlhčování staveb*. Grada Publishing., s. 92

Obr. č.8 Množství vodní páry ve vzduchu při různé relativní vlhkosti

Relativní vlhkost vzduchu [%]	Množství vodní páry ve vzduchu [g.m ⁻³] při teplotách vzduchu [°C]					
	-20	-10	0	10	20	30
30	0,3	0,7	1,4	2,8	5,2	9,0
40	0,35	0,9	1,9	3,8	6,9	12,0
50	0,45	1,1	2,4	4,7	8,7	15,0
60	0,54	1,3	2,9	5,6	10,0	18,0
70	0,63	1,5	3,4	6,6	12,0	21,0

Zdroj: M. BALÍK A KOLEKTIV, *Odvlhčování staveb*. Grada Publishing., s. 92

Ke kondenzaci kapilární dochází u pórů, jejich poloměr je větší než $0,5 \cdot 10^{-6}$ mm, protože poloměr molekuly vody je 10^{-7} mm. V pórech menších nedochází k difúzi vodních par. U zakřivených povrchů s poloměrem menším než 10^{-4} dochází ke kondenzaci vodních par mnohem dříve, než vznikne povrchová kondenzace.

Pro praxi to znamená, že při stejných vlhkostních a teplotních podmínkách a při stejném objemu pórů, se bude dvě stejné látky lišit od sebe vnitřní vlhkostí, jestliže jedna bude mít póry většího poloměru, než druhá.

Kapilární kondenzace je příčinou, proč jsou jemnozrnné horniny (např. opuky) a cementové malty za stejné teploty vlhčí. Místa vyspravená cementovou maltou nebo cementové omítky ve vlhkých sklepních prostorách jsou následkem toho vždy vlhké, zatímco jiné stavební materiály s většími póry zůstávají suché.

Obdobný případ nastává u nového a starého zdiva, kdy staré prosycené solemi zmenší kapiláry a drží více vlhkosti.

Dalšími vlastnostmi související s vlhkostí jsou navlhlost, vysýchavost a vzlínavost. Navlhlost a vysýchavost popisují chování látky při působení vzdušné vlhkosti. Jde o schopnost přijímat vzdušnou vlhkost a tak zvyšovat stav vlhkosti – tuto vlastnost nazýváme navlhlostí, nebo naopak schopnost zbavovat se vlhkosti látky odpařováním do ovzduší – tuto vlastnost nazýváme vysýchavostí. Obě vlastnosti je možné, stejně jako vlhkost, vyjádřit hmotnostně nebo objemově. Protože jde o vlastnosti navzájem vratné, je vzorec pro výpočet navlhlosti i vysýchavosti týž, liší se pouze znaménkem.

$$\text{Vysýchavost se hmotnostně vyjadřuje } v_h = \frac{\Delta m_k}{m_s} = \frac{m_{w,1} - m_{w,2}}{m_s}$$

$$\text{a objemově } v_o = \frac{\Delta v_k}{v} = \frac{m_{w,1} - m_{w,2}}{v \rho_k}$$

Indexy w, 1 a w, 2 označují hmotnost při vlhkosti 1, resp. 2, význam ostatních symbolů je stejný jako v předešlém případě. Většinou se udávají opět v %.

Navlhlost a vysýchavost závisejí na pórovitosti látky a navíc na velikosti pórů či kapilár v látce. Materiály, které se vyznačují vysokou navlhlostí, přijímají ze vzdušné vlhkosti velké množství vody, a tak silně zvyšují svůj stav vlhkosti, když nejsou přímo ve vodě ponořeny. Zvýšená vlhkost s pak projeví zhoršením tepelně izolační funkce materiálu. Toto je třeba charakteristické pro autoklávované pórobetony.

Vzlínavost je vlastnost látek, která se projevuje při jejich částečném ponoření do kapaliny. Vlivem kapilárních a sorpčních sil dojde ke stoupnutí kapaliny i nad čáru ponoru. Výška, do níž kapalina nad hladinu vystoupá, závisí na struktuře látky, tj. na její pórovitosti a kapilaritě, rychlosti odpařování do ovzduší na době, po kterou je látka v kapalině částečně ponořena. V první fázi ponoření nastane rychlé vzlínání kapaliny do látky, a s postupem času se přírůstky exponenciálně zmenšují, pokud činitelé ovlivňující odpařování do ovzduší-teplota, vlhkost vzduchu a rychlost proudění vzduchu kolem vzorku – se nemění.

V praktických případech se vzlínavost posuzuje výškou kapaliny, do níž vystoupila nad čáru ponoru, což se pozná odlišným zbarvením látky. V laboratorních měřeních se pro větší přesnost vzlínavost zachycuje přírůstkem hmotnosti částečně ponořeného vzorku.

Se vzlínavostí se nejčastěji setkáváme u nadzemního zdiva, které není izolováno proti zemní vlhkosti. Vzlínavostí materiálů se dostává vlhkost i do nadzemních místností, což působí závady na tepelně izolační funkci zdiva, opadávání omítek, nebezpečí tvorby plísní a zhoršení vnitřního klimatu.

Průzkum vlhkosti sanovaného stavebního objektu by měl být zpracován již ve fázi úvodních stupňů projektové dokumentace, minimálně od stupně zadání stavby. Realizace sanačních opatření může totiž výrazně ovlivnit i navrhované řešení objektu (dispozice, způsob využití jednotlivých prostor) a cenu rekonstrukce, v mezních případech může vést i ke změně původního investičního záměru. Může být zpracován jako součást komplexního průzkumu nebo ve formě samotné práce jako podklad pro projektanta nebo investora.

Provedení důsledného a podrobného průzkumu je základním předpokladem optimálního návrhu sanace objektu z hlediska vlhkosti a měl by vždy předcházet zpracování projektu sanačních opatření.

V rámci průzkumu se zjistí a shromáždí maximum údajů o sledované stavbě, na jejichž základě se provede analýza stavu a stanoví příčiny poruch. Závěrem průzkumu je návrh vhodných sanačních opatření.

Průzkum z hlediska vlhkosti je komplexní proces, jehož jednotlivé složky se v průběhu zpracování doplňují a navzájem ovlivňují. Pro snazší orientaci je možno jej rozčlenit na několik fází: zadání, shromažďování podkladů, vlastní průzkum, analýza stavu a zjištěných skutečností a koncepční návrh sanačních opatření (může být doplněn odhadem nákladů).

2.3. Teoretické aspekty pohybu vlhkosti v pórovitém systému stavebních materiálů

2.3.1 Pórovitý materiál a jeho definice

S pórovitými materiály se setkáváme v mnoha oborech činnosti: v průmyslu, v chemii, ve stavebnictví, ve vodním hospodářství, v ochraně životního prostředí atd. [2] Jednou z nejdůležitějších vlastností pórovitých materiálů je schopnost přijímat a vydávat vodu. Při těchto procesech voda materiálem protéká, dosycuje ho, případně jej odvodňuje, vlhkost materiálu se mění v prostoru i v čase. K pórovitým látkám patří různé přírodní materiály: horniny a zeminy, dřevo, rudy, uhlí, buněčné tkáně, stavební materiály, meziprodukty i výrobky potravinářského průmyslu, např. obilí, mouka, kakao aj., některé produkty spotřebního průmyslu, jako textilie, kůže, porcelán apod.

U mnoha materiálů, s nimiž se setkáváme, je v určitém objemu tuhé fáze přítomna jiná fáze. Prostory, které jsou zaplněny kapalnou a plynnou fází a jejichž rozměr je podstatně menší než rozměry uvažovaného tuhého tělesa, se nazývají póry, a to bez ohledu na jejich tvar, vzájemnou velikost a míru propojenosti. Tato hlediska se mohou objevit až v podrobnějších klasifikacích pórů. Látky označujeme jako pórovité, jestliže jsou póry v materiálu rozděleny tak, aby na systém mohla být aplikována kritéria kontinua. Protože

vlhkost pórovitého materiálu je proměnná v čase a míra jejich proměn závisí kromě působnosti vnějších faktorů také na tom, jak pórovitá látka umožňuje transport vody, je vhodnější nahradit objem pórů určitým transportním koeficientem.

Pórovité materiály dělíme do dvou skupin dle vlastností pórového systému spojeného se vznikem materiálu. Do první skupiny patří látky, u nichž se póry objevují jako součást vývoje a pórový systém je *primární*. Do druhé skupiny patří materiály, které vznikají volným nahloučením ojedinelých částic a póry se objevují mezi těmito částicemi, případně navíc ještě také mezi shluky (agregáty) částic. Pórový systém je *sekundární* a tyto látky se označují jako *partikulární*.

Pórovitý materiál buď nereaguje žádným způsobem s vodou a označujeme jej jako inertní. Jestliže pórovitý materiál reaguje s vodou, rozeznáváme materiály neinertní fyzikálně, fyzikálně chemicky, chemicky. V souvislosti s pórovitými materiály je důležitá velikost pórů. Přestože tvar pórů je prostorově značně proměnný, lze skutečnou velikost každého z pórů v daném místě definovat jako poloměr koule, která je v daném místě póru vepsaná.

Z hlediska transportních procesů jsou pórovité látky klasifikačně tříděny podle velikosti pórů:

1. *Submikroskopické (ultrkapilární) póry*, které jsou tak malé, že nemohou osahovat částice tekutiny, tj. jsou menší než střední volná dráha molekuly tekutiny. V těchto pórech nedochází k konvenci a nelze zde obvykle použít zákony mechaniky tekutin.
2. *Kapilární póry*, v nich dvě nemísitelné tekutiny jsou odděleny rozhraním, jehož tvar je určen tvarem póru a silami působícími na rozhraní, tj. vznikají zde kapilární menisky. Při proudění kapalin v těchto pórech dochází převážně k laminárnímu proudění.
3. *Makropóry (nekapilární póry)*, jejichž velikost je taková, že se v nich neuplatní kapilární síly a póry nemají vliv na utváření rozhraní mezi dvěma nemísitelnými tekutinami. Při proudění kapalin v těchto pórech může často docházet k turbulentnímu proudění.

Pórovité látky mohou obsahovat buď póry patřící pouze do jedné skupiny, potom jde o látky s homogenní vnitřní pórovitostí (např. kapilárně pórovité látky), nebo látky obsahující póry patřící do více skupin, potom je můžeme označovat jako látky s heterogenní vnitřní pórovitostí. V tomto případě je křivka rozdělení pórů (tj. závislost četnosti na velikosti pórů) obvykle nekontinuální, příkladem jsou horniny a zeminy s puklinami, tříděné kusové uhlí apod.

2.3.2. Pórovitost

V určitém objemu pórovité látky V_T je objem pórů V_p . Pórovitost Π je potom definována vzájemným poměrem těchto objemů, tedy [2]

$$\Pi = \frac{V_p}{V_T}$$

Pórovitost může být vyjádřena buď jako poměrné číslo podle vztahu $\Pi = \frac{V_p}{V_T}$, tedy $\Pi < 1$, nebo v procentech, kdy $\Pi = 100V_p/V_T$.

Hodnotu pórovitosti Π lze stanovit několika způsoby, ve všech případech se snažíme změřit určitou metodou objem pórů a objem pórovité látky.

2.3.3. Transport vody a vlhkosti v porézních materiálech

Vlhkost je nedílnou součástí prakticky všech pórovitých stavebních látek a z nich vytvářených konstrukcí. [3] Obtížnou se stává v situacích, kdy dochází k její kumulaci v určitých místech konstrukce, kde pak zrychluje degradační procesy a zhoršuje užité vlastnosti budovy. Zamezení takovým situacím předpokládá především správné pochopení mechanismů vázání a šíření vlhkosti stavebními materiály a konstrukcemi.

Vlhkost má velmi široký komplex účinků na stavební konstrukce. Šíří se porézními stavebními materiály jak v plynné fázi, tak i v kapalně. Přitom se uplatňuje řada průvodních jevů, jako jsou fázové změny, absorpce vody na stěnách pórového systému a kapilární efekty. Vlastní vedení obvykle dělíme na mechanismy difúze pro vodní páru a kapilární vedení pro kapaliny.

Při hodnocení příčin zvýšené vlhkosti je třeba analyzovat podíl, popřípadě dominantní úlohu některých forem transportu vlhkosti do nitra stavebních konstrukcí.

Porozita

Základní podmínkou všech vlhkostních pochodů v konstrukci je přítomnost pórů ve stavebních materiálech. Jde zejména o póry otevřené, neboť látky, které mají póry uzavřené, nepodléhají transportním procesům. Přítomnost otevřených pórů ve stavebních materiálech nejen umožňuje vlhkostní pochody, ale také je významně ovlivňuje.

Porézní strukturu materiálů a jí odpovídající tvary pórů charakterizují dva krajní modely porézní látky. První model vychází z představy tuhé látky jako kompaktní hmoty, ve které póry tvoří kanálky a dutiny.

Druhý, tzv. korpuskulární model, představují tuhé látky vzniklé shlukem malých částic a póry jsou v tomto případě tvořeny volnými meziprostory, které vzniknou dotykem nepravidelných částí různých velikostí a tvarů. Tvar pórů je určen velikostí a uspořádáním těchto částic. Stavební materiály svojí porézní strukturou nejlépe odpovídají korpuskulárnímu modelu.

Z hlediska transportních procesů jsou pórovité látky klasifikovány podle velikosti pórů. Velikost pórů ovlivňuje zaplňování pórů vodou absorpčními a kapilárními silami. Podle posledních výzkumů (25) se póry dělí do těchto základních skupin:

- submikroskopické (ultrkapilární) póry, které mají poloměry menší než 10^{-9} m. Rozměry těchto pórů jsou porovnatelné s rozměry molekuly. V těchto pórech se mohou vytvářet řetězce vody a voda se nemůže těmito póry pohybovat;
- kapilární póry – v pórech o velikosti v rozmezí 10^{-9} až 10^{-3} m voda chová jako v soustavě kapilár, pohyb vody je vyvoláván povrchovým napětím, tedy kapilárními silami. Kapilární póry se dále dělí:
 - kapilární mikropóry $2 \cdot 10^{-9}$ - $2 \cdot 10^{-6}$;
 - kapilární přechodové póry;
 - kapilární makropóry;
- makropóry a vzdušné póry – ve větších pórech se kapilární síly neuplatňují, neboť dutiny jsou již tak rozsáhlé, že v nich převládá vliv gravitace.

Z technického hlediska je důležité brát pórovou strukturu jako základní informaci při rozhodování o sanačních opatřeních. Z celkové porozity zdiva se zjistí, kolik vody se do zdiva může dostat, důležitá je vlastní distribuce pórů, tj. rozdělení pórů podle velikosti jejich poloměrů.

Difúze

U objektů, ve kterých vytváříme vnitřní klima nezávislé na proměnách vnějšího klimatu, dochází k rozdílům mezi vlhkostí vzduchu, resp. teploty v exteriéru a v interiéru. Vyrovnáváním těchto rozdílů vzniká tok vlhkosti a tok tepla obalovými konstrukcemi. Směr difúzního toku je dán snahou po vyrovnání existujících rozdílů z místa s vyšší koncentrací vodních par (teplejší místo) do místa s nižší koncentrací (chladnější místo). Tento transport vlhkosti se nazývá difúze. Podle Fickova zákona vzniká hustota hmotnostního toku vodní páry v případě, že koncentrace vodní páry c není v daném objemu stejná, a platí:

$$q_p = -D * \frac{\partial c}{\partial x}$$

kde je q_p hustota hmotnostního toku vodní páry ($\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$);
 c koncentrace vodní páry (kg/m^3);
 D součinitel difúze vodní páry příslušným materiálem (m^2/s).

Kapilární vedení vlhkosti

Dalším základním transportním mechanismem vlhkosti je kapilární vedení, které je charakteristické pro vodou smáčivé materiály, což je naprostá většina stavebních látek. Při kontaktu pórovitého materiálu s vodou dochází k intenzivnímu nasávání vody nezávisle na sklonu póru. Zde je důležité si uvědomit, že materiály s většími póry nasákávají sice rychle, avšak výška vzlinutí je nízká. Navíc jemně pórovité materiály mají několika násobně vyšší sací síly než materiály hrubě pórovité.

U obvyklých stavebních konstrukcí jsou taková nasycení vodou, kdy dochází ke kapilárnímu vedení vody, nepřístupná. Při správném konstrukčním řešení stavebního detailu se lze problematice kapilárního vedení vyhnout. Výjimku představují nové konstrukce, kdy technologická voda je transportována k povrchu konstrukce jak difúzí, tak kapilárním vedením a vypařováním.

Vzlinající vlhkost je nejčastější způsob vlhnutí konstrukcí vystavených působení zemní vlhkosti. Vzlinání vody lze ve zjednodušené formě vysvětlit prostřednictvím mechanismu kapilární elevace. Ta je charakterizována rozdílem výšky hladiny kapaliny v kapiláře proti úrovni hladiny v okolí. Tento jev vyvolávají kapilární síly mezi molekulami kapaliny a povrchem pevné látky. Povrchové napětí způsobuje, že se sloupec kapaliny v kapiláře pohybuje ve směru výslednice sil. V kapiláře s kruhovým průřezem působí povrchové napětí na stykové ploše v oblasti odpovídající obvodu póru.

Pro maximální výšku vzlinání vlhkosti v kapilárách platí:

$$h = \frac{2 * \sigma * \cos \Theta}{r * \rho * g}$$

Kde je q povrchové napětí kapaliny (N/m)
• Θ úhel smáčení mezi kapalinou a stěnou kapiláry ($^\circ$);
• r poloměr kapiláry (m);
• ρ měrná hmotnost kapaliny (kg/m^3);
• g tíhové zrychlení $9,81\text{m}/\text{s}^2$.

Skutečná výška vzlinutí bývá menší než výška stanovená výpočtem, neboť současně probíhá i odpařování vlhkosti z materiálu.

Pro smáčivé kapaliny se $\cos\Theta$ blíží 1. U vody můžeme počítat s povrchovým napětím přibližně $0,0765 \text{ g}/\text{cm}$. Z toho vyplývá, že lze zjednodušit:

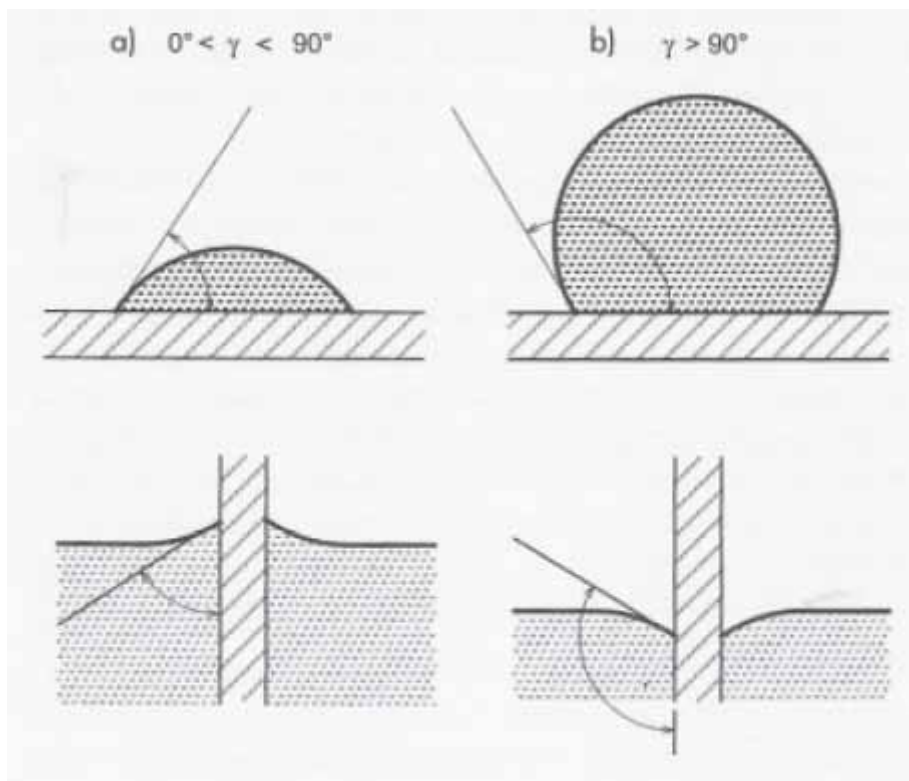
$$h = \frac{0,0000149}{r} (m) = \frac{0,149}{r} (cm)$$

Střední průměr kapilár ve zdivu se pohybuje kolem 10^{-5} m, tomu odpovídá výška vztlínání cca 1,49 m. Uvedenou hodnotu potvrzuje praxe, neboť velká část starších objektů je zavlhčena do výšky okolo 1,5 m nad terénem.

Jsou-li stěny kapilár pokryty látkami, které ztěžují nebo zabraňují smáčení, změní se odpovídajícím způsobem úhel Θ . Je-li úhel smáčení větší než 90° , dostaneme pro cosinus zápornou hodnotu, to znamená i zápornou výšku vztlínání. Hovoříme pak o tzv. kapilární depresi a proces označujeme jako hydrofobitu.

Vztlínání je dynamické jev, u něhož nerozhoduje pouze kapilární výška, ale také rychlost, s jakou se voda pohybuje do zóny odpařování, a čas potřebný k dosažení kapilární výšky h .

Obr. č. 9 Smáčecí úhel na styku tuhé a kapalné fáze
a – smáčení; b – nesmáčení – hydrofóbní materiál



Zdroj: M. BALÍK A KOLEKTIV, *Odvhčování staveb*. Grada Publishing., s. 40

Rychlost vztlínání se určí ze vztahu:

$$v = \frac{r * \sigma * \cos \Theta}{4 * \eta * h}$$

kde je η viskóza kapaliny.

Čas, který potřebuje voda k dosažení výšky h , se podle vzorce:

$$t = \frac{2 * \eta * h^2}{r * \sigma * \cos \Theta}$$

Transport vlhkosti vztlínáním se projevuje u stavebních materiálů s poloměrem pórů od 10^{-7} do 10^{-4} m. Vztlínání závisí na tvaru a poloměru pórů. Se zmenšujícím se poloměrem pórů roste výška vztlínání, s rostoucím poloměrem se zvětšuje množství vlhkosti pronikající do zdiva. Největší transport vlhkosti se odehrává v pórech o poloměru 10^{-5} m.

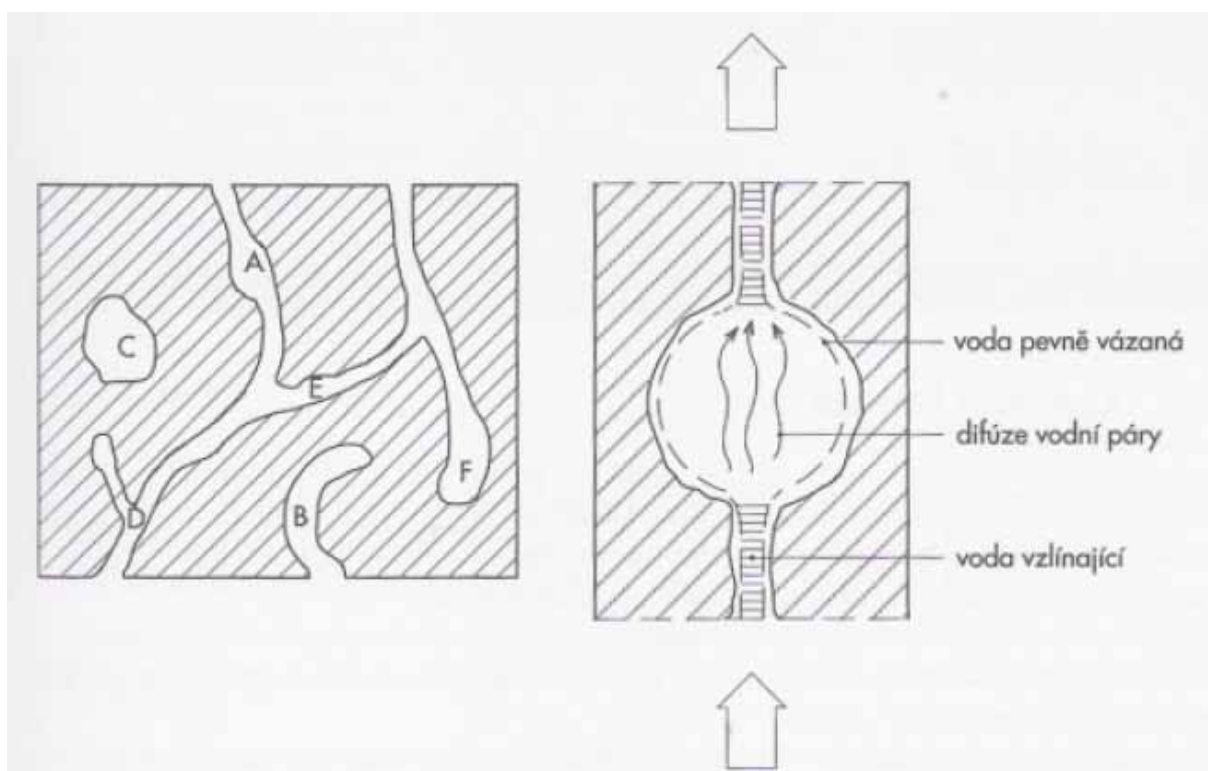
Voda stoupá kapilárou, ale nepronikne přes pór velkého průměru, neboť kapilární zdvih je menší než výška kapiláry. Transport vlhkosti se však nezastaví. Voda se na konci kapiláry odpaří a difunduje k protější stěně, kde pára opět kondenzuje a v tekutém stavu vztlíná kapilárními k dalšímu póru.

Mimo volné vody vztlíná po stěnách kapilár a póry vrstvička pevně vázané vody v tloušťce několika molekul. Na povrchu kapiláry tvoří pevný film, který má jiné fyzikální vlastnosti než voda volná. Nemrzne při teplotě $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ a nelze ji zcela odpařit ani při několika stech stupních.

Výše uvedené vztahy jsou platné pro vodu, ve které nejsou rozpuštěny soli.

Obr. č. 10 Geometrie pórů a detail prostupu vlhkosti kapilárami a dutinami zdiva

A–otevřené póry; B–slepené póry (jednocestné) ; C–uzavřené póry; D–rozvětvené; E–spojovací; F–lahvovitě



Zdroj: M. BALÍK A KOLEKTIV, *Odvhlčování staveb*. Grada Publishing., s. 4

Voda vztlínající z podzákladí je nasycena množstvím rozpuštěných minerálů a solí. Tyto látky vnášené do zdiva vztlínáním postupně krystalizují a sedimentují na stěnách pórů. Vytvořené krystaly minerálů a solí způsobují rýhování stěn pórů. Zmenšují tak průměry pórů a dochází ke změně pórové distribuce. Proto bývá u starších budov výška vztlínání vyšší než u budov novějších ze stejných materiálů. V důsledku distribuce pórů jemných i velkých není rozhraní mezi vlhkým a suchým materiálem ostré. V jemných kapilárách vystoupí voda výše, v hrubých naopak níže než je teoreticky odhad.

Obr. č.11 Pohyb vody v kapilárách zdiva

Poloměr kapiláry	1 mm	0,1 mm	0,01 mm	0,001 mm	0,0001 mm
h – max. výška vzlinutí	1,49 cm	14,9 cm	1,49 m	14,9 m	149 m
v – rychlost vzlinutí pro $h = 1$ cm	172 cm/s	17,2 cm/s	1,72 cm/s	0,172 cm/s	0,0172 cm/s
t – čas pro $h = 1$ cm	0,003 s	0,03 s	0,3 s	3 s	30 s
Material (příklad)	staré makro-porézni malty	zdivo	zdivo	zdivo	hlina, jíł

Zdroj: M. BALÍK A KOLEKTIV, *Odvěhčování staveb*. Grada Publishing., s. 42

Obr. č.12 Dynamika vzlinání (podle Kamenčáka)

Velikost zrn [mm]	Kapilární výška [mm]	Čas [dny]
2,1	114	80
0,5	241	100
0,16	28	138
0,072	490	191
0,025	880	244
0,016	2500–3600	300–475

Zdroj: M. BALÍK A KOLEKTIV, *Odvěhčování staveb*. Grada Publishing., s. 42

3. Rozbor stávajícího stavu

3.1. Řešení po povodních – vypořádání se s povodněmi

Hlavní město České republiky, Prahu, postihla v srpnu 2002 povodeň, která byla svým rozsahem, průtokem a důsledky nejničivější v novodobé historii města. Dvě mimořádně vydatné vlny srážek ve dnech 6. 8. – 7. 8. 2002 a 11. 8. – 12. 8. 2002, které zasáhly postupně téměř celé území povodí Vltavy, způsobily extrémní průtoky na bezmála všech tocích ve správě Povodí Vltavy s.p. Povodeň, která tím vznikla, překročila objemově i velikostí průtoků na mnoha lokalitách všechny známé povodňové průtoky, tedy i v hl. m. Praze. Hladiny vodních toků protékajících hl. m. Prahou v řadě případů přesáhly povodňové značky nejvyšších zaznamenaných historických povodní.

Zabránit povodním a zcela zamezit škodám je obtížné a ekonomicky málo reálné, a to zejména v případě povodní katastrofálního rozsahu, ale určitě šlo některé negativní dopady zmírnit a tím o něco zmenšit škody. Protipovodňová ochrana, všechny plány a opatření, které jsou zpracovány a realizovány, byly připraveny na stoletou vodu. V preventivních opatřeních je co napravovat především v oblasti zvyšování retenční schopnosti krajiny a revitalizace toků a také musíme respektovat přírodu a např. nestavět tam, kde se voda vylévala z břehů i dříve. Z organizační úkonů nebyla na dostatečné výši činnost povodňových a krizových orgánů, jejich koordinace s dalšími složkami, např. integrovaného záchranného systému, Českým hydrometeorologickým ústavem, správci vodohospodářsky významných toků apod.

Metodika návrhů sanací, druhy sanací

Sanace vlhkého zdiva zahrnuje systém hydroizolačních, vysušovacích a stavebních opatření, jejichž cílem je dosažení trvalého snížení obsahu vlhkosti ve zdivu a tím i dosažení požadovaných tepelně-izolačních vlastností konstrukcí a požadované vlhkosti vzduchu v interiérech sanovaných budov.

Způsob sanace vlhké stavby by měl být vždy určen na základě průzkumu, podle výsledků analýzy příčin vlhkostních poruch. Nejdříve bychom měli odstranit příčiny zavlhčení zdiva a teprve posléze řešit jejich důsledky. Jelikož se však jedná většinou o celý souhrn problémů, nevystačíme v praxi jen s jedinou metodou sanace, ale musíme je různým způsobem kombinovat. [4]

Základní podmínkou všech sanačních zásahů je odstranit zatékání vody do objektu. Proti pronikání vlhkosti z přilehlé zeminy lze u zapuštěných stěn obvykle provést svislé izolace, šterkové zasypy nebo jiná podobná opatření. Vhodnou úpravou tepelně vlhkostního režimu budovy nebo zateplením obvodového pláště lze omezit i kondenzaci vzdušné vlhkosti na povrchu chladných stěn. Důležité je eliminovat i působení hygroskopických solí, které podle zkušeností představují výše uvedené vlivy až 70 % všech vlhkostních poruch.

Souvisí-li zavlhčení zdiva s trvalým vzlínáním vlhkosti z podzákladí nebo zdroj vlhkosti pod terénem nelze odstranit či alespoň snížit na přijatelnou míru (např. vzduchovými systémy nebo drenáží), bývá většinou nutné objekt izolovat. Přiměřenost sanačního zásahu lze v konkrétním případě ještě konfrontovat s významem prostor nebo konstrukcí, jež mají být před vlhkostí chráněny. Jako pomocné kritérium může sloužit i vzájemný poměr vlhkého zdiva a kubatury místností. Lze říci, že větší prostor snese vlhčí zdivo.

Rozdělení sanačních metod lze provést dle:

Přímé metody sanace vlhkého zdiva [4]

- mechanické - vkládané hydroizolace do proříznuté spáry nebo do probouraných otvorů, zatlučené profilované nerezové plechy
- chemické - infúzní a tlakové napouštění zdiva chemickými prostředky
- elektroosmotické - instalace aktivní elektroosmózy
- vzduchoizolační - vzduchoizolační systémy
- doplňkové - hydroizolační vrstvy, vnější nátěry a nástřiky

Nepřímé metody sanace vlhkého zdiva

- odvodnění okolí stavby pomocí drenáží a terénních úprav
- přirozené i nucené větrání místností
- jímání vlhkosti z vnitřního vzduchu pomocí sušících přístrojů
- sanační omítkové systémy - samy o sobě neodstraňují příčiny vlhkosti

Kombinaci nejvhodnějších metod volíme tak, aby způsob sanace odpovídal příčinám a stupni zavlhčení, charakteru zdiva, případně statickému narušení. Důležité je i využití prostor, tj. zda jsou sanované místnosti určeny pro dlouhodobý pobyt osob nebo uskladnění předmětů citlivých na vlhkost. Jinou metodu lze volit u sklepních prostor, jinou u obytných místností, skladu.

3.3. Metody měření vlhkosti

Rozložení vlhkosti v konstrukci a její časové změny jsou jednou z klíčových informací pro posouzení stavu konstrukcí. Zodpovědné stanovení diagnózy vlhkého zdiva musí vycházet z co nejpřesnějších informací, především z objektivního zjištění skutečného vlhkostního stavu zdiva. [3]

Principy určování vlhkosti:

- oddělování vody od pevné fáze;
- stanovení obsahu vody na základě specifických vlastností vody a vodních par;
- stanovení obsahu vody na základě měření dalších veličin, které jsou v přímé souvislosti s obsahem vody a jsou jím ovlivněny.

Obr. č.13 Hmotnostní obsah vody ve zdivu

Typ budovy	Část budovy	w_1 zvýšená [% hm.]	w_2 vysoká [% hm.]
objekty určené k bydlení (včetně hotelů, penzionů)	pokoje	4	6
	interiérové chodby	5	6
	exteriérové chodby	6	7
	omítnuté sklepy	8	10
suterény ke komerčnímu využití	místnosti	5	7
	chodby, schodiště	6	7
školy, banky, administrativní budovy	interiérová pracoviště, učebny	4	6
	ostatní	6	6
vytápěné shromažďovací prostory		7	8
muzea, galerie, depozitáře		5	7
kostely, nevytápěné haly		8	9
archivy, sklady papíru a materiálů		4	6
fasády	budou opatřeny sanačními maltami	9	11
	ostatní	7	9
opukové nebo cihelné rožně zdivo	bude spárováno sanačními materiály	9	13

Zdroj: M. BALÍK A KOLEKTIV, *Odvlhčování staveb*. Grada Publishing., s. 81

Metody měření vlhkosti lze rozdělit:

- podle způsobu odběru vzorku:
 - destruktivní – pro určení vlhkosti je odebírán vzorek materiálu;
 - nedestruktivní – stanovení obsahu vlhkosti je nejčastěji prováděno příložným přístrojem nebo je měřící čidlo zabudováno přímo do měřícího materiálu;
- podle způsobu měření:
 - přímé – měřenou veličinou množství vody v materiálu, která je oddělena od pevné fáze, vzorek materiálu je odebírán destruktivně;

- nepřímé – měřena je konkrétní fyzikální veličina v závislosti na měnící se vlhkosti materiálu (elektrický odpor, elektrická kapacita, tepelná vodivost, pohlcování γ - záření atd.), měření je nedestruktivní.

Gravimetrická (vážková) metoda

Podstatou metody je oddělení vody od pevné fáze a stanovení jejich hmotností. Princip spočívá v odebrání vzorku, jeho uložení do těsně uzavíratelné nádoby, aby se předešlo ztrátě vlhkosti, zvážení a sušení vzorku až do ustálení hmotnosti.

Rozdíl hmotnosti m_w vlhkého vzorku a m_s suchého vzorku je roven hmotnosti vody, která ve vzorku byla obsažena. Hmotnostní vlhkost vzorku s určí ze vztahu:

$$w_k = \frac{(m_w - m_s)}{m_s} * 100 \% \text{ hm.}$$

Kde je m_w hmotnost vlhkého materiálu (g)

m_s hmotnost suchého materiálu (g)

w_h hmotnostní vlhkost (% hm.)

Při měření vlhkosti gravimetrickou metodou nezáleží na druhu materiálu, jehož vlhkost je zkoumána. Největší výhodou této metody je právě její nezávislost na dalších parametrech materiálu a není tedy třeba sestavit kalibrační křivku. Proto je vážková metoda považována za standardní a univerzální.

Hlavní nevýhodou metody je destruktivní charakter odběru vzorku a tím znemožněné kontinuální sledování vlhkosti v určeném místě a časové zpoždění informace, neboť výsledek obdržíme až po vysušení odebraného vzorku. Přes uvedené nevýhody je tato metoda stále nejužívanější a nejpřesnější. Gravimetrická metoda se využívá pro kalibraci ostatních nepřímých metod.

Stanovení obsahu vlhkosti je možné také přímo in situ na sušících vahách – zařízeních, které tvoří analytické váhy se spirálovým ohřevem. Vzorek je však omezen hmotností do 5 g a musí být rozdrcen.

Elektrické metody měření vlhkosti

Tyto nepřímé metody jsou založeny na měření elektrických veličin, která jsou ovlivněna vlhkostí měřeného materiálu. Protože však reagují kromě vlhkosti i na další fyzikální a chemické vlastnosti a stavy materiálu, musí být každé elektrické zařízení na měření vlhkosti kalibrováno pro příslušný stavební materiál zvlášť.

Z elektrických metod se používá především kapacitní a odporová metoda, které se nejlépe osvědčily pro měření povrchové vlhkosti zdiva. Příložený vlhkoměr stanovuje hodnoty vlhkosti materiálu do hloubky max. 50 mm pod povrchem konstrukce. Požívá se pro rychlé orientační stanovení vlhkosti, je vhodné pro stanovení rozhraní suchých a vlhkých částí konstrukce a pro určení výšky zavlhčení zdiva.

Kapacitní metoda měření vlhkosti

Obecně je kapacitní metoda měření vlhkosti založena na principu měření změny kapacity kondenzátoru, jehož dielektrikem je zkoumaný stavební materiál. Změna kapacity je závislá právě na vlhkosti materiálu.

Vlhký materiál může být z hlediska elektrického pole považován za nestejnorodé dielektrikum, které je jako celek charakterizováno hodnotou relativní permitivity ϵ .

Jelikož kapacita deskového kondenzátoru (tj. zkoumaného materiálu) a hodnota relativní permitivity běžných stavebních materiálů (beton, zdivo apod.) leží v rozmezí 1 až 10 (pro

vzduch je rovna přibližně 1 a po vodu je 82), závisí celková kapacita především na množství vody materiálu, neboli na jeho vlhkosti.

Kapacitní metody jsou založeny na měření buď přímo relativní permitivity ε_r , nebo jiné veličiny na relativní permitivitě závislé. Pro relativní permitivitu platí vztah:

$$\varepsilon_r = \frac{A}{(B - w_h)^2}$$

kde je w_h hmotnostní vlhkost;

A a B konstanty závislé zejména na objemové hmotnosti měřeného materiálu jeho pórové struktuře.

Měření vlhkosti kapacitní metodou není prakticky ovlivňováno okolní teplotou a rovněž vliv solí rozpuštěných ve vodě je zanedbatelný. V oblasti nízkých vlhkostí zdiva (0-6%) lze touto metodou získat relativně přesné výsledky bez ohledu na množství soli ve zdivu. U vlhkostí nad touto hranicí je už rozptyl naměřených hodnot poměrně velký a s ním klesá i přesnost této metody. Pro extrémně vlhké konstrukce již touto metodou nelze získat výsledky s požadovanou přesností.

Odporová metoda měření vlhkosti

Princip metody spočívá v měření měrného odporu vlhkého materiálu, který se velmi výrazně mění s vlhkostí. Vlhkost vyskytující se v materiálu je z hlediska vedení elektřiny elektrolytem s různou koncentrací, což znamená, že vodivost materiálu se zvětšuje při nárůstu vlhkosti. Vlhké stavební materiály lze z hlediska vedení elektrického proudu považovat za homogenní polovodivé látky.

Závislost elektrického odporu R_E na hmotnostní vlhkosti w_h lze v určitém rozmezí vlhkosti vyjádřit vztahem:

$$R_E = \frac{a}{w_h^b} * (1 + \alpha * \Delta T)$$

kde je T teplota;

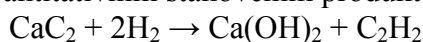
α koeficient teplotní změny elektrického odporu;

a, b konstanty závislé na chemickém složení pórové vody, na vlastnostech tuhé fáze a na objemové hmotnosti měřeného materiálu

Měření vlhkosti ovlivňuje především přechodový odpor mezi měřicími elektrodami a materiálem, geometrické uspořádání elektrod, chemické složení elektrolytu (obsah solí v měřeném materiálu) a geometrické rozložení vlhkosti. Dobrých výsledků měření se dosahuje při rovnoměrném rozložení vlhkosti ve zdivu. Značný vliv na měření má teplota. Pro nenasolené zdivo je metoda schopna poskytnout poměrně přesné výsledky zejména při rovnoměrném rozložení vlhkosti v materiálu. U zasoleného zdiva je vhodné touto metodou měřit hodnoty vlhkosti maximálně do 6% hmotnostní vlhkosti. Se stoupající vlhkostí a obsahem solí ve zdivu vypovídací schopnost této metody výrazně klesá.

Chemické metody

Z chemických metod se uplatňuje především metoda karbidu vápníku. Využívá chemické reakce vody v rozdrčeném vzorku měřeného materiálu s karbidem vápníku a určuje vlhkost kvantitativním stanovením produktu této reakce:



Při reakci karbidu vápníku s vodou vzniká acetylén. Reakce probíhá okamžitě, tlak vyvinutého plynu je měřítkem pro vlhkost, která se odečte z tabulky. [3]

Způsob měření musí být objektivní (u elektrických metod je nutné přístroj pro dané zdivo cejchovat). Zadání, tj. způsob budoucího využívání daných prostor, často vyžaduje i měření relativní vlhkosti, mikroklimatu, spojené s měřením teplot (někdy i povrchových, zejména podzemních a přízemních zdí). Tato fáze průzkumu je přímo spojená s budoucím větráním, event.klimatizací a se způsoby vytápění.

4. Experimentální měření

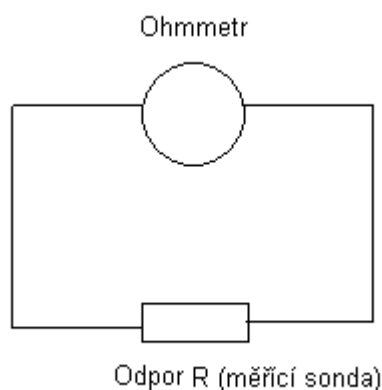
4.1. Popis použité měřicí metody

V rámci experimentální části této práce byla při měření použita vodivostní elektrická odporová metoda měření vlhkosti, což je metoda nepřímá a nedestruktivní. Tato metoda je založena na principu, kdy je měřena konkrétní fyzikální veličina v závislosti na měřící se vlhkosti materiálu. Změna obsahu vody přítomné v materiálu se projevuje změnou jeho měrného odporu. Čím nižší měrný odpor v našem případě materiálu sondy, tím menší ztráta elektrického proudu se nám ztratí ve formě tepla, což znamená najít materiál, který by měl měrný odpor co nejmenší (např. měď, stříbro, zlato, hliník aj.). Odpor se přitom mění o několik řádů. Typická hodnota měrného odporu suchého materiálu je 10^8 až $10^{13} \Omega \cdot m$ a vlivem vlhkosti může klesnout až na $10^{-4} \Omega \cdot m$. Pro srovnání: měrný odpor čisté vody je řádově $10^5 \Omega \cdot m$ při teplotě $20^\circ C$. [6]

Při tomto experimentu bylo použito dvou metod měření:

Přímé měření zkušebního vzorku sondy které se provádí digitálním multimetrem. Tento přístroj vychází svým principem z Thomsonova můstku. Výsledné naměřené hodnoty nám vyjdou přímo v jednotkách odporu Ω , případně $k\Omega$, $M\Omega$ atd.

Obr. č.14 Elektrické zapojení přímého měření odporu



Nepřímé měření se provádí diskrétními přístroji, digitálním voltmetrem a ampérmetrem, napájení je stabilizovaným zdrojem. Výsledné naměřené hodnoty nám vyjdou v miliampérech a nepřímé měření využívá výpočtu odporu dle Ohmova zákona

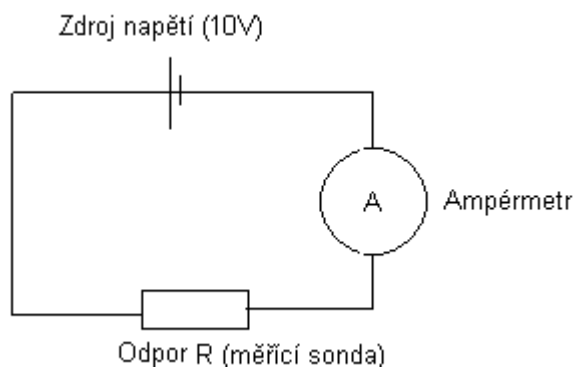
$$R = \frac{U}{I} (\Omega)$$

kde R měřený odpor /experimentální sonda/ (Ω)

U úbytek napětí (V)

I proud (A)

Obr. č.15 Elektrické zapojení nepřímého měření odporu

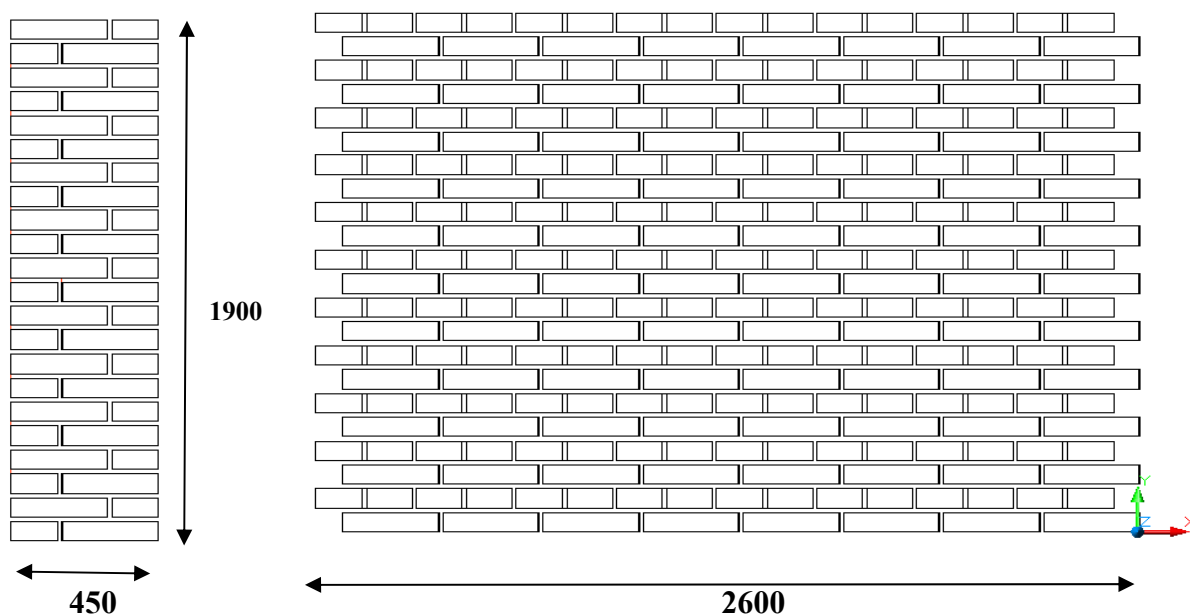


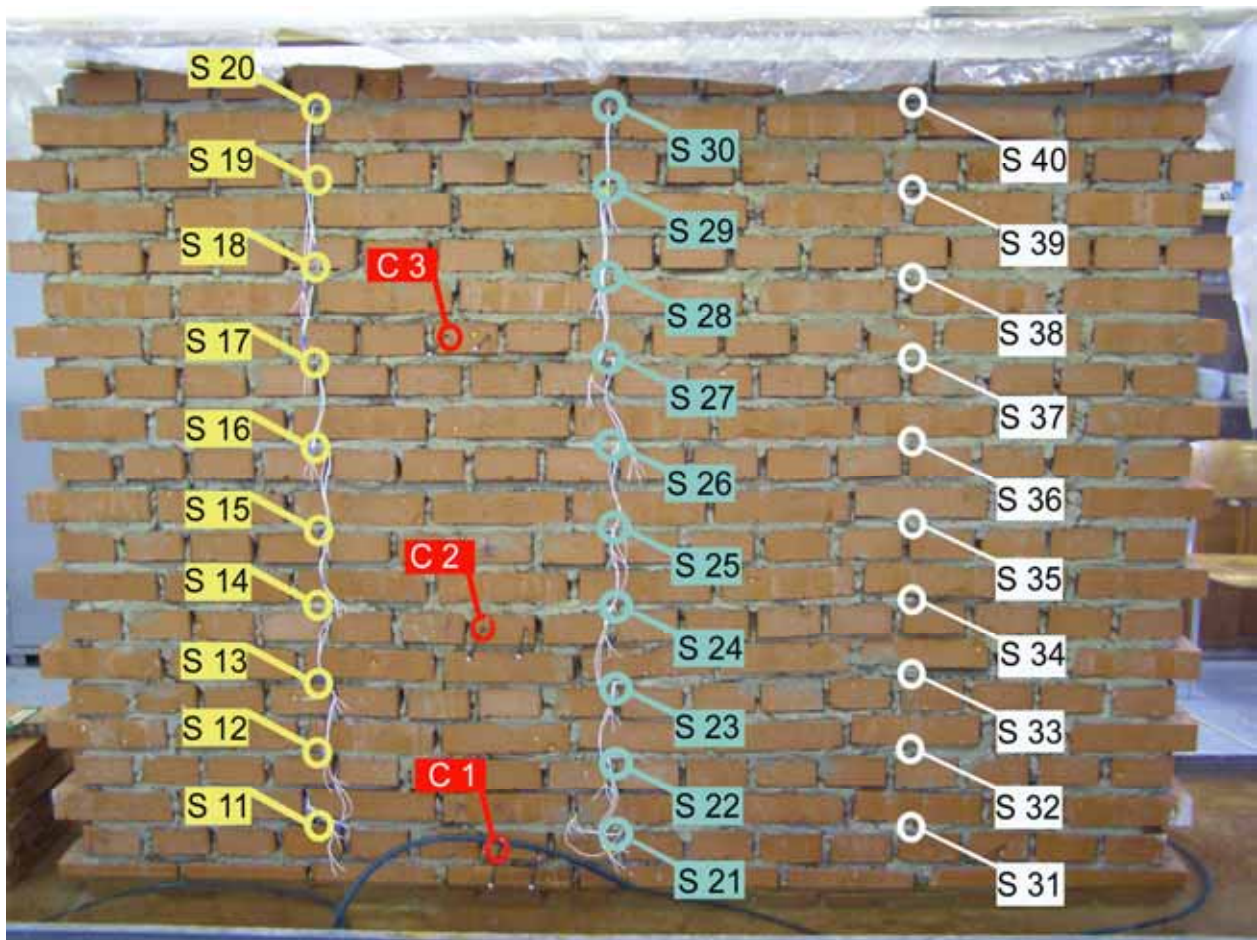
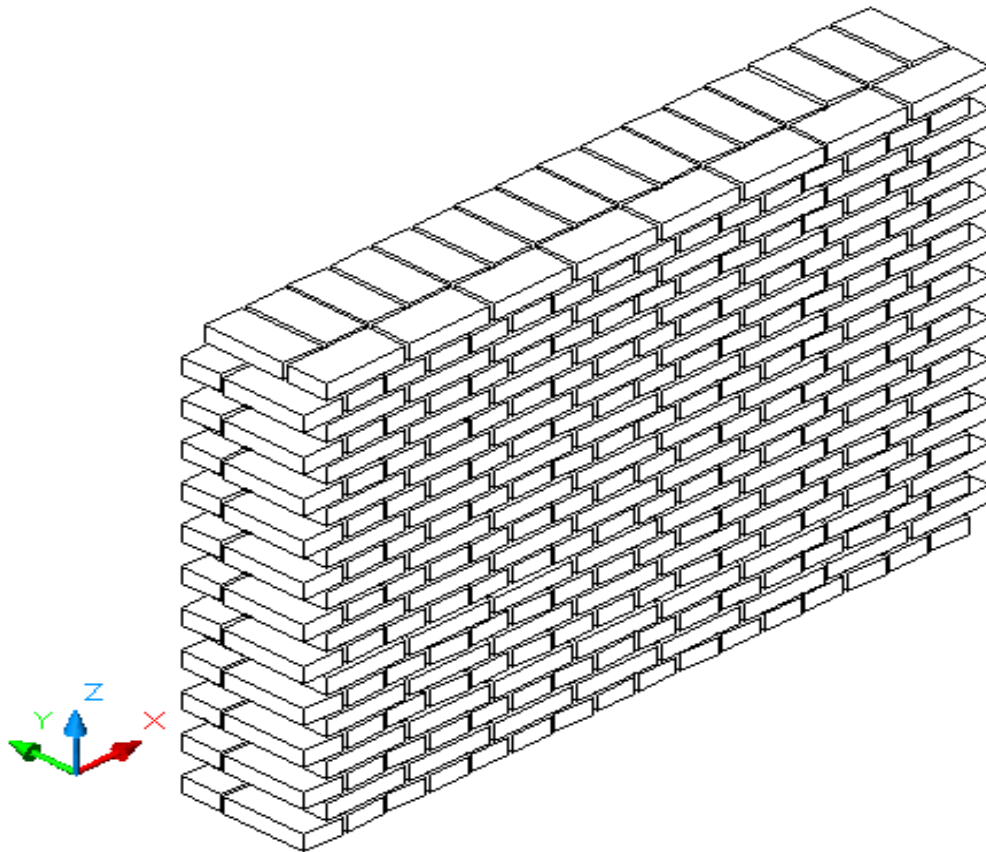
4.2. Vlastní průběh měření

4.2.1 Materiál a příprava vzorků

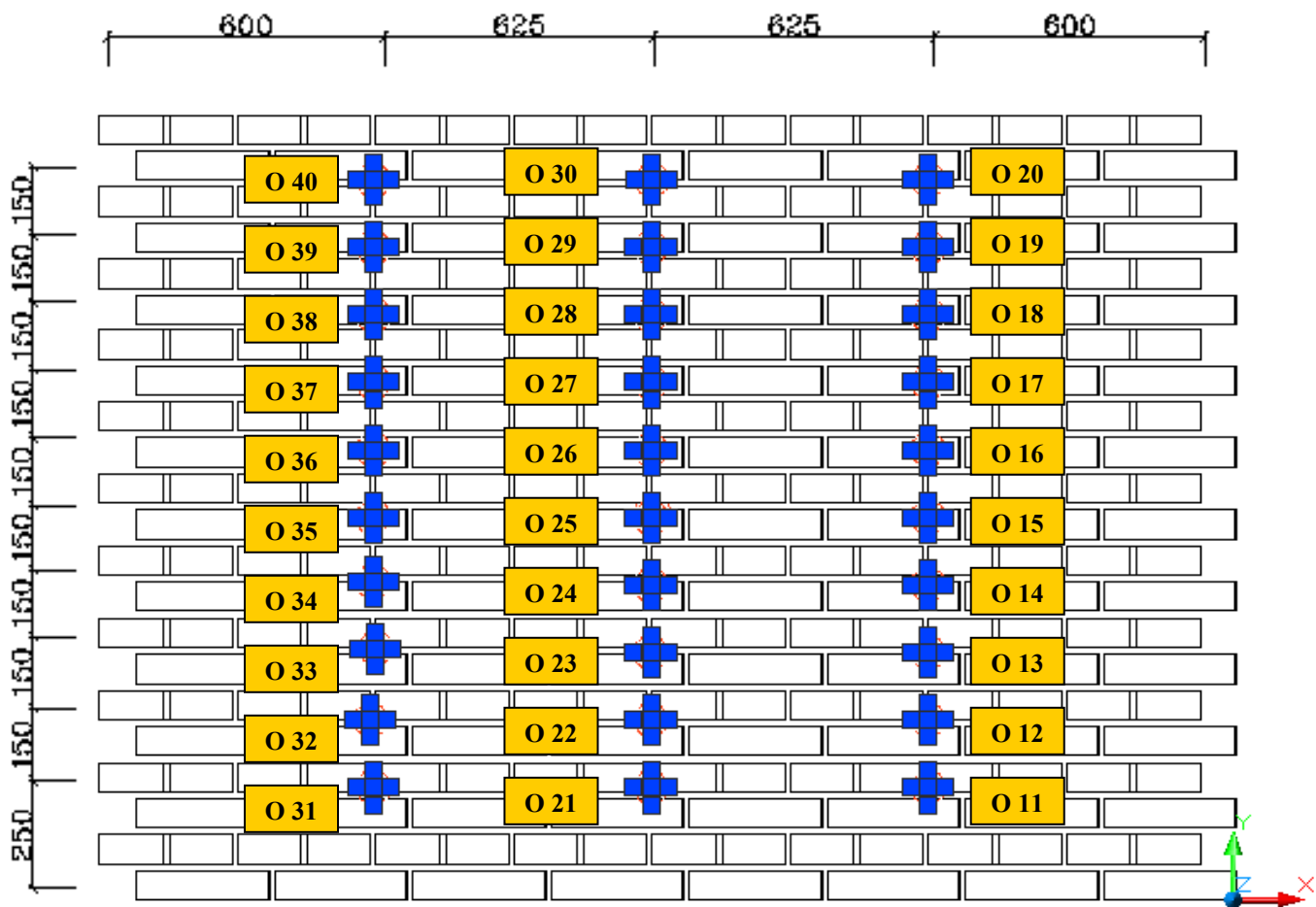
Na základě povodní v Praze Karlín v roce 2002 byla na Dopravní fakultě Univerzity Pardubice katedře Dopravní infrastruktury v laboratoři vystavěna cihelná zeď, která byla podrobena experimentálnímu zkoumání vlhkosti. Byla vyžděna do předem vyrobené a připravené plechové vany sloužící k pozdějšímu zatopení zdiva a osazena různými druhy a typy sond. Použity byly odporové, kapacitní a kartáčové sondy a přímé dotykové měření vlhkosti omítky a cihelného zdiva. Při měření odporů jednotlivých sond bylo použito odporové metody a nepřímá metoda měření. Rozmístění a rozměry jsou uvedeny a vyznačeny na obr.č. 16 – 19. Připravená zeď byla zatopena do výška 14 cm a po dobu 3 měsíců bylo na osazených sondách každý den prováděno měření. V průběhu měření byla nejprve zeď zakryta fólií z důvodů zvýšení vlhkosti vzduch a později byla na zeď čerpána voda na přímé zvýšení vlhkosti zdiva. Na základě těchto výsledků, které se ukázaly poměrně nepravidelné a nepřesné, vychází cíl této práce, kdy byla dále podrobena zejména odporová metoda měření spolu se sondami k podrobnějšímu zkoumání.

Obr. č. 16 – základní rozměry zdi





Obr. č. 17 – přední strana zdi, umístění snímačů S 11 - S 40 a C 1 - C 3



Obr. č. 18 – Zadní strana zdi, měřená místa 011-040, schéma

Obr. č.19 – Zadní strana zdi, měřená místa 011-040, fyzické znázornění



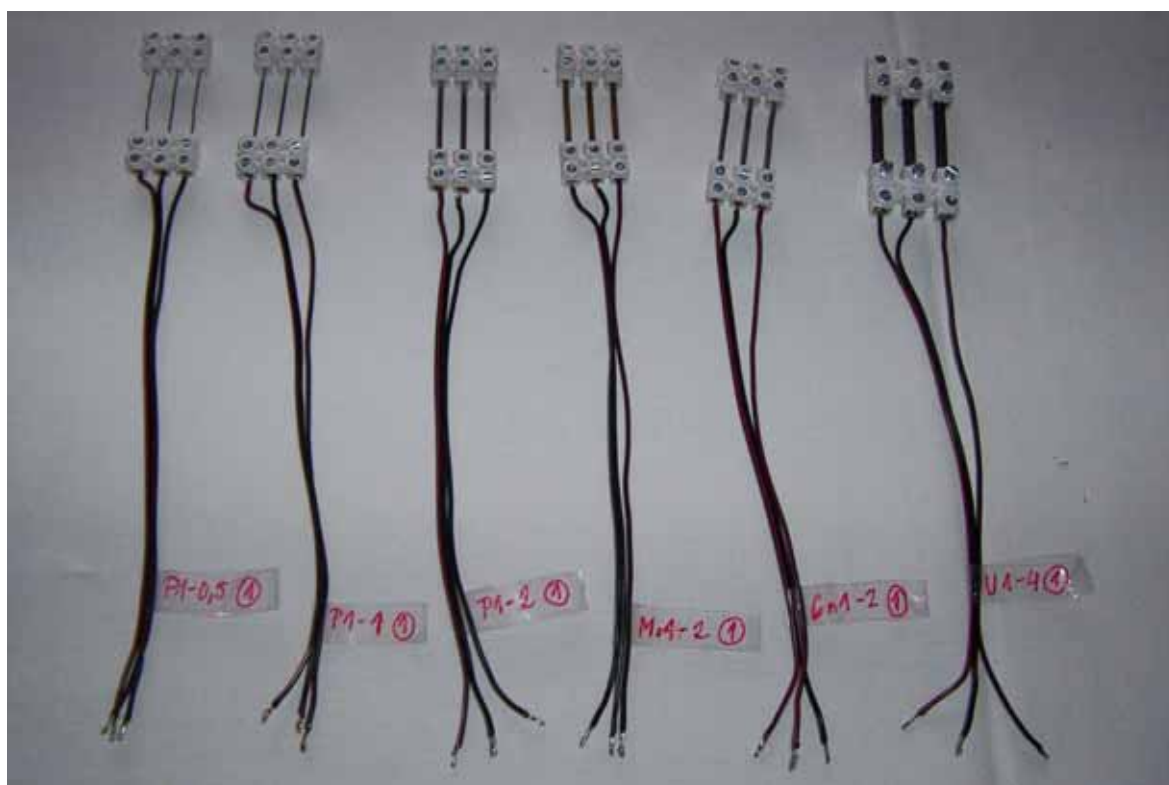
Pro vlastní experimentální část této práce bylo zhotoveno 12 zkušebních těles představující měřící sondy. V 6 vzorcích bylo použito 4 různých druhů materiálu elektrod o stejném i různém průřezu, totéž složení bylo použito i na stávající zbytek 6 vzorků, které byly posléze použity do dvou skupin rozdělených podle různé zrnitosti maltové směsi MV1 a MV2, do které byly vzorky usazeny. Každý vzorek byl nakonec označen dle materiálu a tyto údaje o značení zaneseny do předem vytvořené tabulky pro zápisy měření.

Druhy použitého materiálu:

- Zinek (Zn), prostý drát o délce 3,5 cm, \varnothing 0,5 mm, 1,0 mm, 2,0 mm
- Mosaz (Ms63), prostý drát o délce 3,5 cm, \varnothing 2,0 mm,
- Cín (Cn), prostý drát o délce 3,5 cm, \varnothing 2,0 mm
- Uhlík (U), tyčinka o délce 3,5 cm, \varnothing 3,5 mm
- Vápenocementová ruční suchá maltová směs MV-1, (Zrnitost směsi 0 - 1,2 mm)
- Vápenocementová ruční suchá maltová směs MV-2, (Zrnitost směsi 0 - 4,0 mm)
- Svorka lámací elektrikářská
- Kabel CYH 2x0,15mm
- Sádra stavební a elektrikářská

Pro měření daného experimentu byly použity kovové elektrody v podobě prostých drátů různého materiálu a průřezu, které mají být v kontaktu s měřenou látkou. Tyto kovové elektrody o délce 3,5 cm byly uchyceny po třech do jedné řady do elektrikářských svorek, z nichž byly vyvedeny kabely pro měření o délce 20 cm, a z důvodů zachování přesné geometrie uložení a dokonalým kontaktem elektrod s pórovitým materiálem byly zality do sádrových bločků mající tvar hranolu. Tyto sádrové bločky působí pufrovitě na vliv chemického složení pórové vody a změna koncentrace rozpuštěných látek se neprojeví tak výrazně ve změně vodivosti. Při průchodu proudu elektrodami vzniká polarizační napětí, protože se jedná o iontovou vodivost. Abychom toto polarizační napětí vyloučili, používáme pro měření buď velmi slabých proudů, nebo lépe střídavých proudů. Takto zhotovené vzorky byly poté uloženy do maltové směsi. Zde byly vytvořeny dvě skupiny z různých maltových směsí, malta o zrnitosti MV-1 a MV-2 po 6 vzorcích a vytvořeny z nich měřící sondy připravené k experimentu. Na obrázcích č. 20 a 21 je ukázka vzorků při jejich výrobě.

Obr. č.20 Výroba zkušebních vzorků



Obr. č.21 Výroba zkušebních vzorků



4.2.2 Použité přístroje

Pro měření odporu přímou metodou byl použit digitální multimetr METRAhit 28S. Tento ruční digitální multimetr má 4 místný duální displej s rozlišením 10 000 číslic a s možností podsvícení ve stupních intenzity. Kromě měření stejnosměrného a střídavého (True RMS) napětí a proudu, disponuje multimetr i dalšími funkcemi jako jsou měření odporu, kapacity, frekvence, teploty, min/max a možnost detekovat nespojitosti ve spínačích nebo relé. Přesnost měření ss napětí až 0,09% umožňuje jednoduše odhalit i malé odchylky v měřeném signálu. Multimetr může pracovat v rozsahu provozních teplot od -10 °C do +50°C a je napájen pomocí 4 AAA baterií. Rozsah pro měření odporu je 1mΩ - 30MΩ.

Pro měření nepřímou metodou byl použit procesorem řízený střídavý laboratorní zdroj s rozsahem napětí 0...255 V a maximálním výstupním proudem 1 A. Výstupní napětí se získává transformací síťového napětí 230 V / 50 Hz odděleným transformátorem. Díky tomu má výstupní napětí čistý sinusový průběh 50 Hz. Minimální změna napětí je 1 V. Ovládání zdroje se provádí pomocí klávesnice umístěné na čelním panelu přístroje nebo pomocí osobního počítače. Nastavená a změřená hodnota napětí se zobrazuje na samostatných třímístných displejích LED. Pro měření střídavého proudu byl použit jednoduchý multimetr MS8221A s rozsahem střídavého proudu:2-20-200mA-10A.

Pro vážení zhotovených vzorků byla použita váha KERN model EW.6000.1M, napájení je síťovým adaptérem.

- průměr vážící plochy 140 mm (172x142mm)
- EU cejchuschopná
- průhledný výměnný plastový kryt těla váhy
- rozsah 6000g,

Pro sušení zhotovených výrobků byla použita sušárna - VENTICELL zaručují díky patentovanému systému nucené cirkulace vzduchu (ventilátor) homogenní rozložení teploty ve všech procesech sušení a ohřívání. Větší rychlost a přesnost všech postupů temperování zajišťuje ekonomičnost provozu. Vhodné zejména pro materiály s vysokou vlhkostí. Teplotní rozsah od 10°C nad okolní teplotou do 250°C. Odchylky teploty při uzavřené větrací klapce a dveřích prostorově cca ± 1 až 2,5 % z dosažené teploty vzestupně podle vnitřního objemu komor, časově cca ± 0,4°C pro všechny vnitřní objemy komor.

Standardní linie:

- s mikroprocesorovým řízením
- 3 nastavitelné programy
- časový rozsah 99 hod 59 min
- rozhraní RS 232 pro připojení tiskárny nebo PC
- možnost zpožděného zapnutí a vypnutí
- zvukový alarm

4.2.3 Postup zkoušek

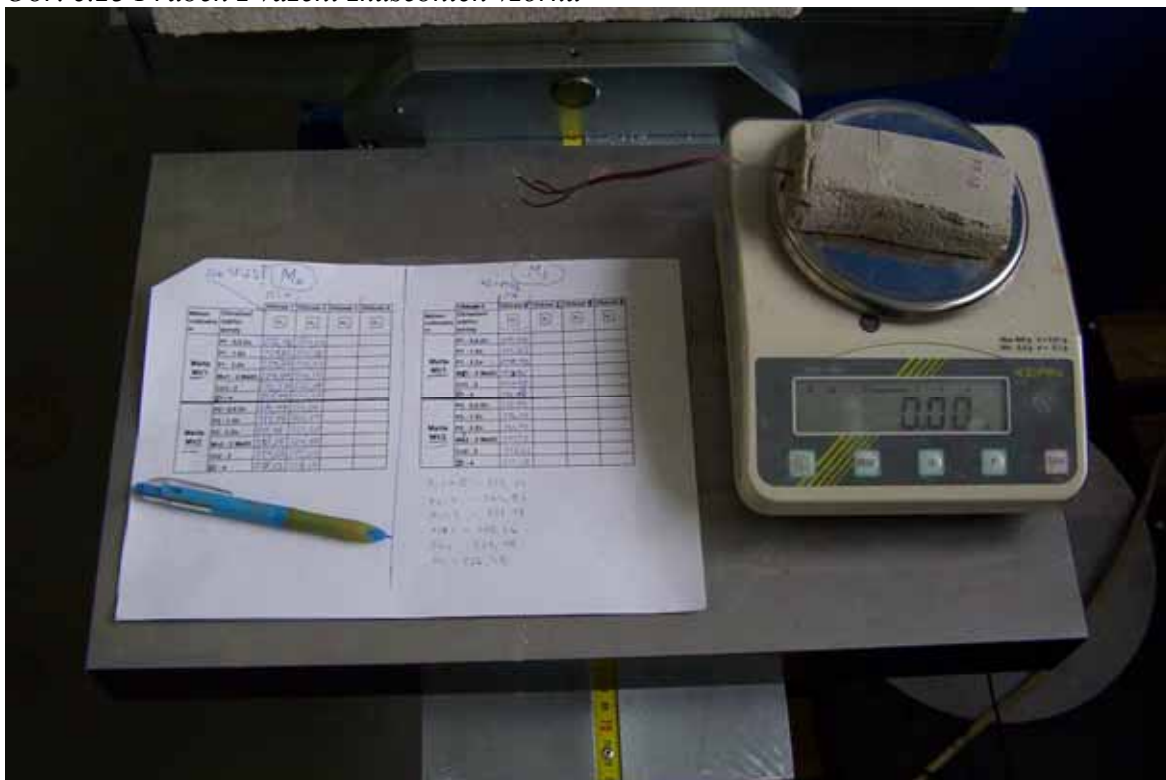
Byly provedeny celkem tři zkoušky, které probíhaly v laboratoři na Katedře dopravní infrastruktury, zkouška č. 1, 2, 3 a měření na třech různých druzích vlhkosti u zkušebních vzorků. Při první zkoušce byly zkušební vzorky ponořeny do vodní lázně na dobu 4 hodin, u druhé 9 hodin a u třetí 24 hodin, ostatní úkony byly pro všechny zkoušky stejné. Po vytažení z vodní lázně byly vzorky rozděleny do dvou skupin podle zrnitosti maltové směsi a připraveny pro měření. Nejdříve byly změřeny přímou metodou ohmmetrem a naměřené hodnoty zaznamenány do tabulky. Totéž bylo provedeno opět, ale metodou nepřímou, kdy z připraveného zdroje o hodnotě 10 V střídavého napětí byl změřen ampérmetrem procházející proud a změřené hodnoty opět zaznamenány do tabulky.

Obr. č.22 Průběh z měření zkušebních vzorků



Poté byly jednotlivé navlhčené vzorky zváženy na příslušné váze a změřené hodnoty zaznamenány do tabulky. Po zvážení byly všechny vzorky přesunuty do sušičky, kde se nastavila teplota na hodnotu 105 °C / 24 hodin. Po vysušení byly vzorky opět zváženy a naměřené hodnoty zaznamenány do tabulky. Ukázky z průběhu zkoušek jsou na obr. č. 22,23.

Obr. č.23 Průběh z vážení zkušebních vzorků



4.3. Vyhodnocení

Po provedení a ukončení měřících zkoušek byly z naměřených hodnot z tabulek nejdříve vyhodnoceny veličiny pro určení hmotnostní vlhkosti zkušebních vzorků, které byly rozděleny do dvou skupin dle různé zrnitosti maltové směsi. Výsledné hodnoty jsou shrnuty v tabulce č. 1, kde jsou zaneseny hmotnosti vlhkých vzorků ze třech zkoušek, v tabulce č. 2, kde jsou zaneseny hmotnosti suchých vzorků a v tabulce č. 3, kde byla vypočtena z tabulek č.1 a 2 gravimetrickou metodou hmotnostní vlhkost jednotlivých zkušebních vzorků dle

$$w_k = \frac{m_w - m_s}{m_s} * 100 \% \text{ hm.}$$

Tabulka č.1 Hmotnost vlhkého vzorku

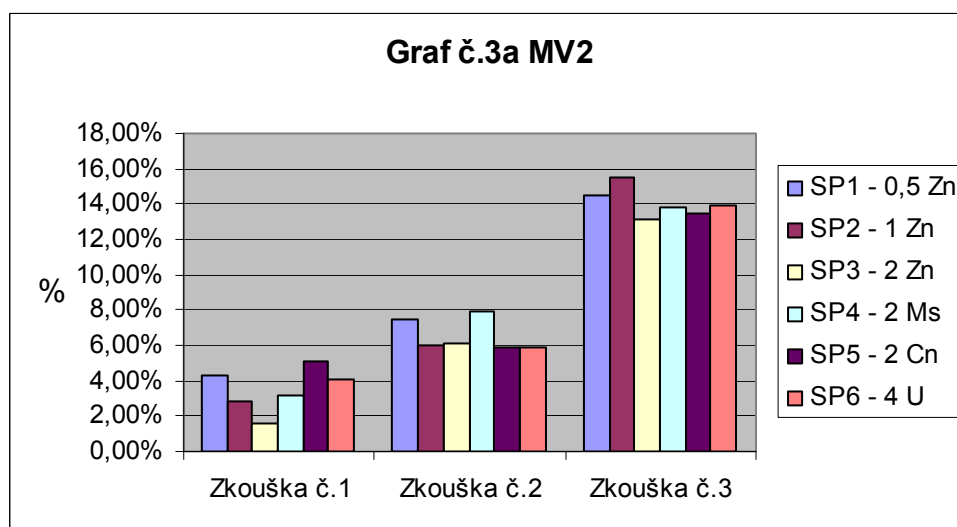
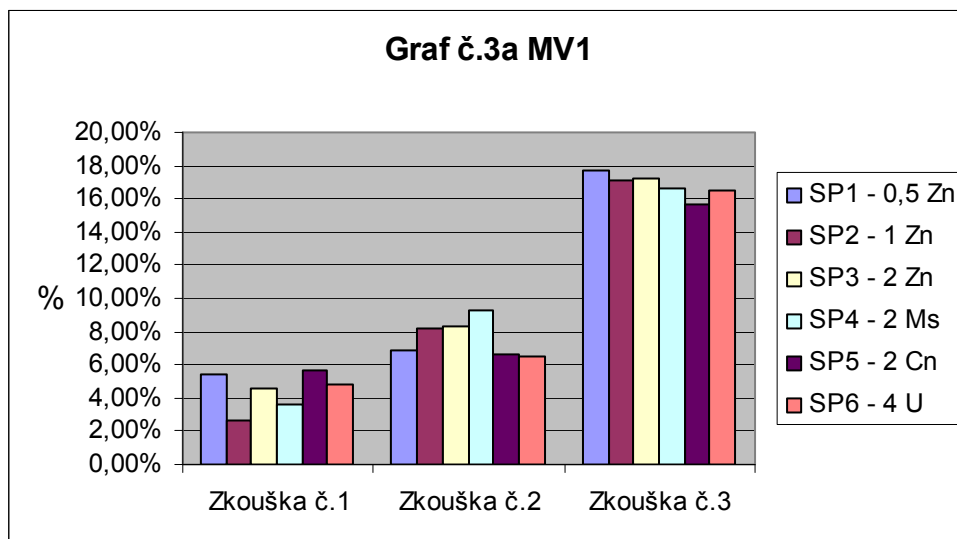
	Hmotnost vlhkého vzorku m_w			
		Zkouška č.1	Zkouška č.2	Zkouška č.3
	Označení sondy	m_w	m_w	m_w
Malta MV1	SP1 - 0,5 Zn	219,45	226,96	251,07
	SP2 - 1 Zn	196,16	221,82	241,05
	SP3 - 2 Zn	212,41	229,77	249,57
	SP4 - 2 Ms	200,81	224,44	240,5
	SP5 - 2 Cn	217,73	246,57	266,88
	SP6 - 4 U	221,44	251,79	276,68
Malta MV2	SP1 - 0,5 Zn	298,57	314,97	340,06
	SP2 - 1 Zn	296,94	313,77	342,79
	SP3 - 2 Zn	294,62	311,98	333,48
	SP4 - 2 Ms	319,13	335,55	354,88
	SP5 - 2 Cn	318,98	334,22	359,47
	SP6 - 4 U	305,44	318,02	343,37

Tabulka č.2 Hmotnost suchého vzorku

	Hmotnost suchého vzorku m_s			
		Zkouška č.1	Zkouška č.2	Zkouška č.3
	Označení sondy	m_s	m_s	m_s
Malta MV1	SP1 - 0,5 Zn	208,23	212,34	213,33
	SP2 - 1 Zn	191,03	204,91	205,8
	SP3 - 2 Zn	203,09	212,19	212,9
	SP4 - 2 Ms	193,89	205,46	206,16
	SP5 - 2 Cn	206,03	231,18	230,77
	SP6 - 4 U	211,31	236,48	237,4
Malta MV2	SP1 - 0,5 Zn	286,21	292,99	297,02
	SP2 - 1 Zn	288,89	296,09	296,83
	SP3 - 2 Zn	289,98	294,03	294,81
	SP4 - 2 Ms	309,43	311,06	311,88
	SP5 - 2 Cn	303,41	315,63	316,67
	SP6 - 4 U	293,51	300,38	301,27

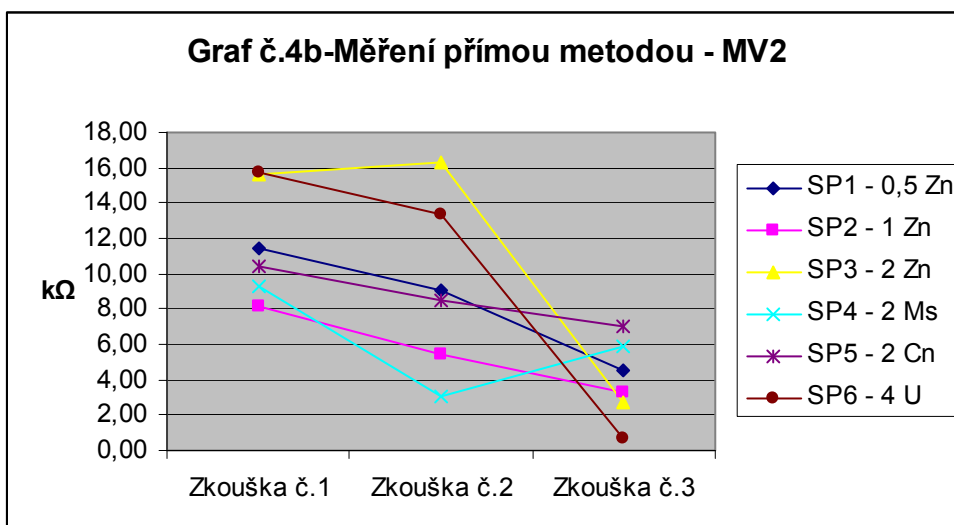
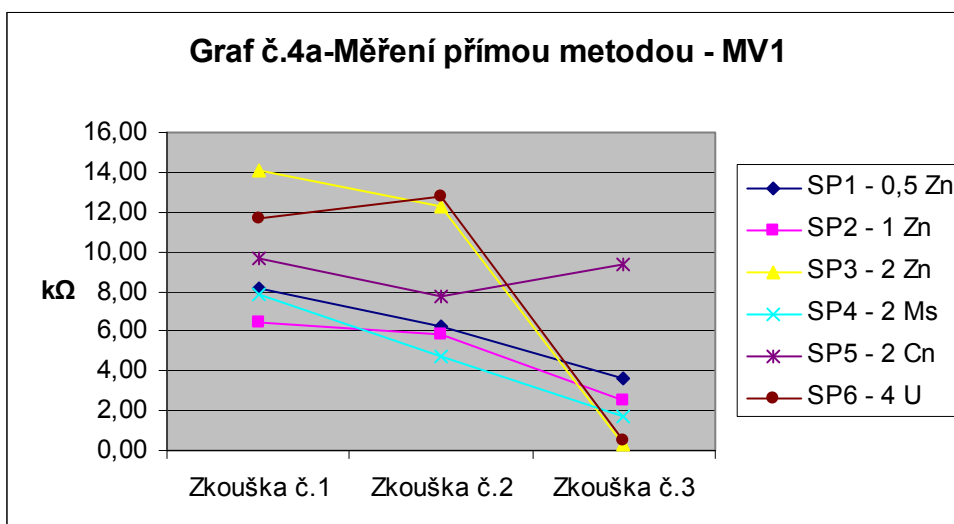
Tabulka č.3 Hmotnostní vlhkost zkušebních vzorků

Výsledná hmotnostní vlhkost w_k				
	Označení sondy	Zkouška č.1	Zkouška č.2	Zkouška č.3
Malta MV1	SP1 - 0,5 Zn	5,39%	6,89%	17,69%
	SP2 - 1 Zn	2,69%	8,25%	17,13%
	SP3 - 2 Zn	4,59%	8,29%	17,22%
	SP4 - 2 Ms	3,57%	9,24%	16,66%
	SP5 - 2 Cn	5,68%	6,66%	15,65%
	SP6 - 4 U	4,79%	6,47%	16,55%
Malta MV2	SP1 - 0,5 Zn	4,32%	7,50%	14,49%
	SP2 - 1 Zn	2,79%	5,97%	15,48%
	SP3 - 2 Zn	1,60%	6,10%	13,12%
	SP4 - 2 Ms	3,13%	7,87%	13,79%
	SP5 - 2 Cn	5,13%	5,89%	13,52%
	SP6 - 4 U	4,06%	5,87%	13,97%



Tabulka č.4 Výsledná tabulka naměřených hodnot přímou metodou

Měření přímou metodou - hodnoty v kΩ				
	Označení sondy	Zkouška č.1	Zkouška č.2	Zkouška č.3
Malta MV1	SP1 - 0,5 Zn	8,15	6,25	3,62
	SP2 - 1 Zn	6,48	5,80	2,52
	SP3 - 2 Zn	14,08	12,26	0,29
	SP4 - 2 Ms	7,86	4,69	1,74
	SP5 - 2 Cn	9,71	7,78	9,32
	SP6 - 4 U	11,69	12,82	0,52
Malta MV2	SP1 - 0,5 Zn	11,41	9,05	4,54
	SP2 - 1 Zn	8,14	5,38	3,26
	SP3 - 2 Zn	15,65	16,30	2,77
	SP4 - 2 Ms	9,29	3,09	5,91
	SP5 - 2 Cn	10,47	8,45	7,05
	SP6 - 4 U	15,74	13,32	0,67



Dále bylo vyhodnoceno měření přímou metodou a naměřené hodnoty zaneseny do tabulky č. 4 pro jednotlivé sondy, pro různé skupiny zrnitosti maltové směsi MV1 a MV2 a pro jednotlivé zkoušky vlhkosti č.1 – 3. Uvedené hodnoty jsou naměřeny v jednotkách odporu, k Ω .

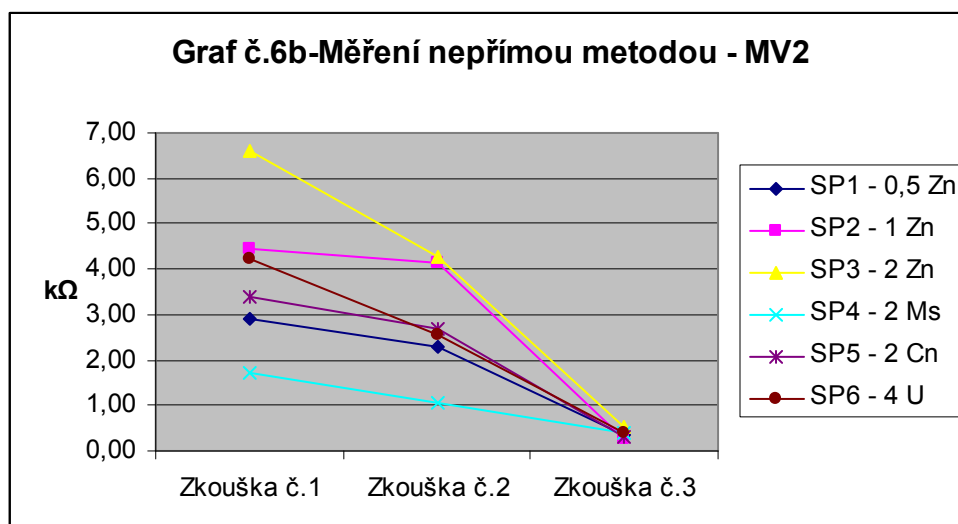
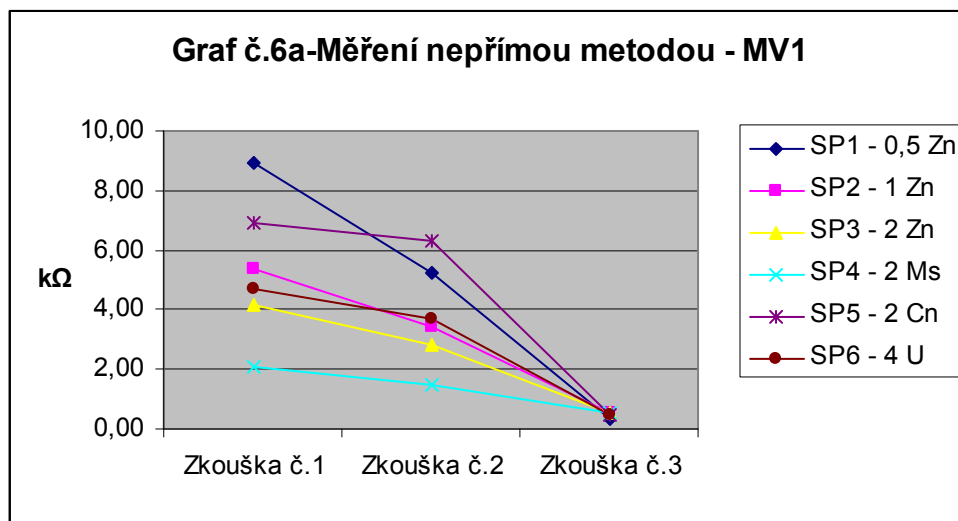
Opět bylo vyhodnoceno měření, ale tentokrát nepřímou metodou a naměřené hodnoty zaneseny do tabulky č. 5, opět pro jednotlivé sondy, pro různé zrnitosti maltové směsi MV1 a MV2 a pro jednotlivé zkoušky vlhkosti č.1 – 3. Uvedené hodnoty jsou tentokrát naměřeny v jednotkách elektrického proudu, miliampérech (mA). Tyto jednotky byly poté převedeny pomocí ohmova zákona na jednotky odporu, k Ω a zaneseny do tabulky č. 6.

Tabulka č.5 Výsledná tabulka naměřených hodnot nepřímou metodou

Měření nepřímou metodou - hodnoty v mA				
	Označení sondy	Zkouška č.1	Zkouška č.2	Zkouška č.3
Malta MV1	SP1 - 0,5 Zn	1,12	1,92	28,40
	SP2 - 1 Zn	1,86	2,93	19,60
	SP3 - 2 Zn	2,41	3,53	18,70
	SP4 - 2 Ms	4,82	6,90	19,00
	SP5 - 2 Cn	1,45	1,58	21,80
	SP6 - 4 U	2,13	2,71	22,40
Malta MV2	Označení sondy	Zkouška č.1	Zkouška č.2	Zkouška č.3
	SP1 - 0,5 Zn	2,25	3,42	27,50
	SP2 - 1 Zn	2,05	2,23	37,80
	SP3 - 2 Zn	1,51	2,34	19,30
	SP4 - 2 Ms	5,86	9,66	24,30
	SP5 - 2 Cn	2,96	3,74	30,00
SP6 - 4 U	2,37	3,91	25,10	

Tabulka č.6 Převod jednotek z mA na k Ω z naměřených hodnot nepřímou metodou

Nepřímá metoda - převod jednotek z mA na kΩ				
	Označení sondy	Zkouška č.1	Zkouška č.2	Zkouška č.3
Malta MV1	SP1 - 0,5 Zn	8,93	5,21	0,35
	SP2 - 1 Zn	5,38	3,41	0,51
	SP3 - 2 Zn	4,15	2,83	0,53
	SP4 - 2 Ms	2,07	1,45	0,52
	SP5 - 2 Cn	6,90	6,33	0,45
	SP6 - 4 U	4,69	3,69	0,44
Malta MV2	Označení sondy	Zkouška č.1	Zkouška č.2	Zkouška č.3
	SP1 - 0,5 Zn	2,92	2,31	0,36
	SP2 - 1 Zn	4,44	4,12	0,26
	SP3 - 2 Zn	6,62	4,27	0,51
	SP4 - 2 Ms	1,71	1,04	0,41
	SP5 - 2 Cn	3,39	2,67	0,33
SP6 - 4 U	4,22	2,56	0,39	



Dále byly vyhodnoceny naměřené hodnoty z tabulek č.3, což je výsledná vlhkost a č.4 a 6, což jsou závislosti vlhkosti spolu s naměřenými hodnotami z každé jednotlivé sondy a tyto hodnoty byly zaneseny do příslušných tabulek a příslušných grafů č. 7 – 30 těchto jednotlivých sond. Tabulky spolu s grafy byly nejdříve vyhodnoceny měřicí metodou přímou a poté i metodou nepřímou. Všechny tyto tabulky a grafy č. 7 – 30 jsou přiloženy v přílohách.

Vyhodnoceny byly také výsledky měření odporovou nepřímou metodou na vystavené zdi v laboratoři, které jsou obsaženy v tabulce č. 31, 32, grafech č. 31 a, b, 32 a, b, které byly provedeny již dříve a nebyly součástí zkoušek této práce. V tabulce č. 31 jsou naměřené hodnoty odporu jednotlivých sond v závislosti na vlhkosti v podobě datumu měření a znázorněné v grafech č. 31 a, b. V tabulce č. 32 jsou naměřené hodnoty teploty a vlhkosti vzduchu v měřené laboratoři a znázorněné v grafech č. 32 a, b.

5. Diskuse výsledku

Tabulky č. 1 a 2, kde jsou vyhodnocené výsledky z vážení a sušení vzorků jsou pomocné pro výpočet hmotnostních vlhkostí zkoušek č. 1, 2, a 3. Vypočtené výsledky jsou v tabulce č.3. Grafy č. 3 a, b nám ukazují, v jakých rozmezích hodnot hmotnostní vlhkosti se pohybují jednotlivé zkoušky č.1-3 u jednotlivých sond a skupinách maltové směsi MV1 a MV2. Vidíme zde, že jednotlivé zkoušky mají odlišné hmotnostní vlhkosti, zkouška č.1 se pohybuje v rozmezích vlhkosti mezi 2,5 – 6 %, zkouška č.2 se pohybuje v rozmezí vlhkosti mezi 6,5 – 9,5 %, zkouška č.3 se pohybuje v rozmezích vlhkosti mezi 15,5 – 18 %. Zde máme tedy ukazatel rozdílnosti hmotnostních vlhkostí těchto 3 zkoušek a tyto rozdílnosti by se také měly projevit v naměřených hodnotách při experimentálním měření odporovou metodou u zkušebních vzorků.

Dále zde máme srovnání dvou skupin zkušebních vzorků s různou zrnitostí maltové směsi, opět graf 3 a MV1 a 3 b MV2. Z průběhu vynesných hodnot je patrný rozdíl mezi těmito skupinami ve výši vlhkosti, který se pohybuje cca o 2% vyšší u skupiny MV1 oproti skupině MV2. Nejvíce patrné je to u zkoušky č. 3, kde u skupiny MV1 se sondy pohybují v rozmezí cca 15,5 – 18 %, kdežto u skupiny MV2 je to rozmezí 13 – 15,5 %, u zkoušek č.2 a 3 již tyto rozdíly nejsou tak patrné. Z tohoto tedy vyplývá, že záleží a je rozdíl ve stavebních materiálech a jejich výrobních strukturách.

Z tabulek č. 4 a 6 a jim příslušných grafů 4 a, b a 6 a, b kde jsou zaneseny výsledky z měření přímou a nepřímou metodou, lze z těchto naměřených hodnot porovnat tyto dvě metody. Z porovnání grafů 4 a 6, tedy mezi metodou přímou a nepřímou, jsou patrné rozdíly rozptylu naměřených hodnot. U grafů 6 a, b jsou naměřené hodnoty v rozmezí 0 – 10 k Ω , u grafů 4 a, b jsou naměřené hodnoty v rozmezí 0 – 18 k Ω , ale především jsou patrné a rozdílné rozptyly u jednotlivých zkoušek mezi přímou a nepřímou metodou. Lze usoudit, že příčiny těchto poměrně velkých rozdílů rozptylu jsou na straně přímého měření, což se potvrdilo i v průběhu měření na neustálených hodnotách na měřicích přístrojích při jejich čtení. Naopak u metody nepřímé je tedy rozptyl naměřených hodnot menší, hodnoty při měření na měřicím přístroji byli stabilní, přesné a jednoznačně čitelné. Proto lze tvrdit, že metoda nepřímá je stabilnější a přesnější.

U vyhodnocených tabulek č. 7 – 30 a příslušných grafů č. 7 – 30, kde jsou v tabulkách jednotlivé sondy s naměřenými hodnotami a příslušnou vlhkostí, lze především zjistit, jaká je závislost mezi naměřenou hodnotou příslušné sondy a její vlhkostí. U těchto grafů dle zanesených hodnot v tabulkách by měla platit závislost čím větší vlhkost, tím větší vodivost zkušební sondy a tím menší odpor. Grafy by tedy měly mít sestupnou tendenci z hlediska odporu. U přímé metody mají tuto sestupnou odporovou tendenci dle závislé vlhkosti grafy č. 7, 8, 9, 10, 13, 14, 17, 18, u grafů 11, 12, 15, 16 tato závislost není. Konkrétně se jedná o sondy s označením SP5 vyrobená z cínového drátu, SP6 z uhlíkové tyčinky, SP3 z pozinkovaného drátu, SP4 z mosazného drátu. Tyto sondy, které jsou každá vyrobena z jiného materiálu i z jiné skupiny maltové směsi, nemají žádnou společnou souvislost, která by ukazovala na to, že chybu zapříčinily sondy. U nepřímé metody mají všechny grafy sestupnou tendenci odporu v závislosti na vlhkosti. Také z tohoto důvodu přisuzují příčinu chyby ne zkušebním sondám, ale metodě přímého měření, kdy se na měřicím přístroji neustálily naměřené hodnoty a měření bylo špatně čitelné a nepřesné. Zde by tedy bylo ještě na místě říci, že sondy tedy prokázaly funkčnost, ale rozdíly v materiálech elektrod a jejich různých průřezů nám zkoušky neukázaly. Na diskusi a řešení se ale domnívám, že výběrem jiných přesnějších a dokonalejších měřicích přístrojů by se tyto rozdílnosti mohly případně projevit a ukázat.

Naopak závislost, rozdíly či porovnání maltové směsi MV1 a MV2 u těchto grafů není patrné. Také z těchto i předešlých grafů se neprojeví závislosti různých druhů materiálů sond a jejich průřezů, naměřené hodnoty byly u všech těchto materiálů přibližně stejné. U všech těchto měření je však nutno počítat s chybami vlivem jak metodiky měření, tak zejména vlivu malého množství experimentálních pokusů, přesto výsledky naznačují jisté průběhy.

Jeden z poznatků tohoto experimentu je také možná diskuse o vhodnosti postupu zjišťování vlhkosti při nasazování těchto zkušebních vzorků, a to především při cyklech navlhčování a sušení. Při tomto experimentu byly použity pro vysušování celé zkušební vzorky, které ale vlivem opakovaných cyklů vlhčení a vysušování byly postupně poškozeny. Docházelo k prasklinám a nakonec i k rozpadu maltové směsi z důvodů proniknutí vody z prasklin mezi sádrový bloček a maltovou směs. Tímto mohlo také docházet k nepřesnostem a tím i zkresleným výsledkům. Při volbě další možnosti, která připadala k úvaze, a to v nepoužívání celých zkušebních vzorků, ale jen jejich části by zde ale také docházelo k destrukci vzorků. Tato část zkoušky by byla vhodná dále k diskusi a řešení. Nicméně se domnívám, že metoda s používáním celých zkušebních vzorků je přijatelnější z důvodů nedestrukčních k vzorkům, ale domněnka stojí v lepším vyřešení v poškozování vzorků, kde by byly vhodné delší intervaly mezi jednotlivými cykly vysušování a vlhčení s řádným vyzráním a zatvrdnutím maltové směsi na vzorcích.

Z výsledků měření na vystavěné zdi nám z grafu č. 31 a, b, kde jsou na grafu č. 31 a, odporové sondy v maltě v hloubce 5 cm a na grafu č. 31 b, odporové sondy v maltě v hloubce 15 cm, je patrné, že na grafu č. 31 b, kde se počáteční odpor sond pohybuje v rozmezí 3,5 – 6,5 k Ω je v závislosti na vlhkosti nejvíce sonda S 11, která je umístěna jako první od spodní části zdi a je 15 cm hluboko. Sonda má zpočátku klesající odpor, poté je konstantní a po napuštění vany (30.10.2007) rapidně odpor klesl a ustálil se na hodnotách 0,14 k Ω , na kterých se držel po celou dobu měření, z čehož vyplývá, že jeho vlhkost byla velká a již se nezměnila. Ostatní sondy, jak nám ukazuje graf mají hodnoty odporu spíše mírně stoupající, nereagující ani na dva hlavní aspekty, na napuštění vany (30.10.2007) a zakrytí fólií (30.11.2007), vlhkost je tedy jen minimální. Naprostý rozdíl nastal až v momentě zalití zdi (18.12.2007), kde odpor následkem velké vlhkosti klesl a poté s úbytkem vlhkosti po vypuštění vany (2.1.2008) začal opět stoupat.

Graf č. 31 a, kde se počáteční odpor sond pohybuje v rozmezí 23 – 170 k Ω je také v závislosti na vlhkosti nejvíce sonda S 21, která je také umístěna jako první od spodní části zdi ale je 5 cm hluboko. Sonda má na počátku vyšší odpor (10 dní), po té je konstantní po celou dobu měření na hodnotách okolo 0,31 k Ω . Průběhy všech sond jsou poměrně stejné jako u grafu č. 31 b, ale hodnoty jsou větší a rozptyl je širší a je zde vidět již změnu odporu při zakrytí zdi fólií (od 29.11.2007), kde je patrný pokles odporu. Zalití zdi je stejné s grafem č. 31 b, ale jeho další růst již patrný není.

V průběhu celého měření se až na první sondy umístěné na spodní části zdi vlhkost projevila velmi málo, naměřené hodnoty byly různorodé, v sondách umístěných ve vyšších místech byla vlhkost velmi malá, téměř žádná a patrné je to v průběhu měření na stoupajícím odporu sond. Naopak po zalití zdi se odpor zmenšil na minimální hodnotu a poté začal opět stoupat, evidentně také po vylití vany, kdy nastal úbytek vlhkosti. Podle naměřených hodnot odporu, které byly u sond s hloubkou 5 cm nižší a s hloubkou 15 cm naopak je patrné, že ve větší hloubce zdi byla vlhkost větší a dle umístění byla větší vlhkost na okraji zdi.

6. Závěr

V práci byla studována závislost vlhkosti na zkušebních vzorcích elektrodových sond se zaměřením na použití vodivostní elektrické odporové metody pro měření vlhkosti.

Nejdůležitější poznatky jsou následující:

- Přímá měřicí metoda se ukázala jako málo přesná. V průběhu měření se na měřicím přístroji neustále opakovalo, že měřené hodnoty byly nestabilní, neustále přeskakovali řádově desítky až stovky jednotek, hodnota se tímto nedala přesně zapsat, docházelo tedy ke zkresleným údajům, s porovnáním naměřených hodnot s metodou nepřímou byly údaje rozdílné.
- Nepřímá měřicí metoda nám naopak ukázala, že výsledky této metody jsou přesnější, ustálenost, čitelnost a stabilita měřených hodnot na měřicím přístroji byla bez problémů.
- Z výsledků zkoušek je patrné, že při nejvyšší vlhkosti byly zkušební vzorky při měření jejich hodnot nejstabilnější, měly nejmenší rozptyl naměřených hodnot, zejména u nepřímé metody měření.
- Z uvedených výsledků závislost mezi vlhkostí a odporem byla nepřímo úměrná (čím větší vlhkost, tím byl odpor menší, až na některé případy u měření přímou metodou)
- Experimentální měření zkušebních vzorků nám nepotvrdilo, že závisí na druhu materiálu a průřezu elektrod u sondy, nicméně funkčnost se ukázala. U všech těchto měření je však nutno počítat s chybami vlivem jak metodiky měření, tak zejména vlivu malého množství experimentálních pokusů, přesto výsledky naznačují jisté průběhy.
- Z poznatků a výsledků z měření vlhkosti na vystavěné zdi i na experimentálních vzorcích lze vyvodit závěr, že měření nízkých vlhkostí je odporovými sondami nepřesné a méně spolehlivé než u vysokých vlhkostí.

7. Seznam použité literatury

[1] T. KLEČKA, K. KOLÁŘ, J. KOLÍSKO, M. VLČEK, *Diagnostika vlhkých staveb*. Česká stavební společnost, Novotného lávka 5, Praha 1, 2000. 125 s. ISBN 80-02-01366-2, s.88-95

[2] M. KUTÍLEK, *Vlhkost pórovitých materiálů*. SNTL, Nakladatelství technické literatury, Spálená 51, 113 02 Praha 1, 1984. 212 s. ISBN není, s.9-11

[3] M. BALÍK A KOLEKTIV, *Odvhlčování staveb*. Grada Publishing, a. s. U Průhonu 22, Praha 7, 2005. 292 s. ISBN 80-247-07265-9, s.37-42, s.80-81, s.83-85

[4] P. FÁRA, *Sanace vlhkého zdiva*. Společnost pro technologie ochrany památek, Valdštejnské náměstí 3, 118 01 Praha 1, 2003. 82 s. ISBN 80-86657-02-7, s.27

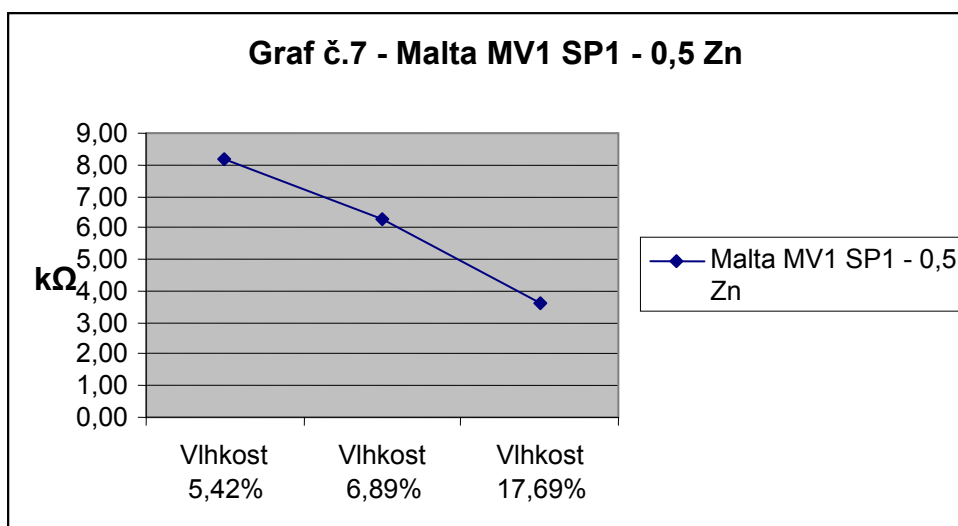
[5] Sanace vlhkého zdiva [online]. [cit. 2008 – 05-22]. Dostupné z WWW: <<http://www.sanace-izolace.cz/sanace-vlhkeho-zdiva.htm>>.

[6] J.FEXA, K.ŠIROKÝ, *Měření vlhkosti*. SNTL, Nakladatelství technické literatury, Spálená 51, 113 02 Praha 1, 1983. 264 s. ISBN není, s.103-104

8. Přílohy

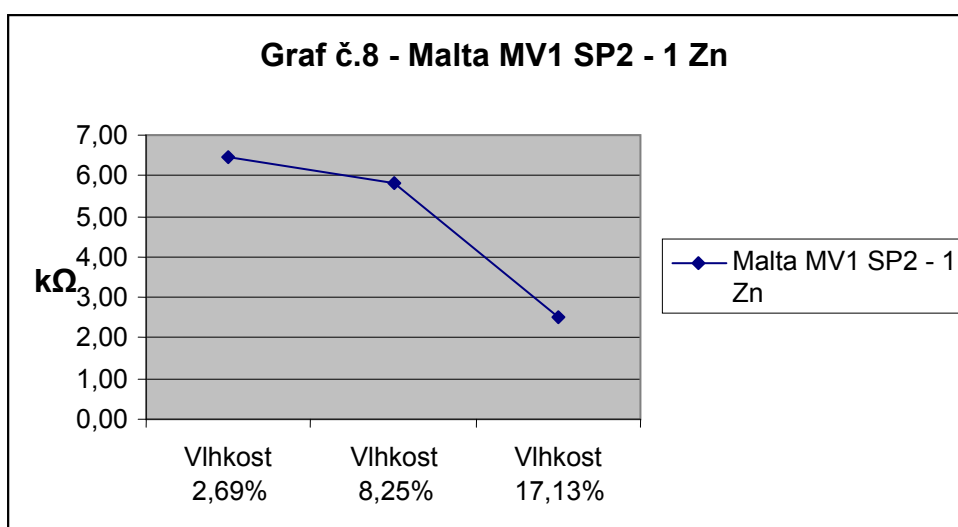
Tabulka č. 7

Měření přímou metodou - Sonda P1 - 0,5 Zn				
Malta MV1	Označení sondy	Vlhkost 5,42%	Vlhkost 6,89%	Vlhkost 17,69%
	SP1 - 0,5 Zn	8,15	6,25	3,62



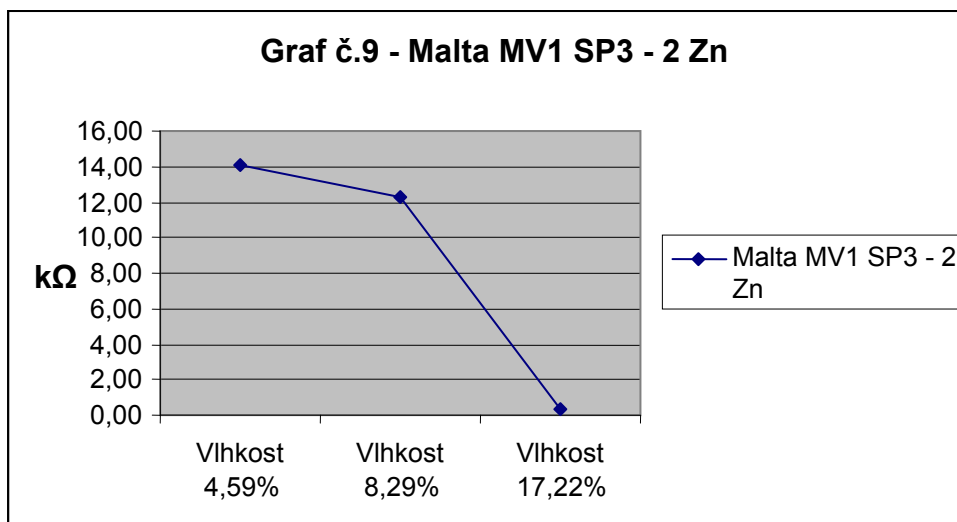
Tabulka č. 8

Měření přímou metodou - Sonda SP2 - 1 Zn				
Malta MV1	Označení sondy	Vlhkost 2,69%	Vlhkost 8,25%	Vlhkost 17,13%
	SP2 - 1 Zn	6,48	5,80	2,52



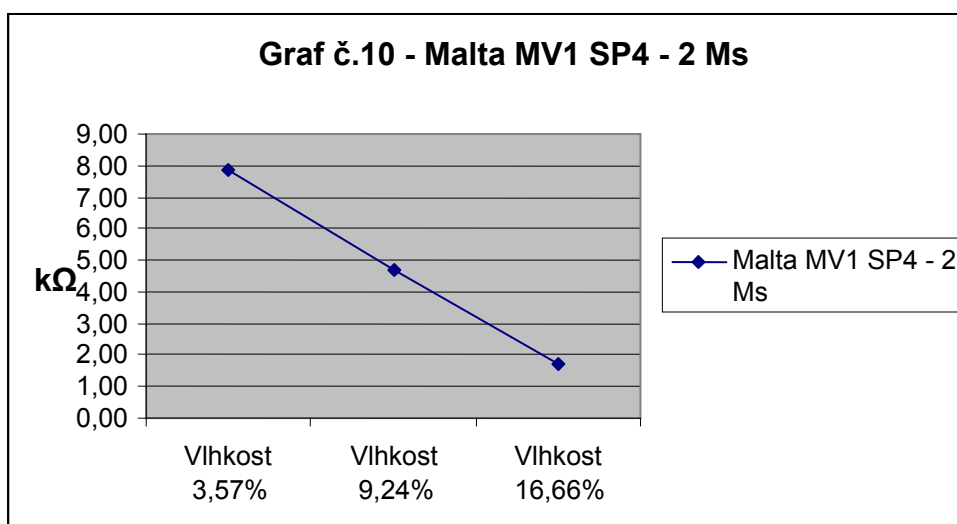
Tabulka č. 9

Měření přímou metodou - Sonda SP3 - 2 Zn				
Malta MV1	Označení sondy	Vlhkost 4,59%	Vlhkost 8,29%	Vlhkost 17,22%
	SP3 - 2 Zn	14,08	12,26	0,29



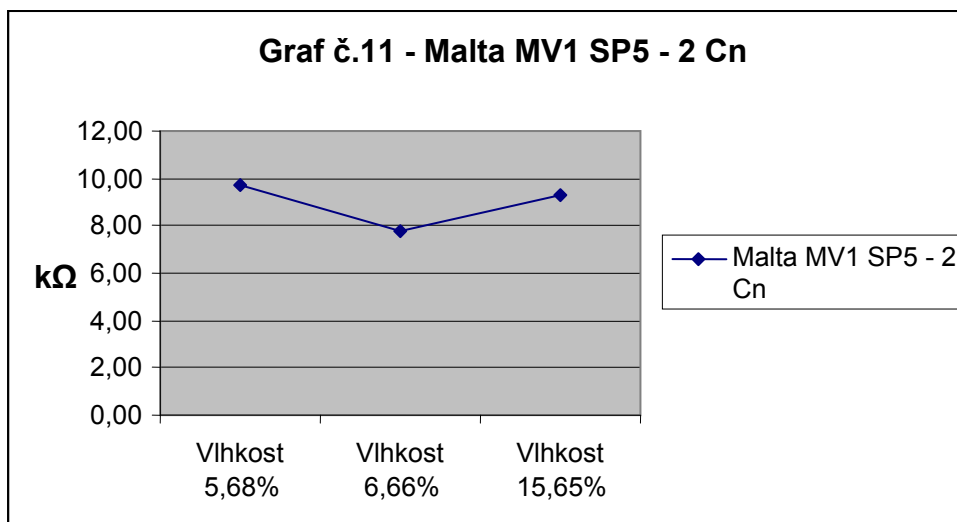
Tabulka č. 10

Měření přímou metodou - Sonda SP4 - 2 Ms				
Malta MV1	Označení sondy	Vlhkost 3,57%	Vlhkost 9,24%	Vlhkost 16,66%
	SP4 - 2 Ms	7,86	4,69	1,74



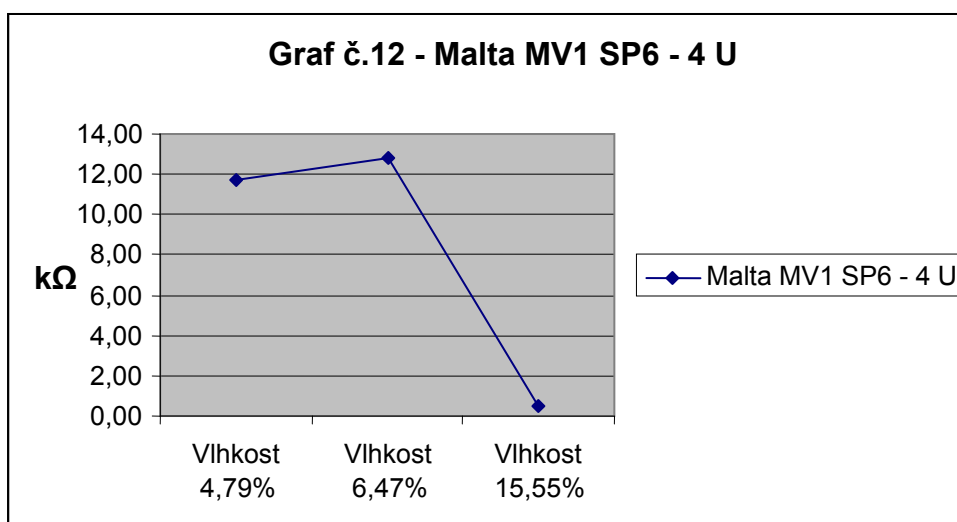
Tabulka č. 11

Měření přímou metodou - Sonda SP5 - 2 Cn				
Malta MV1	Označení sondy	Vlhkost 5,68%	Vlhkost 6,66%	Vlhkost 15,65%
	SP5 - 2 Cn	9,71	7,78	9,32



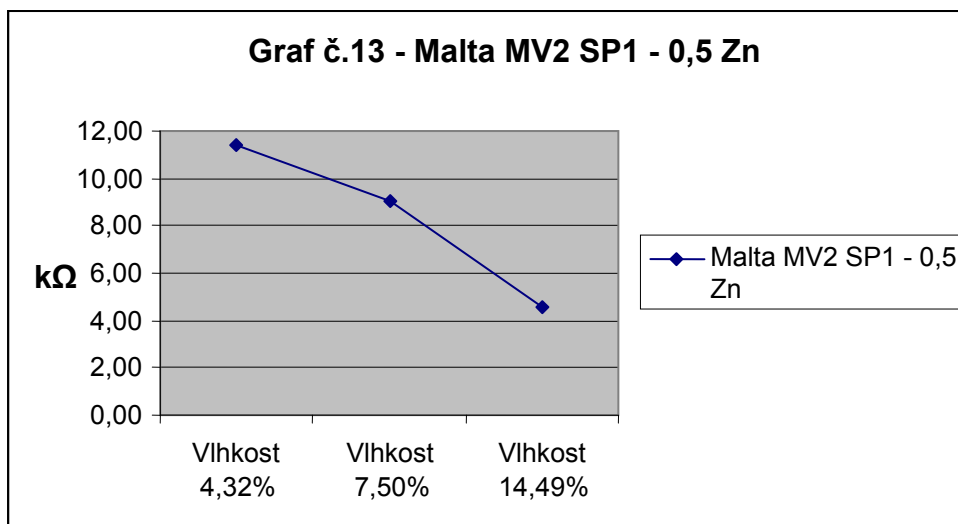
Tabulka č. 12

Měření přímou metodou - Sonda SP6 - 4 U				
Malta MV1	Označení sondy	Vlhkost 4,79%	Vlhkost 6,47%	Vlhkost 15,55%
	SP6 - 4 U	11,69	12,82	0,52



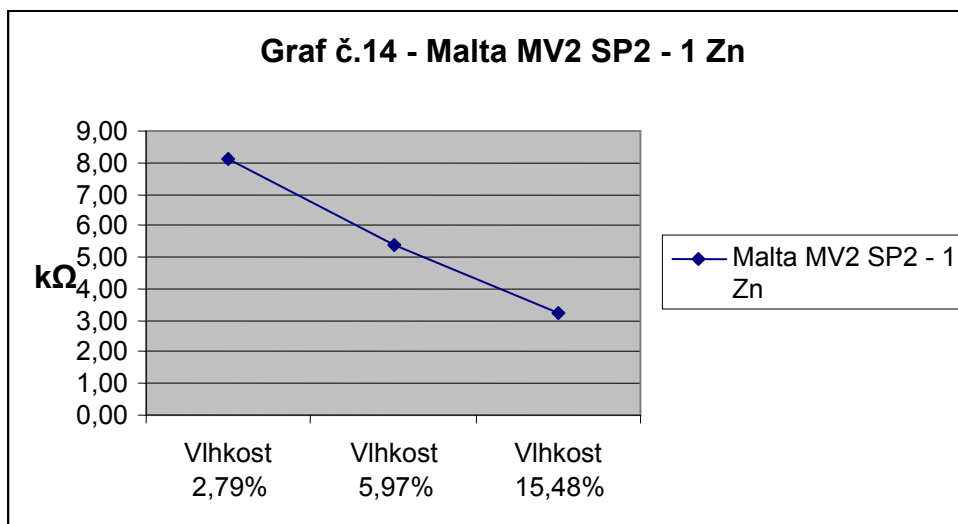
Tabulka č. 13

Měření přímou metodou - Sonda SP1 - 0,5 Zn				
Malta MV2	Označení sondy	Vlhkost 4,32%	Vlhkost 7,50%	Vlhkost 14,49%
	SP1 - 0,5 Zn	11,41	9,05	4,54



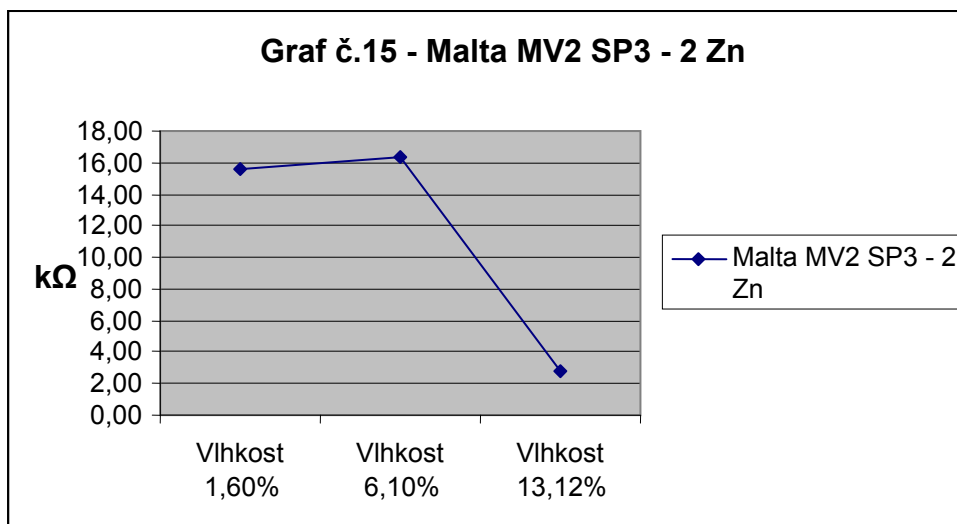
Tabulka č. 14

Měření přímou metodou - Sonda SP2 - 1 Zn				
Malta MV2	Označení sondy	Vlhkost 2,79%	Vlhkost 5,97%	Vlhkost 15,48%
	SP2 - 1 Zn	8,14	5,38	3,26



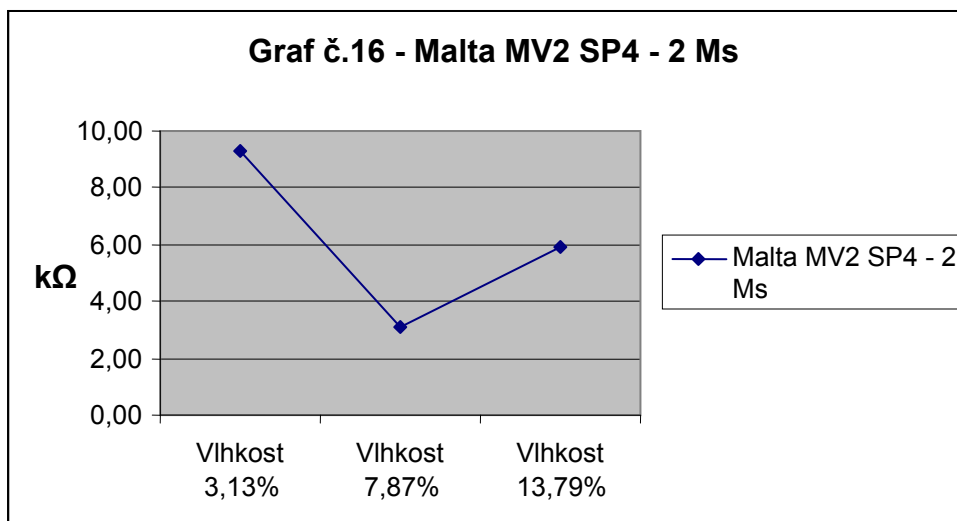
Tabulka č. 15

Měření přímou metodou - Sonda SP3 - 2 Zn				
Malta MV2	Označení sondy	Vlhkost 1,60%	Vlhkost 6,10%	Vlhkost 13,12%
	SP3 - 2 Zn	15,65	16,30	2,77



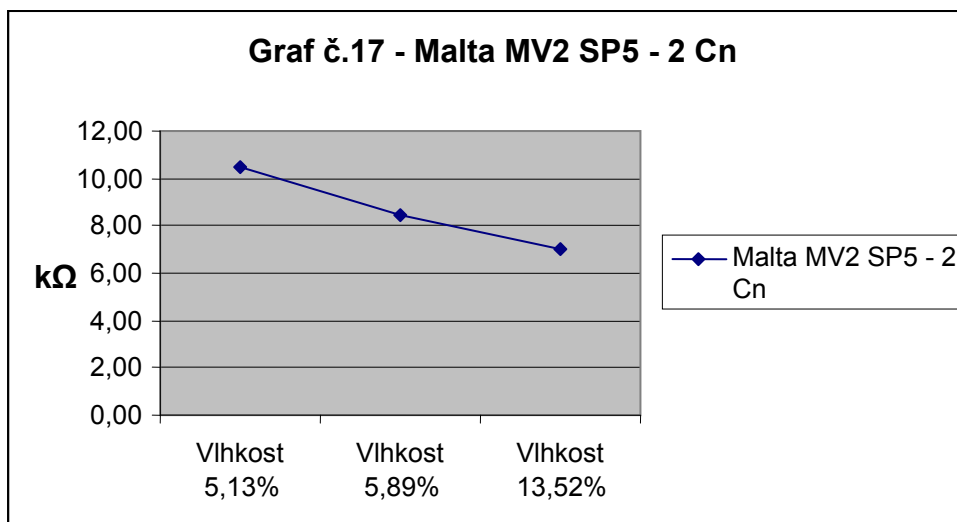
Tabulka č. 16

Měření přímou metodou - Sonda SP4 - 2 Ms				
Malta MV2	Označení sondy	Vlhkost 3,13%	Vlhkost 7,87%	Vlhkost 13,79%
	SP4 - 2 Ms	9,29	3,09	5,91



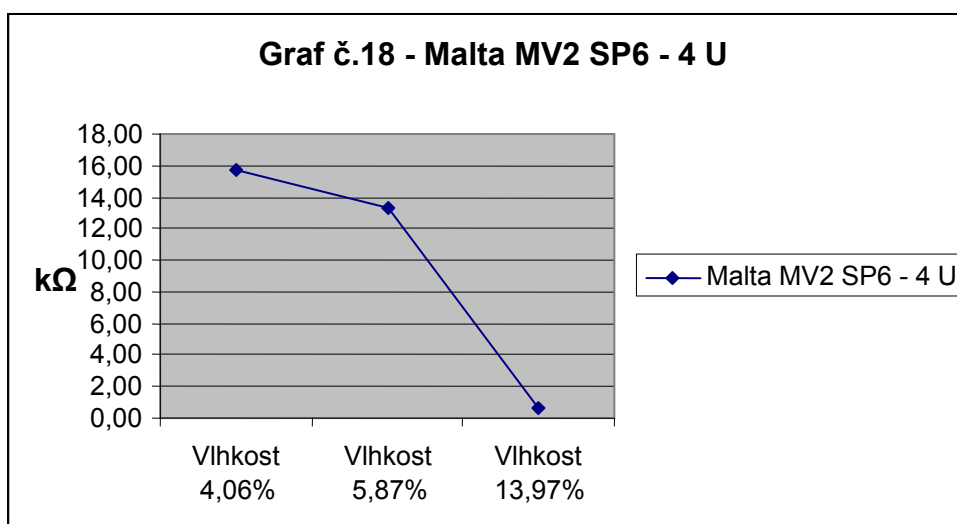
Tabulka č. 17

Měření přímou metodou - Sonda SP5 - 2 Cn				
Malta MV2	Označení sondy	Vlhkost 5,13%	Vlhkost 5,89%	Vlhkost 13,52%
	SP5 - 2 Cn	10,47	8,45	7,05



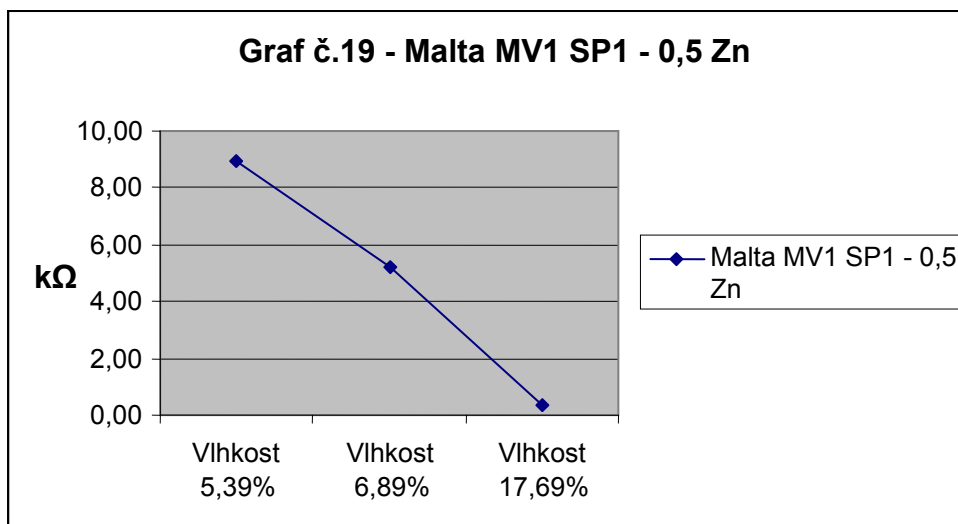
Tabulka č. 18

Měření přímou metodou - Sonda SP6 - 4 U				
Malta MV2	Označení sondy	Vlhkost 4,06%	Vlhkost 5,87%	Vlhkost 13,97%
	SP6 - 4 U	15,74	13,32	0,67



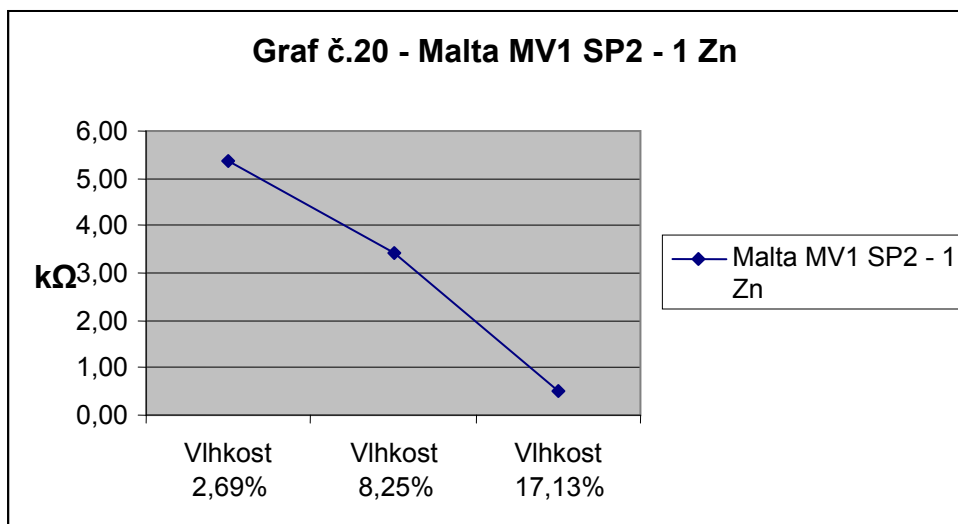
Tabulka č. 19

Měření nepřímou metodou - Sonda SP1 - 0,5 Zn				
Malta MV1	Označení sondy	Vlhkost 5,39%	Vlhkost 6,89%	Vlhkost 17,69%
	SP1 - 0,5 Zn	8,93	5,21	0,35



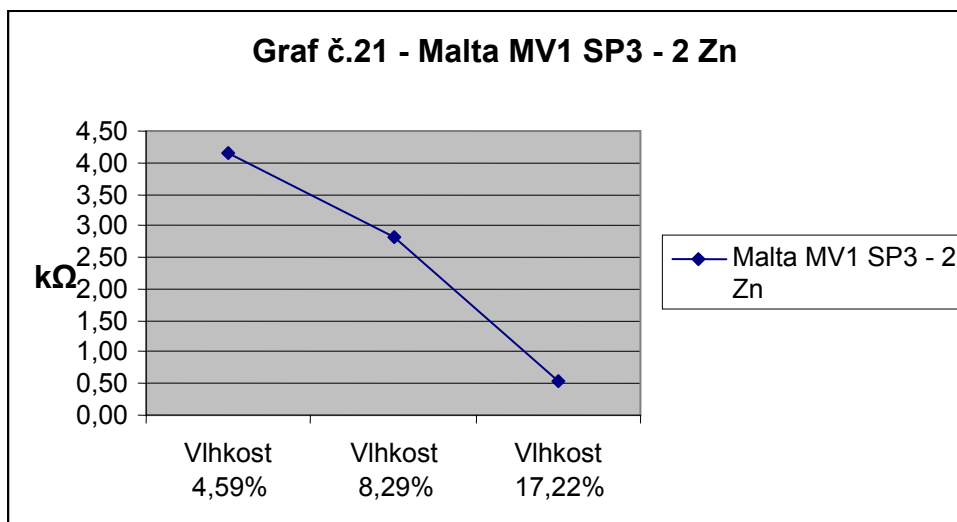
Tabulka č. 20

Měření nepřímou metodou - Sonda SP2 - 1 Zn				
Malta MV1	Označení sondy	Vlhkost 2,69%	Vlhkost 8,25%	Vlhkost 17,13%
	SP2 - 1 Zn	5,38	3,41	0,51



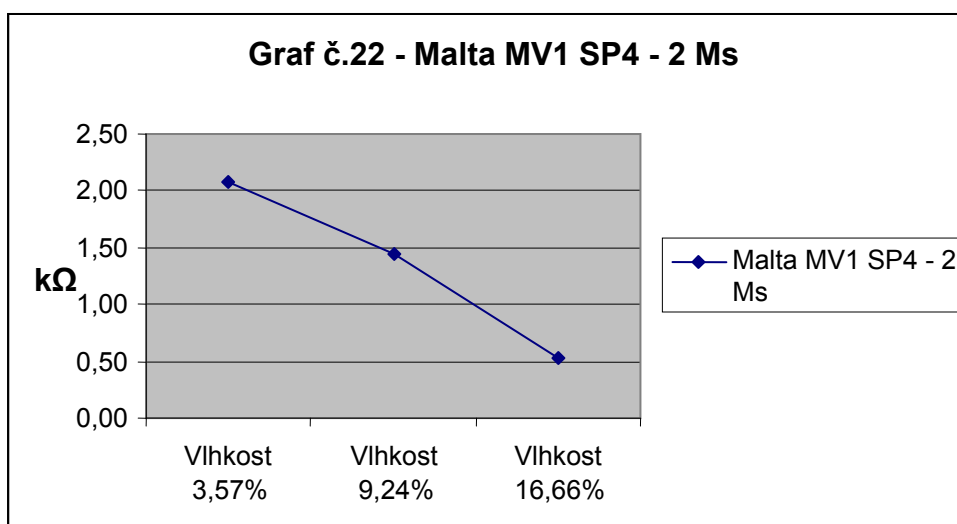
Tabulka č. 21

Měření nepřímou metodou - Sonda SP3 - 2 Zn				
Malta MV1	Označení sondy	Vlhkost 4,59%	Vlhkost 8,29%	Vlhkost 17,22%
	SP3 - 2 Zn	4,15	2,83	0,53



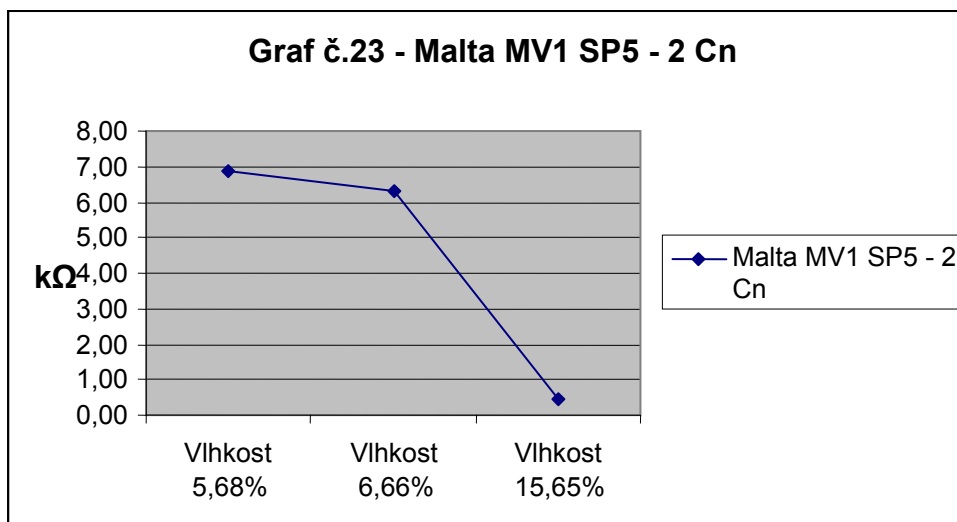
Tabulka č. 22

Měření nepřímou metodou - Sonda SP4 - 2 Ms				
Malta MV1	Označení sondy	Vlhkost 3,57%	Vlhkost 9,24%	Vlhkost 16,66%
	SP4 - 2 Ms	2,07	1,45	0,52



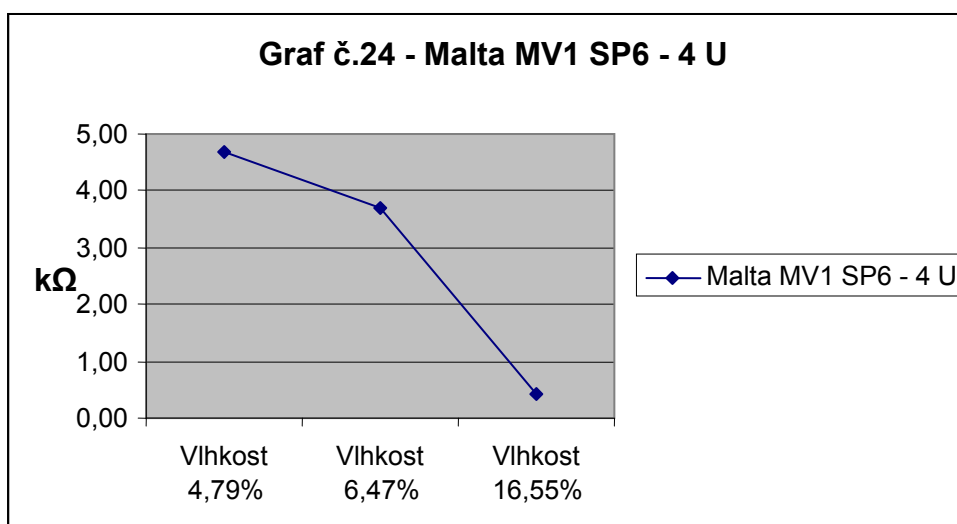
Tabulka č. 23

Měření nepřímou metodou - Sonda SP5 - 2 Cn				
Malta MV1	Označení sondy	Vlhkost 5,68%	Vlhkost 6,66%	Vlhkost 15,65%
	SP5 - 2 Cn	6,90	6,33	0,45



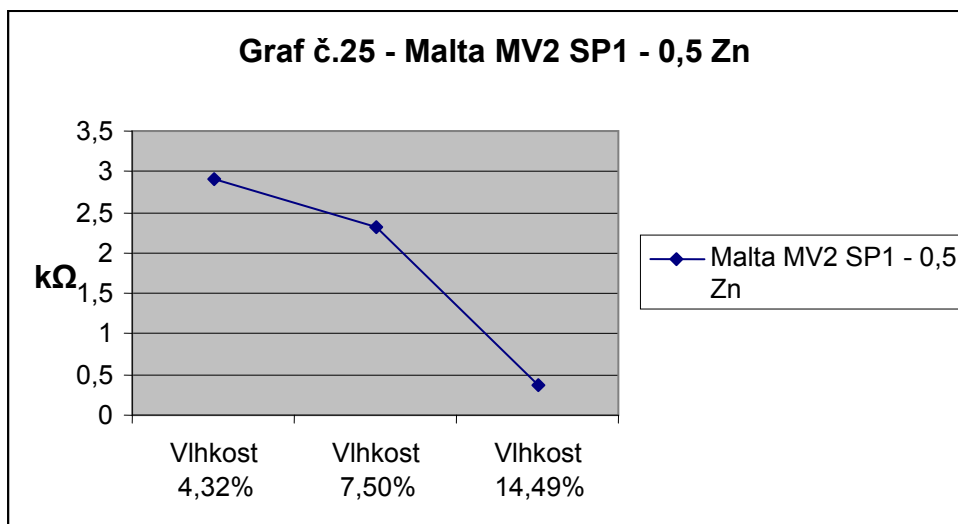
Tabulka č. 24

Měření nepřímou metodou - Sonda SP6 - 4 U				
Malta MV1	Označení sondy	Vlhkost 4,79%	Vlhkost 6,47%	Vlhkost 16,55%
	SP6 - 4 U	4,69	3,69	0,44



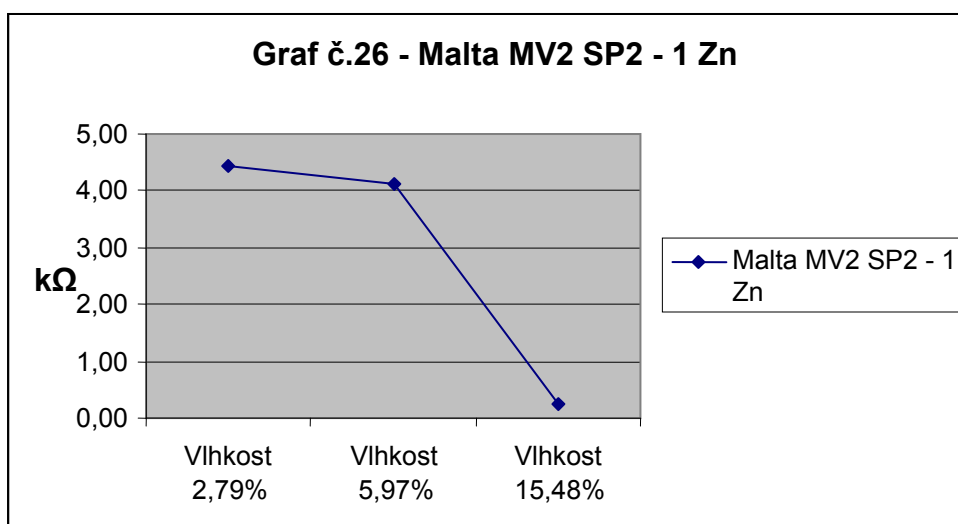
Tabulka č. 25

Měření nepřímou metodou - Sonda SP1 - 0,5 Zn				
Malta MV2	Označení sondy	Vlhkost 4,32%	Vlhkost 7,50%	Vlhkost 14,49%
	SP1 - 0,5 Zn	2,92	2,31	0,36



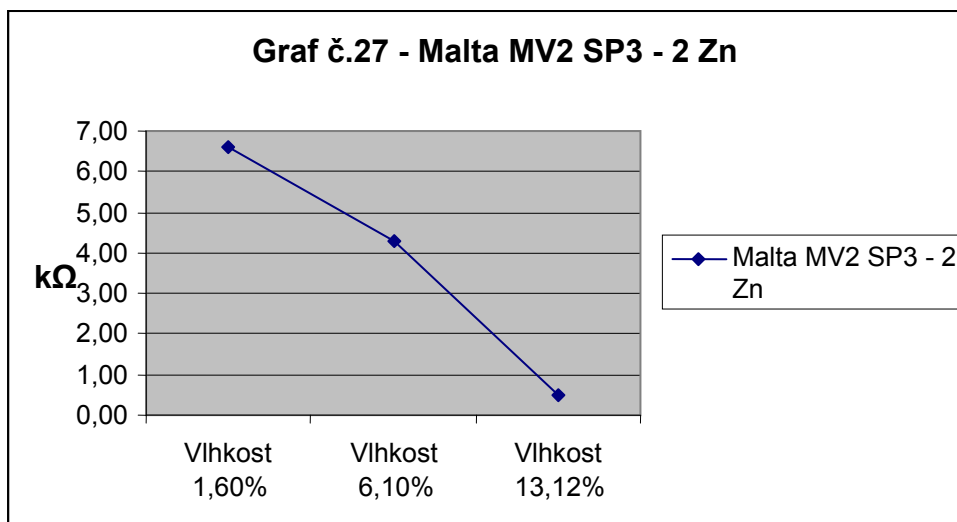
Tabulka č. 26

Měření nepřímou metodou - Sonda SP2 - 1 Zn				
Malta MV2	Označení sondy	Vlhkost 2,79%	Vlhkost 5,97%	Vlhkost 15,48%
	SP2 - 1 Zn	4,44	4,12	0,26



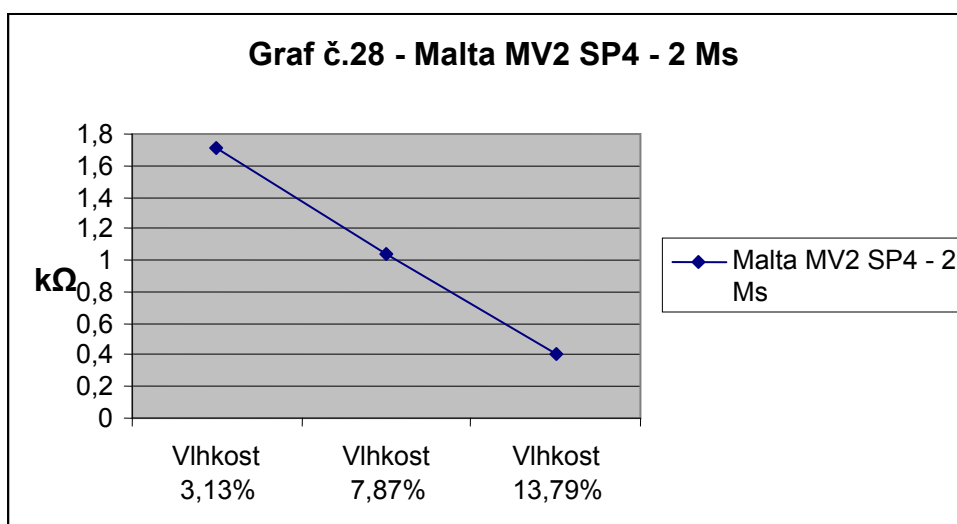
Tabulka č. 27

Měření nepřímou metodou - Sonda SP3 - 2 Zn				
Malta MV2	Označení sondy	Vlhkost 1,60%	Vlhkost 6,10%	Vlhkost 13,12%
	SP3 - 2 Zn	6,62	4,27	0,51



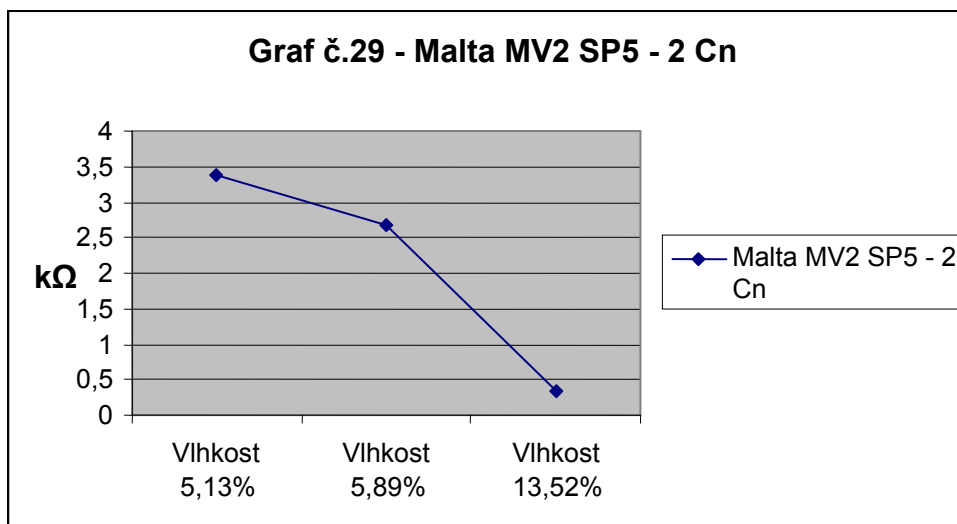
Tabulka č. 28

Měření nepřímou metodou - Sonda SP4 - 2 Ms				
Malta MV2	Označení sondy	Vlhkost 3,13%	Vlhkost 7,87%	Vlhkost 13,79%
	SP4 - 2 Ms	1,71	1,04	0,41



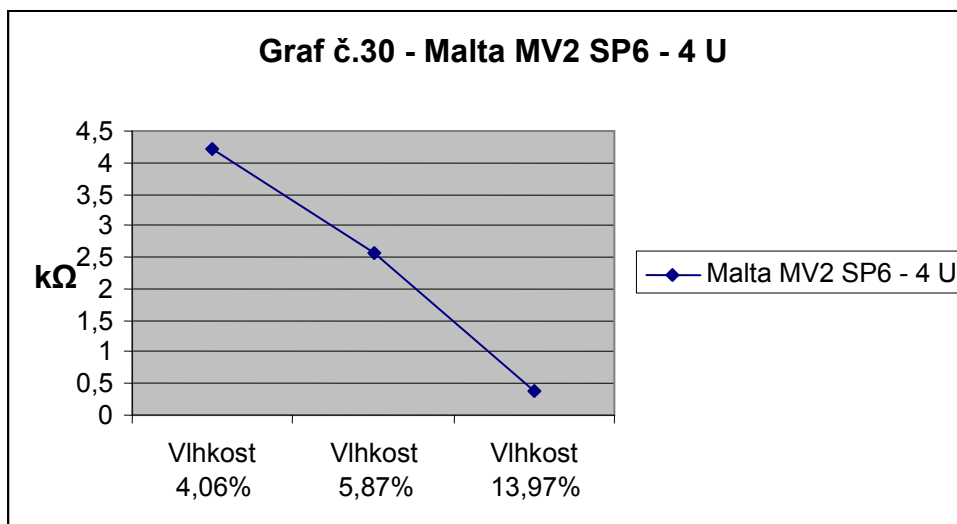
Tabulka č. 29

Měření nepřímou metodou - Sonda SP5 - 2 Cn				
Malta MV2	Označení sondy	Vlhkost 5,13%	Vlhkost 5,89%	Vlhkost 13,52%
	SP5 - 2 Cn	3,39	2,67	0,33



Tabulka č. 30

Měření nepřímou metodou - Sonda SP - 4 U				
Malta MV2	Označení sondy	Vlhkost 4,06%	Vlhkost 5,87%	Vlhkost 13,97%
	SP6 - 4 U	4,22	2,56	0,39



Tabulka č. 31

Měřicí odporové sondy v maltě	26.10.2007 10,00	29.10.2007 9,15	30.10.2007 10,00	30.10.2007 12,00	30.10.2007 14,30	31.10.2007 7,00	31.10.2007 14,00	1.11.2007 7,15	1.11.2007 14,00	2.11.2007 8,00
S 11	5,56	4,90	4,90	4,90	4,90	4,98	5,26	3,85	3,05	1,19
S 12	4,17	3,82	4,17	3,79	3,80	4,00	4,35	4,06	4,03	4,24
S 13	5,88	5,35	6,25	5,32	5,46	5,46	6,25	5,49	5,32	5,56
S 14	4,76	4,42	4,76	4,40	4,38	4,57	5,00	4,59	4,50	4,72
S 15	4,00	4,00	4,00	3,66	3,66	3,82	4,00	3,85	3,80	3,97
S 16	4,54	4,54	4,20	4,03	4,08	4,20	4,54	4,24	4,15	4,35
S 17	5,56	5,56	5,08	4,93	4,95	5,15	5,88	5,21	5,13	5,38
S 18	5,56	5,88	5,49	5,29	5,40	5,49	5,88	5,35	5,43	5,71
S 19	3,12	3,12	2,98	2,92	2,98	3,05	3,12	3,09	3,01	3,14
S 20	76,92	111,11	111,11	111,11	111,11	125,00	125,00	142,86	142,86	166,66
S 21	50,00	4,76	4,76	4,76	45,45	40,00	31,25	7,30	3,20	1,35
S 22	125,00	111,11	125,00	125,00	125,00	125,00	125,00	142,86	142,86	166,66
S 23	166,66	111,11	125,00	111,11	111,11	125,00	111,11	166,66	125,00	142,86
S 24	23,26	22,73	22,22	21,74	22,22	22,73	22,73	25,00	24,39	26,32
S 25	47,62	47,62	47,62	47,62	47,62	50,00	50,00	52,63	52,63	55,56
S 26	23,81	23,81	22,22	23,26	23,26	23,81	24,39	25,64	25,00	27,03
S 27	52,63	52,63	56,63	52,63	52,63	55,56	55,56	62,50	62,50	66,67
S 28	43,48	40,00	40,00	40,00	41,67	41,67	41,67	45,45	43,48	47,62
S 29	34,48	34,48	34,48	35,72	35,72	35,72	35,72	38,46	37,04	40,00
S 30	111,11	111,11	125,00	125,00	125,00	142,86	142,86	166,66	166,66	200,00

Tabulka č. 31 pokračování

Měřicí odporové sondy v maltě	2.11.2007 14,00	5.11.2007 9,00	5.11.2007 14,00	6.11.2007 8,00	6.11.2007 14,15	7.11.2007 8,15	7.11.2007 14,15	8.11.2007 7,30	8.11.2007 14,15	9.11.2007 7,35
S 11	0,78	0,15	0,14	0,15	1,40	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
S 12	4,17	4,38	4,35	4,59	4,52	4,59	4,59	4,61	4,61	4,69
S 13	5,59	6,17	6,10	6,13	5,88	5,95	5,95	5,88	5,88	6,33
S 14	4,61	4,85	4,88	5,15	5,03	5,08	5,08	5,08	5,08	5,15
S 15	3,89	4,12	4,12	4,37	4,26	4,33	4,27	4,31	4,29	4,38
S 16	4,27	4,46	4,46	4,74	4,65	4,72	4,67	4,67	4,67	4,81
S 17	5,26	5,52	5,52	5,85	5,75	5,81	5,75	5,78	5,75	5,92
S 18	5,59	5,85	5,85	6,13	6,10	6,13	6,06	6,10	6,02	6,21
S 19	3,09	3,28	3,27	3,44	3,40	3,42	3,39	3,41	3,37	3,47
S 20	166,66	200,00	200,00	142,86	250,00	333,33	333,33	333,33	333,33	333,33
S 21	1,13	0,35	0,35	0,33	0,32	0,32	0,30	0,30	0,28	0,28
S 22	166,66	166,66	166,66	250,00	250,00	250,00	250,00	250,00	250,00	250,00
S 23	142,86	142,86	142,86	166,66	166,66	166,66	166,66	142,86	142,86	142,86
S 24	25,00	26,32	26,32	29,10	28,57	29,41	29,41	29,41	29,41	30,30
S 25	55,56	62,50	62,50	66,67	66,67	66,67	66,67	71,43	71,43	76,92
S 26	26,32	27,78	27,78	30,30	30,30	31,25	31,25	31,25	31,25	33,33
S 27	66,67	71,43	71,43	83,33	83,33	83,33	83,33	90,90	90,90	100,00
S 28	45,45	47,62	47,62	52,63	52,63	55,56	55,56	55,56	50,56	55,56
S 29	38,46	41,67	41,67	43,48	43,48	45,45	45,45	45,45	45,45	45,45
S 30	200,00	333,33	333,33	500,00	333,33	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00

Tabulka č. 31 pokračování

Měřicí odporové sondy v maltě	9.11.2007 14,00	12.11.2007 7,30	12.11.2007 14,10	13.11.2007 8,30	13.11.2007 13,30	14.11.2007 8,00	14.11.2007 14,00	15.11.2007 8,00	15.11.2007 13,30	16.11.2007 6,30
S 11	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
S 12	4,65	4,78	4,81	4,90	4,88	4,85	4,85	4,80	4,72	4,76
S 13	6,13	6,49	6,33	6,58	6,80	6,76	6,71	6,90	6,54	6,90
S 14	5,13	5,35	5,40	5,56	5,52	5,56	5,62	5,68	5,56	5,71
S 15	4,33	4,54	4,61	4,67	4,67	4,76	4,76	4,80	4,65	4,78
S 16	4,72	4,98	5,08	5,13	5,08	5,13	5,18	5,26	5,10	5,26
S 17	5,81	6,06	6,13	6,21	6,21	6,25	6,29	6,37	6,17	6,33
S 18	6,06	6,45	6,49	6,67	6,54	6,58	6,62	6,80	6,58	6,76
S 19	3,40	3,65	3,65	3,74	3,69	3,73	3,76	3,80	3,82	3,80
S 20	500,00	1000,00	1000,00	250,00	250,00	250,00	250,00	250,00	250,00	333,33
S 21	0,28	0,29	0,29	0,29	0,29	0,30	0,30	0,29	0,30	0,30
S 22	250,00	500,00	500,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00
S 23	142,86	200,00	200,00	142,86	142,86	142,86	142,86	166,66	166,66	166,66
S 24	29,41	34,48	35,71	37,03	37,03	37,03	38,46	40,00	41,66	41,66
S 25	71,43	90,90	90,90	90,90	100,00	100,00	100,00	111,11	111,11	111,11
S 26	32,26	38,46	38,46	40,00	40,00	40,00	41,66	41,66	41,66	43,48
S 27	90,90	142,86	125,00	125,00	125,00	125,00	142,86	166,66	166,66	200,00
S 28	52,63	66,66	66,66	66,67	71,43	71,43	71,43	76,92	71,43	76,92
S 29	45,45	50,00	50,00	52,63	52,63	52,63	55,56	55,56	52,63	55,56
S 30	1000,00	333,33	333,33	333,33	333,33	333,33	333,33	333,33	333,33	500,00

Tabulka č. 31 pokračování

Měřicí odporové sondy v maltě	16.11.2007 13,30	19.11.2007 7,30	19.11.2007 13,30	20.11.2007 8,00	20.11.2007 14,00	21.11.2007 8,15	21.11.2007 14,10	22.11.2007 7,20	22.11.2007 14,10	23.11.2007 8,00
S 11	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,15	0,14	0,15	0,14	0,14
S 12	4,72	4,74	4,69	4,76	4,72	4,78	4,74	4,78	4,67	4,69
S 13	6,57	6,99	7,04	7,09	6,85	6,90	6,90	6,99	6,94	7,25
S 14	5,71	5,95	5,99	6,13	6,13	6,25	6,25	6,37	6,25	6,37
S 15	4,76	4,97	4,95	5,08	5,08	5,21	5,18	5,26	5,15	5,26
S 16	5,24	5,46	5,46	5,62	5,59	5,75	5,78	5,78	5,71	5,78
S 17	6,33	6,58	6,62	6,76	6,76	6,90	6,90	7,04	6,85	6,99
S 18	6,71	7,04	7,04	7,25	7,19	7,30	7,30	7,52	7,35	7,46
S 19	3,79	3,91	3,92	4,03	4,00	4,08	4,05	4,12	4,07	4,10
S 20	333,33	333,33	333,33	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00
S 21	0,30	0,30	0,30	0,32	0,32	0,32	0,31	0,32	0,32	0,32
S 22	200,00	250,00	250,00	250,00	250,00	250,00	250,00	250,00	250,00	250,00
S 23	166,66	200,00	166,66	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00
S 24	41,66	47,62	45,45	50,00	50,00	52,63	50,00	52,63	52,63	52,63
S 25	111,11	125,00	125,00	142,86	142,86	166,66	166,66	166,66	166,66	166,66
S 26	43,48	50,00	50,00	52,63	52,63	55,56	55,56	55,56	55,56	55,56
S 27	200,00	250,00	200,00	250,00	250,00	333,33	333,33	333,33	333,33	333,33
S 28	76,92	90,91	83,33	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
S 29	55,56	62,50	58,82	62,50	62,50	62,50	62,50	66,66	62,50	66,66
S 30	500,00	500,00	500,00	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0

Tabulka č. 31 pokračování

Měřicí odporové sondy v maltě	23.11.2007 13,00	26.11.2007 7,15	26.11.2007 14,15	27.11.2007 7,45	27.11.2007 14,00	28.11.2007 8,30	28.11.2007 14,00	29.11.2007 7,15	29.11.2007 14,15	30.11.2007 8,00
S 11	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,15	0,14	0,15
S 12	4,57	4,63	4,44	7,52	4,48	4,65	4,46	4,67	4,59	4,72
S 13	7,04	7,19	6,99	7,46	7,14	7,75	7,14	9,09	9,26	10,42
S 14	6,25	6,58	6,33	6,76	6,58	6,85	6,67	7,04	6,99	7,30
S 15	5,13	5,38	5,18	5,49	5,38	5,59	5,40	5,71	5,65	5,85
S 16	5,65	5,95	5,75	6,06	5,95	6,17	5,99	6,33	6,25	6,45
S 17	6,80	7,19	6,90	5,95	7,09	7,35	7,09	7,52	7,46	7,75
S 18	7,30	7,75	7,41	7,87	7,63	7,94	7,69	8,13	8,06	8,40
S 19	4,00	4,18	4,02	4,24	4,17	4,29	4,15	4,38	4,33	4,50
S 20	500,00	500,00	500,00	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0
S 21	0,31	0,33	0,32	0,34	0,33	0,34	0,32	0,35	0,34	0,36
S 22	250,00	250,00	250,00	250,00	250,00	250,00	250,00	250,00	250,00	250,00
S 23	166,66	200,00	200,00	250,00	250,00	250,00	250,00	250,00	250,00	250,00
S 24	50,00	58,82	55,56	62,50	58,82	66,66	62,50	71,43	71,43	76,92
S 25	166,66	166,66	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	250,00	250,00	333,33
S 26	52,63	66,66	58,82	83,33	62,50	71,43	66,66	71,43	71,43	76,92
S 27	250,00	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00	1000,0	1000,0	250,00
S 28	90,91	111,11	100,00	111,11	111,11	125,00	111,11	142,86	142,86	142,86
S 29	62,50	71,43	66,67	71,43	66,66	71,43	66,66	76,92	71,43	83,33
S 30	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0

Tabulka č. 31 pokračování

Měřicí odporové sondy v maltě	3.12.2007 13,00	4.12.2007 13,00	5.12.2007 12,30	6.12.2007 14,00	7.12.2007 13,00	10.12.2007 11,00	11.12.2007 13,30	13.12.2007 14,00	14.12.2007 13,00	17.12.2007 12,30
S 11	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,15
S 12	4,50	4,42	4,33	4,38	4,35	4,37	4,38	4,33	4,29	4,57
S 13	9,34	9,26	8,13	8,26	8,06	8,26	0,88	8,62	8,93	9,80
S 14	7,46	7,46	7,52	7,69	7,75	8,06	8,26	8,47	8,40	9,17
S 15	5,88	5,85	5,88	6,06	6,06	6,33	6,45	6,58	6,54	7,09
S 16	6,49	6,49	6,49	6,62	6,67	6,85	6,99	7,14	7,04	7,69
S 17	7,69	7,69	7,63	7,87	7,87	8,06	8,20	8,33	8,26	9,01
S 18	8,47	8,33	8,33	8,55	8,55	8,77	8,93	9,01	8,93	9,80
S 19	4,50	4,42	4,38	4,50	4,55	4,67	4,72	4,80	4,78	5,21
S 20	1000,0	500,00	500,00	333,33	333,33	250,00	250,00	250,00	200,00	250,00
S 21	0,35	0,33	0,32	0,29	0,28	0,25	0,25	0,24	0,23	0,27
S 22	200,00	200,00	125,00	100,00	71,43	55,56	52,63	45,45	41,76	43,48
S 23	200,00	200,00	166,66	125,00	90,91	83,33	76,92	71,43	71,43	100,00
S 24	62,50	43,48	35,71	31,25	30,30	25,64	25,64	23,81	23,81	26,32
S 25	250,00	142,86	125,00	100,00	90,91	71,43	76,92	76,92	66,67	71,43
S 26	71,43	47,62	41,67	35,71	33,33	27,78	28,57	27,03	26,32	27,78
S 27	1000,0	250,00	166,66	125,00	111,11	76,92	76,92	71,43	71,43	76,92
S 28	111,11	71,43	55,56	50,00	45,45	37,03	37,03	33,33	34,48	35,71
S 29	76,92	66,66	62,50	58,82	58,82	55,56	55,56	52,63	52,63	55,56
S 30	1000,0	1000,0	1000,0	500,00	500,00	333,33	333,33	333,33	333,33	333,33

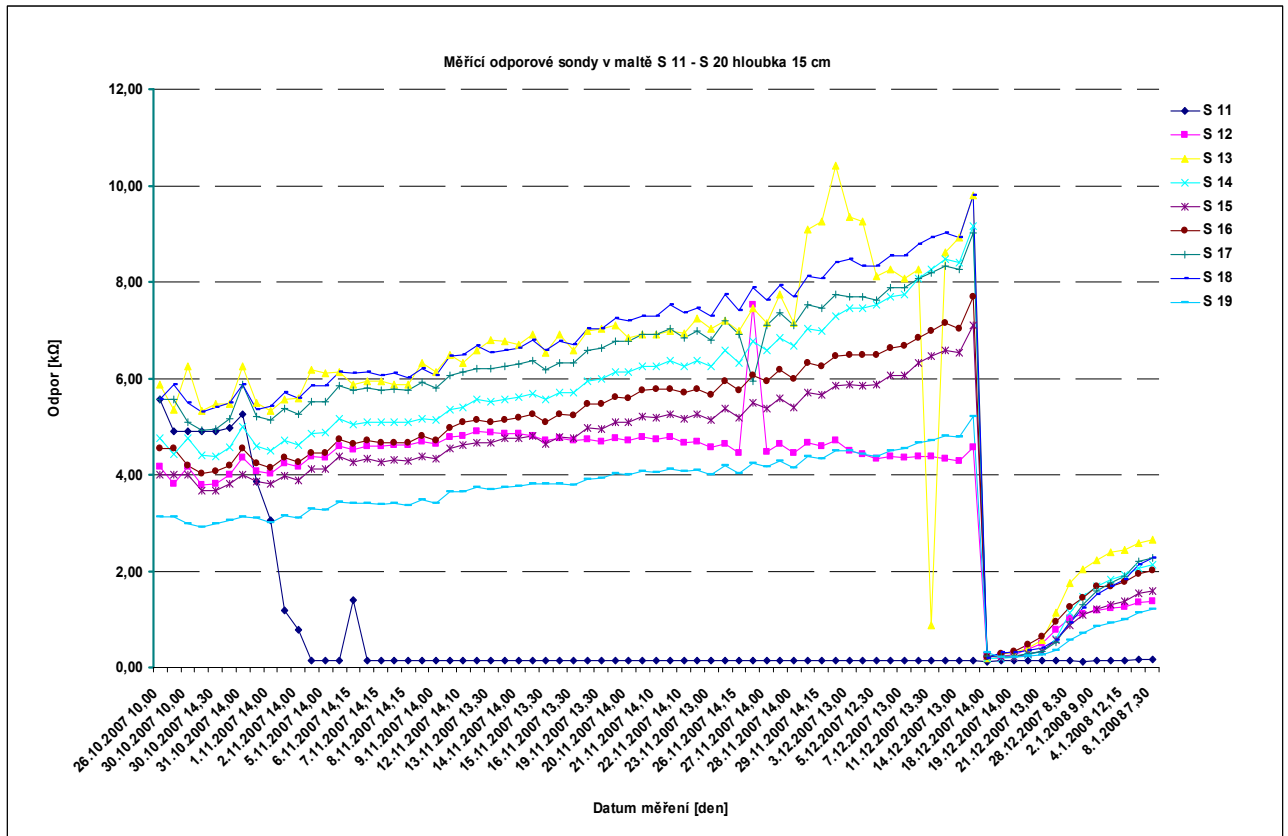
Tabulka č. 31 pokračování

Měřicí odporové sondy v maltě	18.12.2007 14,00	19.12.2007 8,00	19.12.2007 14,00	20.12.2007 13,00	21.12.2007 13,00	24.12.2007 10,30	28.12.2007 8,30	31.12.2007 9,30	2.1.2008 9,00	3.1.2008 9,00
S 11	0,13	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,13	0,14	0,15
S 12	0,24	0,23	0,25	0,37	0,50	0,79	1,02	1,11	1,19	1,23
S 13	0,18	0,29	0,30	0,41	0,57	1,14	1,75	2,04	2,22	2,38
S 14	0,20	0,20	0,21	0,26	0,32	0,60	1,14	1,47	1,67	1,82
S 15	0,23	0,22	0,22	0,28	0,34	0,56	0,88	1,08	1,20	1,31
S 16	0,21	0,29	0,32	0,48	0,63	0,94	1,26	1,45	1,67	1,69
S 17	0,24	0,24	0,24	0,29	0,33	0,52	0,94	1,30	1,59	1,75
S 18	0,19	0,30	0,30	0,36	0,40	0,57	0,92	1,23	1,52	1,67
S 19	0,30	0,21	0,21	0,24	0,27	0,36	0,56	0,71	0,85	0,93
S 20	0,30	0,30	0,28	0,71	1,26	3,33	6,25	8,33	8,26	12,50
S 21	0,24	0,25	0,26	0,28	0,28	0,31	0,36	0,37	0,39	0,42
S 22	0,24	0,25	0,25	0,29	0,46	1,15	1,96	2,56	3,03	3,44
S 23	0,45	0,48	0,50	0,64	0,92	2,86	5,26	6,67	7,69	10,00
S 24	0,26	0,29	0,30	0,41	0,66	2,63	4,54	5,88	7,14	7,69
S 25	0,34	0,40	0,42	0,61	0,92	2,27	4,34	5,56	7,14	7,69
S 26	0,30	0,32	0,32	0,41	0,57	1,72	4,17	5,56	7,14	7,69
S 27	0,40	0,47	0,51	0,73	1,06	3,57	6,67	8,33	8,20	12,50
S 28	0,26	0,28	0,29	0,35	0,45	1,56	5,26	7,69	7,58	11,11
S 29	0,42	0,56	0,61	1,00	1,59	4,00	7,14	9,09	8,70	12,50
S 30	0,27	0,27	0,28	0,45	0,74	1,72	3,22	4,17	4,63	5,56

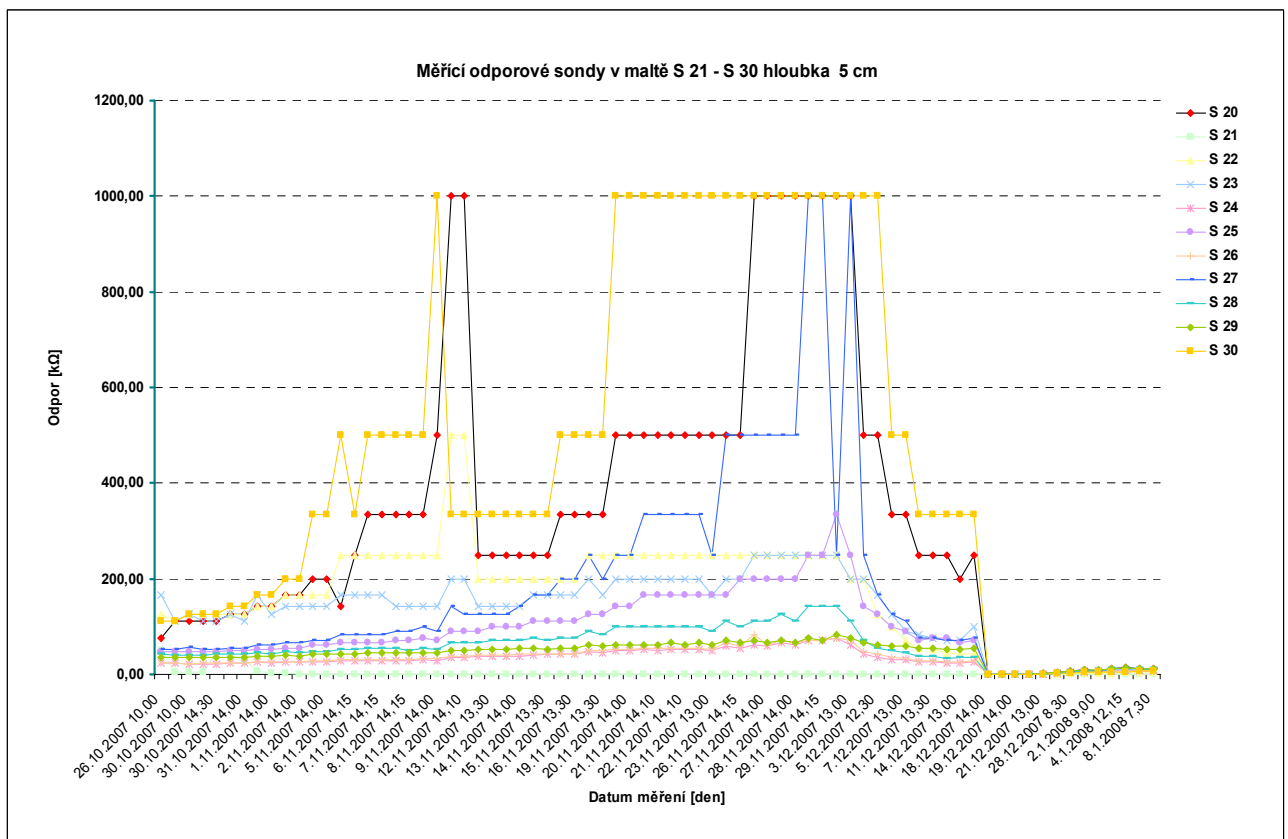
Tabulka č. 31 konec

Měřicí odporové sondy v maltě	4.1.2008 12,15	7.1.2008 9,30	8.1.2008 7,30
S 11	0,15	0,17	0,17
S 12	1,26	1,36	1,38
S 13	2,44	2,59	2,66
S 14	1,92	2,07	2,14
S 15	1,37	1,53	1,59
S 16	1,78	1,94	2,02
S 17	1,89	2,19	2,28
S 18	1,82	2,14	2,27
S 19	0,99	1,14	1,20
S 20	14,28	11,11	11,76
S 21	0,47	0,76	0,92
S 22	3,70	4,08	4,33
S 23	10,00	9,09	9,09
S 24	8,33	7,69	8,06
S 25	8,33	7,94	8,33
S 26	7,69	7,87	8,33
S 27	14,28	12,05	12,82
S 28	12,50	11,24	11,76
S 29	14,28	11,76	12,50
S 30	5,88	6,41	6,80

Graf č. 31a



Graf č. 31b



Tabulka č. 32

DATUM	26.10.2007 10,00	29.10.2007 9,15	30.10.2007 10,00	30.10.2007 12,00	30.10.2007 14,30	31.10.2007 7,00	31.10.2007 14,00	1.11.2007 7,15	1.11.2007 14,00	2.11.2007 8,00	2.11.2007 14,00	5.11.2007 9,00	5.11.2007 14,00
Teplota (°C)	19,0	19,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	18,0	20,0	18,0	19,0	18,0	19,0
Vlhkost (%)	55	55	54	54	52	55	52	56	55	57	57	67	54

Tabulka č. 32 pokračování

DATUM	6.11.2007 8,00	6.11.2007 14,15	7.11.2007 8,15	7.11.2007 14,15	8.11.2007 7,30	8.11.2007 14,15	9.11.2007 7,35	9.11.2007 14,00	12.11.2007 7,30	12.11.2007 14,10	13.11.2007 8,30	13.11.2007 13,30	14.11.2007 8,00
Teplota (°C)	17,0	18,0	18,0	18,0	18,0	17,0	17,0	19,0	18,0	18,0	18,0	19,0	18,0
Vlhkost (%)	55	55	52	53	53	55	55	54	50	50	50	50	50

Tabulka č. 32 pokračování

DATUM	14.11.2007 14,00	15.11.2007 8,00	15.11.2007 13,30	16.11.2007 6,30	16.11.2007 13,30	19.11.2007 7,30	19.11.2007 13,30	20.11.2007 8,00	20.11.2007 14,00	21.11.2007 8,15	21.11.2007 14,10	22.11.2007 7,20	22.11.2007 14,10
Teplota (°C)	18,0	17,5	17,5	17,5	18,0	17,5	20,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,5
Vlhkost (%)	50	49	48	49	48	48	48	48	48	48	48	48	48

Tabulka č. 32 pokračování

DATUM	23.11.2007 8,00	23.11.2007 13,00	26.11.2007 7,15	26.11.2007 14,15	27.11.2007 7,45	27.11.2007 14,00	28.11.2007 8,30	28.11.2007 14,00	29.11.2007 7,15	29.11.2007 14,15	30.11.2007 8,00	3.12.2007 13,00	4.12.2007 13,00
Teplota (°C)	18,5	20,0	18,0	19,5	18,0	19,0	18,0	20,0	18,0	20,0	18,0	19,0	20,0
Vlhkost (%)	49	52	49	48	48	47	48	46	47	46	47	52	80

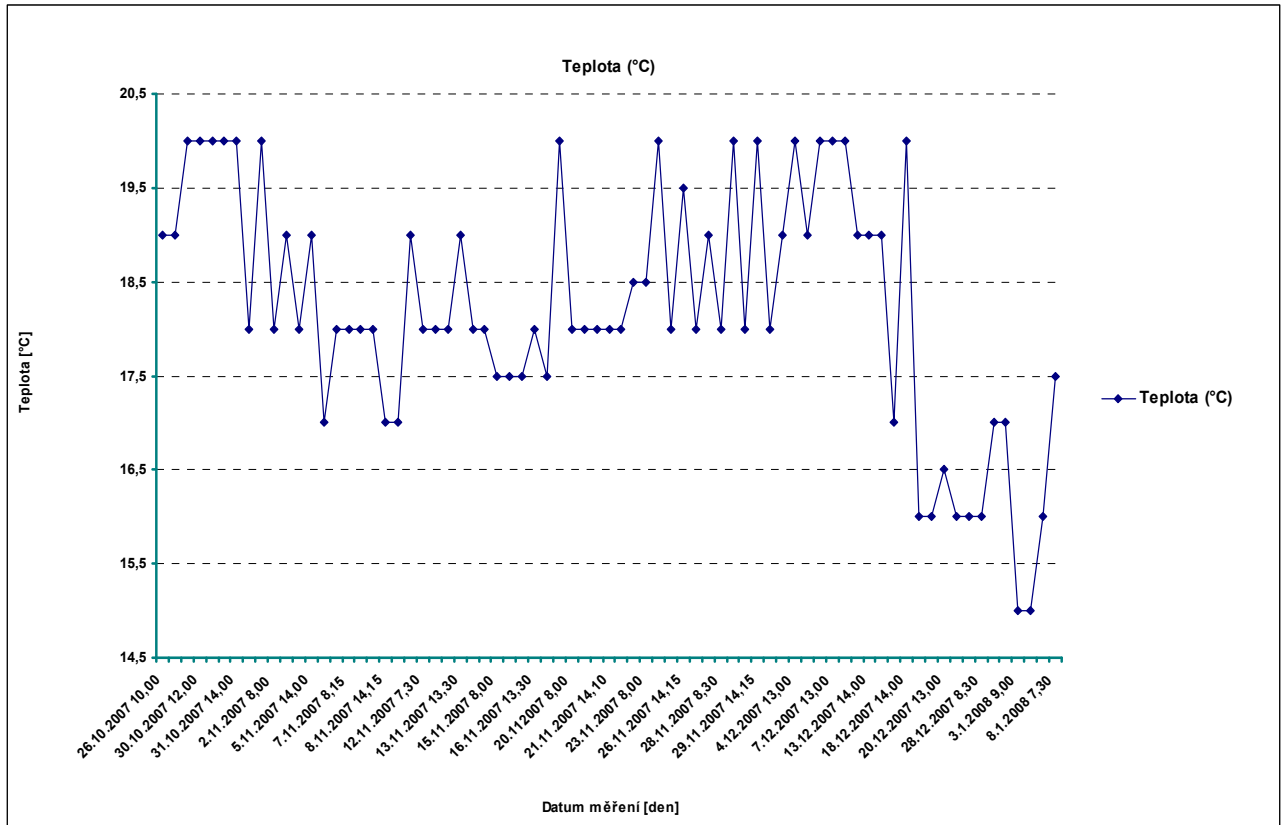
Tabulka č. 32 pokračování

DATUM	5.12.2007 13,00	5.12.2007 12,30	6.12.2007 14,00	7.12.2007 13,00	10.12.2007 11,00	11.12.2007 13,30	13.12.2007 14,00	14.12.2007 13,00	17.12.2007 12,30	18.12.2007 14,00	19.12.2007 8,00	19.12.2007 14,00	20.12.2007 13,00
Teplota (°C)	20,0	19,0	20,0	20,0	20,0	19,0	19,0	19,0	17,0	20,0	16,0	16,0	16,0
Vlhkost (%)	80	72	82	90	92	81	69	82	87	50	87	54	47

Tabulka č. 32 konec

DATUM	21.12.2007 13,00	24.12.2007 10,30	28.12.2007 8,30	31.12.2007 9,30	2.1.2008 9,00	3.1.2008 9,00	4.1.2008 12,15	7.1.2008 9,30	8.1.2008 7,30
Teplota (°C)	16,0	16,0	16,0	17,0	17,0	15,0	15,0	16,0	17,5
Vlhkost (%)	47	50	48	49	49	47	47	47	48

Graf č. 32a



Graf č. 32b

