

OBSAH

1. Úvod	6
1.1 Vymezení tématu	6
1.2 Proč nestandardní	6
2. Nestandardní zkoušení historického materiálu na malých tělesech	6
2.1 Obecné podmínky odběru zkušebního materiálu	6
2.2 Zkoušení historického dřeva	7
2.3 Zkoušení historických malt a betonů	10
2.4 Zkoušení smykové pevnosti	14
2.5 Příklady specifických problémů	15
2.6 Poznámka k vlivu rozměrů	17
3. Nestandardní zkoušení vlivu zpevňujících látek na historické materiály	18
3.1 Úvodní poznámka	18
3.2 Zkoušky zpevňujícího účinku etylsilikátů na glaukonitický pískovec	18
3.3 Zkoušky zpevňovacích přípravků na vápenné malty	21
4. Závěr	24
Citovaná literatura	25
Curriculum vitae	27

Poděkování

Práce byla podpořena institucionálním výzkumným záměrem AV0Z20710524 a využívá i výsledků experimentů řady grantových projektů, na nichž se podíleli doc. Ing. O.Jiroušek, Ph.D., Ing. Z.Slížková, Ph.D., Ing. D.Vavřík, Ph.D., Ing. J.Frankl, Ph.D., RNDr. I.Frolíková, I.Jandejsek, prof.Ing. B.Kasal, Ph.D., Ing. M.Kloiber, Ph.D., prom.fyz. J.Lesák, Ing. J.Valach, Ph.D. a Ing. P.Zíma. Za spolupráci jim patří hluboký dík. Autor dále využívá této příležitosti k poděkování dávno zesnulému profesoru Ing. Dr. Jaroslavu Šlechtovi, který ho přivedl do říše experimentální mechaniky a poučil cennými poznatky v začátcích vědecké kariéry.

1. Úvod

1.1 Vymezení tématu

Zkoušení a analýza materiálů pro památkovou péči je rozsáhlý obor, zahrnující velmi široké spektrum úloh a metod. Tato přednáška se omezuje na nejdůležitější oblasti aplikací při záchraně, restaurování a konzervaci architektonických památek a stavebních konstrukcí.

I zde však rozlišujeme mezi zkouškami, prováděnými na objektech (*in situ*) a zkouškami v laboratoři na vzorcích, odebraných z reálných historických konstrukcí nebo na zkušebních tělesech, účelově navržených pro testování účinnosti zpevňovacích či konzervačních prostředků.

Předkládaná práce se týká laboratorních metod zkoušení a analýzy materiálů v dále zúženém pásmu zjišťování fyzikálních, především mechanických vlastností. Laboratorní zkoušky jsou z inženýrského pohledu považovány za průkaznější a důvěryhodnější, než zkoušky *in situ*, neboť fyzicky pracují se skutečným materiálem a dají se i lépe numericky modelovat a analyzovat z důvodu většinou snazšího popisu okrajových podmínek.

Z pohledu zásahu do památky se tedy jedná o metody obvykle nazývané šetrně destruktivní nebo polo(semi)-destruktivní. Z hlediska samotného odebraného vzorku mohou být užívány metody a postupy destruktivní i nedestruktivní.

Přednáška se v první části zabývá metodami zkoušení nejtypičtějších stavebních materiálů, jejichž vlastnosti podstatně ovlivňují mechanické chování, bezpečnost a trvanlivost architektonických objektů, tedy zkoušením dřeva, malt a ve druhé části příklady zkoušení vlivů prostředků pro zpevňování narušených historických materiálů na změny fyzikálních vlastností těchto materiálů.

1.2 Proč nestandardní

Při průzkumech památek je preferována a často i předepsána minimalizace zásahu do původního materiálu a původní konstrukce, navíc obvykle ani neexistuje objektivní fyzická možnost získat neporušený vzorek historického materiálu v objemu a rozměrech potřebných k výrobě standardního zkušebního tělesa. Testování některých zpevňovacích materiálů a technologií zase vyžaduje vývoj nových unikátních metod, které sice mohou být standardizovány, ale tento proces je příliš zdoluhavý pro rychlé nasazení do praxe. Proto se zabýváme vývojem a aplikací nestandardních metod zkoušení materiálů pro památkovou péči.

2. Nestandardní zkoušení historického materiálu na malých tělesech

2.1 Obecné podmínky odběru zkušebního materiálu

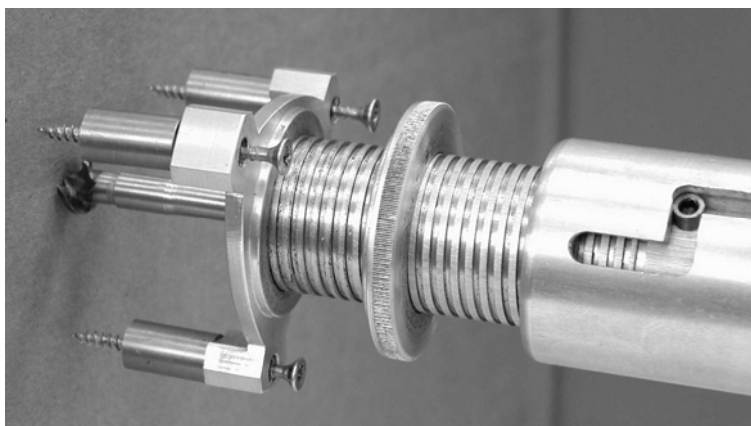
Nestandardní zkoušení historických materiálů na malých tělesech je nejsilněji ovlivněno možnostmi odběru materiálu z historických objektů. Velikost odebraného materiálu jednak nesmí narušit statické funkce prvků, z nichž je materiál odebírán, jednak by neměla způsobit nepřijatelné škody na památkových hodnotách objektu. Je třeba si uvědomit, že památkové hodnoty jsou odběrem vzorků narušeny vždy, neboť dochází k trvalé ztrátě původního

materiálu. Nestandardní zkoušky jsou však navrhovány tak, aby způsobené škody byly zanedbatelné a případné estetické závady restaurátorským zásahem opravitelné tak, že nejsou bez velmi detailního zkoumání patrné. Ve výjimečných případech lze získat historické materiály v objemech, umožňujících výrobu standardních těles. Jedná se většinou o materiál z větších bouraných sond, jádrových vývrtů větších průměrů či z demolic nebo havárií.

2.2 Zkoušení historického dřeva

Nestandardní zkoušky historického dřeva¹ jsou prováděny na milimetrových jádrových vývrtech a třískách, odebraných z povrchu konstrukce. Metoda odběru a zkoušení malých vzorků pro určení mechanických vlastností dřeva, především jeho pevnosti, je metodou polo-destruktivní vzhledem k statickému ovlivnění vyšetřovaného prvku, neboť odebíraný vzorek je z tohoto hlediska svou velikostí zanedbatelný. Vzorek sám je pak zkoušen destruktivně. Velikost vzorku zároveň není v rozporu s obvyklými požadavky památkové péče na šetrnou intervenci. Výhodou metody je to, že vzorek může být odebrán z míst určených visuelní prohlídkou jako nevhodnější, dále že se jedná o metodu přímou, že výsledek může být korelován s jinými lokálně aplikovatelnými nepřímými metodami a že můžeme určovat nezávisle tlakovou i tahovou charakteristiku. Dřevo má totiž velmi slabou korelaci mezi tahovou a tlakovou pevností.

Postupně byly vyvinuty dvě techniky použitelné pro šetrnou diagnostiku: metoda *jádrových vývrtů* a metoda *nestandardních tahových zkoušek* [1].



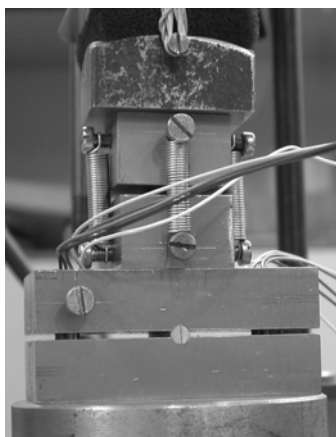
Obrázek 1. Přípravek pro odběr jádrového vývrtu

Při metodě jádrových vývrtů je nutno uvážit, že povaha dřeva jako velmi anisotropního materiálu s výrazně rozdílnými směrově orientovanými vlastnostmi, vyžaduje speciální přístupy. Studujeme-li pevnosti dřeva, zajímá nás zejména pevnost ve směru vláken, neboť určuje další mechanické vlastnosti prvku. To platí pro zdravé a čerstvé řezivo. Historické dřevo má ještě složitější

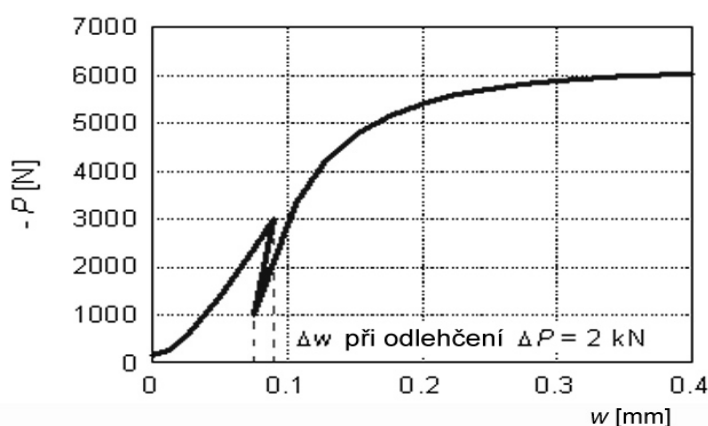
¹ Tuto metodiku autor rozvíjel ve spolupráci s profesorem Bo Kasalem z USA a v ÚTAM AV ČR, v.v.i. se na speciálních úkolech podíleli další vědečtí pracovníci (Ing. J.Minster, DrSc., doc. ing. M.Micka, CSc. a doktorandi Ing. I.Jirovský a Ing. Michal Kloiber, (viz citovaná literatura). Práce byla podporována dvěma česko-americkými grantovými projekty NSF/MŠMT KONTAKT ME660 a ME887. Jádrové vývrty se používají od 80-tých let dvacátého století, např. [6], nebo u nás J.Lexa [7].

chování vzhledem k časovým změnám jeho vlastností a s ohledem na obvykle značný rozsah biologického poškození. Je si proto třeba uvědomit, že pevnost čerstvého řeziva není totožná s pevností historického dřeva a ani materiálová anisotropie nemá stejný charakter. Pevnost napříč vláken je výrazně nižší, než podél vláken a mezi těmito dvěma extrémy se hodnota pevnosti dřeva spojitě a nelineárně mění v závislosti na úhlu mezi působícím zatížením a směrem vláken. To na jedné straně nepříjemně ovlivňuje přesnost metody v závislosti na přesnosti orientace jádra, na druhé straně však zajišťuje, že experimentálně zjištěná pevnost je vždy na straně bezpečné.

Pro odběr jádrového vývrtu jsme vyvinuli v ÚTAM AV ČR speciální držák vrtačky, kterým je vyloučeno boční vychylování vrtáku a usnadněno dosažení optimální rychlosti posuvu vrtáku do záběru, obr. 1. Upevnění vrtačky je nezbytné pro získání neporušeného a geometricky přesného jádra. Čelo vyvinutého dutého vrtáku je opatřeno na vnitřní kruhové hraně dvěma vystupujícími řeznými noži, odřezávajícími oblast odvrtávaného jádra od



Obrázek 2.
Orientované jádro
při tlakové zkoušce



Obrázek 3. Pracovní diagram
tlačného jádra s odlehčením během
zatěžování

okolního materiálu a bránícími „trhání“ materiálu. Vrták má v oblasti záběru vnitřní průměr 4,5 mm a jádro se odebírá ve směru kolmém na letokruhy v délce větší než 40 mm. Vnitřní průměr dutiny vrtáku se kónicky zvětšuje pro snížení tření mezi odebíraným dřevem a vrtákem, vnější průměr vrtáku je 11 mm a tento otvor je v dřevěném prvku po odběru jádra zazátkován dřevěným kolíkem. Jádro je po odvrtání vylomeno tenkou dutou trubičkou, vytlačeno z ní trnem a přeneseno do laboratoře ve schránce, která brání jeho poškození a změně vlhkosti.

Pro vlastní zkoušku byl vyvinut přípravek umožňující zatěžování tlakem kolmo na osu jádra a ve směru vláken dřeva. Jádro se vloží mezi dvě ocelové čelisti s vyfrézovanými polokruhovými drážkami a zatěhuje, obr. 2. Při zkoušce se pomocí dvou miniaturních LVDT snímačů měří stlačování jádra. Sklon funkční závislosti mezi působící silou a měřenou deformací sice nepředstavuje klasickou závislost podle Hookova zákona, ale s modulem pružnosti materiálu koreluje [2]. Podobně koreluje i počátek tečení a výrazné změkčení materiálu. Stav napjatosti v jádře je značně komplikovaný a neumožňuje jednoduchý

výpočet modulu pružnosti [3], [8]. Z našich testů však plyne, že sklon pracovního diagramu při pružné deformaci po odlehčení v průběhu zatěžování dává dobrý odhad modulu pružnosti, obr. 3.

Pro určení tahové pevnosti se odebírá jednoduchým způsobem pomocí přestavitelné okružní pilky trojúhelníková lišta. Opatří se přilepenými koncovkami, a je připravena k nestandardní zkoušce tahem, obr. 4. Tahový



Obrázek 4. Tahová zkouška třísky

vzorek se vkládá do jednoduchých čelistí, navržených pro tento účel a zatěžuje v běžném zkušebním stroji. Tato zkouška je sice nestandardní, ale svým pojetím a provedením se velmi blíží standardní zkoušce podle ASTM [4], neboť používá podobnou velikost průřezové plochy vzorku (8 mm^2 oproti 20 mm^2) a stejně jednoduché uspořádání, eliminující zkreslující ohyb. Výsledky dosažené touto zkouškou není třeba korelovat a mohou být prohlášeny za srovnatelné se standardním testem. Pro zajištění požadovaného porušení ve střední části tahového tělíska se doporučuje lehce zmenšit průřez obroušením při zachování konstantního profilu na střední části a s hladkým přechodem ke koncům.

Mechanické charakteristiky určené výše popsány zkouškami musí být pro posuzování bezpečnosti konstrukce a dimenzování převedeny na technické vlastnosti řeziva, které berou v úvahu redukci lokálně zjištěné pevnosti na čistém dřevě v důsledku defektů, které se běžně vyskytují na velkých prvcích (suky, praskliny a další vady dřeva), včetně poškození biotickým napadením. Za těchto podmínek je metoda účinným nástrojem pro projekční praxi, např. nedávno byla použita pro určení materiálových charakteristik, potřebných pro hodnocení bezpečnosti dřevěných konstrukcí Mariánské věže na hradě Karlštejně [5].

Velikosti zkušebních těles umožňují výběr materiálu bez defektů – čistého dřeva, což snižuje rozptyl experimentálně zjištěných pevností a řadí tak zkoušení historického dřeva k relativně snadnějším úlohám.

2.3 Zkoušení historických malt a betonů

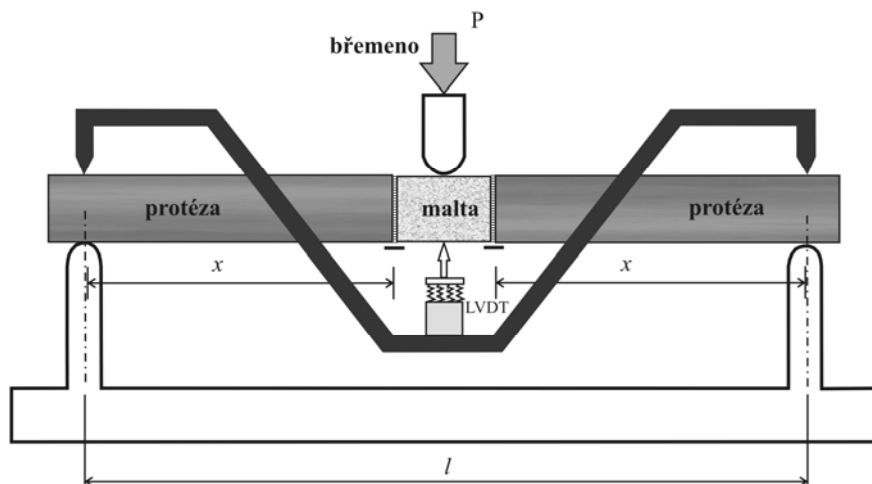
Zkoušení malt historických objektů je stále předmětem diskuzí, neboť je zřejmé, že tradiční pojetí zkoušení malt dává v podstatě výsledky prakticky nepoužitelné pro posouzení skutečné bezpečnosti nebo naopak nebezpečného ohrožení historické konstrukce. Malta se nevyskytuje ve zděné konstrukci v tloušťkách požadovaných pro výrobu standardních zkušebních těles, až na zanedbatelné výjimky nebo jádra tříplášťového zdiva, a není v těchto konstrukcích namáhána ani ohybem ani tlakem, způsobem, podobajícím se podmínkám zkoušky.

V poslední době sílí požadavky na změnu metodiky zkoušení malt odebraných z historického zdiva a je snaha aplikovat zkušenosti z mechaniky zemin a hornin. To znamená např. zkoušet maltu v podmínkách *trojosé napjatosti*, což je samozřejmě mnohem náročnější a vyžaduje potřebné drahé přístrojové vybavení. Proto jsou alternativně vyvíjeny jednodušší přístupy, založené na nových myšlenkách nebo modifikující již známé techniky.

Metodika nestandardních zkoušek je ovlivněna několika faktory. Především tím, že reálná velikost odebraného vzorku malty z historické konstrukce – zdiva – obvykle nedosahuje ani dvoucentimetrové tloušťky. I v případě dostupnosti většího objemu malty, následná výroba tělíska pro zkoušku tlakem – (vyřezání krychle) – výrazně ovlivňuje měřené vlastnosti vzorku, protože nevyhnutelně dojde k narušení povrchových vrstev a ke snížení pevnosti. Proto se při tlakových zkouškách dává přednost tělískům ve tvaru nepravidelného „koláče“ malty ze spáry zdiva, jehož tloušťka je obvykle vyrovnána sádrou nebo jiným rychle tuhoucím tmelem na konstantní rozměr. Metodika zkoušení se neliší od klasických tlakových zkoušek, jenom vyhodnocení musí vzít v úvahu rozměrové faktory.

Na takovýchto vzorcích se obtížně měří modul pružnosti. To je i jeden z důvodů, proč rozvíjíme metodiku zkoušení skutečné malty v ohybu. I zde však musíme řezat vzorky se stejnými problémy povrchového narušení. Nicméně, alespoň dva líce vzorku zde mohou zůstat bez obrábění a tudíž s intaktními vlastnostmi. Jedná se však vždy o plochy kontaktu mezi maltou a kusovým stavivem a tudíž o plochy technologicky ovlivněné jinak, než základní materiál. Tento vliv obecně může jak zlepšit, tak i zhoršit vlastnosti malty a byl zatím podrobněji studován velmi útržkovitě a většinou i metodicky nesprávně [9]. Velikost vzorku je však stále malá pro ohybovou zkoušku. Proto jsme navrhli a používáme originální metodu nastavení vzorku jiným materiálem, tzv. *protézování* [10], [11].

Při protézování je vzorek odebraného materiálu doplněn na potřebnou délku, odpovídající podmínce Navierova předpokladu lineárního rozdělení napětí po průřezu při ohybu, obr. 5. Tento předpoklad je základem technické nauky o pružnosti a pevnosti materiálů a je použit při odvození matematických modelů potřebných pro vyhodnocení zkoušek. Při použití krátkého vzorku by byla měřená deformace navíc silně ovlivněna příspěvkem posouvající síly. Vhodným materiálem pro protézování malt je dřevo, neboť je dostatečně pevné, lehké, levné, dobře se obrábí a dobře se lepí.



Obrázek 5. Schéma protézovaného zkušebního tělesa a jeho zkoušení třibodovým ohybem, včetně měření průhybu snímačem typu LVDT

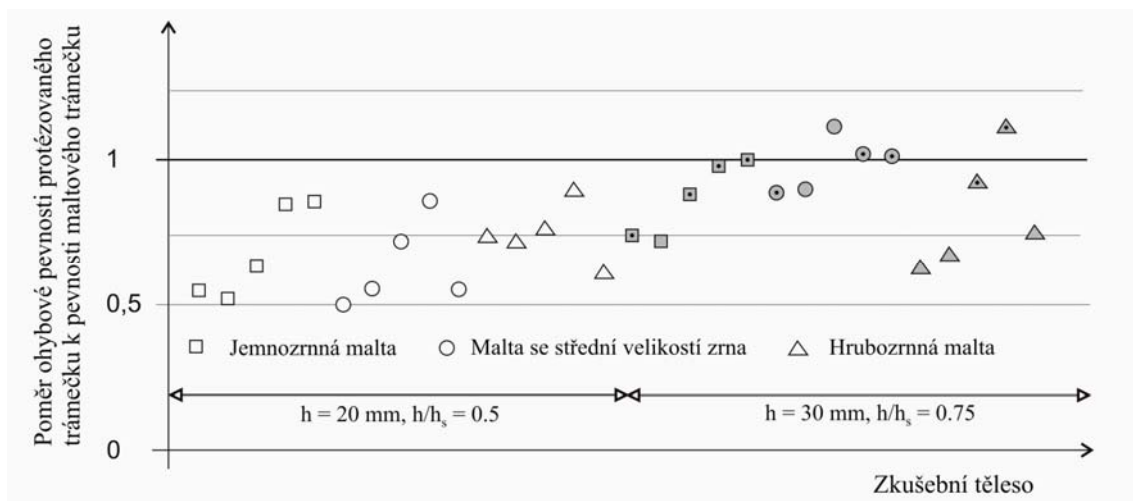
Pro vyhodnocení deformačních charakteristik ze zkoušek při třibodovém ohybu – modulu pružnosti v ohybu E_2 – se naměřené závislosti přepočtou podle vzorce:

$$E_2 = \frac{PlE_1(l^2 - 4x^2)}{32yE_1J - 4Plx^2}$$

kde

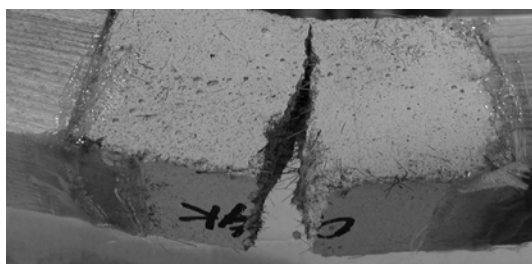
- P působící síla
- l rozpětí nosníku (vzorku)
- E_1 modul pružnosti dřevěných protéz
- J moment setrvačnosti průřezu nosníku
- x délka protézy = 0,5 (l – délka maltové části).

Vliv protézování je zanedbatelný podle výsledků zkoušek, porovnávajících naměřené ohybové pevnosti na čistě maltových trámečcích s pevnostmi, zjištěnými na identickém materiálu při použití protézování. Při těchto zkouškách byly obě části rozlomených trámečků po zkoušce ohybem použity pro testování vlivu protézování na velikost zjištěné ohybové pevnosti malt. Tělíška o velikosti cca $2 \times 2 \times 3$ cm a $3 \times 3 \times 4$ cm byla nastavena na délku, potřebnou k ohybové zkoušce, přilepením dřevěných protéz na oba zarovnané konce a zatěžována čtyřbodovým ohybem. Poměr pevností protézovaného vzorku ku „standardnímu“, tj. celo maltovému dosahoval při zkouškách hodnot od 0,98 do 1,02, pokud došlo k porušení vzorku v jeho střední části (v maltě nenarušené lomem při ohybové zkoušce i řezem při zarovnávaní konců), obr. 6. Při prvních zkouškách se protézované vzorky porušovaly v těsné blízkosti dřevěné protézy, nebo se od ní odtrhly v tenké přechodové vrstvě malty. V takovém případě je zjištěná pevnost vždy nižší, než pevnost maltových trámečků plné délky a pohybuje se okolo 65-70 % pevnosti maltového vzorku pro tělesa o průřezu cca $2 \text{ cm} \times 2 \text{ cm}$, 80-100 % pro tělesa se stranami průřezu $3 \text{ cm} \times 3 \text{ cm}$.

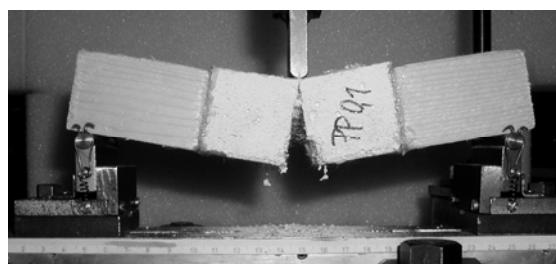


Obrázek 6. Poměr ohybových pevností zjištěných na maltových trámečcích k pevnostem dosaženým na protézovaných trámečcích z identické malty při zatěžování čtyřbodovým ohybem. Tečka uvnitř symbolu značí zkušební vzorky, které se porušily uprostřed maltové části protézovaného trámečku.

Jak již bylo řečeno, při výrobě protézovaného vzorku dochází k narušení oblasti malty v okolí řezné plochy lepeného konce. Technologie protézování tak vyžaduje úspěšně vyřešit problém zpevnění koncové oblasti a použití dostatečně pevného lepidla v kombinaci s přiměřeným typem zatěžování vzorku. Z tohoto hlediska je zřejmě v tomto případě tříbodový ohyb vhodnější než čtyřbodový, neboť méně namáhá oblast lepeného spoje. Při naší experimentální práci byl tento problém vyřešen krátkou bandáží lepené spáry mezi maltou a dřevěnou protézou, obr. 7. Zkušební tělesa se pak lámou v místě největšího namáhání trámečku. Metoda byla úspěšně použita i pro výzkum lomových charakteristik vápenných malt vyztužených organickými vlákny, obr. 8.



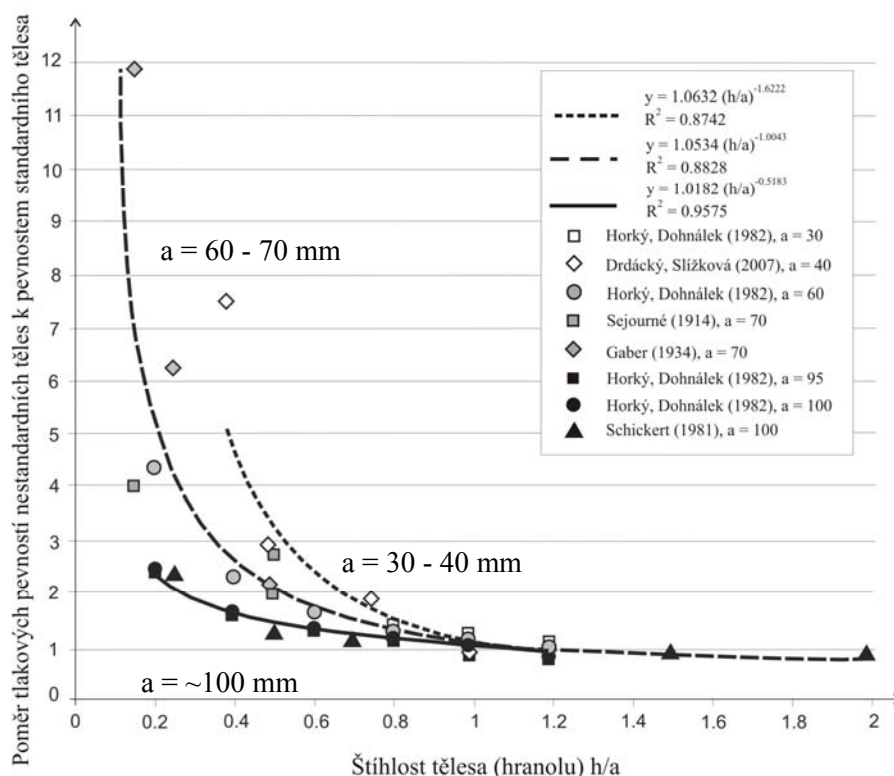
Obrázek 7. Detail zesílení lepeného spoje podložením krátkou bandáží



Obrázek 8. Příklad zkoušky vápenné malty s polypropylenovými vlákny

Obecně můžeme říci, že pro měření ohybových pevností historických malt, odebraných z konkrétních lokalit, je metoda protézování dostatečně spolehlivá a vždy na straně bezpečné. Výhodou je zejména snadný odběr vzorků a objektivní výsledek.

Podobně, jako v případě ohybových zkoušek, jsou obvykle odebrané vzorky historického materiálu příliš malé pro přípravu standardních zkušebních těles pro zjišťování pevnosti v tlaku. Zkoušíme pak velmi *ploché* vzorky a měřené síly při porušení vzorku na mezi únosnosti výrazně převyšují hodnoty,



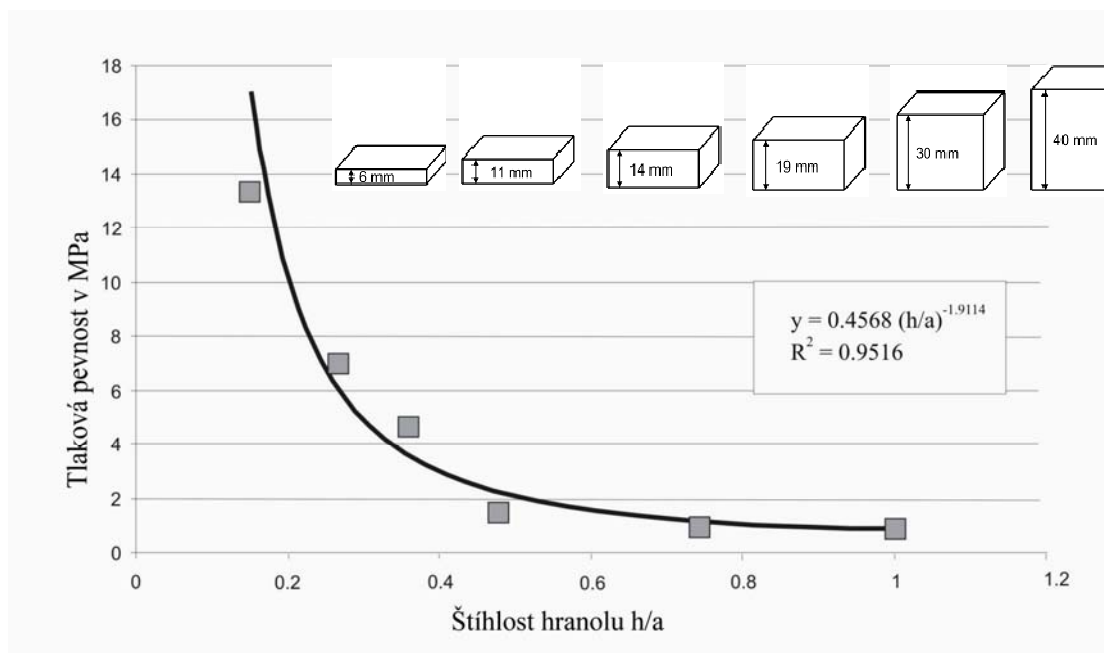
Obrázek 9. Vliv štíhlosti zkušebního tělesa a délky hrany jeho podstavy na experimentálně zjištěnou pevnost v tlaku cementové malty

odpovídající krychelným pevnostem ze standardních zkoušek. Tento jev je dobře znám z výzkumu metodiky zkoušení betonu a cementových malt a je stále předmětem výzkumu [12]. Zkreslení výsledku je způsobeno řadou faktorů. Kromě vlivu *štíhlosti* vzorku, tedy *poměru výšky vzorku k délce kratší hrany podstavy*, se uplatňuje vliv *tření mezi tlačnými čelistmi a zkušebním vzorkem*, vliv *délky hrany podstavy* nebo *délky tlačné čelisti*, vliv *kvality malty* (krychelné pevnosti) a vliv *poměru velikosti plochy vzorku k ploše tlačné čelisti*. Náznorně je výsledný efekt pro cementové malty ukázán na obr. 9, kde jsou, kromě výsledků zkoušek autora a Z.Slížkové [13], využity i starší výsledky, známé z literatury.

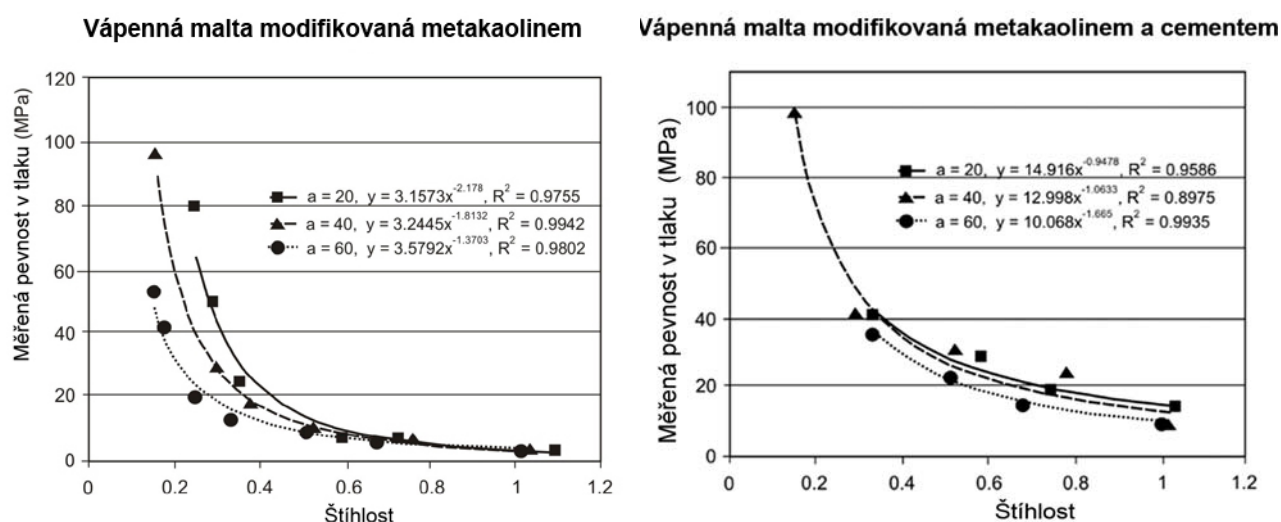
Vliv štíhlosti na chování historických vápenných malt při nestandardních zkouškách nebyl donedávna známý. Autor se spolupracovníky navrhl a provedl dvě série zkoušek na čistě vápenných hubených maltách a na vápenných maltách, modifikovaných přídatkem metakaolinu nebo kombinace metakaolinu a portlandského cementu pro rozšíření spektra různých pevností malty [14], [15]. Kvality těchto malt se blíží obvyklým pevnostem historických malt. Experimentální výsledky potvrdily jevy, známé ze studia cementových malt, obr. 10, obr. 11 a poskytly možnost odvození empirického vzorce pro odhad ekvivalentní standardní krychelné pevnosti, určované z pevností, zjištěných na plochých zkušebních tělesech v závislosti na jejich štíhlosti ve tvaru

$$f_c = f_e (h/a)^{1,91} \quad (h \leq a, a = 40 \text{ mm}),$$

kde f_c je ekvivalentní standardní krychelná pevnost malty, f_e experimentálně zjištěná pevnost malty při zkoušce plochého vzorku, h výška tělesa, a délka hrany podstavy tělesa.



Obrázek 10. Zjištěné pevnosti plochých těles z vápenné malty o standardní pevnosti 0,365 MPa



Obrázek 11. Vliv délky podstavy na zjištěnou tlakovou pevnost ze zkoušek plochých těles vyrobených z vápenných malt různého složení a pevnosti

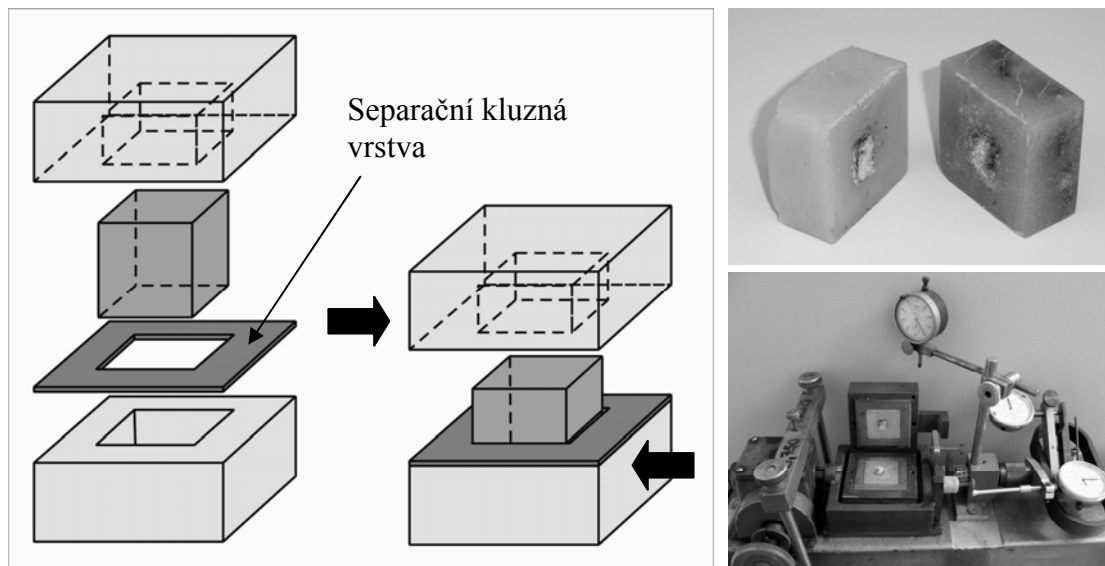
Odhad ekvivalentních standardních pevností umožňuje porovnávat pevnosti malt, získané na tělesech různých rozměrů i hodnotit kvalitu historické malty pro posuzování starého zdiva.

2.4 Zkoušení smykové pevnosti

Pro zkoušení smykové pevnosti historických malt byla vyvinuta metoda, založená na standardní zkoušce smykové pevnosti zemin v krabicovém smykovém zatěžovacím stroji.

Můžeme postupovat dvěma způsoby. Při dostatečně velkém objemu materiálu je možné vyrobit kvádr, který je pomocí vložek a utěsnění tenké vrstvy podél okraje jemným pískem vložen do krabice a standardně smýkán.

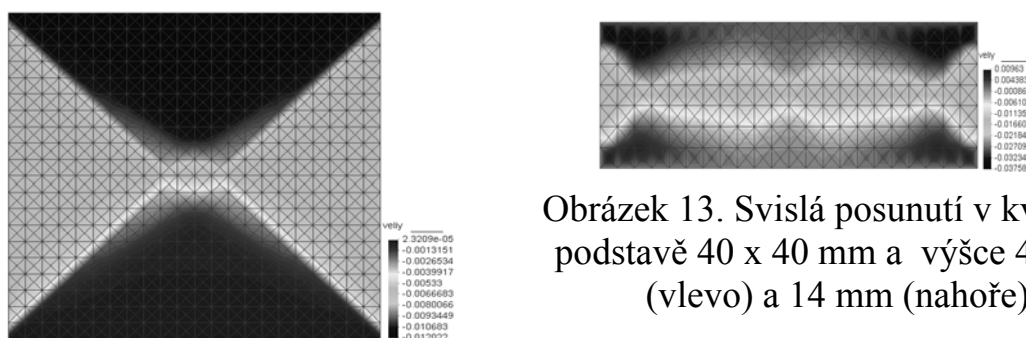
Menší hroudy malty vyžadují inovovaný přístup, kdy je hrouda zalita do dvou vzájemně nespojených pevných bloků podle obr. 12. Nespojitost na smykové rovině je zajištěna klznou vrstvou tak, aby nebyla ovlivněna smyková pevnost zkoušené hroudy, na obrázku zobrazené jako menší šedá krychle. Zalití malty je možno provést pomocí epoxidové pryskyřice nebo jiného vhodného materiálu. Při použití pryskyřice je nutné odvádět teplo, které se při polymeraci vyvíjí. V uvedeném případě to bylo provedeno zmenšením objemu pryskyřice pomocí plniva z drobného chladného šterku.



Obrázek 12. Princip zkoušení smykové pevnosti (vlevo) a hrudka historické malty zalitá do bloků po zkoušce ve smykovém stroji

2.5 Příklady specifických problémů

Výše uvedené metody jsou příkladem kreativního přístupu ke klasickému zkušebnictví stavebních materiálů, kde jsou kombinovány relativně jednoduché zkušební postupy s komplexnějším přístupem při vyhodnocování.



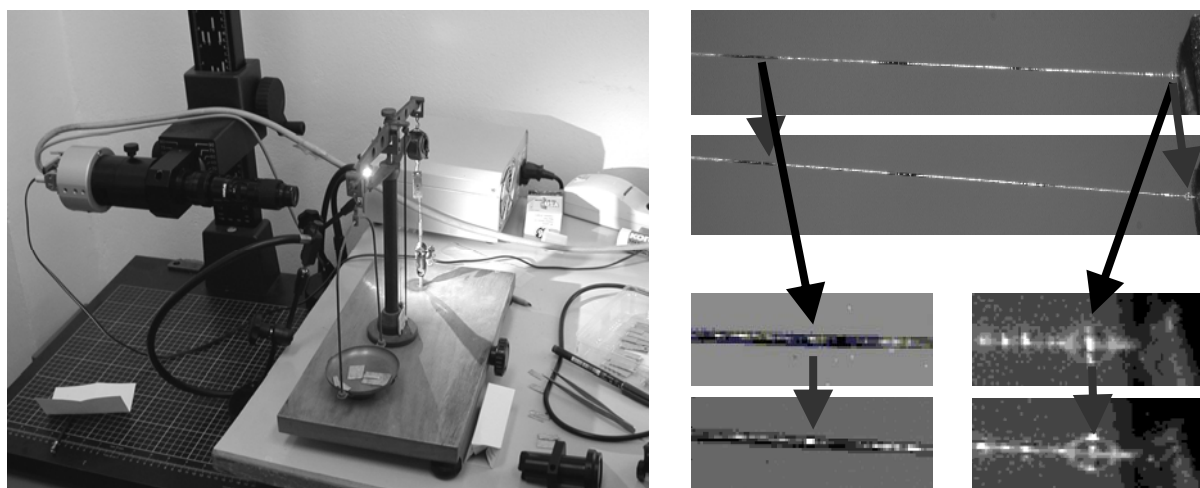
Obrázek 13. Svislá posunutí v kvádru o podstavě 40 x 40 mm a výšce 40 mm (vlevo) a 14 mm (nahore)

Studium chování historických materiálů při zatížení však často vyžaduje použití náročnějších přístupů. Náročné je zejména určování deformačních charakteristik historických materiálů. Stav napjatosti v malém zkušebním tělese při zatížení tlakem v celém objemu nesplňuje předpoklady, umožňující výpočet modulu pružnosti z měření povrchových deformací, viz např. obr. 13, kde jsou porovnána svislá posunutí ve zkušebních kvádrech různé štíhlosti při zatížení tlakem, vypočtená MKP simulací při využití Mohr-Coulombova konstitutivního

modelu malty jako cementované zeminy. Samotné měření těchto deformací vyžaduje nasazení metod, umožňujících měření pole posunutí na celém povrchu a kombinaci s numerickými metodami při vyhodnocování naměřených dat.

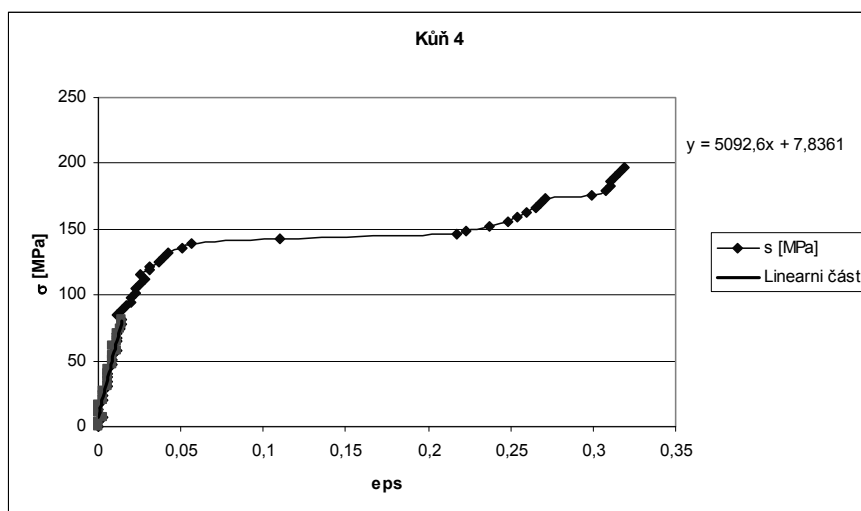
Jako příklad uveďme použití *digitální korelace obrazu*. Využívá kvalitní fotografie povrchu maltového tělesa, jehož přirozená struktura vytváří jedinečné obrazce, které si při deformaci v průběhu zatěžování zachovávají charakter digitálně identifikovatelný. Při praktické aplikaci se u pořízené fotografie povrchu filtrováním redukuje šum a zdůrazňuje textura. Porovnáním obrazů při následných zatěžovacích krocích se vyhodnocují vektory posunutí, z nich počítají poměrná přetvoření a dále je možné konstruovat klasické pracovní diagramy materiálu [16], [17].

Pro ilustraci metody a ukázkou dalšího příkladu kombinace jednoduchého uspořádání nestandardní zkoušky historického materiálu uvádíme příklad zjištění pevnosti a modulu pružnosti krátkých přírodních vláken – koňských a kozích chlupů, používaných v maltách. Pro experiment byl „vyroben“ jednoduchý pákový zatěžovací rám ze staré laboratorní váhy. Chlup byl na obou koncích vlepen mezi dvě plechové destičky, které usnadnily upevnění do hodinářské svěrky na „stůl“ rámu a zavěšení druhého konce na zatěžovací rameno váhy. Zatěžování bylo realizováno pomocí kalibrovaných kuliček,



Obrázek 14. Uspořádání zkoušky krátkých přírodních vláken (zvířecích chlupů) a ukázkou značek, vytvořených na vláknech pro měření deformace. Je dobře vidět změna tvaru značek během zatěžování, která vyvolala potřebu aktualizace referenčního obrazu po každém zatěžovacím kroku.

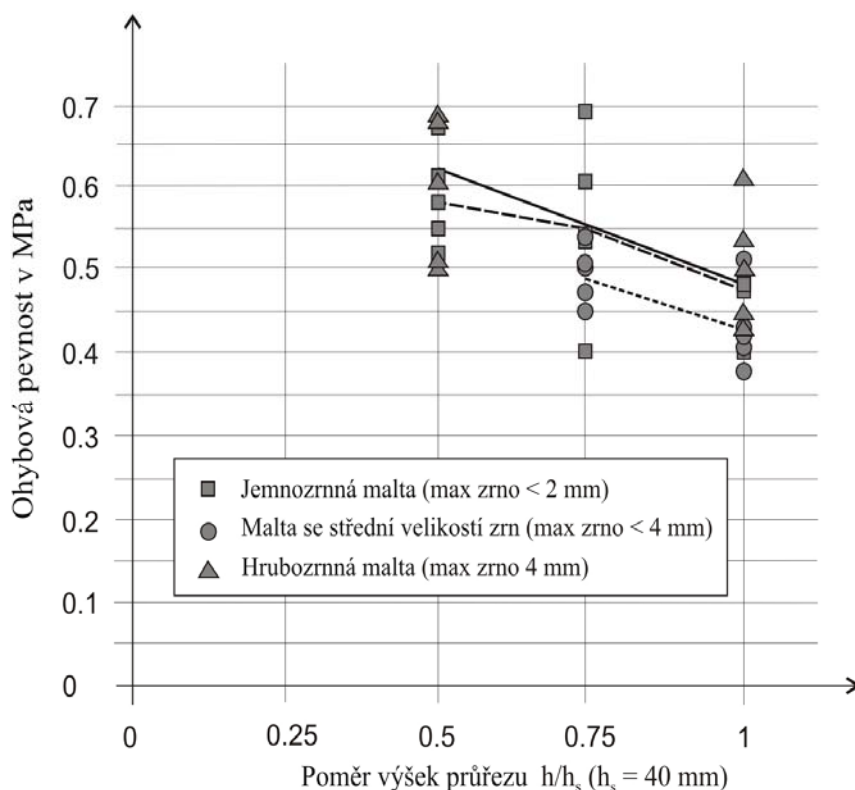
kladených na miskou, zavěšenou na druhém ramenu váhy. Deformace byla sledována pomocí mikroskopické kamery, která zaznamenávala posun kontrastních skvrn, vyznačených na chlupu před zkouškou, obr. 14. Přetržené vlákno bylo po zkoušce zalito do epoxidové pryskyřice, vybroušeno a jeho plocha změřena v mikroskopu. Z naměřených dat byl sestaven pracovní diagram jednotlivých typických chlupů, viz příklad na obr. 15.



Obrázek 15. Rekonstruovaný pracovní diagram koňského chlupu

2.6 Poznámka k vlivu rozměrů

Při použití nestandardních těles se dále musíme vyrovnat s tzv. faktorem velikosti, tj. vlivem rozměrů tělesa na jeho chování a naměřené mechanické vlastnosti. Tento faktor je zatím nejlépe prozkoumán pro vápenné malty a jejich ohybovou pevnost pilotní sérií zkoušek. Výsledky jsou uvedeny na obr. 16.



Obrázek 16. Vliv velikosti zkušebního tělesa na pevnost vápenné malty v ohybu

Ačkoliv výše uvedené zkoušky byly jen orientační vzhledem k nízkému počtu zkušebních těles, (minimálnímu pro základní vyhodnocení), je z grafu na obr. 16 zřejmé, že zjištěná tendence poklesu ohybové pevnosti s růstem velikosti

vzorku odpovídá známému „vlivu velikosti“, tj. na menších vzorcích zjišťujeme větší ohybové pevnosti a pro porovnání s normativními hodnotami musí být korigovány [18].

Podle našich dosavadních zkušeností je pro obvyklé spektrum rozměrů průřezu trámečků tento vliv malý a srovnatelný s pozorovaným rozptylem naměřených hodnot v souborech vzorků o stejné velikosti zkušebního tělesa. Můžeme odhadnout, že se pohybuje okolo deseti procent.

Z výsledků lze odhadnout i tendenci vlivu granulometrie na měření vlivu velikosti na ohybovou pevnost. Tento vliv je zanedbatelný a nebrání zjišťování mechanických vlastností malt na malých vzorcích.

3. Nestandardní zkoušení vlivu zpevňujících látek na historické materiály

3.1 Úvodní poznámka

Zpevňování zchátralých historických materiálů, zejména hornin a malt, patří k základním restaurátorským úkonům. Zkoušení účinnosti užívaných nebo nově vyvíjených zpevňovačů je zároveň obtížným úkolem a jeho řešení vyžaduje velmi komplexní přístup, počínaje návrhem vhodných zkušebních těles a konče využíváním mocných experimentálních a vyhodnocovacích nástrojů.

V této kapitole uvádíme dva příklady studií – jedna se zabývá vyhodnocením vlivu etylsilikátové impregnace originálního historického materiálu, druhá řeší problém zpevnění vápenné malty zkoumáním vlivu rozmanitých prostředků na modelovou vápennou maltu nízké pevnosti.

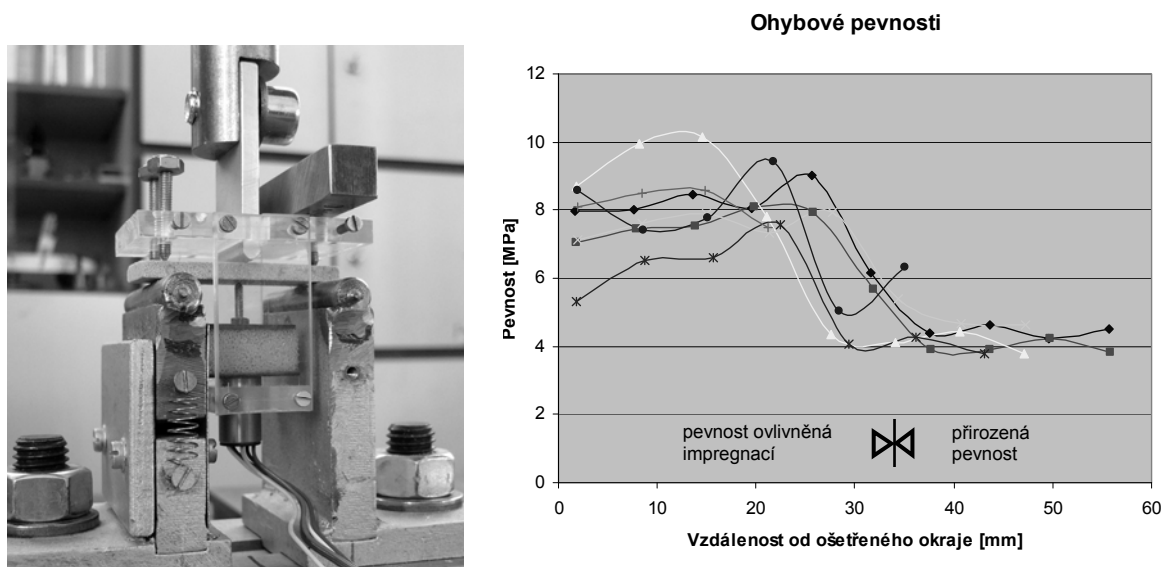
3.2 Zkoušky zpevňujícího účinku etylsilikátů na glaukonitický pískovec

Cílem zkoušek bylo posoudit vhodnost a účinnost organokřemičitých prostředků, obecně užívaných pro konsolidaci poškozeného kamene, v konkrétním případě reliéfních byst, které jsou součástí výzdoby vnějšího trifória katedrály sv. Víta v Praze. Vzhledem k umístění reliéfů s orientací od severní přes východní až k jižní straně bylo nutno zohlednit působení různých kombinací faktorů povětrnosti, především kolísání teploty a vlhkosti prostředí. Poloha reliéfů nezaručuje absolutní ochranu kamene před působením přímého deště nebo napadaného sněhu, ale podle zkušeností pracovníků Správy pražského hradu jsou reliéfy převážně mimo dosah dešťových srážek a zatečení vody z tajícího sněhu v zimních měsících je pouze krátkodobé. Po zvážení všech povětrnostních činitelů působících na exponovaný kámen byl vytvořen program zkoušek. Do programu byly zařazeno měření a vyhodnocení změn mechanických vlastností kamene, jeho koeficientu teplotní a vlhkostní roztažnosti, propustnosti vodní páry, nasákavosti a průniku kapalné vody do kamene v závislosti na ošetření kamene organokřemičitým prostředkem².

Pevnost pískovce v ohybu a Youngův modul pružnosti byly zkoušeny na malých vzorcích – podlouhlých destičkách o nominálních rozměrech 15 x 40 až 45 x 3,7 mm. Bloky pro výrobu destiček byly odříznuty ze základních vzorků

² Výběrem organokřemičitanů a studiem jejich vlastností se zde nezabýváme, přestože byly též předmětem zkoumání [19].

kamene 1 měsíc po aplikaci zpevňovačů. Destičky byly řezány tak, aby postihly změnu charakteristik materiálu po impregnaci v profilu kolmém na ošetřený povrch v hloubkách, odstupňovaných přibližně po 5,8 mm (tloušťka destičky 3,7 mm, prořez cca 2,1 mm). Vzorky byly před zkouškou vysušeny (24 hod. při 60° C) a 12 hod. uloženy v laboratorním prostředí (26° C/ 40 %).

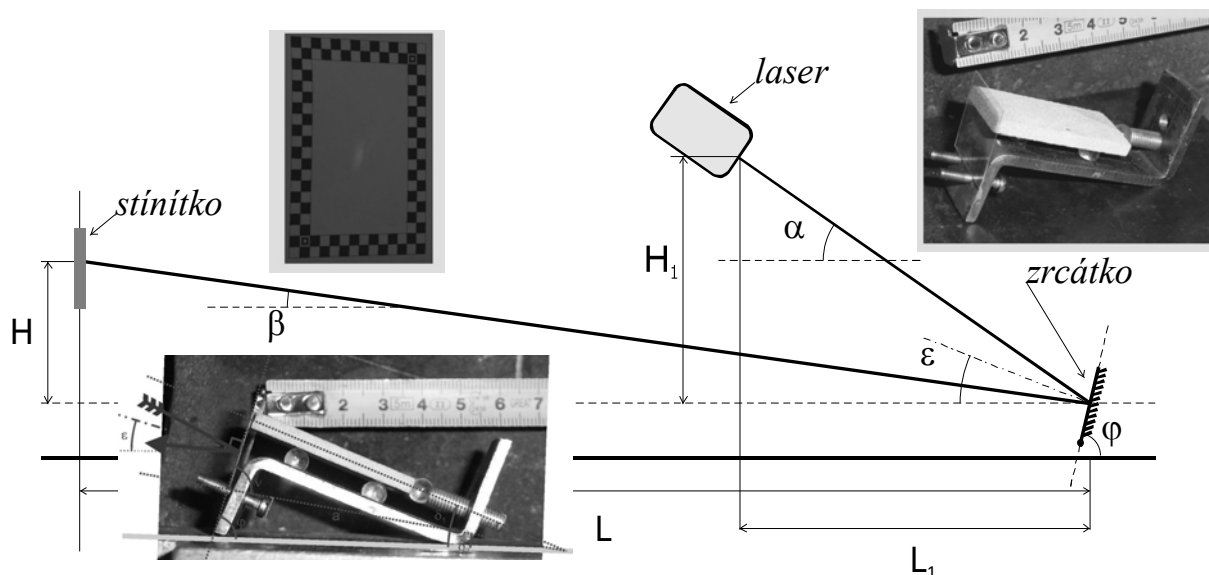


Obrázek 17. Vliv zpevňovacího prostředku na ohybovou pevnost pískovce.
(V pravé části obrázku grafy oscilují kolem přirozené pevnosti pískovce)

Zjištěná zvýšení pevnosti podél hloubkového profilu impregnovaných vzorků jsou uvedena na obr. 17. Je na něm dobře vidět nárůst pevnosti na ošetřeném kraji a pokles zpět na hodnotu nezpevněného materiálu v hloubce, kam už zpevňovač nepronikl. Obrázek tak velmi dobře dokumentuje i hloubku penetrace etylsilikátových přípravků.

Obě poloviny destičky po zlomení při ohybové zkoušce byly použity pro zkoušení změny propustnosti pro vodní páru. Zajímavější je uspořádání zkoušky pro měření změn dilatance.

Změna délky či objemu pískovce vlivem změny teploty je vyjádřena koeficientem tepelné roztažnosti α_T , který je poměrem mezi délkovou ΔL (objemovou ΔV) změnou při změně teploty o 1° C a původní délkou L (objemem V). Tento koeficient je závislý na teplotním intervalu, proto se při experimentech pohybujeme v rozmezí reálných teplot, dosažitelných na konstrukci při oslunění. Zkušební vzorky byly uloženy po dobu 6 hodin do pícky a temperovány na teplotu 80° C. Před měřením byl vzorek vyjmut z pece, vložen do optického měřicího systému vyvinutého pro tyto zkoušky a ponechán chladnout až do vyrovnání teploty s okolím laboratoře, která měla konstantní teplotu 21° C. Průběh změny teploty byl snímán termokamerou a průběh změny délky byl zaznamenáván fotograficky pomocí registrace stopy laserového paprsku na stínítku. Poloha stopy se měnila v závislosti na délce vzorku. Zvolené experimentální uspořádání (obr. 18) bylo důsledkem nezbytnosti měřit nepatrné délkové změny na tělese, jehož nepravidelnosti (drsnoty povrchu daná zrnitou strukturou materiálu) byly větší, než studovaný jev. Smyslem optického systému bylo učinit délkové změny vzorku lépe měřitelnými prostřednictvím



Obr. 18. Schéma uspořádání optické soustavy pro měření roztažnosti

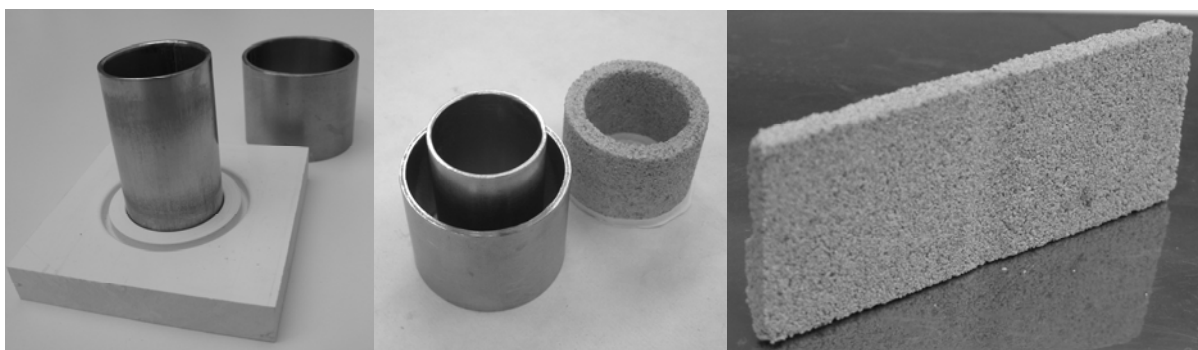
„optických převodů“. Tělísko je umístěno do speciálního přípravku tak, aby díky svému sklonu mělo tendenci samovolně vlastní vahou klouzat k opěrné stěně (přesněji s ní setrvávat v kontaktu). Na druhém konci se o tělísko opírá zrcátko. Zaostřený laserový paprsek je odražen zrcátkem opřeným o zkušební tělísko. Délková změna tělíska vyvolává přes „optickou páku“ na registračním stínítku změnu polohy stopy laserového paprsku odrazem od pootočeného zrcátka. Díky dlouhé základně sestavy (cca 9 m) a velice jemnému záznamu stopy s rozlišením 1 pixel, odpovídajícímu cca 0.06 mm v záznamu digitálního fotoaparátu, bylo možné zaznamenat i jemné pohyby zrcátka. Přechod tělíska z ohřátého stavu na pokojovou teplotu byl zaznamenáván jak fotoaparátem, tak termokamerou v 10s intervalech po dobu cca 10 minut. Ze záznamů termokamery byla určena průměrná teplota vzorku, (na vzorku se během ochlazování vytvořil teplotní gradient několika stupňů Celsia). Naproti tomu poloha těžiště stopy na stínítku byla stanovena metodami obrazové analýzy z digitálních fotografií. Ze souběhu chladnutí vzorku a posouvání stopy po stínítku, který potvrzoval lineární závislost mezi změnou délky a změnou teploty, byl určen součinitel teplotní roztažnosti. Stejný měřicí systém byl použit pro měření koeficientu vlhkostní roztažnosti. V tomto případě byl do systému vložen vzorek plně nasycený vodou a ponechán vysychat v prostředí laboratoře, která měla konstantní relativní vlhkost 64%. Absolutní vlhkost před zkouškou a po zkoušce byla zjišťována vážením vzorku. Při předpokladu lineární závislosti vlhkostní roztažnosti na absolutní vlhkosti je pak možno zjistit koeficient vlhkostní roztažnosti α_H jako poměr mezi délkovou ΔL (objemovou ΔV) změnou při změně vlhkosti o 1% a původní délkou L (objemem V).

Je třeba říci, že při těchto měřeních pracujeme s velmi subtilními veličinami a spolehlivé hodnoty bychom získali pouze vyhodnocením statisticky významných sérií zkoušek, což nebylo z časových důvodů možné provést. Nicméně i orientačně naměřené hodnoty daly obraz o chování pískovce ošetřeného vybranými přípravky, [19].

3.3 Zkoušky zpevňovacích přípravků na vápenné maltě

Při restaurování degradovaných vápenných malt a vápnitých hornin – např. vápenců, mramoru či opuky – je lákavou technika konsolidace vápennou vodou. Neboť, řečeno slovy Clifford Price [20], „co může být přirozenějšího, než dodat vápno (*rozuměj hydroxid vápenatý*) do vápence a pak nechat vzduch, aby ho přeměnil v uhličitán vápenatý, tedy materiál, který tvoří vápenec?“ Metoda má proto ve světě i v České republice vášnivé zastánce, ale i skeptiky a přesvědčené odpůrce. V nemnoha publikacích z tohoto oboru je možno nalézt podporující články, ale také zprávy o totálním selhání. Skutečně vědeckých poznatků o účinku vápenné vody (i jiných konsolidantů) bylo publikováno velmi málo, navíc mnohdy zmateně a nepřesně. Nebo jsou výsledky, získané při určitých okrajových podmínkách, velmi libovolně interpretovány či dokonce „extrapolovány“ do podmínek, kde neexistují znalosti o jejich chování, tím méně důkazy o jejich platnosti.

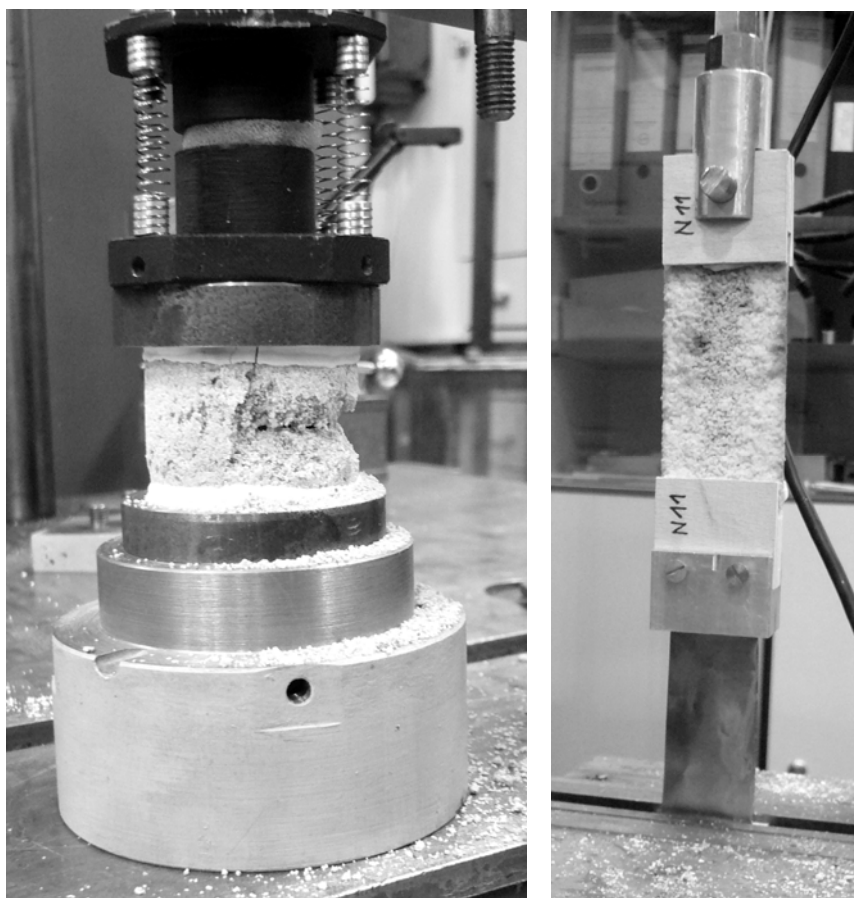
Proto autor přednášky se svými spolupracovníky nedávno dokončil studii, zaměřenou na objasnění vlivu vápenné vody a dalších přípravků na bázi hydroxidu vápenatého na mechanické vlastnosti vápenných malt. Z rešerše literatury bylo známo, že vliv konsolidace tímto prostředkem je velmi malý. Pro zvýšení citlivosti prováděných experimentů byla přijata následující opatření. Především byly zkušební vzorky vyrobeny z velmi hubené malty s poměrem pojiva ku písku 1:9, čímž se zvýšila měřitelnost malého zpevňovacího vlivu. Dále byla použita zkušební tělesa ve tvaru krátké trubky pro zkoušky tlakem. Navržená geometrie výrazně zvýšila poměr plochy konsolidovaného povrchu ku ploše příčného řezu zkoušeného vzorku. Tenké destičky byly použity i pro tahové zkoušky. Tenká stěna v obou případech zlepšila podmínky zrání vápenné malty i použitých konsolidačních přípravků, jejichž účinnost je závislá na dobrém přístupu kyslíčnicku uhličitého do zpevňovaného materiálu. Zkušební tělesa jsou ukázána na obr. 19.



Obrázek 19. Forma na krátké trubky pro tlakové zkoušky (vlevo) a vyrobená tělíska pro tlakové (uprostřed) a tahové (vpravo) zkoušky

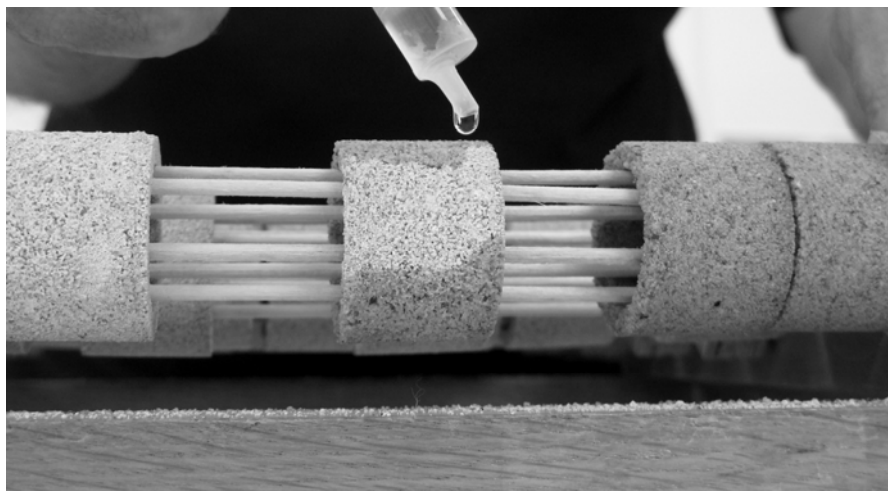
Krátké trubky byly zkoušeny v tlaku bez dalších úprav, neboť bylo krátkou studií ověřeno, že úprava tlačených konců vyrovnáním sádkou nepřináší výrazné snížení rozptylu naměřených hodnot ani zvýšení měřených pevností. Tahová tělíska byla před zkouškou vlepena do koncovek z překližky a pomocí kloubových a planžetových závěsných prvků upnuta do zatěžovacího stroje tak,

že byla potlačena možnost vzniku parazitních ohybových nebo krouticích namáhání, obr. 20.



Obrázek 20. Uspořádání zkoušky v tlaku (vlevo) a v tahu (vpravo)

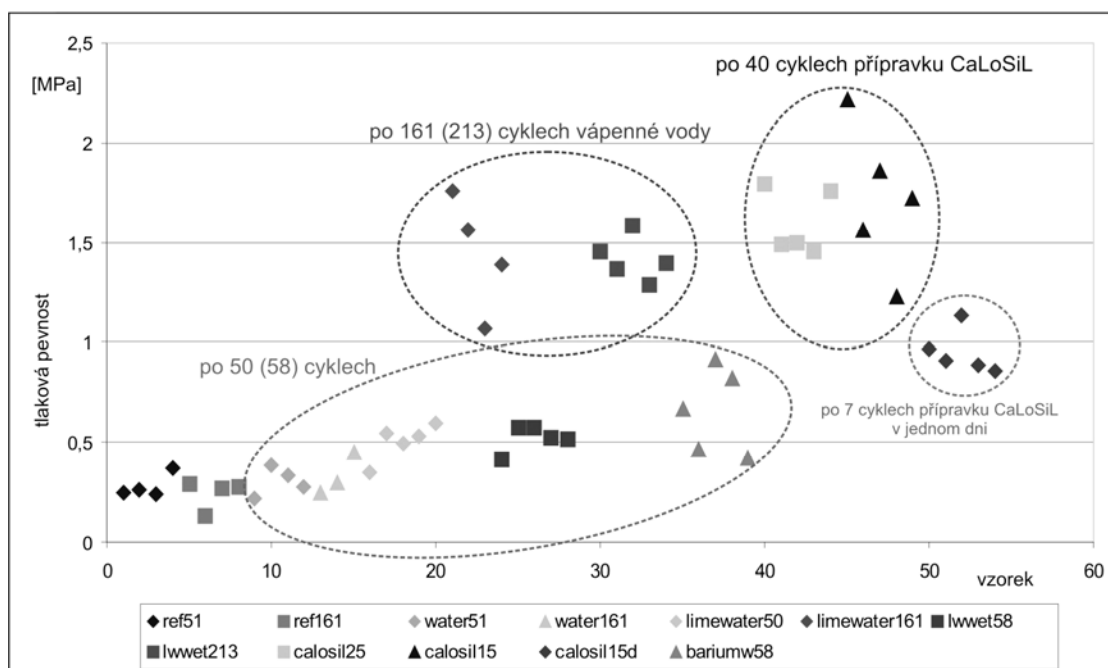
Při návrhu zkušebních těles byly uváženy i technologické potřeby aplikace zpevňujících prostředků. Ideální je vsakování na vodorovné ploše s možností řízení a kontroly množství aplikované tekutiny. Toho bylo dosaženo upevněním krátkých trubek na otáčivou roštovou hřídel, obr. 21.



Obrázek 21. Aplikace zpevňovače na trubkové těleso umístěné na otáčivé roštové hřídeli

Z metodického hlediska bylo v popisované studii důležité vyloučit všechny vlivy, které by mohly zkreslit výsledek. Vápenná voda obsahuje velmi malé množství hydroxidu vápenatého a proto je nutno provádět aplikaci roztoku v mnoha desítkách až stovkách cyklů. Řada badatelů vyslovila na jedné straně obavy o škodlivosti vlivu takového násobného máčení historického materiálu, na druhé straně i domněnky o pozitivním vlivu, který může přispívat k celkovému zpevňovacímu efektu. Dále je známo, že opakovaným máčením dochází k rozpouštění některých solí, které mohou být transportovány do hloubky degradovaného materiálu a při vysychání zde opět krystalizovat. C. Price vyslovil i hypotézu, že takto rekrystalizované sírany mohou vyvolat pozorované zpevňovací účinky [20]. Podle jiných autorů je zpevňovací efekt výrazně ovlivněn i způsobem aplikace vápenné vody [21], zejména tím, zda mezi jednotlivými cykly dochází nebo nedochází k vyschnutí impregnované malty.

Zkušební program proto zahrnoval kromě referenčních vzorků neošetřovaných žádnými přípravky i zkušební tělesa ošetřovaná destilovanou vodou, roztokem síranu vápenatého a samozřejmě roztokem hydroxidu vápenatého při aplikačních cyklech, zajišťujících vysychání i cyklech, udržujících impregnovanou maltu stále vlhkou. Časově velmi náročný program byl využit i pro testování dalších přípravků, zejména barytové vody, která je starší restaurátorskou literaturou doporučována jako efektivnější způsob zpevnění. Dále byly malty impregnovány suspenzemi nanočástic hydroxidu vápenatého v alkoholech, jako součást nového výzkumného programu. I když cílem této přednášky není prezentace výsledků výzkumu, dosaženého pomocí předkládaných technik a metod, uveďme základní poznatky o vlivu výše jmenovaných prostředků, obr. 22. Pro úplnost je třeba podotknout, že při zkouškách byl eliminován i vliv stáří maltových vzorků a proto byly i série referenčních vzorků zkoušeny ve stejném stáří, jako vzorky ošetřené.



Obrázek 22. Zvýšení pevnosti v tlaku vápenné malty po zpevnění vápennou vodou, barytovou vodou a suspenzemi hydroxidu vápenatého

Zkoušky ukázaly, že prosté máčení vápenné malty destilovanou vodou způsobuje velmi mírné zpevnění. Vápenná voda po 50 až 60 cyklech nasycení malty vyvolá přibližně dvojnásobné zvýšení pevnosti velmi hubené malty. Výraznějších efektů lze dosáhnout zvýšením počtu cyklů na 150 až 200, přičemž se nepotvrdilo, že by byly rozdíly mezi aplikacemi s vysycháním malty mezi jednotlivými cykly a aplikacemi do stále vlhké malty. Zdá se, že ve druhém případě lze dosáhnout menšího rozptylu zvýšení pevnosti. Testovaná nanotechnologie umožňuje dosáhnout výrazného zpevnění již po jednodenní aplikaci. Navíc přináší i výrazné zvýšení tahové pevnosti, čehož se vápennou vodou nepodařilo dosáhnout ani při vysokých počtech aplikací.

4. Závěr

Zdánlivě prostá úloha zkoušení mechanických charakteristik historických materiálů a zkoušení zpevňovacích prostředků pro záchranu chátrajících historických objektů má velký význam pro výzkum i praktické aplikace. Zároveň je zdrojem široké škály problémů, vyvolaných rozmanitostí zkoušených materiálů i jejich přirozenou či fyzikálními nebo chemickými změnami způsobenou heterogenitou, vyžadující často mezioborové přístupy při jejich zkoumání.

Tyto složitosti vytvářejí prostor pro rozvoj tvořivosti jako jedné z nejvýznamnějších vlastností inženýra. K tvořivosti je třeba mladé inženýry soustavně vychovávat a využívat k tomu zadání, které nedovolí mechanické aplikace normativních nebo softwarových podpor. Cílem této přednášky bylo proto ukázat též užitečnost nestandardní kreativní kombinace prostých metod a potenciálu současných technologií.

Je nesporné, že nové technologie dávají nové možnosti i v oblasti zkoušení materiálů a zjišťování jejich fyzikálních či chemických vlastností. Pro historické materiály a některé nové sanační materiály je například důležitá znalost velikosti a distribuce pórů nebo určení rozsahu oblastí vnitřní degradace materiálu. Zde je v současné době velmi nadějná kombinace radiografie a její počítačové zpracování v metodách počítačové tomografie, případně mikrotomografie. Získaná 3D data obsahují v případě rentgenové tomografie informace o hustotě materiálu a jsou cenným nástrojem výše zmíněné diagnostiky poškození např. historického dřeva biotickým nebo chemickým napadením [22] nebo nástrojem pro studium přetváření uvnitř prvku [23].

Tomografie odpovídá i dalšímu trendu zkoumání historických materiálů a sledování změn jejich vlastností, který spočívá v přechodu od deterministického studia vlastností v jednom bodě k metodám, umožňujícím statistické hodnocení vlastností ve větším objemu nebo na větší reprezentativní ploše [24].

Rozvoj technologie a její ovládnutí tak výrazně zvyšuje naději památek na přežití, na odhalení jejich skrytých informací a poselství i na zhodnocení jejich estetických kvalit a významu pro život kulturní společnosti.

Citovaná literatura:

- [1] Kasal, B., Drdácký, M., Jirovský, I.: Semi-destructive methods for evaluation of timber structures, *Proceedings STREMAH VIII, Series: Advances in Architecture*, Vol.15, WIT Press, ISBN 1-85312-968-2, 2003, pp. 835-842
- [2] Kasal, B., Anthony, R.: Advances in in situ evaluation of timber structures. *Progress in Structural Engineering and Materials*. John Wiley & Sons Ltd., London, UK. Vol. 6 No 2 April-June 2004, pp. 94-103
- [3] Minster, J., Micka, M., Václavík, P.: Determination of elastic modules by means of compression test of a timber core, in *In-Situ Evaluation & non-destructive testing of historic wood and masonry structures – L.Binda, M.Drdácký and B.Kasal (eds.)*, ISBN 978-80-86246-36-9, NSF/MŠMT/RILEM, ITAM, Praha 2007, pp. 50-54
- [4] ASTM. (2002): Annual Book of ASTM Standards, Section 4. Construction. 04.10 Wood. Philadelphia, PA
- [5] Drdácký, M., Jirovský, I., Lesák, J.: Non-destructive survey of masonry and timber structures of the Maria Tower on the Karlštejn Castle, *Research Report ITAM-ARCCCHIP*, Praha, December 2003, 62 p.
- [6] Schwab, E., Wasshau, A., Willetneier, H.: Bohrkerne zur Beurteilung der Festigkeit hölzerner Ramppfähle. *Bauen mit Holz* (9): 566-570, 1982
- [7] Lexa, J., Tokošová, M.: Evaluation of allowable stresses based on small specimens (in Slovak). *Research Report No. 9/SHI*, State Forest Products Research Laboratory, Bratislava, Slovakia, 1983
- [8] Drdácký, M.: Vyšetření a experimentální ověření napjatosti ve válci posuvného ložiska, *Diplomová práce*, FSv ČVUT Praha, 67 str., 1968
- [9] Henzel, J., Sieghart, K.: Determination of strength of mortar in the joints of masonry by compression tests on small specimens, *Darmstadt Concrete*, Vol.2, Institut für Massivbau, TU Darmstadt, 1986, pp. 123-136
- [10] Drdácký, M.: Základní mechanické vlastnosti historických malt zjišťované na malých vzorcích, *Zpráva ÚTAM AV ČR*, 13 str., 1999
- [11] Drdácký, M.F.: Testing of historic mortars on non-standard small size specimens, in *In-Situ Evaluation & non-destructive testing of historic wood and masonry structures – L.Binda, M.Drdácký and B.Kasal (eds.)*, ISBN 978-80-86246-36-9, NSF/MŠMT/RILEM, ITAM, Praha 2007, pp. 130-139
- [12] Del Viso, J. R., Carmona, J. R., Ruiz, G.: “Experimental study on the influence of the shape and the size of the specimen on compression behaviour of high strength concrete”, *Proc. 13th Conf. on Experimental Mechanics* (E. Gdoutos, ed.), Springer, Book of Abstracts + CD ROM, 2007, pp. 189-190
- [13] Drdácký, M., Slížková, Z.: Mechanical characteristics of historical mortars from tests on small-sample non-standard specimens, *Material Science and Applied Chemistry (Materiālzinātne un lietišķā ķīmija)*, Sēria 1, Sējums 17, pp. 21-29, ISSN 1407-7353, Rīga, 2008
- [14] Drdácký, M.F.: Testing of historic mortars on non-standard small size specimens, in *In-Situ Evaluation & non-destructive testing of historic wood and masonry structures – L.Binda, M.Drdácký and B.Kasal (eds.)*, ISBN 978-80-86246-36-9, NSF/MŠMT/RILEM, ITAM, Praha 2007, pp. 130-139

- [15] Drdáký, M., Mašín, D., Mekonone, M.D., Slížková, Z.: Compression tests on non-standard historic mortar specimen, *In Book of Abstracts „HMC08 1st Historical Mortars Conference“*, LNEC, Lisbon, 2008, p. 53 (+ CD ROM full paper)
- [16] Vavřík, D., Drdáký, M.: Experimental determination of stress-strain dependence for thin fibres, *CD ROM "Engineering Mechanics 2003"*, National Conf. with Int. Participation, Svratka, May 12-15, ISBN 80-86246-18-3, ITAM CAS CZ, Prague, 2003
- [17] Vavřík, D., Bryscejn, J., Jandejsek, I., Jakůbek, J., Valach, J.: Application of optical methods for examining historic structures, in *In-Situ Evaluation & non-destructive testing of historic wood and masonry structures – L.Binda, M.Drdáký and B.Kasal (eds.)*, ISBN 978-80-86246-36-9, NSF/MŠMT/RILEM, ITAM, Praha 2007, pp. 148-155
- [18] Bažant, Z.P., Yavari, A.: Is the cause of size effect on structural strength fractal or energetic statistical? *J. of Eng. Fracture Mechanics*, **72**, 2005, pp.1-31
- [19] Drdáký, M., Slížková, Z., Valach, J.: Vliv etylsilikátových zpevňovacích prostředků na chování a vlastnosti glaukonitického pískovce použitého na stavbu katedrály sv. Víta v Praze, v *monografii "Organokřemičitany v české památkové praxi"*, Práce NPÚ, sv.1, ISBN 978-80-87104- -15-6, NPÚ Praha, str. 49-57, 2008
- [20] Price, C., Ross, K., White, G.: A further appraisal of the „lime technique“ for limestone consolidation, using a radioactive tracer, *Studies in Conservation* **33**, str. 178-186, 1988
- [21] Brajer, I., Kalsbeek, N.: Limewater absorption and calcite crystal formation on a limewater-impregnated secco wall paintings, *Studies in Conservation*, **44**, pp. 145-156, 1999
- [22] Drdáký, M.F., Valach, J., Jandejsek, I., Jiroušek, O., Vavřík, D.: Advanced surface and tomography measurements on materials and structures, (*Key note lecture*), *In Proceedings of the First International RILEM Symposium "On Site Assessment of Concrete, Masonry and Timber Structures SACoMaTiS 2008" – L.Binda, M. di Prisco, R.Felicetti (eds.)*, ISBN 978-2-35158-062-2 (Vol.1), RILEM Publications S.A.R.L., Bagneux, 2008, pp. 389-400
- [23] Kasal, B., Adams, A., Drdáký, M.F.: Application of digital radiography in evaluation of components of existing structures, *ibid*, ISBN 978-2-35158-062-2 (Vol.1), RILEM Publications S.A.R.L., Bagneux, 2008, pp. 581-591
- [24] Valach, J., Drdáký, M.F.: An effective method for monitoring and optical characterization of degraded historic stone and mortar surfaces, *In Proceedings of the International Workshop "In Situ Monitoring of Monumental Surfaces – P.Tiano and C.Pardini (eds.)*, ISBN 978-88-7970-390-1, Edifir – Edizioni Firenze, ICVBC Florence, 2008, pp. 37-44

MILOŠ DRDÁČKÝ doc. Ing. CSc. DrSc. dr.h.c.

Zaměstnání a pozice:

Ústav teoretické a aplikované mechaniky AV ČR (od r. 1968)

Ředitel ÚTAM AV ČR od r. 1998

Vzdělání a hodnosti:

ČVUT Praha – fakulta stavební:

Pozemní stavby a konstrukce, 1963-1968 (Ing.)

Teorie konstrukcí (volná katedra mechaniky), 1966-1968

ČSAV ÚTAM – aspirantura, 1971-1978 (CSc.)

39-01-9 Mechanika tuhých a poddajných těles a prostředí

ČVUT Praha – fakulta strojní – PGK:

Experimentální metody v pružnosti a pevnosti, 1974-1975

Universita Karlova Praha – pedagogická fakulta – PGK:

Jazyková příprava expertů (jazyk anglický), 1976-1978

VUT Brno – Ústav soudního inženýrství – PGK:

Technické znalectví, 1980-1982

International Centre for Mechanical Sciences Udine (Itálie)

Experimental Methods in Solid Mechanics, září/říjen 1983

České vysoké učení technické Praha – DrSc – říjen 2001

36-02-9 Teorie a konstrukce inženýrských staveb

Vysoké učení technické v Brně – habilitace (docent) – listopad 2004

36-06-9 Teorie a konstrukce staveb

Pedagogická činnost:

1975-1980 Externí asistent na katedře stavební mechaniky stavební fakulty ČVUT;

1984-1990 Externí přednášející matematiky, mechaniky a teorie konstrukcí v ateliérech architektury Vysoké školy uměleckoprůmyslové Praha;

1996-1997 Externí přednášející na fakultě stavební ČVUT – anglické přednášky pro zahraniční studenty (typologie staveb);

1996-1997 Externí přednášející vybraných statí z teorie dřevěných konstrukcí na lesnické a dřevařské fakultě MZL university v Brně;

1999-dosud Externí přednášející nauky o dřevu a dřevěných výrobcích a o kovech na FAST VUT v Brně – anglické přednášky „Building Materials“ pro „Euroinženýry“;

1997-dosud Externí přednášející „Konstrukce a forma“ na fakultě umění a architektury TU v Liberci.

2002-dosud ČVUT FA v Praze – stavební konstrukce (20% především v DSP).

2007-dosud ČVUT FSv přednášející v mezinárodním magisterském studiu *Structural Analysis of Historic Constructions* v rámci projektu ERASMUS MUNDUS – koordinátor a přednášející předmětu SA6 Restoration and conservation of historic materials, přednášející v předmětu SA4 Diagnostics of Historic Structures.

2002-2007 3 cykly přednášek v postgraduálních kurzech UCL London, Université VII a XII Paris a University centre Ravello (Itálie)

Vědecká činnost – okruhy výzkumu:

Mechanika tenkostěnných kovových konstrukcí, stabilita a pokritické chování tenkých stěn s náhodnými imperfekcemi. *Vybrané publikace: (1), (2), (3)*

Počet grantových projektů národních: 2 (GAAV, GAČR)

Teorie tvorby (optimálních) konstrukčních prvků a systémů s uvážením požadavků dlouhodobě udržitelného života. *Vybrané publikace: (4), (5), (6)*

Počet grantových projektů národních: 4 (ČMHRE, GAČR). 1 patent

Experimentální metody v mechanice a zkoušení stavebních konstrukcí. (7), (8), (9). *Počet grantových projektů národních (mezinárodních): 5 (1) (GAČR)*

Analýza a prevence poruch stavebních konstrukcí, včetně účinků přírodních katastrof. *Vybrané ilustrativní publikace: (10), (11), (12)*

Počet grantových projektů národních (mezinárodních): 1 (3) (MK ČR, 6.RP EK)

Vývoj a zkoušení historických materiálů, konstrukcí a materiálů pro památkovou péči, diagnostika historických konstrukcí. (13), (14), (15)

Počet grant. proj. národních (mezinár.): 5 (9) (GAČR, MKČR, 5., 6., 7. RP, NSF)

Působení historických sídel v interdisciplinárních souvislostech, holistický přístup k výzkumu a plánování jejich ochrany a záchrany. (16), (17)

Počet grant. proj. nár. (mezinár.): 2 (3) (MK, MMR, Rada Evr., 6.RP, Valonsko)

Dějiny vědy a techniky, organizace a plánování ve vědě. (18), (19)

Počet grantových projektů mezinárodních: 4 (5. a 6. RP EK, Italské MŠ)

Výsledky práce zveřejněny v 343 publikacích, z toho: 197 původních vědeckých prací v časopisech a sbornících, 89 výzkumných a expertních zpráv, 57 ostatních publikací (abstraktů, posterů) v časopisech a sbornících. Kromě toho editováno 21 knih a sborníků z převážně mezinárodních konferencí. 1 patent.

Členství v redakčních radách zahraničních a domácích časopisů:

Stavebnícky časopis (Slovensko), 1991-1993, Building Research Journal (Slovensko), 1994-1996, Journal of Performance of Constructed Facilities (*American Society of Civil Engineers*), (USA), 1994-dosud, Journal of the ISTLI, (UK), 1996-2000, Acta Technica CSAV, 2000-dosud, Ediční rada REFICERE – Itálie – od roku 2006, International Journal of Architectural Heritage: Conservation, Analysis and Restoration od roku 2007, Journal TRANSYLVANIA NOSTRA – od roku 2007.

Významnější ocenění vědecké práce:

1982 Cena ČSAV

2007 Čestný doktorát (dr.h.c.) – Universita VSU “Luben Karavelov” Sofie, Bulharsko

Projekční činnost:

Zpracoval více než 110 projekčních návrhů, většinou realizovaných. Autorská spolupráce na 5 významných architekt. soutěžích, z toho 3 mezinárodních.

Ocenění projekční činnosti:

1971 Soutěž "Průmysl bytové výstavbě" – *Návrh nízkopodlažních objektů s ocelovou nosnou konstrukcí z tenkostěnných profilů* oceněn v kategorii I odměnou, v kat. II 2.cenou (1. cena neudělena), kat. III společnou 2. cenou (1. cena neudělena), v kat. V 3. cenou.

Znalecká činnost:

1983 jmenován soudním znalcem v oborech stavebnictví a ekonomika rozhodnutím ministra spravedlnosti ČSR. Vypracováno více než 470 písemných znalec. posudků, vč. posudků zpracovaných pro ÚTAM jako znalecký ústav.

Členství v zahraničních odborných společnostech a komisích:

IABSE, IASS, ASCE, Centro Internazionale per la Conservazione del Patrimonio Architettonico (CICOP) – čestný člen od roku 1999, RILEM – člen současné komise pro zkoušení dřeva, komise pro zkoušení betonu a komise pro zkoušení historického zdiva, ICOMOS – člen mezinárodního vědeckého výboru CIVVIH (historická sídla) a ISCARSAH (historické konstrukce), koordinátor pracovní skupiny WG6 v Evropské stavební technologické platformě (ECTP).

Další vybrané odborné aktivity:

Člen Rady pro spolupráci s vysokými školami a přípravu vědeckých pracovníků AR AV ČR, člen Rady pro evropskou integraci AR AV ČR, člen Vědecké rady ČVUT, člen Vědecké rady fakulty stavební ČVUT Praha OR programů DS.

Předseda Rady ministra kultury pro výzkum.

Člen a bývalý místopředseda (2004-2006) autorizační zkušební komise ČKAIT.

Výsledky při výchově vědeckých pracovníků

Uchazeč byl školitelem specialistou řady úspěšných doktorandů pro předmět *experimentální metody v mechanice*. Jednalo se např. o Ing. I.Šimůnka, Ing. Bajera z KÚ ČVUT, Ing. Z.Slížkovou z FS ČVUT a Ing. Valihrača z VŠB TU Ostrava ve smyslu dohod ÚTAM AV ČR s příslušnými fakultami.

Vybrané ilustrativní publikace:

(1) Drdácký, M., Škaloud, M.: Výpočet stěn ocelových nosníků podle únosnosti – část 3. Stěny namáhané osamělým břemenem, *Stavebnícky časopis*, 23, č. 3, str. 140-160, 1975, (50 %).

(2) Drdácký, M., Novotný, R.: Partial Edge Load Carrying Capacity Tests of Thick Plate Girders Webs, *Acta Technica ČSAV*, No. 5, 614-620, 1977, (50 %).

(3) Drdácký, M.: On Two Particular Problems of Plate Girder Webs Under Partial Edge Loads, *J. of Constructional Steel Research*, 1991, 20, 183-190.

(4) Drdácký, M., Škaloud, M., Zörnerová, M.: Optimum design of Plate Girders Having Webs Subjected to Shear, in Škaloud - Zörnerová: Post-Buckled Behaviour of Webs in Shear, *Rozpravy ČSAV*, 82, Sešit 3, 1972, (50 %).

(5) Drdácký, M.: Weight and Cost Optimization Study of Stiffened Steel Plates, *Regional Colloquium on Stability of Steel Structures, Final Report*, pp. 175-184, Budapest-Balatonfüred, October 1977.

(6) Drdácký, M., Lesák, J.: Perforated Plates for Thin-Walled Structures, in Advanced Materials for Lightweight Structures, pp. 333-337, *Proceedings of an International Symposium held at ESTEC*, Noordwijk, The Netherlands, 1991, *ESA Publ. Div.*, Noordwijk, 1992. (60%)

(7) Drdácký, M., Jurášková, R., Růžek, M.: Přesnost stereofotogrammetrického měření velkých průhybů tenkostěnných konstrukcí, *Stavebnícky časopis*, 27, č. 11, str. 807-818, VEDA Bratislava, 1979, (33 %).

- (8) Drdácký, M., Kratěna, J., Lesák, J.: Contactless Measurements of Dynamic Deflections of Plates and Shells, in *11th Inter. Conference on Experimental Mechanics*, pp. 627-631, Oxford August 1998, Rotterdam, Balkema 1998. 40%
- (9) Drdácký, M.: Problems of experimental research of semi-rigid joints and structures, (*Invited key-note lecture*), *Proceedings of the Int. Symposium "Semi-Rigid Joints in Metal and Composite Structures"* (ed. Marian A. Gizejowski and Anna M. Barszcz), pp. 27-49, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, ISBN 83-908083-1-5, November 2000.
- (10) Sadovský, Z., Drdácký, M.: Buckling of plate strip subjected to localised corrosion - a stochastic model, *Thin-Walled Structures*, Vol. 39, No. 3, pp. 247-259, 2001. (50%)
- (11) Kasal, B., Pospisil, S., Jirovský, I., Heiduschke, A., Drdácký, M., Haller, P.: Seismic performance of laminated timber frames with fiber-reinforced joints, *Journal of Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 2004, **33**:633-646, John Wiley & Sons, Ltd. (15%)
- (12) Drdácký, M., Binda, L., Herle, I., Lanza, L.G., Maxwell, I., Pospíšil, S.: Protecting the Cultural Heritage From Natural Disasters, *Study of the European Parliament IP/B/CULT/IC/2006_163*, PE 369.029, p. 100, February 2007 (60%)
- (13) Drdácký, M., Mlázovský, V., Růžicka, P.: Historic Carpentry in Europe: Discoveries and Potential, *APT Bulletin: The Journal of Preservation Technology*, Vol. XXXV, No.2-3, pp. 33-41, ISSN 00449466, (article awarded with „Anne de Fort-Menares Award“ for the year 2004) (40%)
- (14) Slížková, Z., Drdácký, M.: Restoration of outdoor plaster pavement floors in a medieval Czech castle, *Journal of Architectural Conservation*, Vol.14, No.3, November 2008, pp. 81-98 (50%)
- (15) Yates, T., Drdácký, M., Pospíšil, S., Grøntoft, T.: Risk Assessment and Management Strategies at Local Level, *Chapter 8 in J. Watt et al. (eds.), The Effects of Air Pollution on Cultural Heritage*, DOI 10.1007/978-0-387-84893-8_9, Springer Science&Business Media, LLC 2009 (kniha v tisku) (30%)
- (16) Drdácký, M.: Telč, Czech Republic (plán ochrany a zhodnocení města), kapitola v knize "*Management of Historic Centres*" (ed. R. Pickard), ISBN 0-419-23290-7, pp. 31-52, Spon Press, London/New York, 2000
- (17) Dupagne, A., Teller, J., Dumont, E., Pasakaleva-Shapira, K., Besson, E., Drdácký, M., Drdácký, T., Alvaer, J., Tweed, Ch., Sutherland, M., Longo, A., Asensio, M., Mortari, M., Gasparino, U., Del Corpo, B., Bellini, E., Pinelli, D., Malizia, W., Capp, S., Paillé, S., Rainette, C., Origet du Clouzeau, C.: PICTURE – Pro-active management of the impact of cultural tourism upon urban resources economies (Strategic urban governance framework for the sustainable management of cultural tourism), ISBAN 2-87456-043-X, European Commission, 136 s., 2007
- (18) European Research on Cultural Heritage – State-of-the-Art Studies (M.Drdácký ed.), ISBN 80-86246-21-3 (all), Vol.1-5, ITAM, Praha 2004-2006
- (19) Safeguarded Cultural Heritage (SAUVEUR Project – M.Drdácký, M.Chapuis (eds.)), ISBN 978-80-86246-29-1 (all), ISBN 978-80-86246-31-4 (Vol. 1), ISBN 978-80-86246-32-1 (Vol.2), ITAM 2007