

# Metody plošného průzkumu ztracené soudržnosti omítky s podkladem

**Miloš Drdáký, Jaroslav Lesák**

Ústav teoretické a aplikované mechaniky AV ČR, v. v. i.

KONTAKT drdacky@itam.cas.cz

Pro výzkum metod plošného průzkumu ztracené soudržnosti omítky s podkladem byla v laboratořích ÚTAM AV ČR, v. v. i. postavena cihelná zeď s několika modelovými defekty přilnavosti omítky. Na zeď byly přilepeny separační vrstvy mikrotenu ve tvaru troj- nebo osmiúhelníku. Ty pak při následném omítání zabránily přilnutí omítky ke zdivu. Takto připravená zeď byla v první fázi výzkumu omítnuta dvěma typy omítky: vápennou, připravenou klasickým způsobem z písku a vápna a vápeno-cementovou maltovou směsí dodávanou na trh z výroby. Pro experimentování byla omítaná část doplněna ještě tenkou omítkovou deskou, přilepenou na okraji tak, že vnitřní část je bez kontaktu se zdí. Tloušťka omítky se pohybuje v hodnotách okolo 1,2 cm. V druhé fázi výzkumu byla modelová zeď opatřena dalšími vrstvami omítky a obkladů – tvrdší vápennou omítkou se sádrovým štukem, hliněnou omítkou s řezankou, keramickým obkladem, bělninovým obkladem, kamennou mozaikou a vápeno-cementovou omítkou. Tyto vrstvy zpevnilly cihelnou zeď tak, že nebylo možné dosáhnout jejího rozkmitání ve stejných frekvencích, jako v prvním případě. Byly testovány tři metody plošného průzkumu.

## **Poloautomatické akustické trasování**

Metoda využívá záznamu a analýzy akustického signálu generovaného poklepem na povrch konstrukce v husté síti bodů. Signál i místa poklepu jsou zaznamenávána videokamerou, což umožňuje automatické vyhodnocení souřadnic měřeného místa a odstraňuje nevýhodu klasického akustického trasování, kdy je třeba změny odezvy zakreslovat na povrch nebo měřit a vynášet do výkresu či fotografie, obr. 1.



1. Zkušební stěna při poloautomatickém akustickém trasování.

V primitivní variantě se signál rozdílné odezvy může vyhodnocovat operátorem přímo na místě a zaznamenat do zvukového snímku zvukovým nebo elektrickým signálem. Složitější vyhodnocení odezvy analyzou zaznamenaných signálů používá poklep tvrdou gumovou kuličkou na dlouhé tyči. Akustická odezva – slyšitelný zvuk při poklepu – je pak zkoumána pomocí frekvenčních spekter, která mají charakteristický průběh pro různé velikosti defektu či celistvou stěnu s omítkou. Poloha kuličky při poklepu je rozpoznána pomocí metod obrazové analýzy, což umožňuje vytvářet mapy defektů, obr. 2. Tato metoda je stále ve fázi rozvoje a hledání neoptimalnější varianty kombinace ruční a automatické (digitalizované) činnosti. Nicméně, její nespornou výhodou je nízká nákladnost, nevýhodou nutný fyzický kontakt se zkoumaným povrchem.

### Teplotní analýza povrchu

Rozdílné chladnutí nebo ohřívání částí konstrukce, která je souvislá a částí s podpovrchovou trhlinou nebo dutinou je využito při diagnostice podpovrchových defektů pomocí měření teplotních polí. Aktivní termografie využívá zahřívání zkoumaného objektu vnitřním nebo vnějším zdrojem. Je vhodná pro zjišťování defektů uvnitř málo vodivých materiálů a proto byly zkoumány její možnosti při hledání uvolněných povrchových vrstev. Pro experimenty byla použita modelová zeď a práce probíhaly ve dvou variantách. Při první byla zeď s defekty tepelně aktivována několika způsoby. Nejdříve byla zeď předehřívána na maximální teplotu 24 °C po několik hodin a měření probíhalo při chladnutí. V tomto případě části omítky kryjící defekty chladnou rychleji a projevují se tmavými skvrnami (obr. 3). V druhém případě se měřilo při lokálním zahřívání sálajícím zdrojem (lampou o výkonu 1000 W po dobu asi 2–3 minut). Zde se nejdříve zviditelnily trhliny a posléze i defekty. Při vyhodnocování je nutno uvážit, že při zahřívání je zobrazení nejteplejšího místa ovlivněno také odrazem tepla zdroje. Je tak možno kontrolovat, kam zdroj skutečně sálá. Defekty na zahříváné části se jeví teplejší než na nezahříváné, neboť z nich není odváděno teplo dovnitř zdi tak rychle, jako z omítky pevně spojené se zdí, (obr. 4). Úhel sklonu povrchu silně ovlivňuje měření. Rozdělení teplot je nevýrazně rozloženo, přesto můžeme na prezentovaných obrázcích rozeznat rozdílné materiály. Dokumentují i postup chladnutí a zvýrazňování defektů. K metodě je nutno poznamenat, že pořízení termovizní kamery je nákladné, nicméně při dnešních cenách dostupné a aplikace při měření je nenáročná, levná a při vhodné teplotě i neinvazní a bezpečná. Z obrázků je názorně vidět, že i citlivost je velmi dobrá.

I u této metody je důležité znát vliv různé kvality a materiálu povrchu na její citlivost. Proto výzkum studoval několik typů povrchů. Pro praktická měření je zajímavá varianta vyvolání skokové změny zahřívání studovaného tělesa. Uvedme měření, které probíhalo v letních měsících (v srpnu) roku 2003, kdy se denní teploty v laboratoři pohybovaly okolo 33 °C a zeď byla touto okolní teplotou prohřátá i ve večerních hodinách. V té době venkovní teplota klesla na cca 25 °C a bylo možno tohoto přirozeného rozdílu využít pro ochlazení zdi. Ochlazování probíhalo 7. srpna tak, že vyhřátá zeď byla umístěna v laboratoři před vjezdová vrata a ta byla ve večerních hodinách otevřena. Na zeď začal pronikat studený vzduch a měnil obrazec povrchových teplot. Při popisovaném experimentu bylo zaznamenáno rozložení teplot před zahájením ochlazování a v jeho průběhu. Měření má vysokou citlivost a přesnost určení velikosti, tvaru a umístění defektů přilnavosti omítky, (obr. 5). Tato metoda „klimatického ohřevu“ dává použitelné výsledky i při méně dramatických podmínkách, pokud použijeme další zpracování naměřených dat, (obr. 6). Také zde je aplikován skok okolní teploty na zkušební zeď, ta ale nebyla předem nijak připravována, není tedy rovnoměrně prohřátá a navíc je povrch omítky poměrně nehomogenní. Surová data jsou filtrována, aby se odstranil šum snímače teploty a vliv drobných nestejnorodostí povrchu. Vliv nestejně počáteční teploty povrchu je kompenzován tím, že není zobrazována přímo teplota povrchu, ale rozdíl mezi počáteční teplotou a teplotou po 5 minutách ochlazování.

Po vychladnutí se zvýrazňují černými skvrnami otevřené nespojitosti – trhliny, které nejsou na počátku patrné. Dále je velmi dobře vidět i struktura zdiva (cihly a spáry) pod omítkou. Aktivní termografie, někdy též nazývaná impulsní termografie, je velmi vhodná pro zjišťování podpovrchových dutin do hloubky několika centimetrů. Měření je závislé především na fyzikálních charakteristikách materiálu povrchové vrstvy i podkladu, dále pak na kvalitě povrchu, zejména jeho odrazivosti. Spolehlivé výsledky lze získat na omítaných površích libovolného typu, pokud nejsou příliš hlazené (umělý kámen). Měření je velmi obtížné na kamenných mozaikách a všech typech obkladů. Pilotní zkoušky však ukazují i zde slušnou citlivost. Termografie v jakékoliv variantě (pasivní nebo aktivní) je obecně vhodnější pro zjišťování odtržení povrchových vrstev, než níže uvedená metoda měření rozdílného kmitání především z hlediska jednoduchosti a rychlosti měření a jeho ceny. Interpretace měření vyžaduje zkušenost a důsledné pořizování dokumentace povrchové kvality, nejlépe pomocí normální fotografie. Nedostatečně prozkoumaný problém představuje vliv vlhkosti, která se může v puchýřích omítky shromažďovat a výrazně měnit obraz rozložení teplot.

### Dynamická identifikace poruch

Dynamické vlastnosti mohou být bezdotykově monitorovány na celém povrchu konstrukce najednou. Při ztrátě soudržnosti povrchové vrstvy s podkladem se výrazně mění její ohybová tuhost. Odtržená nebo odchlíplá vrstva („puchýř“ omítky) je mnohem měkčí než vrstva plně Inoucí k podkladu. Tato vlastnost vede k rozdílnému pohybu povrchových vrstev při kmitání objektu. Pevně spojená část sleduje frekvence a rychlosti kmitání celého objektu (tělesa), uvolněná vrstva kmitá s rozdílnou frekvencí i rychlostí. Uvedené projevy jsou měřitelné a využívány při optickém vyšetřování ztráty soudržnosti povrchových vrstev bezkontaktními metodami. Nejzajímavější výsledky jsou dosahovány pomocí měření rychlosti kmitání laserovým dopplerovským interferometrem. Toto zařízení může monitorovat povrch objektu z relativně velkých vzdáleností – bez speciálních úprav ze vzdálenosti několika metrů a poskytuje údaje o rychlosti pohybu povrchu v rozsahu do řádu 1 MHz. Skenování pak usnadňuje měření na větších plochách a přiřazuje k údajům o rychlosti kmitání také údaj o poloze bodu na měřeném objektu. Prostorové dosažitelné rozlišení je pro běžné vzdálenosti možné okolo 1 mm.

Princip metody spočívá v rozkmitání povrchu zkoumaného objektu a měření rychlostí kmitání jednotlivých bodů povrchu pomocí speciálního skenovacího laserového interferometru. Pro aplikaci na omítky jsou rozvíjeny dvě varianty, které se zásadně liší pouze způsobem vybudování kmitání měřeného objektu. Na universitě v Anconě (Itálie) se používá pro buzení akustických budičů. Jedná se o silné reproduktory s usměrněním zvuku pomocí eliptických nebo parabolických reflektorů. Akusticky rozkmitaný povrch je pak opticky proměřován bod po bodu a výsledky zpracovány do mapy rychlostí kmitání povrchu. Frekvenční spektrum vysílaných zvukových signálů se v každém měřeném bodě spojitě mění a hledáme frekvenci, která vyvolá rezonanci defektní části povrchu. Je zřejmé, že tento způsob měření je velmi pomalý, neboť předem neznáme kritické frekvence a musíme proto v každém bodě projít celé rozumné spektrum. Metoda byla vyzkoušena i při měření na reálných konstrukcích, např. v katedrále v Orvietu (Itálie) nebo na deskových ikonách. V ÚTAM AV ČR byla studována varianta této metody při aplikaci mechanického rozkmitávání stěny s poškozenou omítkou. Pozornost byla soustředěna zejména na poznání vlivu fázového posunu na citlivost metody a na studium vlivu různých povrchů a materiálu omítek. Pro tyto experimenty byly využity výše popsané zděné cihelné stěny s modelovými defekty. Zeď s umělými defekty byla rozkmitávána elektromagnetickým budičem pružně propojeným s cihelnou zdí pomocí tenké tyčky, planžety a hmoždinky. Budicí signál byl přiváděn z funkčního generátoru. Obraz kmitání zdi s omítkou byl měřen pomocí skenovacího laserového čidla (kamery), využívající Dopplerova jevu, stejně jako v předchozím případě.

Reprezentativní výsledky jsou uvedeny na obr. 7 a ukazují tvary kmitání celé soustavy při frekvenci odpovídající maximální amplitudě rychlosti kmitání, zjištěné většinou v horním rohu cihelné stěny, přičemž tvar B odpovídá fázovému posunu o 90°. Je vidět, že viditelnost defektů je silně závislá na fázi, zejména u menších vad. Detailní měření defektu s výraznými trhlinami, (největší vada na vápeno-cementové omítce vpravo dole), ukázalo, že při určitých tvarech kmitání stěny s omítkou a určité fázi se trhliny vůbec neprojevují. To na jedné straně komplikuje měření, na druhé straně dává lepší naději na zjištění defektů. Metoda měření rozdílného kmitání uvolněných částí omítky na zdivu mechanickým rozkmitáváním nosiče a bezkontaktním měřením pomocí laserového dopplerovského interferometru je časově i finančně náročná a je třeba měřit s různou fází. Její citlivost je silně závislá na tuhosti nosiče i samotné omítkové vrstvy. Její praktická aplikace je omezená a vhodná spíše pro průzkum delaminace povrchových vrstev na menších objektech, lehkých dřevěných nebo hrázděných stěnách nebo dřevěných „klenbách“, případně na volně stojících cihelných zdech. Varianta akustického buzení uvolněné části omítky je citlivější a má širší uplatnění. Významných úspěchů se dosahuje i při průzkumu defektů deskové malby.

### Poděkování

V práci bylo využito výsledků výzkumu podporovaného výzkumným záměrem AV0Z20710524.

### Literatura

DRDÁČKÝ M. F., LESÁK J. – Non-destructive diagnostics of shallow subsurface defects on masonry. In In-situ evaluation & non-destructive testing of historic wood and masonry structures (L. Binda, M. Drdáčký, B. Kasal – eds.), ISBN 978-80-86246-36-9, ÚTAM AV ČR, Praha, 2007, pp.140–147.

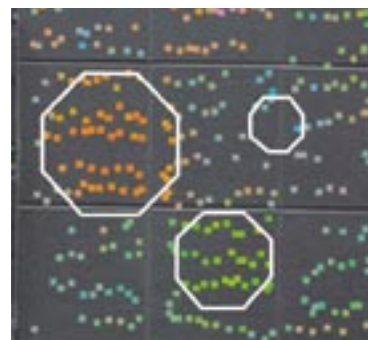
*Obrazová dokumentace k tomuto příspěvku v barevné příloze na straně 49.*

## Metody plošného průzkumu ztracené soudržnosti omítky s podkladem Miloš Drdáký, Jaroslav Lesák

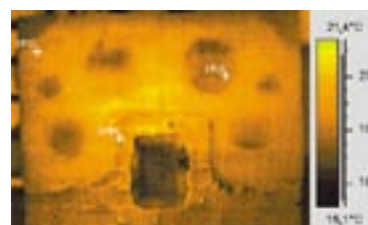


1. Zkušební stěna při poloautomatickém akustickém trasování.

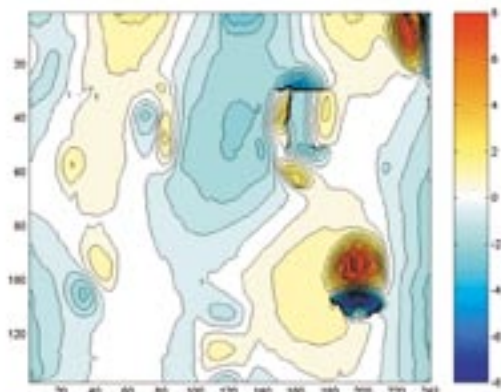
2. Mapa míst s podezřením na výskyt podpovrchových defektů (světlé barvy).



Rozložení teplot na omítané ploše (dobře viditelné vrstvy různých materiálů, spáry zdiva a vrstva malty fixující přilepenou desku omítky ve středu zdi).



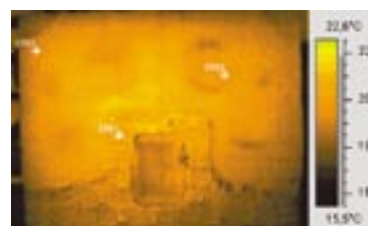
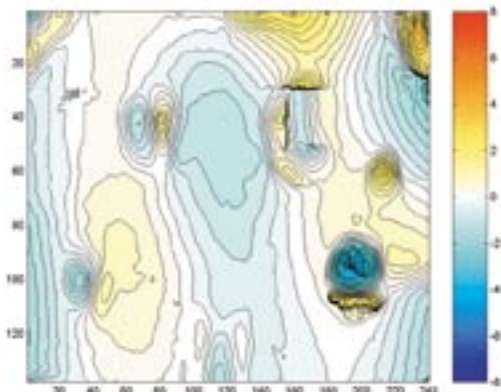
3.



Rozložení povrchových teplot na omítané zdi s defekty přilnavosti při začátku chlazení (a) a po jedné hodině v laboratorních podmínkách s teplotou okolo 20 °C (b).



4. a



4. b

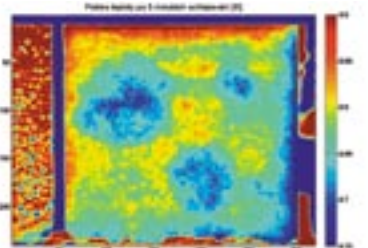
Rozložení povrchových teplot během přirozeného chlazení večerním chladným vzduchem po vyhřátí denní teplotou – stav po 45 minutách.



5.

7. Tvary kmitání omítky s defekty na zkušební stěně při budící frekvenci 990 Hz (nahore A) a s 90° fázovým posunem (dole B).

Rozložení povrchových teplot při ochlazení večerním chladným vzduchem po vyhřátí mírnou denní teplotou – stav po 5 minutách.



6.