

MOŽNOSTI NEDESTRUKTIVNÍ DIAGNOSTIKY ETICS
POSSIBILITIES OF NONDESTRUCTIVE DIAGNOSTICS OF ETICS

Aleš Zvěřina⁴⁷

ABSTRAKT:

Článek pojednává o možnostech nedestruktivní diagnostiky vnějších kontaktních zateplovacích systémů (ETICS) a srovnává možnosti celkem tří zkoumaných metod. Infračervené termografie, která je dnes nejpoužívanější metodou, impedanční defektoskopie, metody, která se pro vyšetřování zejména plochých střech začala používat před zhruba 3 roky a radarové diagnostiky, pomocí které je možné zpětně rekonstruovat kotevní plány ETICS. Zvláštní důraz je věnován právě impedanční defektoskopii, protože se jedná o metodu, jejíž výsledky je možné zobrazit stejně názorně jako je tomu u termogramů z infračervené kamery.

ABSTRACT:

Article deals with possibilities of nondestructive diagnostics of external thermal insulation systems (ETICS) and compares possibilities of 3 used and researched methods. Infrared thermography, which is one of most used method, impedance defectoscopy, a method, which has been used for investigating of flat roof for 3 years and radar diagnostics, using for reverse reconstruction of anchor plans of ETICS. A special focus is dedicated to impedance defectoscopy, because the results of this method is possible to display clearly as results on thermograms from infrared thermography.

KLÍČOVÁ SLOVA:

Infračervená termografie, impedanční defektoskopie, radarová diagnostika, ETICS, termogram.

KEYWORDS:

Infrared thermography, impedance defectoscopy, radar diagnostics, ETICS, thermogram.

1 ÚVOD

Zateplování obálkových konstrukcí staveb, zejména obvodových konstrukcí pomocí vnějších kontaktních zateplovacích systémů (ETICS) se stalo bezpochyby samostatným stavebním odvětvím. Posuzování kvality provedení popř. návrhu je výrazně multidisciplinární záležitostí z oborů stavební chemie, statiky a dynamiky staveb, stavební ekonomie, materiálového inženýrství aj. Pro posouzení následného výskytu vad a poruch ETICS pro forenzní účely je nutné zkoumat celou řadu postupů a pro další reprodukovatelnost výsledků posuzování je nutné do jisté míry standardizovat postupy znalce nebo experta pracujícího pro znalce.

V současné době je nejpoužívanější metodou nedestruktivní diagnostiky ETICS infračervená (IČ) termografie. Jedná se o komplexní metodu posouzení zatepleného obvodového pláště, která je velice oblíbená zejména kvůli názorné prezentaci výsledků měření pomocí barevné škály 2D teplotního pole (tzv. termogram). IČ termografie má však i svá omezení, spočívající

⁴⁷⁾ Zvěřina, Aleš, Ing. Bc., ÚSI VUT v Brně, Údolní 244/53, 602 00 Brno, ales.zverina@usi.vutbr.cz

zejména v nutné existenci teplotního gradientu min. 20 K mezi interiérem a exteriérem, aby byly výsledky měření relevantní. Proto na Ústavu soudního inženýrství (ÚSI) jsou vyvíjeny či zkoumány další metody použitelné pro nedestruktivní diagnostiku ETICS. V posledním roce přinesly zajímavé výsledky zejména 2 metody: impedanční defektoskopie (ID) a radarová diagnostika (RaD). Výsledky ultrazvukové pulzní metody jsou zatím bohužel ne zcela využitelné a reprodukovatelné a použití této metody in situ je velmi nepraktické, omezené na velmi malá místa popř. malé detaily. Naším cílem je však přinášet metody prakticky využitelné ve forenzních disciplínách týkajících se ETICS a tak zatím upouštíme od dalšího zkoumání ultrazvukové pulzní metody.

Cílem článku je ukázat dosavadní výsledky zkoumání nových metod diagnostiky, zejména IČ termografie, impedanční defektoskopie a radarové diagnostiky a současně tyto metody porovnat v jasně definovaných charakteristikách. Také je nutné zdůraznit, že se zabýváme pouze nedestruktivními metodami, které nevyžadují zásah do ETICS.

2 SOUČASNÝ STAV NEDESTRUKTIVNÍ DIAGNOSTIKY ETICS

2.1 IČ termografie

IČ termografie je bezpochyby nejpoužívanější metodou nedestruktivní a také bezkontaktní diagnostiky ETICS. Její využitelnost je dána zejména rychlostí měření a následného vyhodnocení získaných dat. O teoretických principech této metody se asi není potřeba dále vyjadřovat, na toto téma bylo publikováno již mnoho článků a monografií viz např. [1], [2] a [3].

Výsledky měření v podobě tzv. termogramů, které znázorňují 2D teplotní pole dotykových teplot jsou velice názorné i pro laika a umožňují poměrně rychlé vyhodnocení in situ pomocí software, ve kterém lze bez obtíží odečíst dotykové teploty v konkrétních vybraných bodech. Na trhu je k dispozici velké množství termovizních kamer v různých cenových hladinách a s různými technickými vlastnostmi. Dodávaný software je běžně dostupný i pro dnes již běžně používané tablety a přes bezdrátové rozhraní bluetooth je tedy možné data z termovizní kamery ihned v tabletu zpracovat. Vývoj za poslední 2 roky šel dokonce tak daleko, že je možné zakoupit speciální adaptér na mobilní dotykový telefon, který zajistí, že lze používat telefon jako IČ kameru na rychlé a nenáročné diagnostické detekce.

IČ termografii dnes běžně používáme ke zjištění tepelných mostů nebo vazeb, které způsobují vady či poruchy ETICS projevující se vlhkostí v ETICS nebo kondenzací vodní páry na vnitřním povrchu obvodové konstrukce. Jak si ukážeme dále, je možné využít IČ termografii i ke zpětné rekonstrukci kotvícího plánu ETICS a za pomoci software odečítat v měřítku 1:1 přímo polohu jednotlivých hmoždinek. Naše výzkumy směřují i k porovnání výsledků teoretického modelování 3D teplotního pole s výsledky přímého měření a to zejména pro případy, kdy existuje hypotéza, že vada či porucha ETICS je způsobena již špatným návrhem v projektové přípravě.

IČ termografie je tedy vnímána jako komplexní diagnostická nedestruktivní a také bezkontaktní metoda zajišťující diagnostiku téměř všech částí ETICS, což je její velká výhoda. Nevýhodou je její omezená použitelnost při menších teplotních gradientech mezi interiérem a exteriérem. Jako minimum se uvádí rozdíl teplot 20 K [1]. To však není vše. Měření by se mělo provádět vždy časně ráno, ještě před východem slunce, aby nedošlo k tepelné akumulaci měřených konstrukcí a tedy vnesení jisté chyby do dalšího vyhodnocení. Tato omezení způsobují, že po většinu roku je IČ termografie hůře využitelná.

2.2 Impedanční defektoskopie (ID)

ID je v oblasti použití diagnostiky ETICS zcela novou metodou. ID se zhruba 3 roky používá pro vyšetřování vad a poruch střešních plášťů spojených s výskytem vlhkosti. Vzhledem k podobným principům diagnostiky ETICS je možné využít ID i pro vyšetřování obvodových konstrukcí ručním přístrojem. Část roku 2013 a rok 2014 jsem prováděl měření na různých budovách a jejich fasádách viz další kapitola. Tuto metodu lze použít v případech vad, které se projevují především vlhkostními poruchami (tedy viditelnými vlhkými skvrnami, které mohou být důsledkem např. tepelných mostů popř. špatného návrhu ETICS nebo zatékáním do ETICS).

2.2.1 Princip ID

Vzhledem k tomu, že ID je zatím ne příliš využívanou metodu, považuji za nezbytné pro další text zmínit alespoň v obecné rovině co je principem ID.

Bohužel, teoretické práce se ID diagnostiky ETICS nevěnují, pro objasnění základních principů je nutné použít zdroje týkající se jejího použití v chemickém průmyslu pro analýzu roztoků [4]. Výzkumy využití ID se také provádějí pro zjištění stavu hydratace betonu [5] nebo zjištění vlhkosti ve střešních pálených taškách [6].

Jak název metody napovídá je měřenou veličinou impedance Z [Ω], což je komplexní veličina, mající složku imaginární a reálnou. Měřicí přístroj vydává nízkofrekvenční pole mezi 2 elektrodami, které jsou ukryty v těle přístroje. Závislost mezi frekvencí a naměřenou impedancí udává tzv. impedanční spektrum, jehož průběh odpovídá sledované charakteristice materiálu (v našem případě vlhkosti). Nejčastěji používanými materiály pro zateplování jsou expandovaný polystyren (EPS) nebo minerální vata (MW). Zatím není zcela jasné, jaký příspěvek do celkové vodivosti mají další složky nehomogenní konstrukce (tj. omítkovina, výztužná vrstva), pro homogenní konstrukce zpracoval teorii polarizace dielektrika nizozemský fyzik Peter William Debye. Praktické experimenty však vykazují jisté odchylky od teorie [7]. Pro další teoretické informace odkazují na [8]. Přístroj vyhodnocuje právě impedanční spektrum (je známa frekvence a impedance a do jisté míry materiál) a porovnává jej s impedančním spektrem při vnesené vlhkosti. Společnost, která přístroj vyrábí však z obchodních důvodů tyto informace nezveřejňuje, s největší pravděpodobností vývojové oddělení provedlo celou řadu měření pro nejčastěji používané zateplovací materiály a stanovilo impedanční spektra pro různé skladby konstrukcí. Na přístroji je tak možné pomocí přepínačů nastavit jestli bude prováděno měření na střeše či fasádě (vzhledem k rozdílnému souvrství). Diagnostika je kvantifikační pouze do jisté míry relativního posuzování jednotlivých naměřených bodů na stupnici od 0 – 100 (nemá vazbu na procenta). Naměřené relativní hodnoty vlhkosti je potom nutné v CAD software spojit do izočár. Výsledkem je 2D pole naměřených hodnot, vizuálně podobné termogramu z IČ termografie.

2.2.2 Použití ID

ID lze použít všude tam, kde je projevem poruchy nebo vady ETICS vlhkost. To má své omezení. Metodu lze použít pouze pokud je teplota vzduchu větší než 3°C, potom již dochází ke skupenské přeměně vody a výsledky měření jsou nepoužitelné. Metoda je tedy použitelná po většinu roku (v podstatě v „opozici“ k IČ termografii). Vzhledem k principu metody je nutné dávat pozor na kovová místa v ETICS, tj. různé rohové lišty, základací lišty, kotvící hmoždinky s ocelovým trnem apod. Je tedy nutná znalost technologie provádění ETICS a jeho návrhu, aby bylo možno měření správně vyhodnotit. Metoda je kontaktní, k její implementaci v podobě změření celé fasády je nutná plošina, lešení či alespoň žebřík. Časově

je metoda náročnější jak na pořízení dat tak i na jejich vyhodnocení. Jedná se však o metodu nedestruktivní, k měření je možné použít ruční přístroj vážící okolo 1kg s kompaktními rozměry viz následující obrázek č.1.



Obr. 1 – Přístroj k měření vlhkosti pomocí ID.

Fig. 1 – Appliance for humidity detection by ID.

Přístroj je finančně dostupný, zatím však není z čeho vybírat, na trhu je celkem 1 typ přístroje používaný z velké míry spíše na detekci vlhkosti ve střešních pláštích. Metoda je poměrně komplexní, použitelná na odhalení tepelných mostů, vazeb, kovových předmětů

2.3 Radarová diagnostika

Za mikrovlnné záření se považuje elektromagnetické záření v rozmezí 300 MHz až 300 GHz elektromagnetického pole [9] a jeho využití pro diagnostiku a detekci není žádnou novinkou. Intenzivní výzkum probíhá v oblastech sanace zdiva, měření vlhkosti zdiva, detekce dřevěných prvků uvnitř stavebních konstrukcí apod.

Mikrovlny většinou materiálů jako je vzduch, sklo, umělé hmoty apod. procházejí. K odrazu mikrovln dochází u kovových materiálů. Na tomto principu je založena funkce radaru. V současné době je na trhu velká spousta přístrojů, které jsou díky mikrovlnné technologii schopny lokalizovat kovové předměty ukryté uvnitř stavební konstrukce. Standardně se používají k detekci skrytých vodičů elektroinstalace, hřebíků a dřevěných trámů. Tyto vlastnosti přístrojů je tím pádem možné využít i v případě detekce kotevních hmoždinek s ocelovým trnem u ETICS. Dnešní přístroje pracující na principu radarové diagnostiky umožňují detekovat i plast, čehož lze využít pro rekonstrukci kotvícího plánu i v případě kotvících hmoždinek z plastovým trnem. Detekovat lze i další zejména kovové předměty, např. zbytky zazděné traverzy způsobující tepelný most a následně výskyt vlhkosti na vnitřní straně konstrukce. Obecně je metoda nezávislá na klimatických podmínkách. Jedná se o metodu nedestruktivní, ale bohužel kontaktní a proto je nutné mít k dispozici stejně jako v případě ID plošinu, lešení nebo žebřík. Rekonstrukce kotevního plánu větší fasády vyžaduje poměrně dost času, vyhodnocení dat probíhá ihned. Stejně jako v případě ID je i zde nutné mít dostatečné vědomosti o technologii provádění ETICS, metoda je citlivá na jakékoliv

železné předměty uvnitř stavební konstrukce. Některé přístroje mají vysokou citlivost a jsou schopny detekovat s přesností na milimetry.

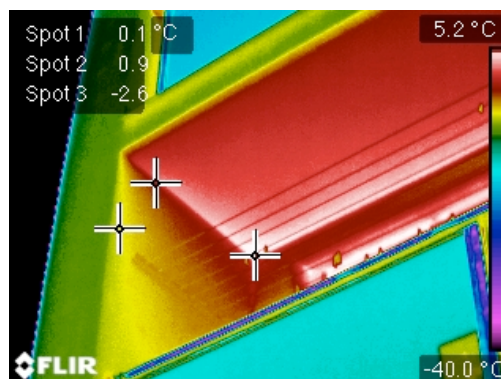
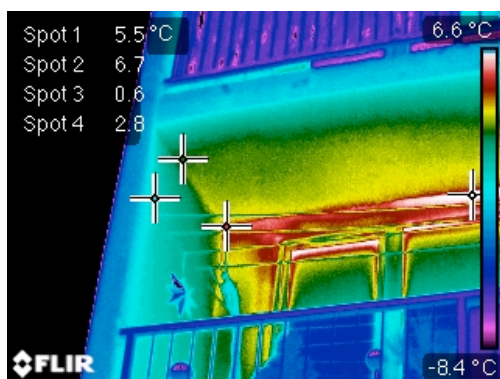
Co se týče použitelnosti této metody v praxi zejména pro ověření kvality a správnosti kotvení izolantu ETICS, domnívám se, že se jedná o velice perspektivní a levnou metodu zasluhující další výzkum viz další text.

3 VÝSLEDKY VÝZKUMU METOD NEDESTRUKTIVNÍ DIAGNOSTIKY

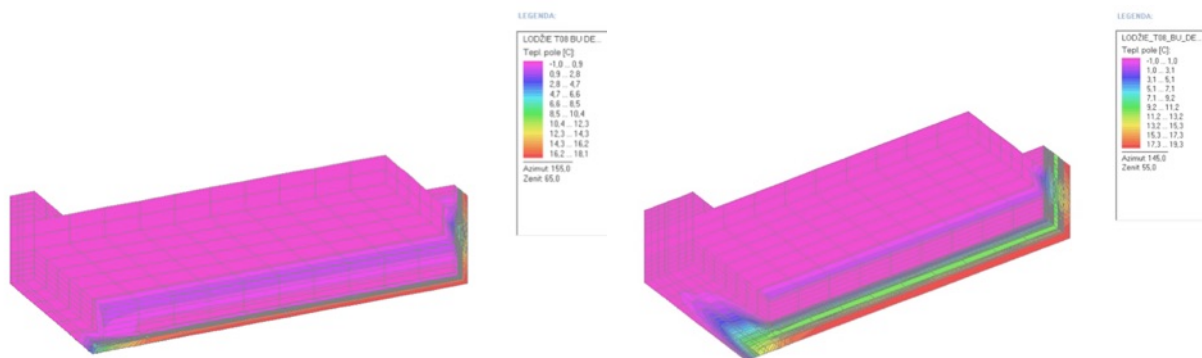
3.1 Vady a poruchy vzniklé nevhodným návrhem ETICS

Do této kategorie spadají veškeré vady a poruchy mající příčinu v nevhodném návrhu ETICS, zejména tloušťky jeho tepelné izolace. Ačkoliv tloušťka tepelné izolace vyhovuje na požadovanou hodnotu součinitele prostupu tepla U [$W/(m^2.K)$] nevyhovuje na množství zkondenzované vodní páry uvnitř konstrukce. Výskyt vlhkosti dotované další vlhkostí z exteriéru může vyvolat výskyt plísní či řas na vnějším povrchu ETICS, kdy dochází k biotickému napadení – viz jeden z mých minulých článků [10].

V tomto případě je nutné zkoumat do jaké míry se nevhodný návrh podílel na vzniku a rozvoji vady či poruchy. K samotné detekci vady či poruchy lze použít IČ termografii nebo ID popřípadě RaD. Pokud nebudeme uvažovat, že projektant udělal návrh čistě náhodným výběrem nebo náhodným výběrem s příměsí zkušenosti tak zcela jistě použil výpočet podle normy ČSN 73 0540:2011. Tento výpočet postihuje 1D šíření tepla, pro detaily jako jsou rohy místností, vazby balkon – obvodová stěna apod. však výpočet pomocí 1D šíření tepla není dostačující. Velmi často se i stává, že se provádí výpočet jen pro tzv. ideální výsek konstrukce, aniž by se bralo v potaz, že průběh izoterm např. v rozích budov je jiný než v ideálním výseku, nemluvě o výpočtech v oblastech, kde jsou nehomogenní materiály, např. betonový sloup a plynosilikátová vyzdívka. V těchto případech je důležité pro posouzení důležitosti v návrhu ETICS použít software pro 2D šíření tepla popř. rovnou u složitějších detailů pro 3D šíření tepla. Nás zajímalo především to, do jaké míry se termogramy z měření shodují s teoretickým modelem 3D šíření tepla. Na dalším obrázku č.2 je vidět termogram vazby lodžie – obvodová stěna – štítová stěna před zateplením a po zateplení a další obrázek č.3 ukazuje vymodelovaný detail v software CUBE 3D pro 3D teplotní pole metodou konečných prvků (MKP, angl. FEM). Provedl jsem měření dalších detailů pomocí IČ termografie (momentálně 28 detailů) a tyto se v zásadě shodují s výsledky vymodelovanými pomocí 3D teplotního pole. Teoretické výpočty a modelace tedy mohou sloužit jako důležitý podklad k forenznímu posouzení chyby na straně projektu a následně je možné provést kontrolu a potvrzení závěrů pomocí IČ termografie.



Obr. 2 – Termogram, před a po zateplení .
Fig. 2 – Thermogram, before and after ETICS.

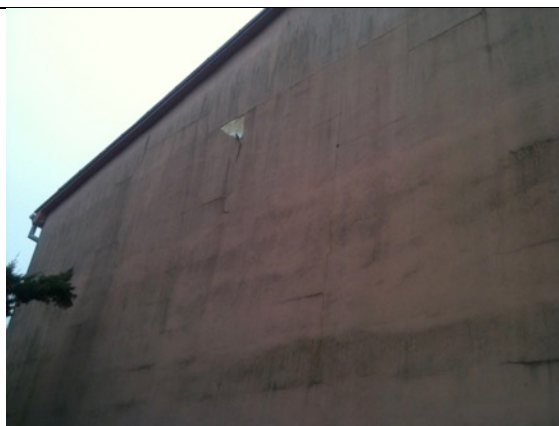


Obr. 3 – Výsledek z modelování 3 teplotního pole pomocí MKP (pohled zespodu, před a po zateplení).

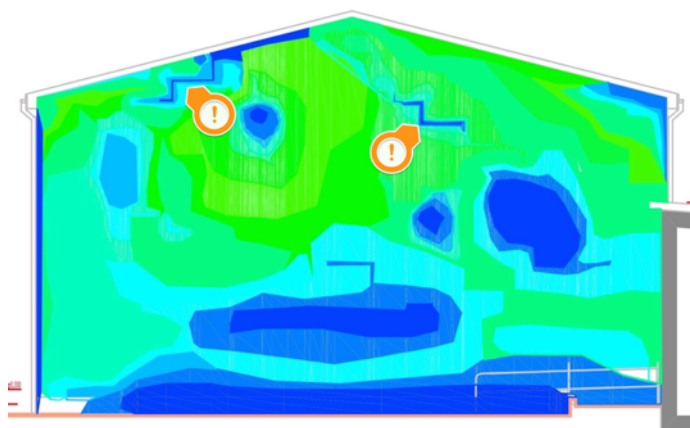
Fig. 3 – Result of 3D thermal array modeled by FEM (view from bottom, before and after ETICS).

3.2 Detekce tepelných mostů a vazeb

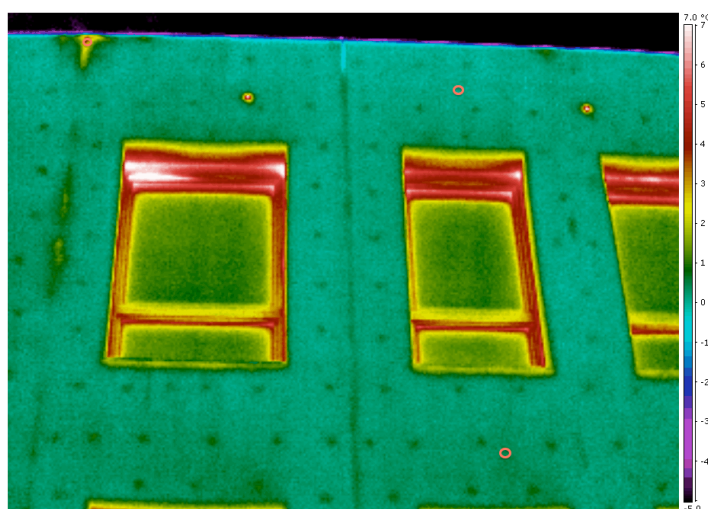
Vada a porucha je v tomto případě odhalitelná pomocí IČ termografie popř. pomocí ID. Na dalších 2 obrázcích č. 4 a 5 je výstup z metody ID, jedná se o fasádu tělocvičny základní školy, kde již došlo i k mechanickému poškození omítkové vrstvy. Měření pomocí ID odhalilo místa s výskytem vlhkosti a místa, kde dochází k zatékáním do ETICS, což jsou místa s tmavým barevným odstínem (tmavě modrá barva). Zajímavé je sledovat výskyt vody ve spárách desek izolantu, tak jak postupně stékal – viz na tom samém obrázku šipka s vykřičníkem. Další obrázek č. 6 ukazuje obdobnou situaci, kde je nahoře u atiky konstrukce znázorněno místo, které je vlhké. Na termogramu je vidět, že je zde zvýšená povrchová teplota (jedná se o místo, kde základní lišta navazuje na oplechování atiky). Pro drobnější tepelné mosty, zejména kovové, které mohou způsobovat kondenzaci vodní páry na vnitřním povrchu konstrukce lze použít RaD a to s poměrně vysokou přesností. Z měření pomocí RaD lze dokonce sestavit 2D obrys (průmět do roviny svrchní vrstvy ETICS) tepelného mostu a tak lze určit, že tepelný most způsobuje např. traverza z válcované oceli konkrétního profilu.



Obr. 4 – Fásada měřené budovy pomocí ID.
Fig.4 – A facade of measured building by ID.



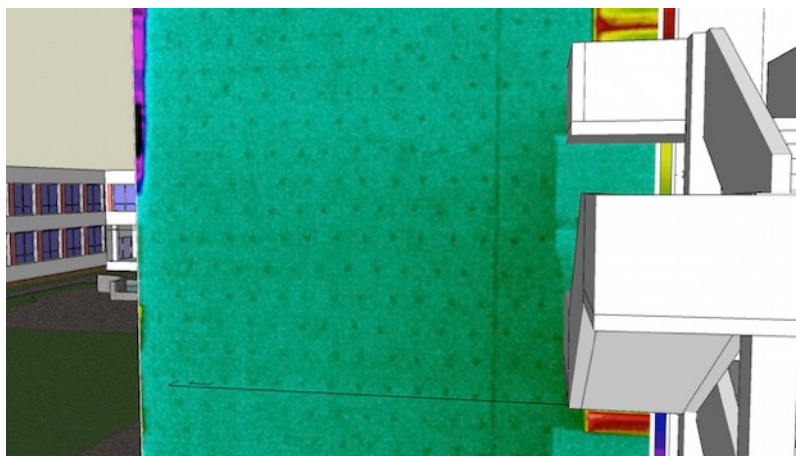
Obr. 5 – Vlhkostní mapa fasády jako výstup z ID.
Fig. 5 – A humidity map as the output result of ID.



Obr. 6 – Znázornění místa s tepelným mostem na termogramu.
Fig. 6 – Illustration of place on facade with thermal bridge .

3.3 Zpětné rekonstrukce kotvících plánů ETICS

Zde se nejčastěji uplatňuje IČ termografie. Na obrázku č. je termogram zobrazující fasádu západní fasády pavilonu základní školy. Jelikož termogram není zobrazen v měřítku tak není zcela možné provádět přímé odečty vzdáleností kotevních hmoždinek. Vzhledem k perspektivnímu zobrazení by nebylo snadné provádět přepočty vzdáleností. V tomto případě je nutné použít software pro mapování termogramu na podklad s reálným výpočtem. Specializovaný software pro tento typ úlohy zatím na trhu není, ale je možné použít např. 3D modelář SKETCHUP, který disponuje funkcí photomapping. Tato funkce umožňuje mapovat jakýkoliv obrázek a tím pádem i termogram na plochu o konkrétních rozměrech. Fotografie je pořízena v perspektivním zobrazení prakticky vždy a program dokáže příslušnou deskriptivní transformaci obrázku tak, aby v měřítku zaplnil určenou fasádu. Pak už můžeme pomocí standardního měřicího nástroje přímo odečítat vzdálenosti hmoždinek, tyto vzdálenosti i zakótovat a provést rekonstrukci kotvícího plánu ETICS pomocí nekontaktní metody viz obrázek č.7.



Obr. 7 – Mapování termogramu na připravený 3D model.

Fig. 7 – Thermogram mapping on prepared 3D model.

Pro stejnou úlohu můžeme použít i RaD, obzvlášť v situaci, kdy nelze IČ termografii provést kvůli malému teplotnímu rozdílu mezi interiérem a exteriérem, výhodou RaD je to, že pomocí ní lze diagnostikovat stav rozmístění kotvících hmoždinek v podstatě kdykoliv během roku. V případě kotvících hmoždinek s ocelovým trnem je metoda bezchybná, poněkud problematické je použití metody RaD v případě, že kotvící hmoždinky jsou s plastovým trnem. Zde jsou výsledky zatím ne zcela přesvědčivé, ale pracujeme na dalším výzkumu, který se zaměřuje i na detekci hmoždinek s plastovým trnem. Důležitou součástí měření je i potřeba odměřování pomocí laserového dálkoměru nebo klasického metru. Metoda je tedy stejně jako ID poměrně časově náročná nicméně spolehlivá s reprodukovatelnými výsledky.

4 SROVNÁNÍ JEDNOTLIVÝCH METOD NEDESTUKČNÍ DIAGNOSTIKY ETICS

Dále uvádím krátké srovnání jednotlivých metod. Hodnotil jsem metody v následujících kritériích:

- Komplexnost využití metody, tedy jestli je metoda využitelná na více úloh,
- časová náročnost sběru dat,

- časová náročnost analýzy a vyhodnocení dat,
- použitelnost v závislosti na klimatických podmínkách

V následující tabulce uvádím hodnocení jednotlivých kritérií jednotlivých nedestrukčních metod:

Tab. 1 – Srovnání jednotlivých diagnostických metod

Tab. 1 – Comparison of diagnostics methods

Název metody	Komplexnost	Sběr dat	Analýza hodnocení dat ^a	Použitelnost
IČ termografie	Velice komplexní, bezkontaktní	Rychlý	Středně rychlá	Pouze při teplotním gradientu 20K.
Impedanční defektoskopie	Středně komplexní	Časově náročný	Časově náročná	Pouze při teplotách nad 3°C
Radarová diagnostika	Úzce zaměřená na detekci hmoždinek a kovových předmětů	Časově náročný	Rychlá	Téměř nezávisle na teplotě a klimatických podmínkách

5 ZÁVĚR

Z článku je zřejmé, že IČ termografie je oprávněně nejpoužívanější metodou diagnostiky ETICS. Je to metoda komplexní, využitelná pro diagnostiku celého objektu až po úzce zaměřené úlohy jako je například zpětná rekonstrukce kotevního plánu, zjišťování vlhkosti v konstrukci apod. Bohužel omezení použitelnosti metody pouze na v podstatě 4 měsíce v roce, kdy jsem schopni zabezpečit měření s teplotním rozdílem možnosti využití limituje. Metoda ID je stále ještě komplexní metodou, pomocí které lze vyšetřit více úloh, komplexnosti IČ termografie však nedosahuje a její velkou nevýhodou je to, že se nejedná o metodu bezkontaktní. RaD je velice úzce zaměřená na specifické typy úloh, není bezkontaktní, ale je nezávislá na klimatických podmínkách.

Zatím bohužel neexistuje diagnostická metoda, nekontaktní, nedestruktivní, která by byla stejně univerzální a komplexní jako IČ termografie, ale nezávislá na klimatických podmínkách. ID v případě plochých střech funguje jako bezkontaktní, ale její aplikace na svislé stavební konstrukce s ETICS není prozatím z technických důvodů možná. V případě IČ termografie by bylo teoreticky možné v letních měsících provádět měření v klimatizované místnosti z interiéru (tím by byl zajištěn teplotní gradient), ale metoda by ztratila svůj potenciál, který jí dává zejména to, že pomocí ní můžeme měřit i poměrně rozsáhlé plochy fasády.

6 LITERATURA

- [1] KALOUSEK, Miloš. *Termovizní diagnostika betonových konstrukcí*. Sanace betonových konstrukcí, 2004, roč. 17, č.1, s. 31. ISSN: 1211-3700.
- [2] POČINKOVÁ, Marie; RUBINOVÁ, Olga. *Infračervená termografie ve stavebnictví*. TZB-info, 2009, roč. 2009. Praha: TZB-info. 2007, 2s.
- [3] ZACH, Jiří; HORKÝ, Oldřich. *Monitorování vlhkostního obsahu ve zdivu pomocí infračervené termografie*. TZB-info, 2007, roč. 2007, č.12. Praha: TZB-info. 2007, 3s.

-
- [4] TATARKOVIČ, Michal; BRONCOVÁ, Gabriela; KRONČÁK, Martin. *Elektroimpedanční spektroskopie a její využití v chemické analýze*. Chemické listy, 2012, roč. 2012. Praha: Chemické listy. 2012, 8s, ISSN 1213-7103.
- [5] KUSÁK, Ivo; LUŇÁK, Miroslav; TOPOLÁŘ, Libor; PAZDERA, Luboš; BÍLEK, Vlastimil. *Sledování hydratace betonu impedanční spektroskopii*. Defektoskopie 2007, 2007, Praha: BETIS, 5s. ISBN: 978-80-214-3504-9.
- [6] KUSÁK, Ivo; LUŇÁK, Miroslav; PAZDERA, Luboš. *Impedanční spektroskopie keramické tašky (bobrovky)*. 6th Workshop NDT 2008, 2008. Brno: CERM, 2008, 3s. ISBN: 978-80-7204-610-2.
- [7] KUSÁK, Ivo; LUŇÁK. *Chování stavebních materiálů ve střídavém elektrickém poli*. NDE for Safety/DEFEKTOSKOPIE 2012, 2012.
- [8] TOMÁŠ, Martin. *Dielektrika*. Dostupné z <http://dielektrika.kvalitne.cz/index.html>.
- [9] NATHAN, IDA: *Mikrowawe NDT*. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1992. 387 s. ISBN 0-7923-2007-7.
- [10] ZVĚŘINA, Aleš. *Posouzení příčin biotického napadení fasády vnějšího kontaktního zateplovacího systému (ETICS)*. 2014, Brno: Vysoké učení technické v Brně, ÚSI, 2014. s. 36-37. ISBN: 978-80-214-4852- 0.