

Česká společnost pro nedestruktivní testování
Czech Society for Nondestructive Testing



DEFEKTOSKOPIE 2015

NDE for Safety

SBORNÍK PŘÍSPĚVKŮ PROCEEDINGS

**45. mezinárodní konference
45nd International Conference**



3. –5. listopad 2015
November 3–5, 2015

Brno, Czech Republic



Česká společnost pro nedestruktivní testování

pořádá pro všechny defektoskopické odborníky i zájemce o tento obor
nejvýznamnější událost roku 2016 z oblasti nedestruktivního zkoušení v České republice.

46. mezinárodní konferenci a výstavu NDT techniky **DEFEKTOSKOPIE 2016 / NDE FOR SAFETY 2016**

8. – 10. 11. 2016, Lázně Luhačovice a.s. (Společenský dům)

Mezinárodní konference a výstava Defektoskopie 2015 / NDE for Safety 2015 bude zaměřena zejména na problematiku nedestruktivního zkoušení materiálů a konstrukcí ve všech oborech technické činnosti. Konference bude příležitostí k setkání všech, kteří se zajímají o výzkum, vývoj, praktické aplikace i vzdělávání a normalizaci v tomto oboru.



Základní tematické okruhy konference

- Ultrazukové metody
- Magnetické a indukční metody
- Prozařovací metody
- Akustická emise
- Povrchové a optické metody
- Tomografie
- Využití NDT metod ve zkušebnictví
- Detekce korozních procesů metodami NDT
- Detekce netěsnosti
- Předprovozní a provozní zkoušky, testy spolehlivosti a bezpečnost konstrukcí

- Aplikace NDE/NDT v oblastech: energetika, doprava, strojírenství, stavebnictví, chemický průmysl, atd.
- Inovace průmyslových aplikací NDT
- Netradiční aplikace metod NDT a NDE
- Vzdělávání, standardizace, certifikace a akreditace v oboru NDT

Součástí konference bude veřejně přístupná výstava NDT techniky.

Výstava bude zaměřena na prezentaci nejmodernějšího vybavení a služeb v oblasti nedestruktivního zkoušení materiálů a konstrukcí.

Jednacími jazyky konference budou čeština, slovenština a angličtina.

Místo konání

Konference se bude konat v prostorách Společenského domu - Lázně Luhačovice, a.s.. Největší moravské lázně jsou proslulé příznivými klimatickými podmínkami a příjemným prostředím, kterým vetkl přímo pohádkovou podobu architekt Dušan Jurkovič. Na území Luhačovic vyvěrá 16 kyselek a jeden sírný pramen.

Organizátoři hledají zájemce o sponzorování konference - více informací na kontaktním e-mailu: cn dt@cn dt.cz, na webu konference: www.cn dt.cz, příj. tel.: 605 537 609

Kontaktní adresa:

Doc. Pavel Mazal
ČNDT, FSI, VUT v Brně,
Technická 2, 616 69 Brno

E-mail: cn dt@cn dt.cz
Telefon: (+420) 541 143 229

Více informací a přihlášky: www.cn dt.cz

Czech Society for Nondestructive Testing
Česká společnost pro nedestruktivní testování



DEFEKTOSKOPIE 2015

45th International Conference and ECNDT Exhibition
45. mezinárodní konference a výstava ECNDT techniky

PROCEEDINGS **SBORNÍK PŘÍSPĚVKŮ**

November 3 to 5, 2015
3. až 5. listopadu 2015

Brno, Czech Republic

Edited by Luboš Pazdera, Marta Kořenská and Pavel Mazal

All articles submitted before the deadline were reviewed by members of Scientific Committee.
Editors are not responsible for the reproduction quality in these Proceedings.
The contributions may be copied freely but credit should be given to the Proceedings.

Scientific Committee / Reviewers:

- Prof. Jaroslav Fiala – ZČU Plzeň
- Prof. Karel Hájek – UNOB Brno
- Prof. Karel Pospíšil – CDV Brno
- Ing. Monika Manychová – VUT v Brně
- Ing. Zdeněk Převorovský – ÚT AV ČR Praha
- Mgr. Ivo Kusák – VUT v Brně
- Mgr. Libor Topolář – VUT v Brně

Editors: Luboš Pazdera, Marta Kořenská and Pavel Mazal

Copyright © 2015
Czech Society for Nondestructive Testing
All rights reserved

Published by:

Brno University of Technology
Faculty of Mechanical Engineering
Technická 2, CZ 616 69 Brno

for

Czech Society for Nondestructive Testing
Technická 2, CZ 616 69 Brno

printed version - ISBN 978-80-214-5280-0

CONTENTS / OBSAH

Zbyněk BUNDA, Zdeněk ČESÁNEK, Josef VOLÁK METALOGRAFICKÉ NEDESTRUKTIVNÍ HODNOCENÍ SOUČÁSTÍ ENERGETICKÝCH ZAŘÍZENÍ METALLOGRAPHIC NONDESTRUCTIVE EVALUATION OF POWER PLANT PARTS	1
Ladislav CARBOL, Ivo KUSÁK, Jan MARTINEK PŘENOSOVÁ CHARAKTERISTIKA ULTRAZVUKOVÉHO BUDIČE TRANSFER CHARACTERISTIC OF AN ULTRASONIC TRANSDUCER	9
Jaroslav FIALA STRUKTURNÍ ROZHRANÍ A HYSTERESNÍ JEVY PŘI CYKlickÉM ZATĚŽOVÁNÍ INTERNAL BOUNDARIES AND HYSTERESIS EFFECTS AT CYCLIC LOADING	15
Karel HAJEK SENSITIVITY OF NONLINEAR PULSE ULTRASONIC MIXING SPECTROSCOPY	29
Dorota JAWOR, Łukasz RADZIK, Krzysztof SCHABOWICZ ANALYSIS OF CONTEMPORARY NON-DESTRUCTIVE ACOUSTIC METHODS FOR CONCRETE TESTING AT THE CONSTRUCTION SITE	39
Dorota JAWOR, Łukasz RADZIK, Krzysztof SCHABOWICZ RESEARCH OF WEAK ZONES IN CONCRETE ELEMENTS WITH THE USE OF ULTRASONIC TOMOGRAPHY AND FEM	47
Bernard KOPEC PAUL LANGEVIN – PODIVNÝ PŘÍBĚH OBJEVITELE ZÁKLADŮ ULTRAZVUKOVÉ SONDY PAUL LANGEVIN – STRANGE STORY DISCOVERER BASE OF ULTRASOUND PROBE	55
Michal KUBÍNYI VÝZNAM DIGITÁLNÍHO ZPRACOVÁNÍ OBRAZU V DIGITÁLNÍ RADIOGRAFII I V KONTEXTU NOREM IMPORTANCE OF DIGITAL IMAGE PROCESSING IN THE DIGITAL RADIOGRAPHY I IN THE CONTEXT OF STANDARDS	61

Ivo KUSÁK, Miroslav LUŇÁK	67
ZMĚNA VODIVOSTI KOMPOZITNÍCH VZORKŮ S PŘÍDAVKEM UHLÍKOVÝCH NANOTRUBIČEK CHANGES IN CONDUCTIVITY COMPOSITE SAMPLES WITH ADDED CARBON NANOTUBES	
Monika MANYCHOVÁ, Luboš PAZDERA, Marta KOŘENSKÁ	73
VÝZKUM MOŽNOSTI DIAGNOSTIKY BETONOVÉHO STÍNĚNÍ JADERNÉ ELEKTRÁRNY METODOU IMPACT-ECHO AN INVESTIGATION ON THE POTENTIAL APPLICABILITY OF IMPACT- ECHO METHOD FOR DEFECTOSCOPY OF CONCRETE SHIELDING IN NUCLEAR POWER STATION	
Pavel MAZAL, Houssam MAHMOUD, Miroslav JÁNA, Vladimír BUKÁČEK, František VLAŠIC	81
VYUŽITÍ METODY AKUSTICKÉ EMISE PRO IDENTIFIKACI POŠKOZENÍ PNEUMATICKÝCH VÁLCŮ USE OF ACOUSTIC EMISSION METHOD TO IDENTIFY DAMAGE OF PNEUMATIC CYLINDERS	
Libor NOHAL, Pavel MAZAL	91
MONITOROVÁNÍ STAVU VALIVÝCH LOŽISEK POMOCÍ METODY AKUSTICKÉ EMISE CONDITION MONITORING OF ROLLING BEARING USING ACOUSTIC EMISSION METHOD	
Aleksandr PODSHIVALOV	95
AN EVALUATION OF MEASURED SIGNALS IN THE ZBRASOV ARAGONITE CAVE	
Łukasz RADZIK, Krzysztof SCHABOWICZ, Dorota JAWOR	101
NONDESTRUCTIVE LOCALIZATION THE BORDER BETWEEN WATER AND AIR USING ULTRASONIC TOMOGRAPHY	
Zdeněk SKÁLA, Lukáš STAINER, Jan VÍT	107
PRVNÍ ZKUŠENOSTI S MKS – NOVÝM ZAŘÍZENÍM PRO ZKOUŠENÍ TLAKOVÝCH NÁDOB REAKTORŮ FIRST EXPERIENCE WITH MKS – A NEW DEVICE FOR THE REACTOR PRESSURE VESSEL TESTING	

- Václav SVOBODA, František ŽEMLIČKA, A. A. DUBOV** 117
 INSPEKCE VYBRANÉHO ÚSEKU POTRUBÍ ULOŽENÉHO V ZEMI
 METODAMI MAGNETICKÉ PAMĚTI MATERIÁLU A AKUSTICKÉ EMISE
 INSPECTION OF SELECTED SECTION OF BURIED PIPELINE BY METAL
 MAGNETIC MEMORY METHOD AND ACOUSTIC EMISSION
- Daniela ŠTEFKOVÁ, Libor TOPOLÁŘ** 125
 THE IMPACT-ECHO METHOD IS BEING USED AS A TOOL TO
 EVALUATE DEGREE OF DEGRADATION IN CIVIL ENGINEERING
- Kristýna TIMČAKOVÁ, Michal MATYSÍK** 133
 THE MONITORING OF DEGRADATION OF REINFORCED CONCRETE
 CONSTRUCTIONS BY NON-DESTRUCTIVE METHODS OF TESTING
- Libor TOPOLÁŘ, Luboš PAZDERA** 139
 SROVNÁNÍ ALKALICKY AKTIVOVANÝCH BETONŮ S RŮZNÝMI
 AKTIVÁTORY METODOU AKUSTICKÉ EMISE
 THE COMPARISON OF ALKALI-ACTIVATED CONCRETE WITH
 DIFFERENT ACTIVATORS BY ACOUSTIC EMISSION METHOD
- Yuriy YAREMENKO** 145
 OPPORTUNITIES FOR THE REDUCTION OF SUBSTANCES AND
 EQUIPMENT IMPACT ON PERSONNEL IN PENETRANT AND MAGNETIC
 PARTICLES TESTING

ABSTRACT / ABSTRAKTY

- Alexander KARABUTOV, Alexey ZHARINOV, Elena SAVATEEVA,
 Elena MIRONOVA, Petr ŽBÁNEK, Velerij MAKAROV** 152
 ZKOUŠENÍ UHLÍKOVÝCH KOMPOZITŮ LASEREM BUZENÝM
 ULTRAZVUKEM
 CONTACT LASER-ULTRASONIC EVALUATION OF CARBON-FIBER
 REINFORCED COMPOSITES
- David NOVÁK** 153
 ZKOUŠKA TĚSNOSTI MĚŘENÍM PRŮTOKOMĚREM ATC Inc.
 LEAK TESTING BY MICROFLOW METER ATC Inc.
- Choon-su PARK** 154
 3-D NONLINEAR SUB-HARMONIC IMAGING TO VISUALIZE CLOSED
 CRACK PROFILE

Zuzana PAŠKOVÁ	155
PŘÍPRAVA NOVÉ LEGISLATIVY V RADIAČNÍ OCHRANĚ	
Zdeněk PŘEVOROVSKÝ	156
OHLÉDNUTÍ ZA KONFERENCÍ 11. ECNDT 2014 A POKROKY V NDT METODÁCH	
HINDSIGHT TO THE 11 TH ECNDT 2014 CONFERENCE AND THE PROGRESS IN NDT METHODS	
Miroslav ROXER	158
MAGNETIZACE NESTANDARDNÍCH DÍLŮ MAGNETICKOU PRÁŠKOVOU METODOU	
MAGNETIZATION OF SPECIAL PARTS BY MEANS OF MAGNETIC PARTICLE METHOD	
Ľubomír ŠKVARENINA	159
DIAGNOSTIKA DEFEKTŮ SOLÁRNÝCH ČLÁNKŮ ZA POUŽITIA INFRAČERVENÉJ TERMOGRAFIE A ŠUMOVEJ SPEKTROSKOPIE	
DIAGNOSTICS OF SOLAR CELLS DEFECTS USING INFRARED THERMOGRAPHY AND NOISE SPECTROSCOPY	
Michal ŠVANTNER	160
MOŽNOSTI VYUŽITÍ IRNDT PRO DETEKCI KOROZNÍHO POŠKOZENÍ VNITŘNÍ STRANY OCELOVÝCH STĚN	
POSSIBILITIES OF IRNDT FOR CORROSION DAMAGE DETECTION ON STEEL WALLS INNER SIDE	
Miroslav VESELSKÝ	161
PIEZOELEKTRICKÉ BALKOVÉ, KOMPOZITNÍ A FÓLIOVÉ SNÍMAČE PRO AE DEFEKTOSKOPII ROZBOR VNITŘNÍ STRUKTURY, SROVNÁVACÍ MĚŘENÍ A APLIKAČNÍ LIMITY	
PIEZOELECTRIC BALK, COMPOSITE AND FOIL AE SENSORS FOR NON- DESTRUCTIVE ANALYSIS OF INTERNAL STRUCTURE, COMPARATIVE MEASUREMENT AND APPLICATION LIMITS	
Tomáš ZAVADIL	162
ZAJIŠŤOVÁNÍ KVALITY PROCESU PERSONÁLNÍ KVALIFIKACE A CERTIFIKACE V NDT	
ENSURING QUALITY OF NDT PERSONNEL QUALIFICATION AND CERTIFICATION PROCESS	
Zbyněk ZAVADIL, Tomáš ZAVADIL, Václav JANDURA, Jiří PITTER	163
ZKOUŠENÍ ZPŮSOBILOSTI JAKO NÁSTROJ PRO HODNOCENÍ A POROVNÁVÁNÍ DODAVATELŮ PROCESU NDT	
PROFICIENCY TESTING AS A TOOL TO EVALUATE AND COMPARE NDT PROCESS SUPPLIERS	

AUTHORS INDEX / INDEX AUTORŮ

Bukáček V.	81	Pazdera L.	73, 139
Bunda Z.	1	Pitter J.	163
Carbol L.	9, 67	Podshivalov A.	95
Česánek Z.	1	Převorovský Z.	156
Dubov A. A.	117	Radzik L.	39, 47, 101
Fiala J.	15	Roxer M.	158
Hájek K.	29	Savateeva E.	152
Jandura V.	163	Schabowitz K.	39, 47, 101
Jawor D.	39, 47, 101	Skála Z.	107
Jána M.	81	Stainer L.	107
Karabutov A.	152	Svoboda V.	117
Kopec B.	55	Škvarenina L.	159
Kořenská M.	73	Štefková D.	125
Kubínyi M.	61	Švantner M.	160
Kusák I.	9, 67	Timčaková K.	133
Luňák M.	67	Topolář L.	125, 139
Mahmoud H.	81	Veselský M.	161
Makarov V.	152	Vít J.	107
Manychová M.	73	Vlašic F.	81
Martinek J.	9	Volák J.	1
Matysik M.	133	Yaremenko Y.	145
Mazal P.	81, 91	Zavadil T.	162, 163
Mironova E.	152	Zavadil Z.	163
Nohál L.	91	Zharinov A.	152
Novák D.	153	Žbánek P.	152
Park C.	154	Žemlička F.	117
Pašková Z.	155		

PAPERS / PŘÍSPĚVKY

NOTES / POZNÁMKY



METALOGRAFICKÉ NEDESTRUKTIVNÍ HODNOCENÍ SOUČÁSTÍ ENERGETICKÝCH ZAŘÍZENÍ METALLOGRAPHIC NONDESTRUCTIVE EVALUATION OF POWER PLANT PARTS

Zbyněk BUNDA*, Zdeněk ČESÁNEK, Josef VOLÁK***

*Regionální technologický institut, FST, ZČU, **Výzkumný a zkušební ústav s.r.o.
Contact e-mail: zbynek.bunda@email.cz, cesanek@vzuplzen.cz

Abstrakt

Příspěvek se zabývá nedestruktivní metalografií, sahající do oblasti povrchových a optických metod, která je výjimečná především díky své operativnosti a rychlosti. Její využití je velmi rozsáhlé. Článek pojednává především o aplikacích z oblasti energetiky, tj. kotlové trubky, parovody, turbínové rotory a lopatky a také turbínová tělesa. Nachází se zde velké množství aplikací, kde je možné využít hodnocení materiálu využitím metod nedestruktivní metalografie. Součásti energetických zařízení jsou vystaveny extrémním podmínkám, díky kterým materiál degraduje. Ke zjištění míry degradace se hojně využívá metoda replik. Na základě výsledků je možné toto poškození identifikovat a následně učinit nápravná opatření, která zabrání možným haváriím energetických zařízení. Tento článek popisuje princip hodnocení součástí pomocí metalografických replik a ukazuje jejich možné využití v reálných aplikacích.

Klíčová slova: nedestruktivní metalografie, repliky, kontrola mikrostruktury

Abstract

The article deals with non-destructive metallography. This method is useful for its speed and simplicity. Its range of applications is very wide. This contribution discusses mainly the utilization of this promising method in the field of power plant components e.g. boiler tubes, steam piping, pressure vessels, turbine rotors and also stator casings. There is a large number of applications where it is possible to use the evaluation of the material by using non-destructive metallography. Power plant parts are exposed to extreme conditions, thanks to which the material degrades. The replica method is useful for the determination of the degradation degree of the material. On the basis of the results of this method we can identify the damage of the material. After that it is possible to modify the conditions, which prevents possible accidents of power plant parts. This article describes the principle of evaluation components by using metallographic replicas and shows their possible use in real applications.

Key words: nondestructive metallography, replicas, microstructure inspection

1. Úvod

V současném energetickém průmyslu je kladen největší zřetel zejména na maximální bezpečnost a ekonomičnost provozu. Náklady spojené s odstávkami zařízení, následnou kontrolou stavu jednotlivých částí a popř. opravou vadných komponent, jsou značné. Tyto náklady se zvětšují s prodlužováním doby odstávky, ať už z jakéhokoli důvodu. Na jedné straně je tendence ušetřit co nejvíce finančních prostředků, což vede k tomu, že např. nejsou provedeny všechny potřebné kontroly soustrojí, na druhé straně potom stojí otázka bezpečnosti zařízení a hlavně lidských životů. Z tohoto hlediska je naopak nutné provést co nejvíce materiálových analýz a kontrol, aby se vyloučilo selhání zařízení. Je třeba najít optimální řešení mezi těmito dvěma mantinely, které se bohužel v převážné většině odvíjí od množství finančních prostředků provozovatele zařízení.

2. Metoda replik

Tato metoda se nachází na rozhraní nedestruktivních až semidestruktivních zkoušek. Toto tvrzení se opírá o fakt, že je potřeba před hodnocením povrch součásti vhodným způsobem připravit, a to zpravidla broušením a leštěním, což je určitý zásah do materiálu. Pokud si ale uvědomíme, jak velké součásti se touto metodou v elektrárnách kontrolují, pak můžeme směle považovat tuto metodu za prakticky nedestruktivní. Odbroušení několika desetin milimetru materiálu na ploše 1 cm² u výrobků, jako jsou tělesa turbin, parovodní potrubí nebo ventily nehraje ve své podstatě žádnou roli. Touto metodou se hodnotí struktura a nehomogenity, které se nacházejí v hodnoceném materiálu. Po sejmutí repliky, se tento negativ následně analyzuje v laboratoři na metalografickém mikroskopu.

3. Příklady kontrolovaných dílů



Obr. 1 Rotor

Fig.1 Rotor



Obr. 2 Kontrola mikrostruktury

Fig.2 Microstructure inspection



Obr. 3 NT rotor

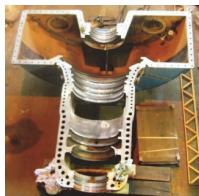
Fig. 3 Low pressure rotor

Kontrolu mikrostruktury je možné provést jak na discích rotorů a lopatkách parních turbin, viz obr. 1 – obr. 3, tak i na vnějších skříních (horní i spodní díl), viz obr 4 – obr. 6. Dále také na regulačních a rychlozavěrných ventilech, které jsou zobrazeny na obr. 6 – 9. Při kontrole dobře přístupného dílu, je možné k mikroskopu připojit kameru a strukturu vyfotografovat bez použití repliky (obr. 8).



Obr. 4 Turbínová skříň

Fig. 4 Stator casing



Obr. 5 Horní těleso turbíny

Fig. 5 Stator casing



Obr. 6 Pohled na rozebrané soustrojí

Fig. 6 Turbo set



Obr. 7 RZ ventil

Fig. 7 Steam valve



Obr. 8 Dokumentace mikrostruktury

Fig. 8 Documentation of the microstructure



Obr. 9 Ventily

Fig. 9 Steam valves

Běžně se provádí také kontrola svařovaných rotorů, potrubí i ventilů. Předmětem kontroly je základní materiál, svařový kov, přechodová oblast a tepelně ovlivněná zóna svařového spoje, viz obr 10 – 12).



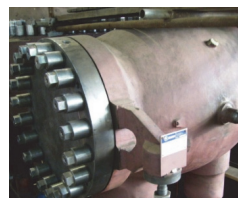
Obr. 10 Kontrola svaru ventilu

Fig. 10 Inspection of welds



Obr. 11 Detail svaru, ventilu

Fig. 11 Weld of the steam valve



Obr. 12 Ventil

Fig. 12 Steam valve

Kotlové trubky (obr. 13), přehříváky a tlakové nádoby jsou kontrolovány přímo v elektrárnách u tuzemských i zahraničních zákazníků. Obr. 14 byl pořízen při kontrole na elektrárně v Chile. Kontrolované lokality jsou mnohdy špatně přístupné, což je ukázáno na obr. 15.



Obr. 13 Kotlové trubky, průřez

Fig. 13 Boiler pipes, inspection chamber



Obr. 14 Vnitřní kotlové trubky

Fig. 14 Inner boiler pipes



Obr. 15 Kontrola stěnového přehříváku s jistěním

Fig. 16 Inspection of the pipe with belay

Další příklady použití metody na konkrétních dílech jsou uvedeny na obr. 16 – 18. Na obr. 19 – 21 jsou uvedeny příklady mikrostruktur pořízených v laboratoři z replik.



Obr. 16 Vodní kruh

Fig. 16 Water circle



Obr. 17 Kontrola mikrostruktury Cu součásti po zapájení

Fig. 17 Inspection of Cu parts after soldering



Obr. 18 Generátorová obruč

Fig. 18 Generator ring

4. Příprava povrchu

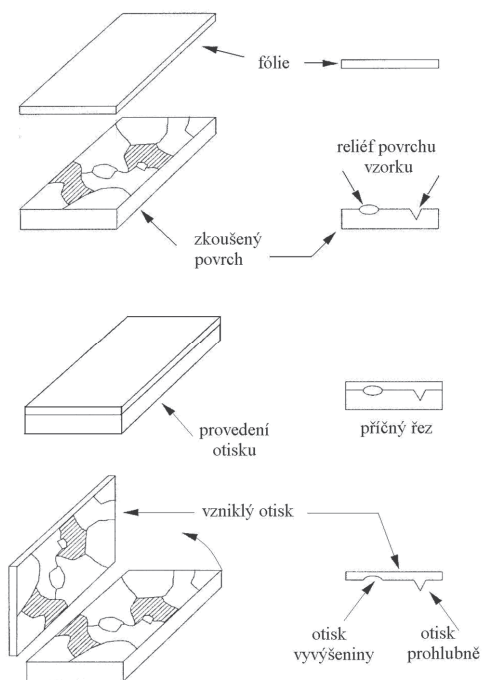
Povrch musí být důkladně očištěn, odmaštěn a vysušen. To docílíme opakovaným omytím vhodným rozpouštědlem a osušením horkým vzduchem. Zkoumání struktury povrchu je možné po vhodné přípravě zahrnující broušení, leštění a naleptání povrchové vrstvy součásti. Broušení se provádí speciální přenosnou metalografickou bruskou. Následuje leštění, které je možné provést mechanickou cestou (za pomoci metalografické brusky a leštícího kotoučku), nebo elektrolyticky (za použití přenosné elektrolytické leštičky). Po těchto krocích povrch naleptáme vhodným činidlem, nebo provedeme elektrolytické leptání.

Při přípravě povrchu není nutný větší úběr materiálu o více než 0,2 mm. V mnoha případech je tento úběr výrazně menší. Během opracování je nutné se vyhnout nadměrnému zahřívání povrchu. Z tohoto důvodu nesmí být použita příliš velká přitlačná síla. Při jednotlivých po sobě jdoucích stupních opracování povrchu je třeba kolmo měnit směr opracování součásti. Po každém kroku musí být z povrchu odstraněny zbytky po broušení.

5. Kontrola mikrostruktury

Kvůli maximální eliminaci možné oxidace či kontaminace kontrolovaného místa je nutné odebrat repliku (otisk) co možná nejrychleji. Otisk struktury se odebírá v souladu s návodem výrobce replik, který je součástí balení zkušebního setu. Tím vzniká otisk strukturního reliéfu do aktivní vrstvy záznamového média. Schématické znázornění principu zhotovení otisku je na obr. 19.

Takto provedený otisk je přenesen na metalografický světelný mikroskop (např. na transportním laboratorním sklíčku), kde lze repliku předběžně vyhodnotit přímo v provozních podmínkách. Podrobnější metalografická analýza včetně fotodokumentace se provádí na laboratorním invertovaném metalografickém mikroskopu, případně na elektronovém mikroskopu v laboratorních podmínkách.

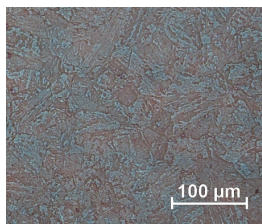


Obr. 19 Otisk strukturního reliéfu do aktivní vrstvy záznamového média [2]

Fig. 19 The imprint of structural relief to the active layer of the replica [2]

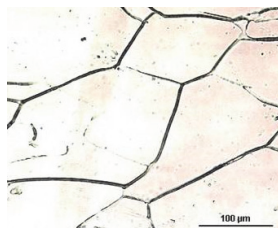
Pro zajištění korektních výsledků je vhodné, aby případnému opakovanému odebírání otisku ze stejného kontrolního místa předcházela znova celá procedura přípravy metalografického výbrusu. Mikrostrukturu hodnotíme buď přímo na místě za použití přenosného mikroskopu, nebo odebereme otisk mikrostruktury metodou replik a zkoumáme jej v laboratoři (např. obr. 19 – 21). Nejrychlejší metodou je

v současné době vyfotografování mikrostruktury přenosným mikroskopem a následná analýza.



Obr. 20 Kotlová trubka

Fig. 20 Boiler tube



Obr. 21 Obruč generátoru

Fig. 21 Generator ring



Obr. 22 Přehřívák

Fig. 22 Over heater

6. Otisky do folií

Folie (repliky) jsou vyrobeny na bázi vhodné umělé hmoty a musí mít nejmenší tloušťku 0,06 mm. Na folii je potřeba nanést rozpouštědlo, aby došlo k jejímu změkčení. Po určité době působení je folie přiložena ke zkoumanému povrchu. Pro zajištění těsného kontaktu s povrchem musí být folie ve směru ze středu k okraji pečlivě přitlačena. To umožní únik přebytečného rozpouštědla a zabrání nechtěnému prohnutí folie nebo tvorbě vzduchových bublin [1].

Struktura materiálu se hodnotí nejčastěji optickým metalografickým mikroskopem. Operátor stanovuje charakter a typ mikrostruktury kontrovaného místa se zaměřením na:

- typ, tvar a velikost strukturních útvarů a zrn
- obsah a rozložení přítomných fází
- typ, velikost a morfologie nekovových složek (grafit, vměstky apod.)
- charakter a tvar případných nečistostí.

Dále provádí dokumentaci fotografováním. V případě hodnocení struktury za účelem zjištění degradace materiálu energetických zařízení vlivem kavitacního (creepového) poškození dlouhodobým provozem za vysokých teplot (tečení materiálu) se ke klasifikaci stavu užívá pětistupňová škála.

Pro hodnocení postupných strukturních změn, probíhajících v materiálu vlivem dlouhodobého působení vysokých teplot, lze pro uhlíkové a nízkolegované oceli užít šestibodovou klasifikační stupnici uvedenou v publikaci [2].

7. Závěr

Příspěvek podává přehled o využití provozní metalografie v praxi. Jsou uvedeny příklady aplikací na konkrétních částech energetických zařízení s příslušnou fotodokumentací. I přes zdánlivou jednoduchost má tato perspektivní metoda do budoucnosti velký potenciál.

Literatura:

- [1] DIN 54150 Abdruckverfahren für die Oberflächenprüfung (Replica-Technik)
- [2] BUNDA, Z.: Vztah mikrostruktury a zbytkové životnosti dílů energetických zařízení, Disertační práce, ZČU v Plzni, Plzeň 2013.



PŘENOSOVÁ CHARAKTERISTIKA ULTRAZVUKOVÉHO BUDIČE TRANSFER CHARACTERISTIC OF AN ULTRASONIC TRANSDUCER

Ladislav CARBOL *, Ivo KUSÁK *, Jan MARTINEK *

* VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav fyziky, Žižkova 17, 602 00 Brno
Contact e-mail: carbol.l@fce.vutbr.cz

Abstrakt

Pulzně-kompresní techniky jsou stále populárnější v oblasti nedestruktivního testování. Budiče jsou primárně vybrány tak, aby šířka pásma odpovídala testovacího signálu. To je snadno splněno v případě klasických úzkopásmových Tone-burst signálů, ale téměř nemožné splnit v případě širokopásmových testovacích signálů, jako je například sekvence maximální délky. Konstrukce budiče omezuje jeho užitečnost buď na nízké, nebo vysoké frekvence. Frekvenční odezva obsahuje informace nezbytné pro výběr nejlepšího snímače a vysílače. Matematické funkce, jako je korelace, mohou být použity k získání neparametrické frekvenční odezvy měřeného vzorku. V tomto článku je také diskutován parametrický přístup získání přenosové funkce, založený na modelu Output-Error. Nakonec je experimentálně získána frekvenční odezva vzorku při použití snímače s ne-ideální charakteristikou.

Klíčová slova: *Sekvence maximální délky, Pulzně-kompresní signál, Přenosová funkce, Frekvenční odezva, Lineární časově nezávislý systém, Materiálové charakteristiky, Ultrazvukové zkušebnictví*

Abstract

Pulse-compression techniques are increasingly popular in the field of Nondestructive testing. Transmitting transducers are selected primary to match bandwidth of the test signal. This is easily fulfilled in the case of classical narrowband tone burst signals, but almost impossible to fulfill in the case of broadband test signals, such as Maximum Length Sequence. Physical construction of the transducer limits its usefulness to either low or high frequencies. Frequency response contains the necessary information for selecting the best transducer. Mathematical functions, such as correlation, can be used to recover nonparametric frequency response of a measured sample. In this article is also discussed a parametric approach to estimate a transfer function based on an Output-Error model. Finally an experiment is conducted to recover sample's frequency response using a transducer with non-ideal characteristic.

Key words: *Maximum Length Sequence, Pulse-compression signal, Transfer Function, Frequency Response, Linear Time-Invariant system, Material characteristics, Ultrasonic Testing*

1. Introduction

Ultrasonic testing is a popular technique for nondestructive investigation of solid materials. Depending on the method, ultrasonic wave propagating through the tested specimen can reveal mechanical properties as well as defects [1]. Conventional ultrasonic flaw detection uses non-modulated signals formed under shock excitation of the transmitting transducer. In order to make the flaw echo signal distinguishable from noise [2], the amplitude of a shock-excited pulse often reaches several hundreds volts. However, perturbation signal amplitude is limited by both generator and the tested object itself. Also piezoelectric transducer operated at high voltage levels has significantly shorter lifetime. Conventional UT is quite sufficient for metallic materials. However, objects with high frequency-dependent attenuation properties, concrete for instance, need different testing approach.

The only way to overcome attenuation difficulties is to use signals which can deliver more energy into the specimen. The approach is in technical literature called pulse-compression technique.

2. Non-parametric approach

Any physical system can be described by its response to a δ -function signal; such response is called an Impulse response (IR). The only nondestructive testing method using this principle is called Impact Echo. Methods base on pulse-compression signal are also capable of recovering the Impulse response, in following way: a coded signal $x(t)$, with a δ -like autocorrelation function injected into a linear time-invariant system, will be alerted and Impulse response $h(t)$, carrying all the characteristic of the LTI system, can be obtained by cross-correlating response signal $y(t)$ with the stimulus signal $x(t)$.

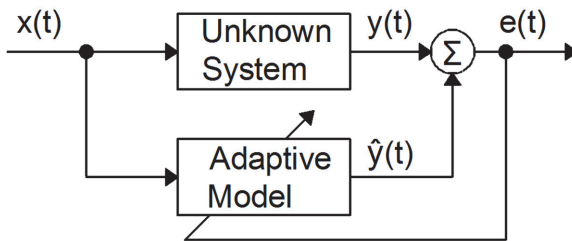
$$y(t) = \mathcal{L}\{x(t)\} = h(t) * x(t) \rightarrow R_{x,y} = R_{x,x} * h(t) \simeq h(t) \quad (5)$$

Where $R_{x,y}(t)$ is the cross-correlation operator of x and y and $*$ denotes the convolution [3].

Cross-correlation is in ultrasonic testing used to characterize the test system, which is composed of many elements. Each element or a group of elements is again characterized by their Impulse response. Using this assumption, Impulse response of the specimen itself should be a result of deconvolution between IR with the specimen and IR without the specimen.

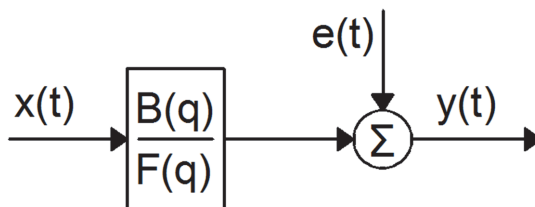
3. Parametric approach

System identification toolkit in LabVIEW software offers another way how to characterize unknown system. The toolkit has several recursive models capable of representing complex electrical systems, such as with feedback loops. Transfer function calculated by correctly selected model is used for adaptive system controlling, servos...



Obr. 1. Rekursivní odhad modelu systému
 Fig. 1. Recursive system model estimation

Unlike the application for control structures, accurate ultrasound models require polynomials of order of hundreds to represent the system accurately. It is easy to imagine the demands on computational time for General-linear model with 5 polynomials and delay. Simplification to Output-Error model structure with only 2 polynomials and zero delay proved to be quite accurate and less time demanding.

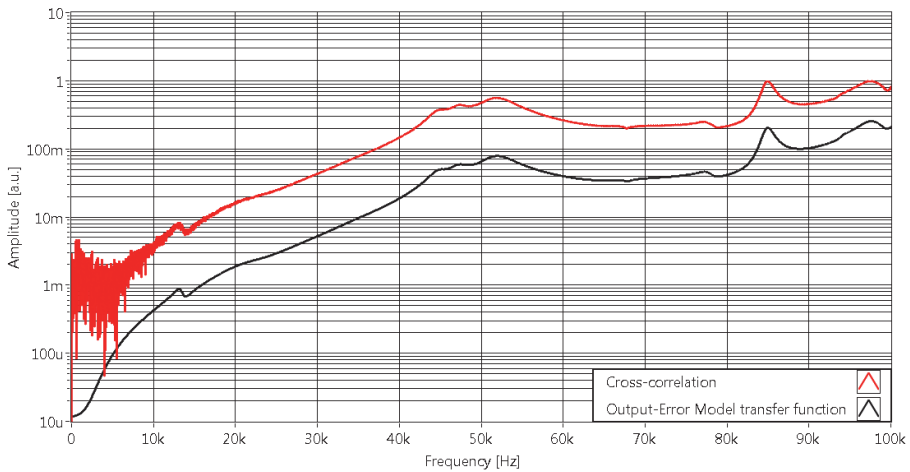


Obr. 2. Struktura modelu Výstup-chyba
 Fig. 2. Output-Error model structure

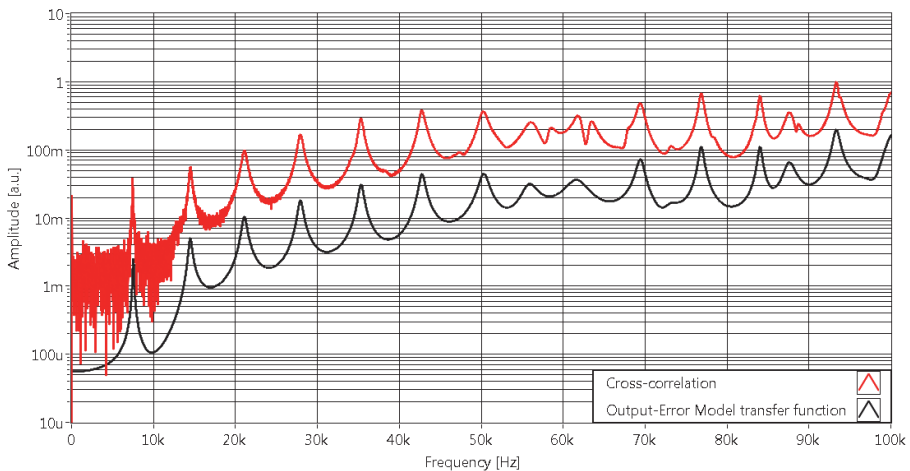
3. Experiment

In order to make the results of both methods mutually comparable, ultrasonic IR respectively TF was recovered for the same specimen. The length of the aluminum rod specimen was chosen so that the eigenfrequency is below 10 kHz. Both transmitter and receiver piezoelectric transducers were fixed to opposite sides of the specimen by bee's wax. Transmitter to receiver transfer function/impulse response was obtained in the same fashion.

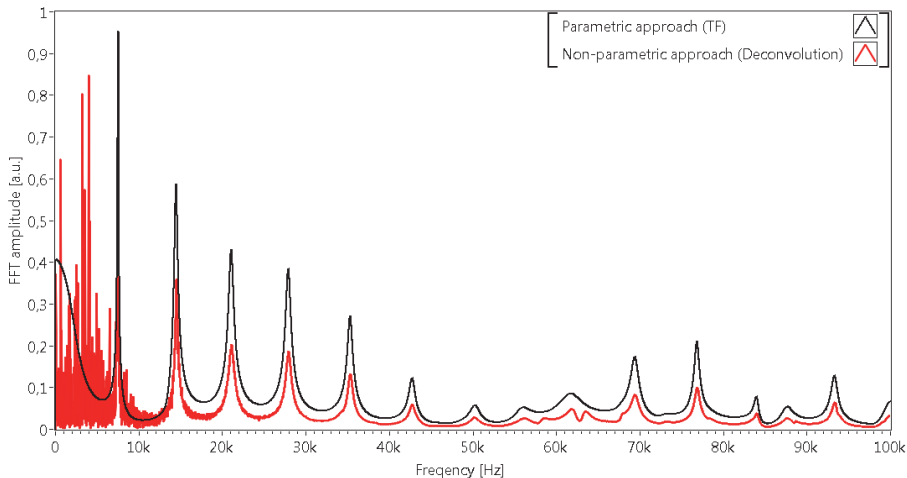
Maximum length sequence (MLS) of 16-bit length, generated at 200 kHz was used as stimulus signal. Response signal was sampled with NI PCI 6251 card, at 1 MS/s with 16-bit resolution. NI LabVIEW programming language was used for both signal generation/acquisition and signal conditioning. Well defined frequency spectrum, perfect auto-correlation and repeatability make MLS a wise choice for excitation signal. For the test is used only one continually repeated [4] sequence. Signal to noise ratio is improved by synchronous time averaging (25 times). Prior to acquisition, the signal was amplified and filtered by analog bandpass filter (0,3-300 kHz). Analog filtering is crucial to prevent frequency aliasing given by continuous sinc2 frequency spectra of MLS [5].



Obr. 3. Frekvenční spektrum vysílač-přijmač
Fig. 3. Transmitter-Receiver frequency spectra



Obr. 4. Frekvenční spektrum systému Vysílač, vzorek, přijmač
Fig. 4. Frequency spectra of system TR, specimen, RX



*Obr. 5. Získané frekvenčné spektrum samotného vzorku
Fig. 5. Recovered frequency spectra of the specimen only*

4. Results

Both methods show the same pattern of gradually decreasing amplitudes of higher harmonics consistent with damped oscillation, a typical behavior for system excited by an impulse δ -function. Obviously the parametric approach yields clearer results in all parts of the spectra. Whereas a spectrum recovered by deconvolution is very shaky, especially in the region below 10 kHz. This phenomenon is visible on all figures, but the explanation lies in Figure 3, because directly connected transmitter to receiver is capable of transferring very little signal in the lowband region. As a result, noise is corrupting the recovered spectra. Inherent properties of Transfer function (TF) model, on the other hand, are smoothing the noise, because the polynomial order is not high enough to create such oscillations. Also, by definition, system must be described by a continuous function in the case of TF.

Signal recovered by both methods might be smoother if appropriate filtering was used. It is not always better to use robust TF model instead of simple, time-saving correlation/deconvolution, but when it comes to noisy low-amplitude signal, this approach can pay off. A good example is displayed on Fig. 3, the noise in region up to 10 kHz would be transferred and multiplied as a result of deconvolution with second signal. Unfortunately TF model is not universally usable. For each system the best polynomial order must be selected. System Identification Toolkit offers SubVIs for selection of the order with lowest error, but they are extremely time-consuming. In my opinion, the best approach is to combine both methods. Use TF model to get IR of transmitter-receiver system, but for everything else use classical correlation/deconvolution.

5. Conclusion

In this article were presented two ways how to recover Transfer function or Impulse response of the specimen without the influence of Transmitter and Receiver. Time-

demanding TF model can create smooth spectra in noisy regions, but classical correlation/deconvolution approach is faster and more versatile.

Acknowledgements

This paper was elaborated with the financial support of the project No. LO1408 "AdMaS UP - Advanced Materials, Structures and Technologies", supported by Ministry of Education, Youth and Sports under the „National Sustainability Programme I" and under the project of specific research program at Brno University of Technology, project No. FAST-J-15-2650.

References

1. M. Tupý, D. Štefková, K. Sotiriadis, L. Krmíček, L. Carbol, V. Petránek, Recycled Poly(Vinyl Butyral) Used as a Barrier to Prevent Mortar Carbonation, *Advanced Materials Research* vol. 1000 (2014) 28-34.
2. L. Svilainis, A. Chaziachmetovas, V. Dumbrava, Efficient high voltage pulser for piezoelectric air coupled transducer, *Ultrasonics* vol. 53, issue 1 (2013) 225-231.
3. L. CARBOL, J. MARTINEK, D. ŠTEFKOVÁ, Correct Choice of Maximum Length Sequence in Nondestructive Testing, ISSN 1022-6680, Trans Tech Publications, Switzerland, 2015
4. T. Roinila, M. Vilkkko, T. Suntio, Fast Loop Gain Measurement of a Switched-Mode Converter Using a Binary Signal With a Specified Fourier Amplitude Spectrum, *IEEE Transactions on Power Electronics* vol. 24, issue 12 (2009) 2746-2755.
5. T. Roinila, L. Lihui, M. Vilkkko, G. Dandan, X. Wenming, P. Kallio, Pseudo-random sequences in analysis of polyvinylidene fluoride piezoelectric sensors, 2012 International Conference on Manipulation, Manufacturing and Measurement on the Nanoscale (3M-NANO) (2012) 389-394.
6. L. Chira, J. Girault, C. Rusu. Into the ultrasound deconvolution using CLEAN algorithm - statistical analysis of scatters detection. 2012 10th International Symposium on Electronics and Telecommunications (2012): 299-302.
7. S. Dencks, G. Schmitz. Estimation of multipath transmission parameters for quantitative ultrasound measurements of bone. *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control* vol. 60, issue 9 (2013): 1884-1895.
8. P. E. Bloomfield, P. A. Lewin. Determination of ultrasound hydrophone phase from Fourier-Hilbert transformed 1 to 40 MHz time delay spectrometry amplitude. *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control* vol. 61, issue 4 (2014): 662-672.



INTERNAL BOUNDARIES AND HYSTERESIS EFFECTS AT CYCLIC LOADING STRUKTURNÍ ROZHRAŇÍ A HYSTEREZNÍ JEVY PŘI CYKlickÉM ZATĚŽOVÁNÍ

Jaroslav FIALA

University of West Bohemia Plzeň CZ, New Technologies Research Centre

Abstract

Internal boundaries act as source and sink of dislocations, affecting significantly their mobility and multiplication. This is of principal importance for anelastic behaviour and Bauschinger effect, which are necessary prerequisites for gradual cumulation of energy and self-assembling of the dislocation array during (and due to) cyclic loading. As the cyclic state of the loaded body and its mechanical hysteresis depend on the materials structure, they change together with it. Which is why monitoring of the mechanical-hysteresis loop (relation between strain and stress) brings information on the structural changes that might increase reliability of the residual fatigue life estimates. The structural changes experienced in course of cyclic loading manifest hysteresis, too; the materials structure in the given moment is a function of the whole loading history, a functional of the course of loading in the past: the dislocation arrangement expressed by the network of boundaries between mosaic blocks alternates to fine and coarse lay-out balancing between interface and paracrystalline energy, which is well revealed by x-ray diffraction. At ferromagnetic materials, the changes of the dislocation array then influence the distribution of their Weiss magnetic domains (marked by Bloch walls), which entails alteration of the magnetic hysteresis loop (relation between magnetic induction and magnetic field strength).

Key words: fatigue, self-assembling, hysteresis effects

Abstrakt

Strukturní rozhraní, jakožto zřídla a nory dislokací, významným způsobem ovlivňují jejich pohyblivost a množení. To pak má zásadní význam pro anelasticitu a Bauschingerův jev, jež jsou nezbytné pro to, aby při (a v důsledku) cyklického zatěžování docházelo ke kumulaci energie a strukturalizaci pole dislokací. Cyklický stav zatěžovaného tělesa, jeho mechanická hystereze ovšem záleží na struktuře materiálu tělesa a spolu s ní se mění. Monitorování mechanické hysterezní smyčky tělesa (závislosti deformace na napětí) proto přináší o změnách jeho struktury informace, jež by mohly zvýšit spolehlivost odhadu zbytkové životnosti. Změny, ke kterým během cyklického zatěžování dochází ve struktuře, mají též hysterezní charakter; struktura materiálu v daném okamžiku je funkcí celé historie zatěžování tělesa, tedy funkcionálem působícího zatížení v minulosti: dislokační struktura tvořená rozhraním mosaikových bloků se při bilancování povrchové a parakrystalické energie materiálu střídavě zjemňuje a hrubne, což lze dobře pozorovat pomocí rentgenové difrakce. U feromagnetického materiálu pak ovlivňují změny dislokační struktury distribuci Weissových magnetických domén (oddělených rozhraním, tvořeným Blochovými stěnami), což se projevuje změnou magnetické hysterezní smyčky (závislosti magnetické indukce na magnetickém poli).

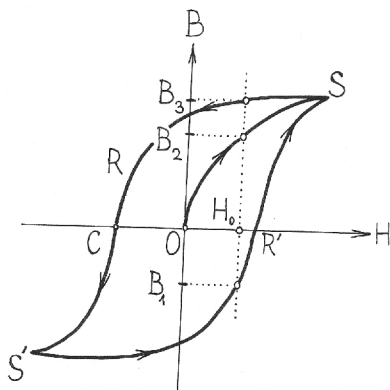
Klíčová slova: únava, spontánní strukturalizace, hysterezní jevy

1. Úvod

Čerstvě vyrobený strojní dílec, stejně tak jako elektrotechnická součástka, mění časem své vlastnosti. Ty proměny závisí na způsobu, jakým byly vyrobeny a za jakých podmínek byly využívány. Jejich momentální zátěžná charakteristika záleží nejen na tom, jaké je to zatížení v daném okamžiku, ale také na všem, co se s nimi dělo v minulosti, jaká byla jejich „historie“. Dvakrát nevstoupíš do téže řeky ... Jevy jsou hysteretzní.

2. Hystereze

Chceme-li např. zjistit jak se mění magnetická indukce v závislosti na magnetickém poli, jež ji vyvolává, necháme protékat cívku, navinutou na jádro ze zkoumané látky, elektrický proud I. Tím vznikne magnetické pole H, jež v jádře cívky vyvolá magnetickou indukci B. Ta zprvu s proudem rychle roste podle křivky OS (obr. 1), ale v oblasti S dojde k nasycení. Začneme-li pak proud zmenšovat, indukce B neklesá podél křivky SO, ale po křivce SR, po změně polarit a následném zvětšování proudu do nasycení v oblasti S'. Když potom budeme proud opět zmenšovat, magnetická indukce se mění podle křivky S'R', po změně polarit a následném zesilování proudu až do bodu S. Tak dostaneme uzavřenou smyčku. Hodnote magnetického pole H_0 odpovídají na obr. 1 tři různé hodnoty magnetické indukce (B_1, B_2, B_3)



Obr. 1. Hysteretzní smyčka vyjadřující závislost magnetické indukce B jádra cívky na magnetickém poli H vybuzeném v cívce průchodem magnetizačního proudu.

Fig. 1. Hysteresis loop expressing relationship between magnetic induction B in the core of a solenoid and a magnetic field H produced in the solenoid by a magnetizing current.

podle toho, jak se měnila hodnota budícího magnetického pole před tím, než dosáhla hodnoty H_0 . Takový úkaz, že totiž magnetická indukce $B(\tau)$ v okamžiku τ záleží nejenom na hodnotě budícího magnetického pole $H(\tau)$ v tomto okamžiku, ale na všech (nekonečně mnoha) hodnotách $H(t)$, kterých magnetické pole nabylo před tím okamžikem

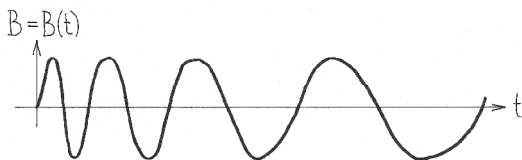
$$B(\tau) = B\left\{[H(t)]_{t=-\infty}^{t=\tau}\right\}$$

takže (časová závislost magnetické indukce) $B = B(t)$ je funkcí [1] (časové závislosti magnetického pole) $H = H(t)$

$$[B(t)] = B\{[H(t)]\},$$

se nazývá hystereze.

Hysterezní smyčka, závislost magnetické indukce $B(t)$ na cyklicky proměnné hodnotě magnetického pole $H(t)$, se cyklus od cyklu (tedy v závislosti na čase t) mění a přibližuje jistému ustálenému tvaru. Tomu odpovídá rytmická časová závislost $B = B(t)$ magnetické indukce, konvergující k limitnímu modu mikrostrukturních přeměn feromagnetického materiálu, vyvolaných cyklováním magnetického pole (obr. 2).



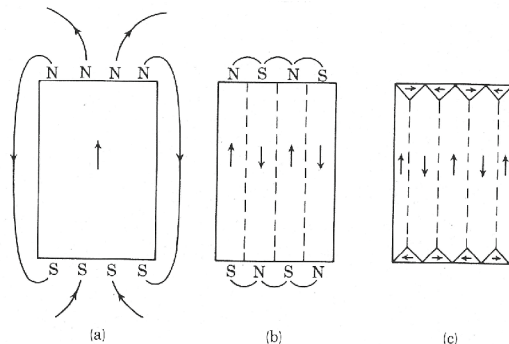
Obr. 2. Rytmická časová závislost magnetické indukce $B = B(t)$, buzené cyklujícím magnetickým polem.

Fig. 2. Rhythmic time dependence of magnetic induction $B = B(t)$, produced by a cycling magnetic field.

3. Mikrostrukturní podstata magnetické hystereze

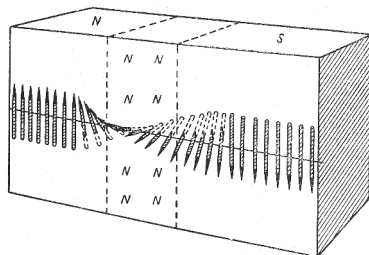
Magnetickou hysterezi pozorujeme u feromagnetických materiálů. To jsou látky tvořené atomy, jejichž magnetické momenty na sebe působí tak silně, že se mohou uspořádat (a zůstat uspořádané) do jisté míry (za určitých okolností) samy, aniž by k tomu bylo třeba vnějšího pole. Při dostatečně nízkých teplotách se celý objem feromagnetika rozpadá na velký počet mikroskopických oblastí, tzv. Weissových magnetických domén, které se spontánně zmagnetovaly: v rámci Weissovy domény jsou všechny elementární magnety (spiny) rovnoběžné. Směry magnetizace jednotlivých domén jsou však různé, takže se jejich účinky navzájem ruší a feromagnetické těleso se navenek (z makroskopického nadhledu) neprojevuje jako magnet. Teprve po vložení do magnetického pole se orientují magnetické momenty (celých) Weissových domén do směru vnějšího pole. Magnetizace je pak mnohem výraznější než u paramagnetických látek. Síly orientující elementární magnety feromagnetik jsou kvantového původu a nazývají se výměnné síly. Jsou to síly, které drží pospolu pár elektronů, zprostředkující vazbu kovalentních látek, nebo sdílené elektrony, zprostředkující kohesi kovů. Krystaly feromagnetických látek jsou rozděleny na Weissovy domény proto, aby se minimalizovala energie magnetického pole zmenšením jeho prostorového dosahu (obr. 3). Sousední magnetické domény, zmagnetované v různých směrech, jsou odděleny (propojeny) Blochovými stěnami (obr. 4). V rámci Blochovy stěny nedochází k úplné změně orientace spinu jediným nespojitým skokem v jedné atomové rovině, ale postupně v mnoha atomových rovinách (u železa je to asi 300 rovin).

Při magnetování feromagnetika se všechny Weissovy domény postupně orientují ve směru vnějšího magnetického pole (což odpovídá úseku OS na magnetizační křivce v obr. 1). Nejdříve se zvětšuje objem domén, jejichž směr magnetizace se nejvíce blíží směru vnějšího pole. Děje se tak posouváním Blochových stěn. Ke změnám v orientaci magnetizace tedy dochází pouze v Blochových stěnách. Proto stačí k vyvolání značných změn magnetizace poměrně malé zesílení magnetického pole a magnetizační křivka $B = B(H)$ na obr. 5 je strmá.



Obr. 3. Weissovy domény: V (a) máme jedinou doménu a díky volným magnetickým pólům na povrchu krystalu bude magnetická energie $\int B^2 dV$ veliká. V konfiguraci (b) se 4 doménami je magnetická energie snížena asi na $\frac{1}{4}$ energie v konfiguraci (a). V doménovém uspořádání (c) je magnetická energie nulová díky uzávěrovým doménám, jejichž vektory jsou orientovány horizontálně.

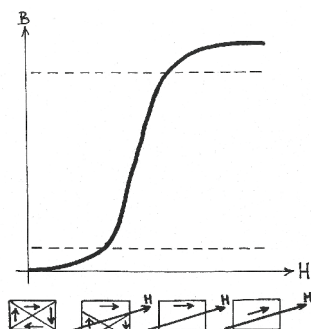
Fig. 3. Weiss domains: In (a) we have a single domain and because of magnetic poles at the crystal surface, the magnetic energy $\int B^2 dV$ will be large. In configuration (b) with 4 domains the magnetic energy is reduced to about $\frac{1}{4}$ of energy in configuration (a). In domain configuration (c), the magnetic energy is zero due to closure domains with vectors oriented horizontally.



Obr. 4. Blochova stěna = rozhraní oddělující sousední Weissovy magnetické domény, zmagnetované v různých směrech.

Fig. 4. Bloch wall = interface between adjacent Weiss domains, magnetized in different directions.

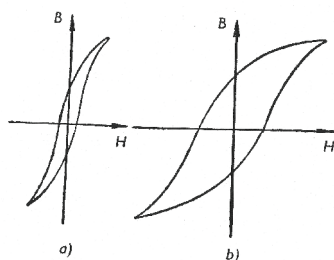
Při dalším zvyšování intenzity vnějšího magnetického pole H pak vzrůstá magnetizace feromagnetika natáčením magnetického momentu jednotlivých elektronů do směru vnějšího pole v rámci celého objemu a tedy ne jenom tenké povrchové vrstvy každé Weissovy domény. K tomu je však zapotřebí mnohem větší přírůstek magnetického pole a křivka závislosti $B = B(H)$ již nestoupá tak prudce. Posléze se magnetické momenty všech Weissových domén natočí do směru vnějšího magnetického pole H a magnetizace feromagnetika se už při dalším zvětšování H více nemění. Když pak začneme intenzitu



Obr. 5. Průběh magnetování feromagnetika určuje vývoj jeho doménové struktury. Malé šípky označují orientaci magnetického momentu jednotlivých Weissových domén, velká šípka pak orientaci vnějšího magnetického pole.

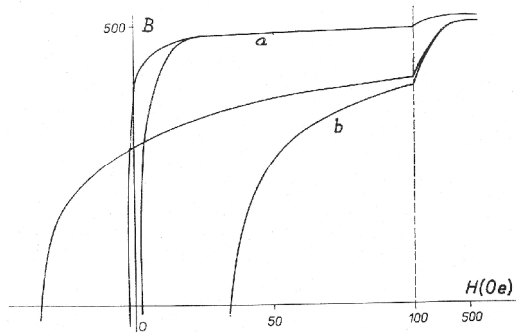
Fig. 5. Course of magnetization of a ferromagnetic material is determined by the development of its domain structure. Small arrows indicate the direction of magnetic domains of individual Weiss domains, while the large arrow shows the orientation of external magnetic field.

vnějšího magnetického pole zmenšovat, slábne magnetická indukce pomaleji, než přibývala při zvětšování H . Magnetické momenty jednotlivých Weissových domén se totiž vzájemně udržují v té orientaci, kterou měly při nasyceném stavu, i když se intenzita vnějšího magnetického pole zmenšuje. (V tom právě spočívá hystereze – setrvačnost konfigurace magnetických momentů Weissových domén, vzorový příklad projevu Le Chatelierova – Braunova – Lenzova principu v oblasti magnetických jevů.) Feromagnetické těleso zůstane částečně zmagnetované i při nulovém magnetizačním proudu. Teprve když směr proudu obrátíme a jeho velikost náležitě zvětšíme, dokáže jím vybuzené vnější magnetické pole Weissovy domény rozorientovat (hodnotu vnějšího magnetického pole, odpovídající na obr. 1 úsečce OC , při které magnetizace feromagnetika vymizí, označujeme jako koerzivní síla) a následně pak zorientovat, tentokrát ve směru opačném. Opakovanou komutací proudu I se po několika cyklech ustálí hysterezní smyčka z obr. 1. Její plocha je úměrná práci vykonávané magnetizačním proudem při opakované rekonfiguraci magnetické doménové struktury tělesa. Tvar hysterezní smyčky pak závisí na uspořádání atomů v magnetizovaném tělese, tedy na jeho struktuře [2], neboť ta určuje, jak velké jsou síly, jimiž na sebe magnetické momenty jednotlivých atomů za spoluúčasti vnějšího magnetického pole vzájemně působí.



Obr. 6. Magnetická Hysterezní smyčka měkké uhlíkové oceli (vlevo) a tvrdé uhlíkové oceli (vpravo).

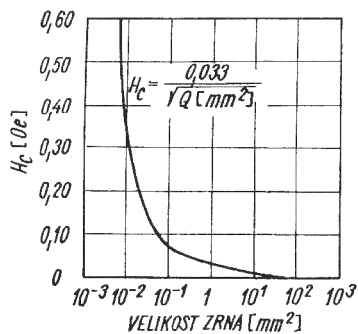
Fig. 6. Magnetic-hysteresis loop of a mild carbon steel (left) and a hard carbon steel (right).



Obr. 7. Magnetická hysterezní smyčka vyžihaného (a) a za studena tvářeného (b) niklového drátu [25].
Fig. 7. Magnetic-hysteresis loop of an annealed (a) and cold-worked (b) nickel wire [25].

4. Sledování strukturního stavu monitorováním magnetické hystereze

Z obr. 6 je patrné, jak rozdílný je tvar magnetické hysterezní smyčky dvou ocelí, lišících se svým složením jen o několik desetin procenta uhlíku. Obr. 7 pak ilustruje citlivost tvaru magnetické hysterezní smyčky (jednoho a téhož) materiálu na změnu jeho strukturního stavu, vyvolanou plastickou deformací. Zvlášť významně ovlivňují pohyblivost Weissových domén feromagnetického materiálu a způsob, jakým se mění jejich rozložení vlivem vnějšího magnetického pole, plošné strukturní defekty: rozhraní, mapující strukturní heterogenitu (fázová rozhraní, hranice mosaikových bloků, vrstevné vady a povrchy vnitřních nečistostí) – viz obr. 8. A to jak z důvodů geometrických (pro svůj velký účinný průřez), tak i fyzikálně chemických: plošné strukturní defekty fungují jako efektivní pasti a zdroje defektů bodových a čarových, které pak afinitu strukturních rozhraní a tím i jejich zádržný účinek vůči Blochovým stěnám výrazně zesilují. Málorozměrné strukturní defekty (příměsové atomy, intersticiály, dislokace) totiž snižují termodynamický potenciál Blochovy stěny, na které se uchytily.



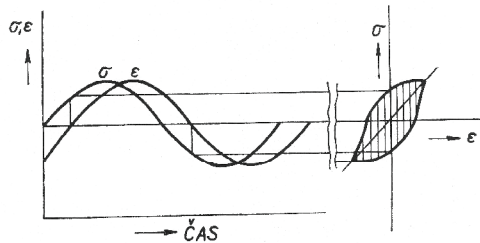
Obr. 8. Závislost koercitivity H_c na velikosti Q krystalitů v železe [3]; jeden oersted (Oe) $\doteq 80 \text{ Am}^{-1}$.
Fig. 8. Dependence of the coercivity H_c on the size Q of crystallites in iron [3]; $1 \text{ Oe} \doteq 80 \text{ Am}^{-1}$.

5. Mechanická hysterese

Hysterezi jeví také závislost anelastické deformace ε na napětí σ , které ji vyvolává [4]. V důsledku anelasticity se totiž deformace neuskuteční okamžitě po zatížení tělesa, ale až s určitým časovým zpožděním [5, 3], čímž při opakovaném namáhání vzniká hysterese smyčka (obr. 9). Deformace je pro tutíž hodnotu napětí různě velká podle toho kolik (a kdy a jakých) zátěžných cyklů už těleso absolvovalo (obr. 10); (časová závislost) deformace $\varepsilon = \varepsilon(t)$ je funkcí časové závislosti napětí $\sigma = \sigma(t)$

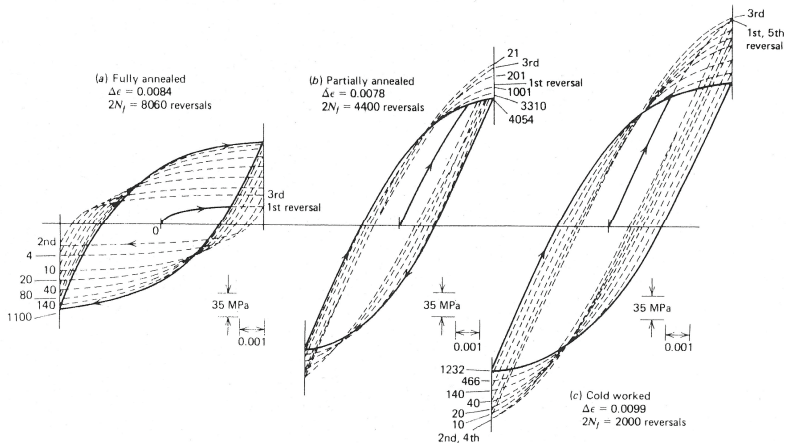
$$[\varepsilon(t)] = \varepsilon\{\sigma(t)\} .$$

Při grafickém znázornění se na rozdíl od magnetické hysterese smyčky, kde řídicí veličinu (H) vynášíme na horizontální osu a veličinu řízenou (B) na osu vertikální, v případě mechanické hysterese smyčky přiřazuje napětí (σ) pořadnice na ose vertikální a deformaci (ε) úsečka na ose horizontální.



Obr. 9. Závislost zátěžného napětí $\sigma = \sigma(t)$ a odpovídající deformace $\varepsilon = \varepsilon(t)$ na čase t (vlevo) a mechanická hysterese smyčka, vyjadřující vztah mezi σ a ε při cyklickém zatěžování (vpravo).

Fig. 9. Dependence of applied stress $\sigma = \sigma(t)$ and associated anelastic strain $\varepsilon = \varepsilon(t)$ on time t (left) and mechanical-hysteresis loop expressing relationship between σ and ε upon cyclic loading (right).

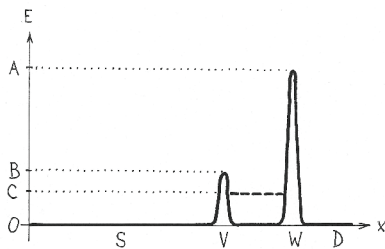


Obr. 10. Změna tvaru mechanické hysterese smyčky mědi s přibývajícím počtem zátěžných cyklů: (a) vysoko žíhaný vzorek; (b) nízko žíhaný vzorek; (c) vzorek intenzivně tvářený za studena [6].

Fig. 10. Changes in the shape of the mechanical-hysteresis loop of copper with continued cycling: (a) fully annealed sample; (b) partially annealed sample; (c) severely cold-worked sample [6].

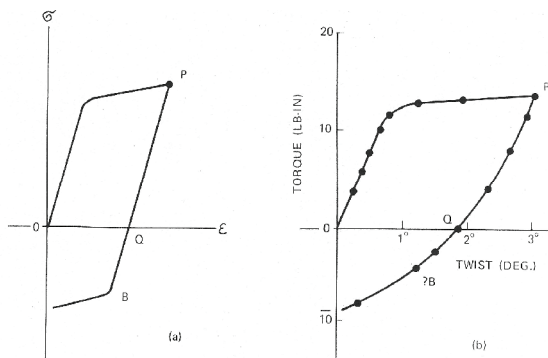
6. Mikrostrukturní podstata mechanické hystereze

Plastická deformace (ϵ) se uskutečňuje pohybem (a množením) dislokací. K jejímu zpoždění za zatížením (σ) dochází v důsledku odporu, jenž při svém pohybu musí dislokace překonávat. Stejně jako Weissovy domény, ovlivňují i dislokace v jejich pohybu zvláště významně plošná strukturní rozhraní (obr. 11). Rozhraní W nejenže brání dislokaci, která se k němu vlivem zatížení působícího ve směru \overline{SD} přiblížila, v dalším pohybu, ale



Obr. 11. Potenciálový profil trajektorie popisující interakci dislokace se strukturním rozhraním při reverzaci zatížení.

Fig. 11. Potential profile of the trajectory describing the interaction of a dislocation with an internal boundary on reversing the load.

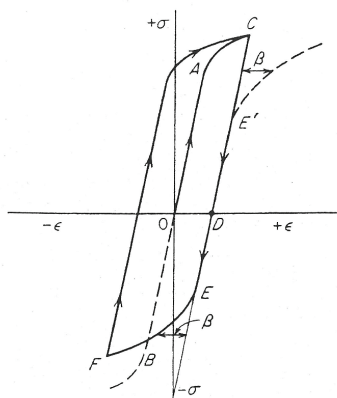


Obr. 12. Bauschingerův jev: jak by vypadal, kdyby všechny nory dislokací měly stejný potenciálový profil (a); jak vypadá ve skutečnosti, neboť každé strukturní rozhraní (každá dislokační past) má obecně jiný potenciálový profil (b).

Fig. 12. Bauschinger effect: how it would appear in a hypothetical case that all dislocation sinks have the same potential profile (a); actual appearance, as a consequence of the fact that each boundary fault (acting as a dislocation trap) has its own, generally different potential profile.

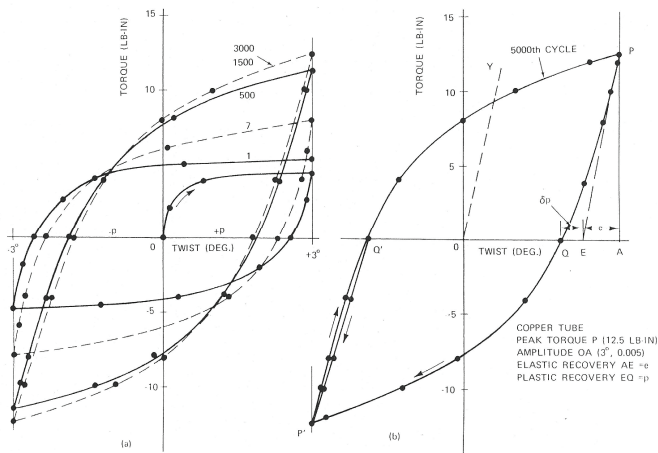
připoutá ji k sobě v potenciálové jámě VW, kde ji podrží, i když už zatížení přestane působit. Při reverzi zatížení z \overline{SD} na \overline{DS} bude pak trvat určitou dobu (závislou na časovém profilu zatížení, hloubce potenciálové jámy a teplotě) než se dislokace z jámy uvolní. A to právě představuje ono zpoždění ϵ za σ , jež je příčinou hystereze [7].

Při dočasné deposici uvažované dislokace v potenciálové jámě rozhraní se zvýší její dno z hladiny označené jako 0 na úroveň C (např. interakci s jinými dislokacemi téhož znaménka, které se během času na tom rozhraní také uchytily). Když pak při reverzi vnějšího (makro)napětí dojde k uvolnění dislokace z potenciálové jámy rozhraní k relaxaci vnitřního (mikro)napětí, dno jámy poklesne na původní hladinu a takto získaná energie se pak přičte k účinku vnějšího napětí. V důsledku toho se mez kluzu při reverzi napětí sníží, což označujeme jako Bauschingerův jev (Bauschingerova asymetrie) [8], viz obr.12a. Existence tohoto efektu je podmíněna tím, že strukturní rozhraní fungují nejen jako nory (pasti) dislokací, ale také jako jejich zdroje (generátory). Že jsou schopny dislokace nejen zachytit, ale také podržet a při změně vnějších podmínek opět uvolnit. Vzhled pracovního diagramu, tak jak je uveden na obr.12a, s ostře vymezenou hodnotou meze kluzu v tlakové větvi, neodpovídá realitě. Ve skutečnosti má každá dislokační past jiný potenciálový profil a tedy jí odpovídá i trochu jiná mez kluzu; a vyskytují se i dislokační pasti, které jsou velice mělké. Ve výsledku je reversovaná větev pracovního diagramu oblá (obr.12b) a zakřivená již od bodu P [8]. Jestliže se pak tahové napětí postupně zmenšuje až do nuly a přejde do tlaku, který zvětšujeme až do bodu F na obr. 13 a potom zase zmenšujeme až do nuly a znovu zatěžujeme tahem, bude se Bauschingerův jev reprodukovat v obou směrech a posléze dostaneme uzavřenou hysterezní smyčku [7] viz obr. 13.



Obr. 13. Uzavřená mechanická hysterezní smyčka.
Fig. 13. Closed shape of the mechanical-hysteresis loop.

Při cyklickém zatěžování se některé dislokace časem anihilují a jiné imobilizují protínáním s jinými dislokacemi v pastech na strukturních rozhraních. Dislokační pole se postupně strukturalizuje: člení na (více či méně topologicky souvislé mosaikové) bloky, v nichž je čím dále tím méně dislokací. Tyto dislokace se uvnitř mosaikových bloků vlivem cyklického zatěžování pohybují sem a tam mezi strukturními rozhraněními, která ty bloky vymezují. Na těchto hranicích je pak dislokací mnohem více než uvnitř bloků a jsou nepohyblivé (jejich uvolnění vyžaduje vysokou energii). K podobné strukturalizaci (dichotomisaci hustoty) pole dislokací v důsledku jejich vzájemné interakce dochází i při statickém zatěžování ve III. stadiu zpevňování, kdy to má za následek zpomalení zpevňování (dynamickou rekystalizací) [9]. Při cyklickém zatěžování je však strukturalizace pole dislokací mnohem rychlejší a její vývoj se projevuje postupnou změnou tvaru hysterezní smyčky (obr. 10).



Obr. 14. Mechanická hysterezní smyčka se během (a v důsledku) cyklického zatěžování stává souměrnější [8]; 1 lb.in \doteq 0,13 N.m .

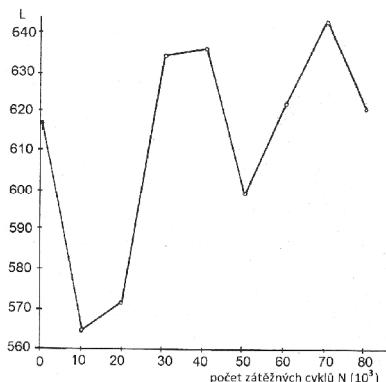
Fig. 14. Under (and due to) cyclic stress loading, the mechanical-hysteresis loop becomes more symmetrical [8]; 1 lb.in \doteq 0.13 n.m .

Mnohonásobně opakovanou interakcí „bludných“ (pohybujících se) dislokací s norami na strukturních rozhraních, ke které dochází při cyklickém zatěžování, se postupně ustaluje systémová rovnováha (minimalizací termodynamického potenciálu). Hnací silou tohoto procesu je (v lokálním, tedy mikroskopickém měřítku obrovská) specifická energie (cca 10 eV), kterou každá dislokace nese. Konsumentem této energie je pak (posiční i tvarová) konfigurace strukturních rozhraní (např. jejich napřímění) a distribuce (pohyblivých) dislokací na kontaktu s norami podél strukturních rozhraní příčným skluzem nebo šplháním. A jedním z výsledků toho procesu je symetrizace potenciálového profilu dislokačních pastí (práh \overline{OB} na obr. 11 bude stejně vysoký jako práh \overline{OA}) a následná symetrizace hysterezní smyčky (na obr. 14).

7. Význam mechanické hystereze pro únavu materiálů

Plocha mechanické hysterezní smyčky je úměrná energii, vložené při cyklickém namáhání do zatěžovaného tělesa v důsledku fázového zpoždění deformace ϵ za přiloženým napětím σ během jednoho zatěžovacího cyklu (obr. 9). Tato energie aktivuje hrubnutí mosaikové struktury, které probíhá např. tak, že bloky s nižší zbytkovou hustotou pohyblivých dislokací (tj. bloky, které mají nižší vnitřní energii, protože nejen dislokace, ale i každý jiný strukturní defekt vnitřní energii bloku zvyšuje) budou postupně stravovat energeticky bohatší bloky, v nichž je zbytková hustota pohyblivých dislokací vyšší. Při hrubnutí mosaikové struktury se ve zvětšujících se blocích hromadí parakrystalické distorse [10]. Energie mosaikové struktury se tím zvyšuje, což nakonec způsobí její desintegraci, rozpad na drobnější bloky, čímž nahromaděná pnutí odrelaxují. Zjemněním mosaikové struktury však vzroste její (mezi)povrchová energie [11,12] a struktura v důsledku toho začne opět hrubnout atd., což lze dobře pozorovat pomocí RTG difrakce [13, 14, 15] (obr. 15). Během opakovaného rozpadu

a opětého růstu (rekrytalizace) mosaikových bloků se zvětšuje pravděpodobnost, že ve struktuře vznikne nadkritická necelistvost a cyklicky zatěžované těleso posléze praskne únavovým lomem [12]. Ke vzniku nadkritické necelistvosti tedy není třeba vysokého zatěžovacího napětí; necelistvost vznikne jako chyba procesu opakované rekrytalizace (rekonfigurace) mosaikové struktury během cyklického zatěžování.



Obr. 15. Závislost šířky L difrakční linie (211) Fe- α , charakterizující velikost mosaikových bloků oceli 15CH2NMFA, na počtu zatěžných cyklů $N(10^3)$ [16].

Fig. 15. Dependence of the width of diffraction line (211) Fe- α , characterizing the size of the mosaic blocks of steel 15CH2NMFA, on the number $N(10^3)$ of loading cycles [16].

8. Magnetoelastická vazba

To, co dislokacím hlavně vadí v pohybu, resp. co jejich pohyb usměrňuje, jsou plošná strukturní rozhraní. Mezi nimi pak mají zvláštní význam hranice mosaikových bloků krystalové struktury, které jsou vytvářeny většinou právě vzájemnou interakcí dislokací. Coby architektonické prvky dislokačního pole fungují hranice mosaikových bloků jako nástroj autoregulace procesů určujících mechanickou odezvu materiálu.

Je-li materiál feromagnetický, ovlivňují pohyb dislokací také Blochovy stěny Weissových magnetických domén [17, 18, 19]. V té souvislosti mluvíme o magnetostrikci, obecně o magnetoelastickém jevu [20, 21, 22]. Tento efekt objevil r. 1847 Joule a stejně jako jev piezoelektrický, který popsali r. 1881 bratři Curieovi, se používá ke generování a detekci ultrazvuku [23]. Vlivem cyklického magnetického pole H se feromagnetické těleso střídavě prodlužuje a zkracuje [24] a fázový posuv mezi vznikající deformací ϵ a budícím magnetickým polem H je pak příčinou hystereze magnetoelastického jevu.

Přesto, že tento jev má ve svém označení slovo „elastický“, vděčí za svou existenci dislokacím, které při (magnetické) excitaci v určitém množství vznikají, ale mezi sousedními Blochovými stěnami mají při svém pohybu málo prostoru na to, aby se začaly efektivně množit. Což platí také pro (vysokocyklovou) únavu, ke které dochází – podle definice – pod mezí kluzu. Magnetostrikci k únavovému lomu arci nedochází, ale to, že magnetizační proces (hysterezní smyčka H - B) závisí (leckdy velmi výrazně) na struktuře materiálu (a také se pro monitorování struktury materiálu a jejích změn využívá) [25] je dáno právě magnetoelastickou (logičtější by bylo označení „magnetomechanickou“) vazbou, jež se uplatňuje právě skrze dislokace.

9. Závěr

Hystereze, ať už magnetická nebo mechanická, je podmíněna existencí vnitřních strukturních rozhraní. Rozhraní představují komunikační bariery (pro rekonfiguraci Weissových domén při magnetické hysterezi nebo dislokačního pole při hysterezi mechanické), které působí transportní zpoždění a následně fázový posuv mezi podnětem (magnetickým polem H , napětím σ) a odezvou (magnetickou indukcí B , deformací ϵ). V případě cyklického mechanického zatěžování tak dochází ke kumulaci energie, aktivaci makrocyclických procesů a únavovému lomu. Aktivní účast rozhraní při tvorbě mechanické hysterezní smyčky se uplatňuje jako Bauschingerův jev.

Literatura

- [1] V. Volterra: Theory of Functionals and of Integral and Integro-Differential Equations, Dover Publications, New York 1955.
- [2] B. Kopec a kol.: Nedestruktivní zkoušení materiálů a konstrukcí, ČNDT a CERM, Brno 2008.
- [3] F. Pišek, L. Jeníček, P. Ryš: Nauka o materiálu I/2, Academia, Praha 1968.
- [4] P. Veles: Mechanické vlastnosti a zkoušení kovů, ALFA Bratislava a SNTL Praha 1985.
- [5] I. Kraus, J. Fiala: Elementární fyzika pevných látek, Česká technika – nakl. ČVUT, Praha 2013.
- [6] R. W. Hertzberg: Deformation and Fracture Mechanics of Engineering Materials, John Wiley and Sons, New York 1989.
- [7] G. E. Dieter: Mechanical Metallurgy, McGraw Hill Book Company, New York 1976.
- [8] W. A. Wood: The Study of Metal Structures and Their Mechanical Properties, Pergamon Press, New York 1971.
- [9] E. M. Gutman: Mehanochimija metallov i zaščita ot korozii, Metallurgija, Moskva 1981.
- [10] A. M. Hindleeh, R.Hosemann: Paracrystals representing the physical state of matter, Journal of Physics C: Solid State Physics **21**(1988), 4155 – 4170.
- [11] J. Fiala, I. Kraus: Povrchy a rozhraní, Česká technika – nakladatelství ČVUT, Praha, 2009.
- [12] H. Frank, J. Fiala, I. Kraus: Elektronová struktura a reaktivita povrchů a rozhraní, Česká technika – nakladatelství ČVUT, Praha 2013.
- [13] J. Fiala, P. Mazal, M. Kolega, P. Liškutín: Rentgenografické zkoumání únavového procesu. In: Proceedings of NDE for Safety/Defektoskopie 2010, P. Mazal, L. Pazdera (eds.), Brno University of Technology, Brno 2010, 49-56.
- [14] J. Fiala, P. Mazal, M. Kolega, F. Vlašic, P. Liškutín: Mikrostrukturní procesy doprovázející únavu materiálu. In: Proceedings of NDE for Safety / Defektoskopie 2012, L. Pazdera, P. Mazal (eds.), Brno University of Technology, Brno 2012, 63-69.
- [15] J. Fiala, P. Mazal, M. Kolega, F. Vlašic, P. Liškutín: Strukturní odezva oceli 15CH2NMFAna cyklické zatěžování. In: Proceedings of NDE for Safety / Defektoskopie 2014, L. Pazdera, M. Kořenská, P. Mazal (eds.), Brno University of Technology, Brno 2014, 21-28.
- [16] J.Fiala, P.Mazal, M.Kolega, F.Vlašic, P.Liškutín: Mechanismus únavových procesů. In: Proceedings of NDE for Safety / Defektoskopie 2013, L. Pazdera, P. Mazal (eds.), Brno University of Technology, Brno 2013, 17-22.
- [17] A. J. Dekker: Solid State Physics, Prentice Hall, Englewood Cliffs 1957.
- [18] J. S. Blakemore: Solid State Physics, W. B. Saunders Company, Philadelphia 1970.
- [19] U. Dehlinger: Theoretische Metallkunde, Springer-Verlag, Berlin 1968.
- [20] P. Paufler: Physikalische Kristallographie, Akademie-Verlag, Berlin 1986.
- [21] J. F. Nye: Physical Properties of Crystals, Clarendon Press, Oxford 1964.
- [22] G. E. R. Schulze: Metallphysik, Akademie-Verlag, Berlin 1967.
- [23] B. Míšek, L. Ptáček: Zkoušení materiálu a výrobu bez porušení, SNTL, Praha 1973.

- [24] E. S. Borovik, A. S. Milner, V. V. Jeremenko: Lekcii po magnētizmu, Izdatēlstvo charkovskogo universitēta, Charkov 1972.
- [25] J. Brož: Moderní problēmy feromagnetismu, NČSAV, Praha 1962.



SENSITIVITY OF NONLINEAR PULSE ULTRASONIC MIXING SPECTROSCOPY

Karel HAJEK

Department of Electrical Engineering, University of Defence, Brno, Czech Republic
e-mail: karel.hajek@unob.cz

Abstract

Principles of nonlinear ultrasonic mixing impulse spectroscopy (NUMIS) show great potential advantages in comparison with other nonlinear ultrasonic methods. It is first of all from the point of view of sensitivity and possibility of quick, simple and precise localization of a defect. This paper is focused on problems for improve a signal processing, because the sensitivity of nonlinear ultrasonic methods are limited on principle by various noise signals. The problem of sensitivity limits and connected problem of usable dynamic range is discussed in general. One of the important problems consists in optimisation of envelope shape of the exciting tone-bursts. The optimization criterion is maximum suppression of the spectrum of the excitation signal for the frequency band detection of difference frequency. Next important task was directed to realisation of optimum digital filtration of asked signal with differential frequency and maximum rejection of excitation signals and other disturbing signals inclusive thermal noise. Finally, time dependences of measured signals for detection of a defect place are shown.

Keywords: Nonlinear ultrasonic spectroscopy, mixing principle, sensitivity, burst, dynamic range

1. Introduction

The non-linear ultrasonic spectroscopy (NUS) is developed in order to obtain more appropriate methods in comparison with conventional ultrasonic methods. Specifically, the goal is to achieve a particularly high sensitivity to small defects, less sensitivity to parasitic reflections of the ultrasonic signal and capabilities for complex shapes of test objects [1]. These nonlinear methods are considered in different directions; mainly this is for case with one [3], two or more excitation signals, excitation by continuous signal or by impulse signal. The most published method uses the modulation principle [4-7]. The Time-Reversal method is considered as a most progressive in this time [2].

Published results show that these methods did not achieve expected results, mainly in terms of higher sensitivity and accuracy of localization. These problems were analyzed in [8] and different principles were compared. This article is aimed at perfecting new methods NUMIS, based on the mixing principle, because this principle allows the use of efficient analog prefiltration and thus increase the equivalent dynamic range and sensitivity. The basic block diagram of this method is shown in Fig. 1.

The main idea consists in sending two harmonic bursts with different frequencies f_1 and f_2 , see Fig. 1 and 3. These bursts are mutually time-shifted in successive steps. When two waves come across in the place of defect with nonlinear properties, the new frequency component with different frequency f_d will be created. The example with exciting frequencies

$f_1 = 1.5$ MHz and $f_2 = 1$ MHz and the difference frequency $f_d = 500$ kHz was shown in [8]. This choice of the frequency values fulfils two aims. It enables the use of sufficient analog pre-filtration, and it also allows the sufficiently precise localization because the high of difference frequency corresponds to a short wavelength. A solving of this problem was published in [9].

Further analysis discusses a problem of limits of the sensitivity as the one of main property of this new NUS method. Following there are analyzed some aspects of the signal processing.

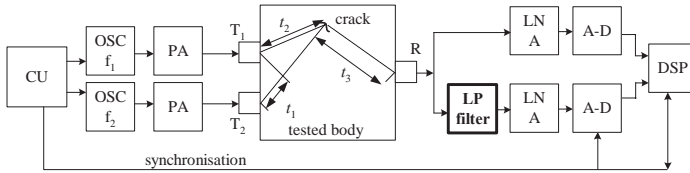


Figure 1. Principal block diagram of nonlinear ultrasonic mixing impulse spectroscopic method (CU – control unit, OSC -oscillator, PA - power amplifier, T_1, T_2 – transmitters, R – receiver, LNA – low noise amplifier, DSP – digital signal processing) [8].

2. Analysis of sensitivity limits for NUS

Various methods of the NUS have different sensitivities. The sensitivity of a NUS method is limited by ratio of exciting ultrasonic signals level and noise level in passband for evaluated signal. It is necessary to discuss all important sources of this noise. These noise sources have various origins and they depend on principle of NUS method. They can operate in both in the part of generation of excitation signals, and in part measured signal processing. The noise sources can be divided to these main groups:

- Higher harmonic components of the ultrasonic exciting signal (generator, exciter, contact between exciter and DUT).
- Additive and differential harmonic components of the ultrasonic exciting signals (mixing and modulating methods with two or more exciting frequencies for one common signal way).
- Equivalent thermal noise of signal processing string (preamplifier, A-D converter).
- Equivalent higher harmonic components and additive and differential harmonic components created by nonlinearity of all signal processing string (e.g. analog preprocessing, A-D converter).
- Other special noise sources (e.g. spectrum spreading of exciting pulses and bursts).

It is evident that the sensitivity is limited by both borders, thermal noise for minimum of processed signal and creating of new parasitic harmonic components for maximum of processed signal. This property is generally expressed by size of possible dynamic range for processed signal. Theoretically, the dynamic range of the signal chain is not directly dependent on the absolute signal level. But on the other hand, it should be noted that the sensitivity depends on the absolute level of the excitation signal and the level of thermal noise.

The basic comparison of various NUS methods from this point of view shows that group of methods with one exciting signal has greatest dynamic range and sensitivity limitation. In this case we evaluate level of created higher harmonic components (e.g. 3th) for some level of exciting first harmonic component, see (2) and Fig. 2.

$$f_n = n f_1 \quad | \quad n=0, 1, 2, \dots \quad (1)$$

On the other hand the excitation circuit (generator, exciter) produce the same parasitic components without possibility of substantial rejection of this effect. By this way we can obtain dynamic range c. 30-40 dB.

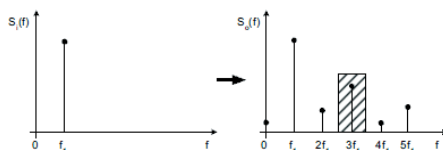


Figure 2. Principle of NUS with one exciting harmonic component.

Therefore the NUS methods with 2 or more exciting signals with different frequencies have basic advantage that frequency of evaluated signal is different that frequencies of excitation signals and their higher harmonics (2), see Fig. 3. A necessary condition, there are separate paths of excitation for each excitation signal.

$$f_r = |\pm m f_1 \pm n f_2| \quad m, n = 0, 1, 2, \dots \infty \quad \rightarrow \quad f_r = |\pm f_1 \pm f_2| \quad (2)$$

It is evident that sensitivity of NUS method is based on frequency filtration of evaluated frequency components. This frequency filtration enables suppression of spurious frequency components in the signal evaluation, especially for systems with two or more excitation signals as it was mentioned above. On the other hand, the frequency filtration has various real limits. Therefore various NUS methods with 2 or more exciting frequency components have different abilities to use the real frequency filtering.

The frequency filtering in the signal chain can be divided to three possibilities with different properties:

- Passive ultralinear analog signal prefiltering (RLC filters)
- Analog signal filtering (RLC and ARC filters)
- Digital signal filtering

The passive ultralinear analog signal prefiltering has maximum dynamic range with minimal danger of rise of the parasitic harmonic components. The condition is that it is in front of analog electronics chain, especially in front of the amplifier. On the other hand it is not simple to obtain high filtration selectivity. The analog signal filter is used in the analog electronics chain with amplifiers. Therefore the dynamic range of this part is limited by dynamic range of used amplifiers but his filtration selectivity is higher than previous block. It also provides the anti-aliasing filtration for the AD converter. The third type, the digital filtering has the greatest possibility for filtration selectivity, but it has the lowest dynamic range, due to the limited dynamic range of used AD converter.

Various methods NUS with more excitation signals can be compared with regard to the above frequency filtering options. We can divide these methods to two main groups, see fig. 3. In case of use exciting with one signal with low frequency f_1 and second signal with high frequency f_2 the methods are based on so-called amplitude modulation (AM), Fig. 3 a. The second case uses frequencies of exciting signals with little difference, see Fig. 3 b. These methods are usually called as mixing.

As we can see, the mixing principle enables higher attenuation of excitation signals by a simpler using of the analog linear prefiltration than AM methods. Therefore the mixing methods can obtain higher sensitivity, because they apply evaluated signals with lower dynamic range to chain of analog and digital signal processing. In other words, under the condition of the same dynamic range of signal processing of both systems, the mixing principle allows to process of input sensed signals with higher dynamic range. Therefore the equivalent dynamic range of all system is higher than dynamic range of the analog and digital processing chain.

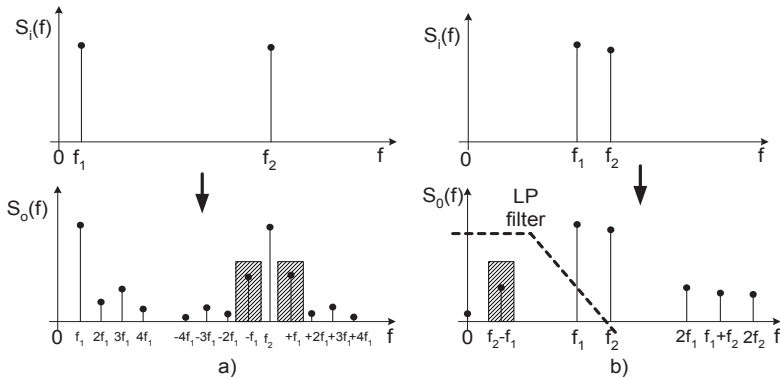


Figure 3. Principle of NUS with two exciting harmonic components: a) AM principle with high ratio f_2/f_1 , b) mixing principle with low ratio f_2/f_1 and indicated filtration for rejection of signals with exciting frequencies.

The time-reverse nonlinear methods have a little different principle. Nevertheless, the problem limitation of dynamic range is the same, because the dynamic range of all system is lower than dynamic range of the analog and digital processing chain.

The use of pulse (burst) NUS methods brings special problems for sensitivity limitation. These burst exciting signals enables to solve problem of defect localization. On the other hand the use of the exciting burst brings spreading of monochromatic spectrum to wide band. By this way, the spectrum of exciting signals can take noise effect for detected band in case of NUS methods with two or more exciting signals. The aim is a solution to minimize this effect, equivalent to reducing dynamic range of the system and thus the achievable sensitivity. It should take advantage of the two possibilities, optimizing the shape of the excitation signal and the subsequent optimization of digital filtering of the measured signal for obtaining the most accurate form of envelope detected pulse.

To solve the model digital frequency filtering and subsequent envelope detection of the burst was chosen modeling in Matlab. Because the goal is to model the process nonlinearity, the input signal was modeled as a sum of the detected pulse of 800 kHz with a unit height and both excitation pulses of 1.5 MHz and 2.3 MHz with a correspondingly greater height (up to 80 dB). But confirmed the assumption that the signal at 2.3 MHz is detected pulse due to the increased frequency distance less influence than the 1.5 MHz signal. Therefore, it was subsequently used a simpler model with no input pulse 2.3 MHz.

3. Optimisation of the exciting burst shape

As it was discussed above, the use of burst brings spreading of monochromatic spectrum to wide band. Both signals were modeled with the desired sampling rate of 50 MHz. In the first step, they were considered approximately estimated pulses with a rise time of about 15 μ s. However, the first modeling showed that spreading the spectrum of the excitation pulse with a finite length and slope of the leading and trailing edges extending to the detection band (800 kHz). Therefore, spectral analysis was made of the excitation pulse of 1.5 MHz and finding suitable envelope function minimizes this effect. In doing so, it was used well-known theory of window functions used for FFT or IIR filtering.

The spectrum of pulse shape without limitation (rectangular window) was compared with the originally contemplated shape \sin^2 and available alternatives windows in Matlab. This comparison showed a window having the smallest parasitic influence of the detected band

800 kHz window called Nuttall (Fig. 4), which is one of the variants Blackman-Harris window. The result of comparison of the rectangular window, and the window pulse \sin^2 Nuttall is shown in Fig. 4 b. Logically greater spread spectrum near the fundamental frequency us in this case does not matter, because the band does not interfere evaluated frequency band.

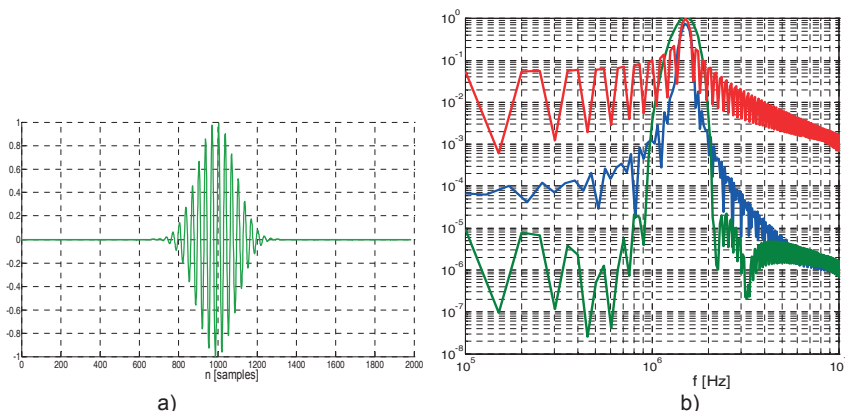


Figure 4. a) Example of burst with Nuttall shape. b) Comparison of spectrum of bursts with various shapes: rectangular shape (red), \sin^2 shape (blue), Nuttall shape (green).

4. The optimum digital signal processing for frequency filtering

We can consider different variants of digital frequency filters for filtration. It was chosen IIR filter due to the simple configurability and modifiability of the parameters (order, quality factor Q , resonant frequency, filter type). For ease of experimental modeling technology was selected cascading band-pass 2^{nd} order blocks with a choice of quality factor Q and the same resonant frequency f_0 . This frequency was set to $f_2 - f_1$, therefore 800 kHz. The approximation resulting from a cascade connection of 2^{nd} order block with the same parameters for the specified purpose quite comfortable with the group delay is reasonable dependence and leads to minimal change in the shape of the detected pulse. More complex variants of approximation (eg. Bessel) would not bring a significant improvement and optimization process would be considerably more complicated.

During this optimization were considered excitation pulses with a final length and shape of a given window function Nuttall (Fig. 4a), as is evident from the previous chapter. The influence of the excitation signal has been tested only for less distant frequency of 1.5 MHz, because the influence of the pulse is below 2.3 MHz and nonlinear effects are modeled. For consistent optimization is needed to monitor the effect of multiple variables. An important parameter is the level of the excitation signal. In all these cases, the maximum level is applied excitation signal $U_2 = 10\,000 \times U_1$ so $U_2/U_1 = 80$ dB.

For the pulse was chosen 20 signal periods, which at a frequency of 1.5 MHz, corresponding to $13.3 \mu\text{s}$ (667 samples), so the rise time is about $6.6 \mu\text{s}$ (334 samples). The individual options figure shows the envelope of the detected pulse of 800 kHz (blue), the total signal as sum of excitation and detected signal (1.5 MHz and 800 kHz) after filtration IIR (green) and the detected envelope of the filtered signal (red).

In terms of the properties of IIR filtering and the 800 kHz signal detection is necessary to evaluate influence of the order of the filter, the filter type and quality factor. To detect the envelope of the pulse and the subsequent influence of filtering it is necessary to select other parameters. As the most important and most sensitive proved choice of values order and

filter quality factor, so the parameters that determine the selectivity. Due to the mutual relation of both parameters in influencing the selectivity there were considered variations of values of quality factor and different variations of the order of the filter.

The example in Fig. 5 a) - c) shows the influence of chosen values of the quality factor Q . The effect of filtration of IIR filter is insufficient and the influence of the excitation pulse disproportionately increases for low Q . Excessive increase in the value of Q leads to an excessive decline in the level of the detected pulse.

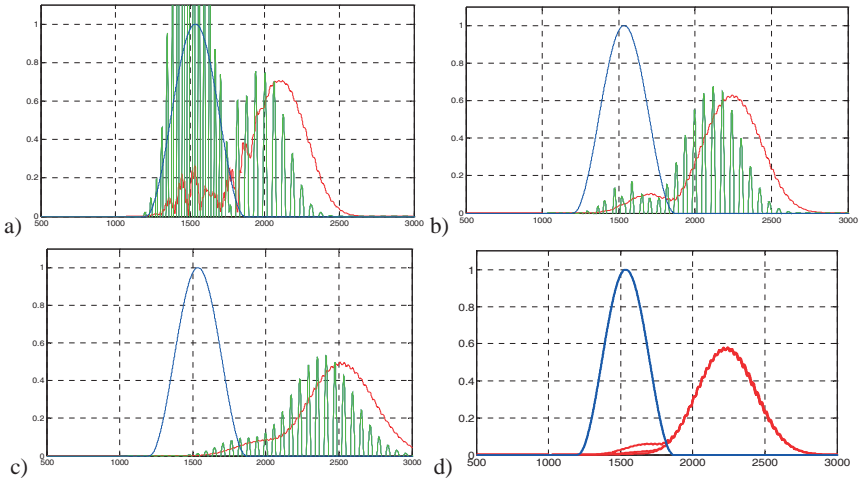


Fig. 5. Variation of Q value: a) $Q = 0.75$, b) $Q = 1$, c) $Q = 1.5$, d) Comparison of filtration efficiency for $U_2/U_1=60$ dB, 70 dB a 80 dB.

Filtration efficiency can be checked for various levels of the interfering excitation signal, using the optimal values of the selected parameters. Fig. 5 d) shows a comparison for the ratios $U_2/U_1 = 60$ dB, 70 dB and 80 dB. As shown, the influence of the excitation signal is negligible up to 70 dB, only when it increases to 80 dB it is starting to show.

5. Practical verification

The results of shown optimization were used in the practical measurement on a real sample with crack. We scanned the series of time responses for gradually shifted burst with frequency 1.5 MHz. Example of one measured signal (both excitation and one scan) for time delay $16 \mu\text{s}$ is shown in Fig. 6. It is apparent that the sensor signal has value almost 1 V after amplification 60 dB. Excitation bursts were scanned through a voltage divider 1:100.

After digital processing according to the above-mentioned results we obtain waveforms of the envelope signal with the difference frequency of 800 kHz as shown in Fig. 7.

It is possible to determine the time offset between both bursts for the defect site as about $27 \mu\text{s}$ from the set of curves in Fig. 7. It corresponds to the shift $13.5 \mu\text{s}$ from middle in direction to exciter 1.5 MHz. This is a starting point for locating of the defect [9].



Figure 6. Example of one measured signal (both excitation and one scan) for time delay 16 μ s

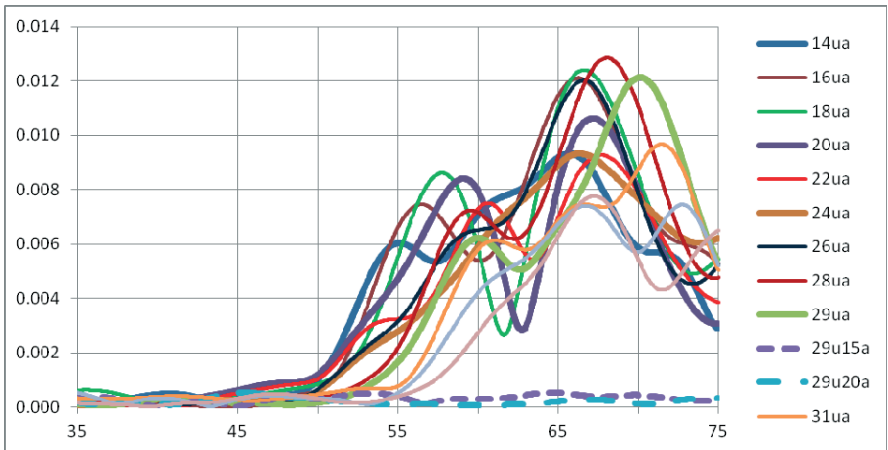


Figure 7. Series of time responses for gradually shifted burst with frequency 1.5 MHz.

6. Dynamic range and sensitivity

The value of dynamic range can be expressed as relation between the maximum exciting signal and a background noise. The maximum exciting signals are measured directly without amplifier and its value is c. 0.1V. The measured background noise has value 1 mV after the filtering, amplification 1000 \times , and above mentioned DSP. Therefore the equivalent input value is c. 1 μ V. Therefore the dynamic range has value $10^5 = 100$ dB.

Because the level of exciting signal is limited by maximum output voltage of the power amplifier, the sensitivity is limited by value of background noise. It is necessary to verify this noise value and intrusion of exciting signals to evaluated dependence of signal envelope.

Therefore there are measured and compared time dependences of signal envelope for both exciting signals and for one exciting signal for a test of the purity of excitation signals or parasitic transmission of these signals to 800 kHz band by any of the above principles.

They are shown (drawn dashed) under the designation 29u15a (1.5 MHz), and 98u20a (2.3 MHz) in Fig. 7 and 0u20a in Fig. 8. It is evident that the transfer of parasitic excitation signals to the measuring band of 800 kHz is minimal and practically does not affect the actual measured waveforms of differential signals. Thus it determines the basic equivalent sensitivity to the value of about 1 μV at the amplifier input.

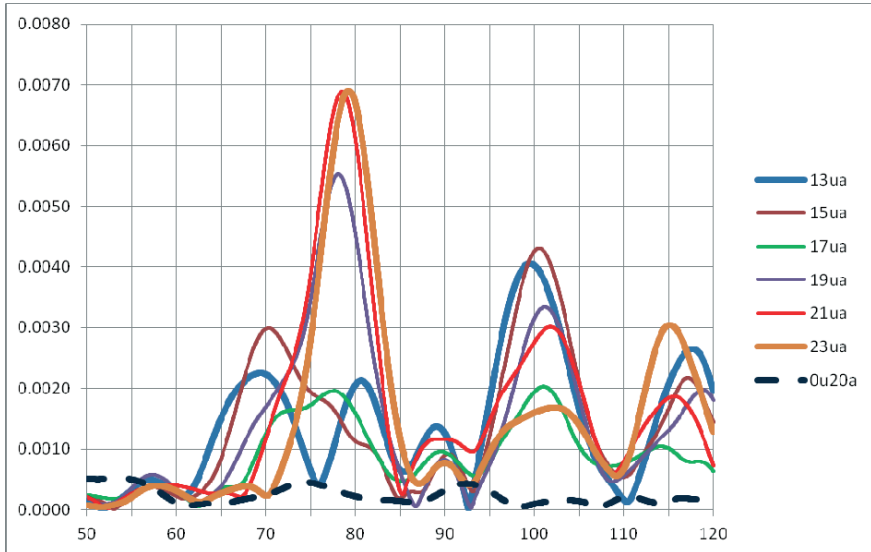


Figure 8. Example of time responses for gradually shifted burst with frequency 1.5 MHz.

6. Conclusion

This article discusses the problems of sensitivity for methods NUS and specifically deals with some aspects influencing the sensitivity of the new method NUMIS. It shows that this method should be among the most sensitive. Specifically, it is focusing to some of the parameters and factors limiting the sensitivity of this method. It deals with parasitic transmission of excitation signals to the evaluated bandwidth for the signal with the difference frequency. It shows that the excitation pulse bursts spread spectrum in principle and therefore it is looked for a shape of the burst excitation so that the effect was minimal.

It also deals with the optimization of the subsequent digital processing so as to make the most suppression of excitation spectra of bursts on the shape of the evaluated differential signal with frequency. This is realized in an optimum manner as frequency filtering, as well as means of obtaining the envelope function of the detected pulse. Verification of these processes to practical measurements shows that the proposed procedures are successful and allow us to achieve high sensitivity of this new method.

Acknowledgement

The work presented in this paper has been supported by the grant TA CR No. TA04010165.

References

1. VAN DEN ABEELE, K. E.-A, JOHNSON, P. A., SUTIN, A. Nonlinear Elastic Wave Spectroscopy (NEWS) Techniques to Discern Material Damage, Part I: Nonlinear Wave Modulation Spectroscopy (NWMS). Res Nondestr Eval (2000) © 2000 Springer-Verlag New York Inc. DOI: 10.1007/s001640000002.
2. DOS SANTOS, S. VEJVODOVA S., PREVOROVSKY, Z. Nonlinear Elastic Wave Spectroscopy in Symbiosis with Time Reversal for Localization of Defects: Tr-News. In 5th International Workshop NDT in Progres, Prague 2009.
http://www.ndt.net/article/Prague2009/ndtip/proceedings/DosSantos_10.pdf
3. HAJEK, K., KORENSKA, M., SIKULA J., Nonlinear Ultrasonic Spectroscopy of Fired Roof Tiles, In 16th World Conference on Nondestructive Testing, Montreal, Canada, August 30-September 3, 2004, Book of Abstracts, pp. 42, CD
4. ZHAO, X., QI, X., ALEXANDER S, ABERNETHY, E. Damage Detection in Composite Cylinders Using Modulated Guided Wave Vibration, NDCM 2011, Blacksburg (USA), Available from: <http://www.ndt.net/article/ndcm2011/papers/A-03-1.pdf>
5. PIECZONKA, L., STASZEWSKI, W. J., AYMERICH, F., UHL, T. Analysis of Nonlinear Vibro-Acoustic Wave Modulations Used for Impact Damage Detection in Composite Structures, In 6th European Workshop on Structural Health Monitoring EWSHM 2012, Materials and Qualification. Available from:
<http://www.ndt.net/article/ewsh2012/papers/th2a2.pdf>
6. ZAITSEV, V., MATVEEV, L., MATVEEV, A. On the ultimate sensitivity of nonlinear modulation method of crack detection, NDT&E International, 2009, Vol. 42. Available from: http://vladimir.zaytsev.net/articles/2006_nmod_NDT_zaits.pdf
7. KAZAKOV, V., JOHNSON P. A. Modulation Acoustic Method of Crack Location. 16th International Symposium on Nonlinear Acoustics Moscow, Russia, August 2002.
8. HÁJEK, K., ŠIKULA, J. New possibilities to increase sensitivity of the ultrasound non-linear modulation methods. Int. J. Microstructure and Materials Properties, Vol. 6, Nos. 3/4, 201, p. 283-292. DOI: 10.1504/IJMMP.2011.043223
9. HÁJEK, K., NENAKHOVA, V. Quick Simple and Sensitive Tomography by Nonlinear Ultrasonic Mixing Spectroscopy. 11th European Conference on Non-Destructive Testing (ECNDT 2014), October 6-10, 2014, Prague. ISBN 978-80-214-5018-9



ANALYSIS OF CONTEMPORARY NON-DESTRUCTIVE ACOUSTIC METHODS FOR CONCRETE TESTING AT THE CONSTRUCTION SITE

**MSc. Ing. Dorota JAWOR*, MSc. Ing. Łukasz RADZIK*,
PhD, DSc. Ing. Krzysztof SCHABOWICZ***

Wroclaw University of Technology, Faculty of Civil Engineering
Contact e-mail: lukasz.radzik@pwr.edu.pl

Abstract

The papers compares acoustic non-destructive methods for testing concrete structures on the site. Short description of 5 methods were presented. In order to evaluate which acoustic method is the most effective in testing concrete structures on site, some criterions were defined which allowed to compare the methods

Key words: *acoustic, NDT, compare, ultrasonic tomography*

1. Introduction

Non-destructive tests are well known in the construction industry, but recently a large development is noticeable in the case of acoustic methods. Some of them are more or less known, mainly described in the scientific literature, primarily in papers [1]–[3] and so far there is no comparison and analysis of acoustic methods in terms of practice of use them for testing the concrete structures at the construction site. This article presents an analysis of five selected contemporary acoustic methods for concrete testing on site. Briefly shows the characteristics of these methods, then properties are listed within the established criteria. The analysis was conducted to demonstrate the most practical non-destructive acoustic method among contemporary methods for testing concrete structures on the site.

2. Literature review

The topic of acoustic methods for concrete testing is described in many works [1], [2], [6] considering their theoretical background and presenting its practical application for concrete structures i.a. [1], [4], [5]. Bearing on mind fields of science still developing, the application of acoustic methods for testing concrete structures is also associated with the implementation of novelties of automation, mathematics, and especially software or computer science, which are described on the example of the latest acoustic method which is ultrasonic tomography in [6]. In the following section every acoustic method, chosen by the authors, is briefly described in order to present the possibilities of application for testing concrete structures on the site.

3. Short description of methods

3.1 Ultrasonic pulse velocity measurement

Ultrasonic pulse velocity method is shortly known also as an Ultrasound Method. The idea of the method is based on measuring the velocity of a pulse of compression wave which propagates through a medium. The measuring set consist of a material's tester and two transducers: transmitter and receiver. The test equipment propagates sinusoidal signal, transmit it through the concrete, at a distance L , receive and amplify the pulse. The instrument display indicates the transit time, t , it takes for the compression wave pulse to travel through the object. Therefore the compression wave pulse velocity c is expressed by the equation: $c = \frac{L}{t}$.

The typical measuring set and exemplary results are presented in the Fig. 1.

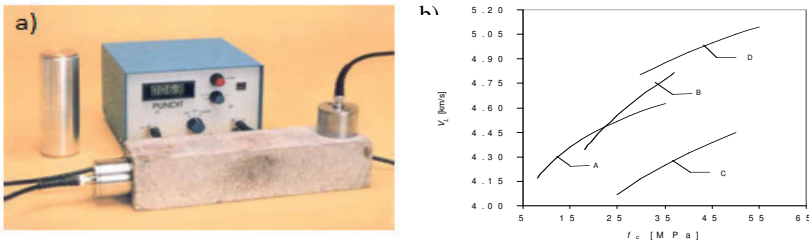


Fig. 1 Ultrasonic pulse velocity method: a) equipment [8], b) exemplary result of relation between ultrasound wave velocity and compressive strength

A very important aspect of this method is that there is an obligation of use a couplant agent between transducers and tested concrete surface to ensure a proper transmission of ultrasound.

Ultrasound method is used for estimation of concrete strength, determination of the elasticity modulus of concrete, but mainly for the study of homogeneity of concrete, detecting of cracks and voids in concrete, defining the depth of a surface crack and controlling the quality of concrete.

The maximum thickness of measured element is 300 mm and the operating frequencies range from 25 to 100 kHz [1].

3.2 Impulse Response

In that method a mechanical impact, produced by a rubber ended hammer is used for sending stress waves through the tested specimen. The impact puts the element into vibrations and a velocity transducer (geophone), located near the impact point, measure the amplitude of the response. The hammer and the velocity transducer are linked to a portable field computer with impulse-response software for data acquisition, signal processing and storage. The typical measuring set and exemplary results are presented in Fig. 2.

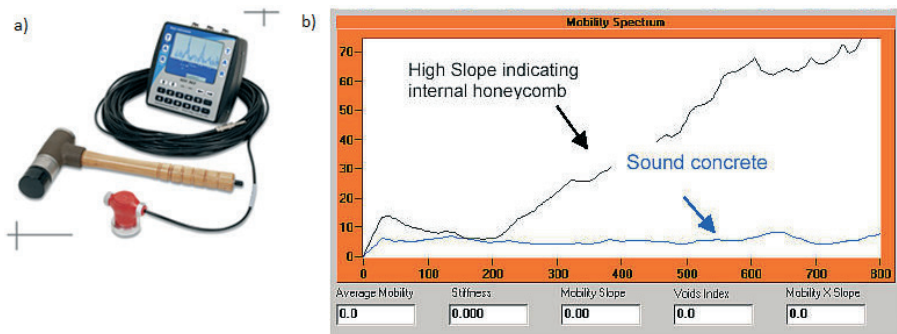


Fig. 2 Impulse Response method: a) equipment, b) Mobility Curve generated by the software [1]

Impulse-Response testing method is primarily used for fast screening of huge areas of concrete structures with the purpose to control their structural integrity and to determine the localization of suspicious areas with possible flaws for further detailed analysis. The measurements should always be supported and verified with other more direct examinations.

The disadvantage of that method is the necessity of interpreting the results presented on charts, maps or as a characteristic parameters. There are four parameters used for determination of concrete surface quality: Dynamic Stiffness, Average Mobility, Mobility Curve and Void Index.

The range of frequencies is not big: from 0 to 800 Hz, the maximum depth of investigation is around 500 mm [1].

3.3 Ultrasonic Echo

The ultrasonic method (also called pulse echo method) measures the time of flight of elastic waves which are reflected inside the object. This method has very huge advantage which is ability to examine the object only from one side.

What's more this kind of testing is very sensitive and allows detection of very small defects.

In general ultrasonic pulses are propagated by piezoelectric probes. Transducers produce low frequency broadband waves and measured them. Ultrasonic echo method gives us opportunity to scan the object and measure its thickness but also detect foreign inclusions, holes, honeycombing, cracks and other defects inside the concrete objects.

Basically, there are two types of equipment: transducers with planar contact on the surface and dry point contact transducers (DPC). The first one need application of coupling agent between measured surface and transducer which can be problematic and gives inaccurate measurements. Nowadays dry point contact transducers are commonly used, they can be arranged in arrays where transmitters and receivers are working simultaneously.

The example of a tool equipped with DPC transducers is shown in Fig. 3 with the exemplary results.

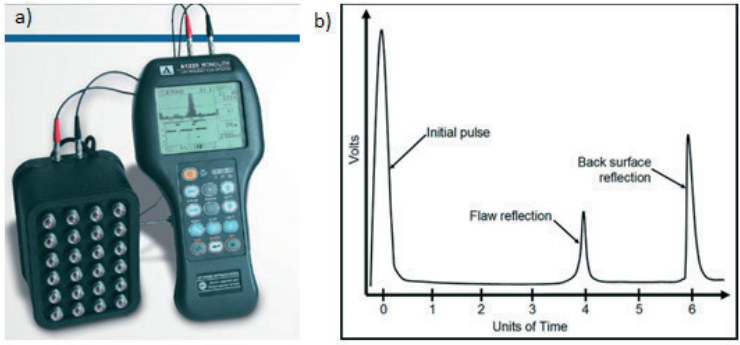


Fig. 3 Ultrasonic Echo method: a) equipment, b) exemplary result as a chart of frequency in time domain

The range of frequencies used in that method is from 20 to 300 kHz [1] and depend on device and purpose of research. The maximum depth of investigation is around 400 mm.

3.4 Impact Echo

Impact Echo method is based on generating a stress pulse by impact at point (by special hammer [3] – practically by steel ball). After hitting a point the energy propagates into a whole object in every direction, and also reflections may arrive from many directions. For this reason, impact-echo method is usually used for testing the thickness of concrete element where there is access only from one side. Thanks to that method it is possible to detect internal defects, such as delamination, voids and honeycombed concrete.

An Impact-Echo test system consists of: set of impactors – steel balls of different sizes placed at the end of resilient arms, a computer with a data acquisition system with appropriate software for signal analysis and data management (using Fourier transformation), cables and piezoelectric transducers.

The typical measuring set and exemplary results are presented in Fig. 4.

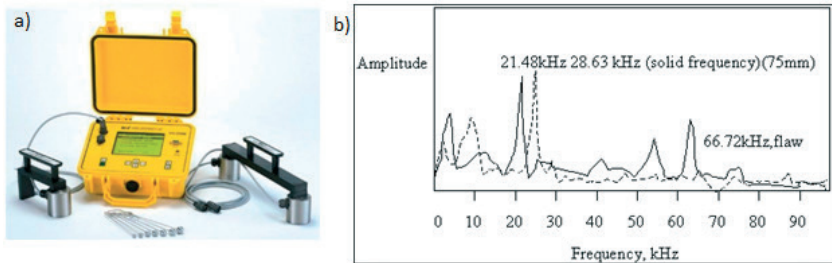


Fig. 4 Impact Echo method: a) equipment, b) exemplary results presented as a chart of amplitude in frequency domain

The frequencies used in IE method ranges from 2 to 40 kHz and depend on size of exciter. The depth of investigation is up to 800 mm [2].

The IE method allows to measure the thickness of element, detecting the presence and depth of cracks, voids and honeycombing.

3.5 Ultrasonic Tomography

Ultrasonic Tomography is the development and improvement of ultrasonic echo method. It is relatively new technique and stands out among the other acoustic methods. The UT technique is based on exciting an elastic wave in the investigated member. The excitation source is usually a multi-head antenna (usually a few tens of integrated ultrasonic heads), which is also used for receiving and processing ultrasonic signals.

SAFT algorithm is most common system to obtain ultrasonic pictures [7] which coherently superimposes the measured signals to the pixels or voxels of the reconstructed region. The popular tool which uses SAFT algorithm is the ultrasonic tomograph. It uses automated acquisition of a number of parallel line scans, which allows to build a three-dimensional volume that can be viewed in two-dimensional cross-sections and depth sections. The device is an autonomous measuring block, which contains a matrix antenna of 48 (12 blocks with 4 elements) low-frequency broadband transverse wave transducers with DPC and ceramic water-resistant tips; display and buttons for controlling the tomograph. Every transducer has an independent spring suspension which, with DPC technology as a companion, allows controlling the device of different surfaces.

The tomograph with exemplary results is presented in Fig. 5.

In UT method the frequency of pressure wave ranges from 50-200 kHz and for shear wave frequency is 55 kHz [6]. The maximum detection depth is 2500 mm.

UT method is used for detection of different kinds of defects, provides high accuracy in measuring the thickness of an object in unilateral tests, and also thanks to that method it is possible to assess the condition of reinforcement.

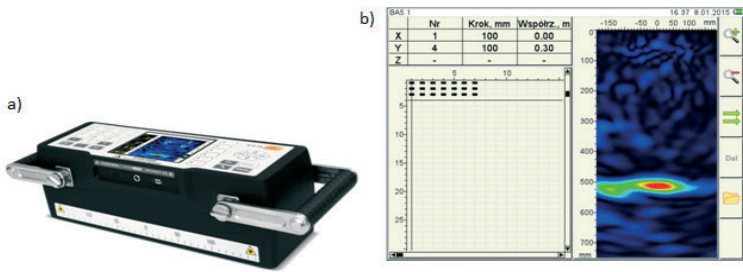


Fig. 5 Ultrasonic tomography: a) device, b) exemplary scan B (cross-section)

4. Analysis

In order to evaluate which acoustic method is the most effective in testing concrete structures on site, some criterions were defined which allowed to compare the methods described above. Five criterions were proposed:

- 1) the way of presenting the results,
- 2) main drawbacks of the method,
- 3) comfort of use on construction site,
- 4) diversity of applications,
- 5) contemporary price of equipment.

For every criterion the points from 1 to 6 were assigned. The following hierarchy was implemented: 1 point for the worst characteristics, 6 points for the best characteristics. In 4 category the rating was different: the less drawbacks (drawbacks of small importance) the highest mark. Prices of equipment were evaluated based on own experiences, the 1 point were assigned for the most expensive method, 6 points for the cheapest method. The highest score indicated which acoustic method is the most practical from the engineering point of view.

Table 1 shows the juxtaposition of wave frequencies and the maximum depth of measurements in every method. This table will be helpful in qualifying methods in terms of established criteria. The comparison of methods is presented in Table 2. The score of every criterion and total score for particular method is presented in Table 3.

Table 1 Juxtaposition of frequencies and maximum depths of measurements

No.	Method	range of frequencies [kHz]	minimal depth of investigation [mm]	maximal depth of investigation [mm]
1	UPV	25-100	10	300
2	IR	0-800	100	500
3	UE	20-300	25	400
4	IE	2-40	10	800
5	UT	50-200	25	2500

Table 2 Comparison of acoustic methods

Method	way of presenting the results	main drawbacks	comfort of use on construction site	diversity of applications
ultrasonic pulse velocity	display of transit time on the screen of material's tester with high accuracy	the test can be affected by concrete properties and other factors; need to have other sources of knowledge to interpret a transit time	an obligation to use a coupling agent between transducers and tested surface; small and light device; easy to conduct a study	estimation of concrete strength; determine the modulus of elasticity (not recommended); checking the uniformity of concrete, detecting of cracks and voids and measure its depth
impulse response	chart with amplitude in frequency domain, characteristics parameters, maps	not useful in evaluation of concrete structures; experienced operator to conduct a study and interpret results; does not give any depth indications for the flaws; low accuracy	the method does not require coupling materials; large areas can be tested in a short time; the test surface can be dry, moist or wet	controlling structural integrity of concrete objects (e.g. piles, plates) and to determine the localization of areas with possible flaws (for further detailed analysis with another NDT method)

Method	way of presenting the results	main drawbacks	comfort of use on construction site	diversity of applications
ultrasonic echo	A-scan (the ultrasonic point measurement in the time domain)	linear defects oriented parallel to the sound beam may go undetected; interpretation of A-scan	minimal element preparation is required; provides instantaneous results; one-sided access enough to conduct a study; small devices equipped with DPC do not need couplant agent	measure thickness of the object; detect foreign inclusions, holes, honeycombing, cracks and other defects
impact echo	chart with amplitude in frequency domain; modern BAM scan gives the Impact-Echogram which is kind of ultrasonic cross section	dimensions of impactors (balls) have an importance because waves can be reflected by defects which have similar or greater dimensions than wavelength (smaller defects will not be observe) ; preparation of surface	useful on site but very time consuming	detection of internal defects such as delaminations, voids, cavities, and honeycombed concrete and their depths
ultrasonic tomography	clear visualizations: plan view, cross-section views and isometric 3D view	the resulting images need to be interpreted, utilizing additional information if possible; edge effect can occur	handy device with DPC tips is very convenient in use on site; huge scanners are designed for measurement of large structures, they need more space and special montage	detection of different defect types, higher resolution of testing for deeper thicknesses of testing object at one-side access testing ; assessment of the reinforcement condition

Table 3 Evaluation of acoustic methods

Method	Way of presenting the results	Main drawbacks	Comfort of use on construction site	Diversity of applications	Price	Total score
ultrasonic pulse velocity	4	4	3	2	6	19
impulse response	3	3	4	2	3	15
ultrasonic echo	3	4	5	2	5	19
impact echo	4	3	3	3	3	16
ultrasonic tomography	6	5	5	5	2	23

5. Conclusion

The analysis shows that the "best" acoustic non-destructive method for testing concrete structures on the site is the ultrasonic tomography. Right behind UT method there are placed: ultrasonic echo and ultrasonic pulse velocity.

It can be very simply noticed that the ultrasonic tomography is one of the most expensive method but its very clear way of presenting the results is predominating among the other methods. Additionally, UT can be successfully used on construction site. Furthermore, it has the highest depth of investigation which is also the reason of many different application.

On the other hand, there is the cheapest method which is UPV. Its biggest advantage is the simplicity of conduction the study and light equipment. Unfortunately, many possible uses which are offered but that method are connected with necessity of having a proper knowledge or another sources (scientific literature, experienced staff) to interpret a results.

Ultrasonic echo got also quite high score, I assume that it happened because the UE was the base to put some improvements and develop the ultrasonic tomography.

References

- [1] V. M. Malhotra i N. J. Carino, *Handbook on Nondestructive Testing of Concrete*. CRC Press, 2004.
- [2] D. Breyse, *Non-Destructive Assessment of Concrete Structures: Reliability and Limits of Single and Combined Techniques: State-of-the-Art Report of the RILEM Technical Committee 207-INR*. Springer Science & Business Media, 2012.
- [3] J. Hoła, K. Schabowicz, „State-of-the-art non-destructive methods for diagnostic testing of building structures – anticipated development trends”, *Arch. Civ. Mech. Eng.*, t. 10, nr 3, ss. 5–18, 2010.
- [4] T. Gorzelańczyk, J. Hoła, Ł. Sadowski, i K. Schabowicz, „Methodology of nondestructive identification of defective concrete zones in unilaterally accessible massive members”, *J. Civ. Eng. Manag.*, t. 19, nr 6, ss. 775–786, Grudzie 2013.
- [5] C. Flohrer, „2 - Non-destructive testing methods for building diagnosis – state of the art and future trends”, w *Non-Destructive Evaluation of Reinforced Concrete Structures*, t. 2, C. Maierhofer, H.-W. Reinhardt, i G. Dobmann, Red. Woodhead Publishing, 2010, ss. 14–29.
- [6] K. Schabowicz, „Ultrasonic tomography – The latest nondestructive technique for testing concrete members – Description, test methodology, application example”, *Arch. Civ. Mech. Eng.*, t. 14, nr 2, ss. 295–303, Luty 2014.
- [7] A. O. De La Haza, A. A. Samokrutov, i P. A. Samokrutov, „Assessment of concrete structures using the Mira and Eyecon ultrasonic shear wave devices and the SAFT-C image reconstruction technique”, *Constr. Build. Mater.*, t. 38, ss. 1276–1291, Styczen 2013.



RESEARCH OF WEAK ZONES IN CONCRETE ELEMENTS WITH THE USE OF ULTRASONIC TOMOGRAPHY AND FEM

MSc. Ing. Dorota JAWOR*, **MSc. Ing. Łukasz Radzik***,
PhD, DSc. Ing. Krzysztof SCHABOWICZ*
Wroclaw University of Technology
Contact e-mail: lukasz.radzik@pwr.edu.pl

Abstract

The papers presents possibility of weak zones research in concrete elements. The concrete specimen was tested by ultrasonic tomograph. On the basis of the results failure simulation at ABAQUS program was performed. This allowed to accurate determination of the degree of weakening of the structure.

Key words: *acoustic, NDT, FEM, ultrasonic tomography*

1. Introduction

Non-destructive methods are commonly used in examinations of concrete element in order to make fast diagnosis of different imperfections. Nowadays, the large development is noticeable in the case of acoustic methods. Ultrasonic tomography is one of the newest acoustic method. This method is useful in unilateral studies of concrete element, that's why it can be used successfully in the laboratory as well as on construction site during the construction process or in already existing elements [4]. The examinations of weak zones in concrete element with the use of ultrasonic tomograph is presented in that article. Afterwards, the obtained results are analyzed with the help of Finite Element Method to compare the behavior of concrete element with and without weak zone.

2. Literature review

In many papers the ultrasonic tomography was pointed as satisfactory method for testing foundation slabs, concrete elements with irregular shapes, concrete mine lift shaft shell and even hydrotechnical structure [1-3], [5-6]. Ultrasonic tomography is used for testing the concrete elements such as foundation slabs, concrete floors, columns, shell, beams etc. [4]. It is used to detect various types of imperfections, provides high accuracy in measuring the thickness of the object at the unilateral examinations and also thanks to that method it is possible to assess the condition of reinforcement in reinforced concrete elements. It is also suitable for testing weak zones which are forming in structures, for example, by incorrect vibrating of concrete during its laying or due to improper curing during hardening process.

3. Ultrasonic tomography – method of operation

3.1. Theoretical description

The UT technique is based on exciting an elastic wave in the investigated member. The excitation source is usually a multi-head antenna (usually a few tens of integrated ultrasonic heads), which is also used for receiving and processing ultrasonic signals. The popular tool which uses SAFT algorithm is the ultrasonic tomograph. It uses automated acquisition of a number of parallel line scans, which allows to build a three-dimensional volume that can be viewed in two-dimensional cross-sections and depth sections. The ultrasonic tomograph which was used in described researches is shown in Fig. 1.



Fig. 1 Ultrasonic tomograph: a) view from the top and from the bottom, b) possible layout of displays

According to producers, presented tomograph can operate with the frequency of pressure wave in the range from 50 to 200 kHz, whereas in these studies shear waves were used with frequency 55 kHz. The maximum detection depth is 2500 mm.

3.2. Concrete specisemen's description

The object of study was a concrete element with dimensions of 1000 mm x 1000 mm x 500 mm made of concrete C25/30 with aggregate to 8 mm, the aim was to identify weak zones, any internal cracks, delamination or large air voids. After a preliminary inspection of element, any voids and cracks were found on the external surface. Measurement grid was applied to the top and front surface of the element; having a size of 100 mm x 100 mm. The concrete element with a drawn grid and the scheme with the dimensions are shown in Fig. 2.)

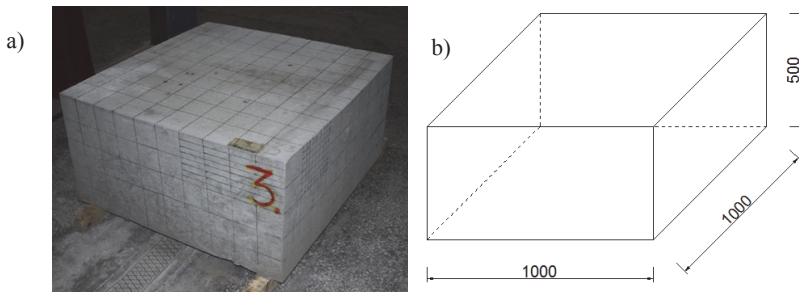


Fig. 2 The view of concrete specimen: a) with measurement grid, b) scheme with dimensions

3.3. The order of measurements

The experiment has been launched from the scanning of the top surface and front surface. Step (movement) of tomograph was 100 mm long in one and the other direction of the specimen. Then, ultrasonic tomograph has been rotated by 90° so it was possible to re-scan the entire surface and obtain additional results for further comparison and analysis. A similar order was adopted to examine the front surface of the concrete element.

3.4. Results of measurements

In top measurements ultrasound images were obtained which revealed the clear border of bottom surface of element at the depth of 500 mm (a red color in Fig. 3). The light points were noticed in right upper corner which indicated the potential presence of defects (shown in Fig. 3). B scans were considered for analysis.

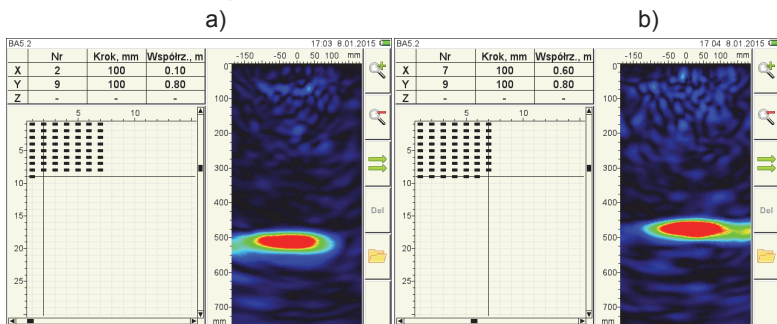


Fig. 3 Measurement's results: a) top surface of element, b) top surface of element after rotation of tomograph by 90°

The images obtained in front surface measurements confirmed that the weak zone is located in upper right corner of element, shown in Fig. 4. The B scan shows a view into the depth of 700 mm, but weak zone of concrete were detected near the edge, and for this reason there should be awareness of the possible appearance of edge effect.

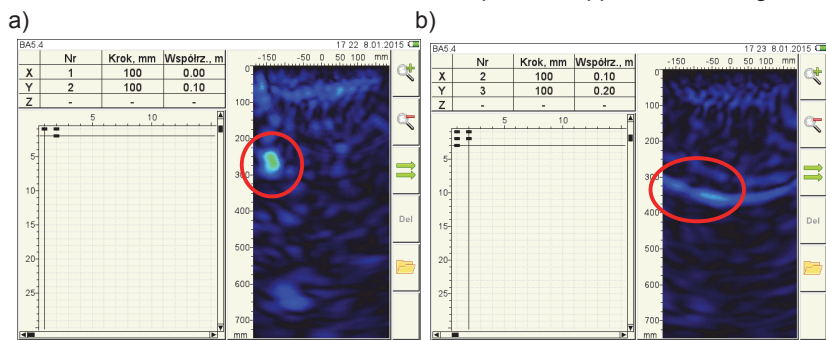


Fig. 4 B scans: a) measurement of top surface of concrete element, b) measurement of top surface of concrete element after rotation of tomograph by 90°

To dispel any doubts associated with the mentioned edge effect, it was decided to conduct a more detailed study of detected weak zone in concrete element using a denser measurement grid.

3.5. The order of measurements of concrete weak zone

The two grids were prepared within the identified zones of poor concrete with dimension step of 50 mm x 50 mm, starting from 400 mm on the front surface and 300 mm on side surface of concrete element. The measurement's grid were presented in Fig. 5.

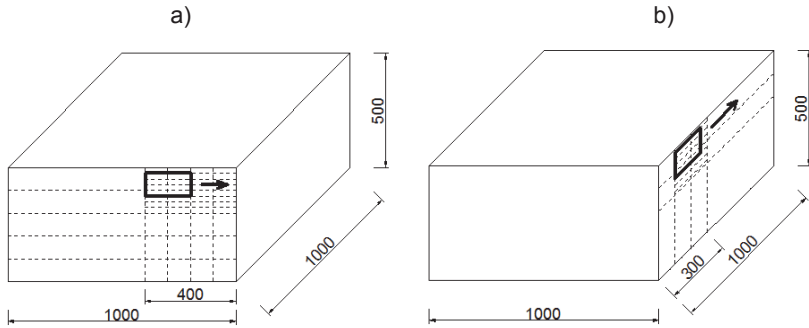


Fig. 5 The scheme of grids: a) on the top surface, b) on the side surface of concrete element

3.6 The results obtained for the weak zone of the concrete

Detailed measurements of weak zone of the concrete has proven its localization in the concrete element. Probably, it is a result of improper compaction of concrete or its curing during the execution. The obtained images are presented in Fig. 6. The area with light points is visible on these pictures.

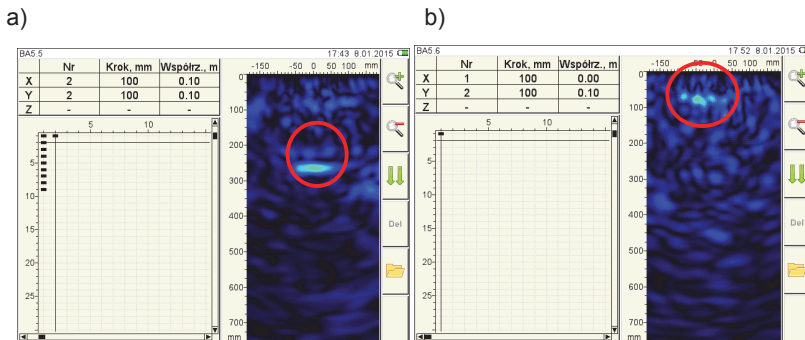


Fig. 6 B scans for denser grid: a) of front surface of concrete element, b) of side surface of concrete element

4. FEM analysis

The FEM modelling software were used to analyze how the imperfections can influence on strength of whole concrete element. Abaqus software was used for that purpose. FEM analysis was based on modeling the concrete element of dimensions 1000 x 1000 x 500 mm and concrete strength C30/37 with the assumption that there is lack of weak zone. The assumption of reduced strength of the right upper quarter of member (500 x 500 x 500 mm) were made for next models, gradually decreasing the elastic modulus by 10%, 20%, 30%. Simply supported plate and grid size of 250 mm were assumed, as shown in Fig. 7.

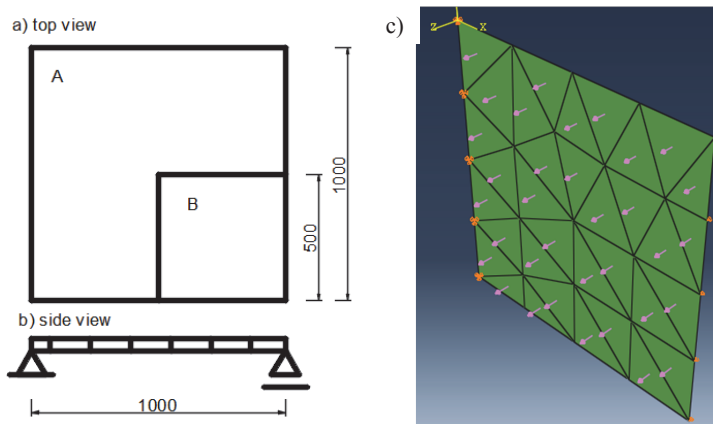


Fig. 7 Concrete element model: a) top view (A - part of element executed in a proper way, B - faulty area of element), b) side view and static scheme, c) FEM grid with the element size 250mm

The distributed load equal 10 kN/m² was assumed and the maximum deflection was recorded and summarized in Table 1. It is easy to see that even the slight deterioration of the concrete leads to increasing the displacement. The values of these displacements are small considering the precision of 10⁻⁷ m, but the element has relatively small size of 1000 mm x 1000 mm.

Table 1. Maximal displacement in trail modelling

No. of model	Concrete element	Displacement [x 10 ⁻⁷ m]
1	C30/37	6,213
2	The decrease in elastic modulus in the weaker zone of 10%	6,421
3	The decrease in elastic modulus in the weaker zone of 20%	6,768
4	The decrease in elastic modulus in the weaker zone of 30%	7,190

Usually, in reality buildings and concrete structures are huge so the importance of good execution is higher and has bigger influence in further exploitation. Trial modeling was created for fast interpretation if there is any influence on whole concrete element if there was implemented the change of concrete strength in some part of a sample. Indeed, there is an essential influence so it was decided to model the concrete element with the real dimension of weak zone revealed by ultrasonic tomography. Moreover, the denser grid was adapted. To select adequate size of a mesh, the analysis of its sensitivity was conducted. The analysis was made for model no. 4. The results are presented in Fig. 8. It is seen on the chart that with compaction of FEM mesh, the accuracy of calculation increases. For further analysis the mesh of size 50 mm was chosen because when the mesh was still being compacted, there was no significant improvement in results of displacement. The scheme of concrete element and mesh of size 50 mm is shown in Fig. 9.

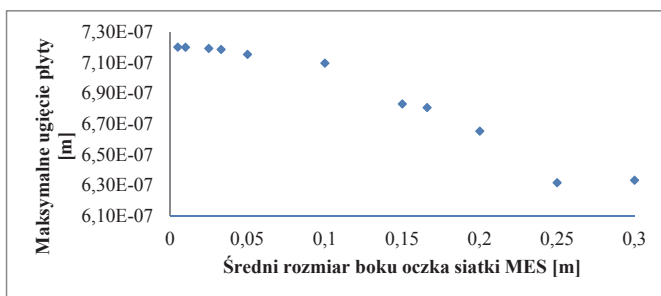


Fig. 8 Dependence element deflection on the accuracy of model discretization

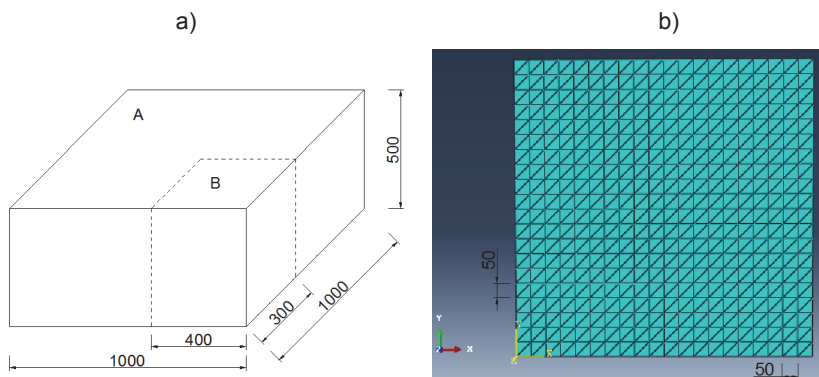


Fig. 9 Scheme of concrete element a) axonometric view (A - part of element executed in a proper way, B - faulty area of element), b) FEM mesh of size 50 mm

The same like in trial modeling, the concrete element was modeled without weak zone and then with the decrease of concrete strength in B zone gradually 10%, 20%, 30%. At the same value of uniformly distributed load equal 10kN/m², the increase of maximal displacements were noticed. Comparison of obtained results from two stages of modeling is set together in Table 2.

Table 2. Comparison of maximal displacement in two FEM modelings

No. of model	Concrete element	TRIAL MODELING	FINAL MODELING
		Displacement [x 10 ⁻⁷ m]	Displacement [x 10 ⁻⁷ m]
1	C30/37	6,213	6,500
2	The decrease in elastic modulus in the weaker zone of 10%	6,421	6,504
3	The decrease in elastic modulus in the weaker zone of 20%	6,768	6,903
4	The decrease in elastic modulus in the weaker zone of 30%	7,190	7,171

5. Conclusions

By analyzing the values of displacements obtained in two modellings it can be noticed that models no. 2 and 3 indicate well definitions of material properties and characteristic in Abaqus program and maximal displacements are increasing. It may be confusing that in trail modeling element no. 1 without weak zone had smaller deflection than in final modeling, where, despite denser mesh, the weak zone had smaller size and it would be obvious that maximal deflection would be also smaller. These results are connected with the shape of discretization of a mesh, and additionally with the fact that in the finite element method the displacements are calculated only in nodes of the grid.

For sure, it can be said that FEM models are very helpful in understanding the behavior of concrete element, but it has to be remembered about the kind of used software, definitions of boundary conditions and material parameters. Furthermore, it is worth considering the size of a mesh which is very crucial aspect in modeling as shown in Fig. 8.

6. Summary

Thanks to experiments conducted by ultrasonic tomography the weak zone in concrete element was localized and it was probably caused by inadequate compaction of concrete or wrong curing. It was possible to indicate precisely the range of concrete weak zone: on front surface 400 mm from the edge, on side surface 300 mm from the edge.

The software using Finite Element Method was very helpful and it was possible to model the concrete element executed in ideal conditions, but also element with the weak zone. There was prepared a comparison of obtained calculations of maximal displacements and analysis how the element without and with weak zone will behave. The decision is now up to the designer, if such element meets the assumed utility program or it needs to be repaired.

The authors recommend the ultrasonic tomography as an effective way of testing the weak zones in concrete structures, at the same time pointing out that when it comes

to carry out studies of small parts there should be awareness of the phenomenon named the edge effect, which can cause incorrect interpretation of the obtained results.

7. Literature

- [1] Schabowicz K., Hoła J., Styś D., *The ultrasonic tomography tests of concrete in foundation slab*
- [2] Schabowicz K., *Ultrasonic tomography – The latest nondestructive technique for testing concrete members – Description, test methodology, application example*, Archives of civil and mechanical engineering I4, 2014, 295-303
- [3] Schabowicz K., Suvorov V. A., *Nondestructive Testing of a Bottom Surface and Construction of its Profile by Ultrasonic Tomography*, in Russian Journal of Nondestructive Testing, Pleiades Publishing Ltd., 2014
- [4] Hoła J., Schabowicz K., *State-of-the-art non-destructive methods for diagnostic testing of building structures – anticipated development trends*, Archives of civil and mechanical engineering, 2010
- [5] Gorzelańczyk T., Schabowicz K., *Nondestructive testing of thickness of concrete mine lift shaft shell by means of ultrasonic tomograph*, Defektoskopie, Czech Republic, 2012
- [6] Gorzelańczyk T., Hoła J., Sadowski Ł., Schabowicz K., *Evaluation of concrete homogeneity in massive wall of hydrotechnical structure by means of ultrasonic tomography method*, Defektoskopie, Czech Republic, 2012



PAUL LANGEVIN – PODIVNÝ PŘÍBĚH OBJEVITELE ZÁKLADU ULTRAZVUKOVÉ SONDY PAUL LANGEVIN – STRANGE STORY DISCOVERER BASE OF ULTRASOUND PROBE

Bernard Kopec

Quality Testing Ultrasound
Contact e-mail: b.kopec@email.cz

Abstrakt

Paul Langevin (1872-1946) byl významný francouzský fyzik, blízký spolupracovník Marie Curie-Sklodowské a po úmrtí Pierra Curie její blízký přítel. Příspěvek je zamyšlením nad pohnutým osudem objevitele křemenného piezoelektrického měniče – základního prvku ultrazvukové sondy na základě dochovaných historických faktů.

Klíčová slova: Paul Langevin, fyzika, chemie, piezoelektrické destičky, Marie Curie-Sklodowska "

Abstract

Paul Langevin (1872-1946) was a prominent French physicist, a close associate of Marie Curie-Sklodowska and Pierre Curie, after the death of her close friend. This paper is a reflection on the fate of troubled discoverer quartz piezoelectric transducer - basic element ultrasound probe on the basis of extant historical facts.

Key words: Paul Langevin, physics, chemistry, piezoelectric plates, Marie Curie-Sklodowska

1. Život

Paul Langevin, člověk i vědec, zanechává bohatý odkaz lidem i fyzikům celého světa. Projdeme stručně daty jeho života. Narodil se 23. ledna 1872 a již šestnáctiletý a jako první v pořadí byl přijat (1888) na École Municipale de Physique et Chimie industrielles, na ústav, v němž později sám se stal profesorem a ředitelem. Jako „agrégé des sciences physiques“ obdržel (1897) jednorocní stipendium pařížské obce k pobytu v *Cavendishově laboratoři (Cambridge)*, jejímž ředitelem byl tehdy J. J. Thomson. Tam Langevin uzavřel první vědecká přátelství s jinými stipendisty, na příklad s E. Rutherfordem, Townsendem a C. T. R. Wilsonem. Pobyt v Cambridgi dotváří vědecký profil Langevinův. Dokonale vyrovnává zájmy teoretika, ukazuje mu široký obor pracovních možností, ale dokonale definovaných, a učí ho kritice myšlenky i práce.

Od následujícího roku je stipendistou na *École Normale a Faculté des Sciences* v Paříži. V roce 1900 je preparátorem fakulty, v roce 1902 tu předkládá doktorskou tézi. Téhož roku je jmenován suplujícím profesorem na *Collège de France* a pak profesorem titulárním. Současně (od roku 1905) vyučuje na *École de Physique et Chimie* za Pierra Curie a (od roku 1906) na dívčí *École Normale Supérieure* v Sevres. V tomto ústavu stráví v učitelské činnosti více jak čtvrt století. Již jako titulární profesor na École de Physique et Chimie stává se zároveň studijním ředitelem („directeur des études“) tohoto ústavu a po smrti Hallerově ředitelem ústavu („directeur de l'école“).

Je jím až do roku 1940, kdy za německé okupace je Němci zatčen. Po osvobození se však vrací na své místo a setrvává v něm až do smrti.

Ostatní data jsou již jen dlouhým výčtem poct a uznání. Uvedeme pouze z nich nejvýznamnější. Institut de France udělil mu čtyřikrát cenu (Hughesovu 1907, Felixovu 1918, La Cazeovu 1924, Piersonovu-Perrinovu 1933); londýnská Royal Society vyznamenala jej dvakrát zlatou medailí (1915 a 1941); ceny mu udělily i četné jiné instituce (Collège de France, Société des Ingénieurs civils, 1926 Akademie v Praze aj.). Byl čestným členem mnohých zahraničních akademií. Důstojníkem Čestné legie se stal v roce 1946. Čestnými doktoráty poctila Langevina universita v Manchesteru (1920), Leedsu (1922), Bristolu (1928), Cambridgi (1929), svobodná Universita v Bruselu (1930), universita v Liège (1933), Glasgově (1946) a Oslo (1946). Universita v Buenos Aires jmenovala jej (1928) čestným profesorem.

V prosinci 1946 musil se podvolit operaci; strádáním i prací oslabený organismus však nevydržel a 18. prosince 1946 Langevin umírá v kruhu příbuzných a spolupracovníků vědeckých i politických. Vláda vypravila národní pohřeb; nad rakví pronesl za vědce projev jeho žák Joliot-Curie, za politické přátele Cogniot a za vládu Naegelen. Jeho tělo bylo převezeno do Pantheonu a řízením osudu spočívá v hrobce, která leží blízko hrobu Marie Curie-Sklodowské.

2. Dílo

S Langevinovým jménem setkáváme se ve všech kapitolách fyziky, které se v uplynulém století nacházely v popředí vědeckého zájmu. Možno říci, že téměř každá z jeho prací stala se zdrojem pro další práce ostatních fyziků.

První Langevinovy práce vztahují se k Roentgenovu záření a ionisaci plynů. V disertační práci (1902) stanovil, nezávisle na Sagnacovi, povahu sekundárního záření vysílaného kovy, které před tím byly ozářeny paprsky X. Studia o pohyblivosti a difuzi iontů přivedla Langevina k objevu velkých iontů atmosférických, které vznikají při srážkách pohybujících se iontů s neutrálními částicemi suspendovanými v atmosféře. Na Langevinových výsledcích dosud spočívají některé technické způsoby odstraňování prachových částic z atmosféry. Mimo jiné vysvětlila teorie kondensačních jader fotoelektrický zjev v atmosféře a tvoření nízkých i vysokých typů oblak.

Teorii Brownova pohybu vypracovali podrobně Einstein a Smoluchowski, ale vzorce, k nimž dospěli, se lišily číselným faktorem; elegantní řešení Langevinovo (1908) je zcela nezávislé na těchto předchůdcích a potvrzuje výsledky Einsteinovy. V termodynamice podal (spolu s Perrinem) přesnou formulaci druhé hlavní věty. Langevinovo vědecké dílo připadá do historického rozhraní mezi „klasickou“ fyzikou a fyzikou atomovou resp. nukleární. Již od počátku své vědecké dráhy uvažoval Langevin o pojmu času. Spolu s Lorentzem a Einsteinem snažil se nalézt východisko z obtíží, které vyvolal pokus Michelsonův.

Matematické i filosofické problémy spjaté s otázkou času uložil v čtrnácti pracích (v letech 1905 až 1942) o nejrůznějších otázkách teorie relativity, zejména z principu setrvačnosti energie odvozuje (1913) nezávisle na Einsteinovi a metodou zcela odlišnou slavný vztah $E = mc^2$. Dvacet důležitých prací se týká akustiky (1916 až 1935, některé práce společně s Chilowskim, Florissonem, Tournierem a Ishimotou).

Vyjimečné schopnosti Langevinovy osvědčily se za první světové války v souvislosti s technickými problémy, na nichž měla bezprostřední zájem Defense nationale. V roce 1915 Ministerstvo námořnictví pověřilo Langevina studiem detekce ve vodě, když se neosvědčil elektromagnetický princip Chilowského. Spolu s Tournierem a Holweckem se dal Langevin do práce nejprve v Paříži, od počátku 1916 pokračoval v Toulonu („Mission Langevin“), nejprve s principem elektromagnetickým, později s **principem ultrazvukovým, vycházejícím z poznatků, které o piezoelektrickém jevu učinili Curieové a Lippmann**. Používaje vlastností resonance, elektrický efekt zesílil, aby zvětšil amplitudu, sestrojil tzv. piezoelektrický triplet; výsledkem dílčích prací byla konstrukce zařízení SONAR, které umožňovalo zjištění ponorek pod hladinou. I když ultrazvukový detektor nezasáhl již do průběhu války v žádoucí míře, stal se jinak významným navigačním pomocníkem při sondách na mořském dně, při zajišťování bezpečnosti plavby a při komunikaci mezi ponorkami.

Za druhé světové války byly válečné lodi britské vesměs opatřeny detektory zkonstruovanými podle Langevina a tato zařízení spolu s radarem mají velký podíl na vítězství nad Atlantikem. Při výzkumech byla učiněna řada objevů, které našly použití v nejrůznějších odvětvích. Například zjištění o fyziologickém a baktericidním účinku **ultrazvukových kmitů** (na těchto výzkumech pokračoval v Anglii Wood), možnost rychlé **ultrazvukové kontroly kovového materiálu** (za druhé světové války používalo se těchto způsobů rovněž v Anglii); možnost **použití piezoelektrických destiček** jako frekvenčních stabilizátorů, význam pro měření okamžitých vysokých tlaků, jaké se vyskytují ve vnitřní balistice a jiné, plně prokázaly vysokou vojenskou hodnotu Langevinovy práce na tomto úseku. Langevin byl právě tak schopným experimentátorem, jako byl schopným teoretikem.

3. Člověk

Nelze oddělit Langevina-vědce od Langevina-člověka. Žádná překážka, ani nepříznivý zdravotní stav (trpěl dlouhá léta srdeční vadou) nemohly zabránit jeho nadšení a energii, ať se jednalo o práci vysloveně vědeckou nebo o obranu ideálů lidské svobody. V roce 1932 se nachází v čele protifašistického hnutí francouzské inteligence (zároveň s Barbussem a Rollandem) i v předních řadách francouzské „lidové fronty“.

Nezapomenutelné pro nás je jeho stanovisko k událostem z roku 1938 a 1939. Langevin nikdy neuznal mnichovská rozhodnutí. Jeho politické názory činily jej obávaným nepřítelem nacistů. Po okupaci Francie zůstal odvázně na svém místě a byl zatčen jako jeden z prvních francouzských intelektuálů 30. října 1940. Německý důstojník, který zatčení prováděl, při té příležitosti řekl: „Jste pro nás právě tak nebezpečným, jako v XVIII. století byli encyklopedisté nebezpeční tehdejšímu režimu“.

Jeho zeť, fyzik J. Solomon, byl nacisty umučen, dcera Helena deportována do Osvětimi, oba vnuci uvězněni. Vláda ve Vichy zbavila Langevina místa, přes četné protesty studentů a vědců z celého světa. Po krátkém žalářování za hrozných fyzických podmínek, které však nezlomily jeho ducha, byl mu přikázán nucený a sťažený pobyt v Troyes. Čtyřicet dva měsíců bez možnosti práce a v úzkostech o osud dcery, zetě a vnuků jistě neposloužilo Langevinovu zdraví. Přesto podporuje a spolupracuje s podzemním hnutím a činně se zúčastní organizování tzv. „svobodné university“. V obavě o jeho život pomáhají mu jeho přátelé v květnu 1944 uniknout do Švýcarska, kde se dočká osvobození Paříže.

V září 1944 vrací se na své původní působiště k činnosti akademické. Na podzim 1945 ujal se vedení Revue Tchecoslovaque, orgánu francouzsko-československého přátelství. Před svou smrtí vstoupil do francouzské komunistické strany.

4. Marie a Paul

Langevinovo manželství nebylo úspěšné, jak se svěřoval různým přátelům. Jeho žena, pocházející z dělnické rodiny vedla se svou matkou koloniální obchod, neměla pochopení pro jeho vědeckou vášeň špatně placenou. Když Paul Langevin byl na návštěvě u přátel, bylo vidět jeho pohmoždění na tváři, jindy jeho manželka a matka během hádky hodily na něho železnou židli. Fyzik žil ve velkém napětí, přemýšlel o sebevraždě.

Druhá polovina prvního desetiletí dvacátého století byla pro Marii Sklodowskou velmi obtížná. V roce 1906, zemřel nešťastně pod koly drožky milovaný manžel Pierre. Po nehodě Maria Sklodowska se zlomeným srdcem napsala: „zhasla ve mně veškerá touha žít“. Navzdory tomu, o sedm měsíců později ukázala obrovskou odvahu a sílu charakteru, neboť nahradila svého manžela na přírodovědecké fakultě Sorbonny a stala se první ženou, profesorkou na této univerzitě. O tři roky později zemřel její tchán, který láskyplně v posledních letech pečoval o dvě dcery a byl jejich milovaným dědečkem. V této době Maria Sklodowska vypadala starší, jak by to ukazovat její věk, byla vyzáblá a vyčerpaná stresem a prací.

V roce 1910 její přátelé viděli na Marii pozitivní změnu. V očích měl znovu jiskru, namísto černých šatů, které obvykle nosila, začala nosit bílou halenku zdobenou červenou růží. Brzy bylo jasné, že 43 letá Marie se zamilovala do o pět let mladšího Paula. V roce 1910 si Paul najal pod jiným jménem apartmá v blízkosti Sorbonny, kde se setkával s Marií. Také si vyměnili milostné dopisy, z nichž ani jeden se však nezachoval. Jeden z dopisů určený pro vědecké účely, ale psaný intimním způsobem, dokazující bližší známost, přečetla Langevinova manželka, pohrozila rozpoutáním skandálu v novinách, a pak osobně vyhrožovala Marii Sklodowské smrtí. Paul Langevin slíbil své ženě, že se již nikdy nesetká s Marií, a ta stáhla své hrozby.

Zdá se, že slib nebyl dodržen, protože na začátku listopadu 1911 se Langevin zúčastnil stejné konference, kde byla Maria Sklodowska. Byla to konference SOLVAY, věnovaná radioaktivitě a kvantové teorii, na kterou byli nezávisle pozváni. Její organizátor - průmyslník a vynálezce Ernest Solvay – pozval fyziky světové třídy, mimo jiné, Alberta Einsteina, Maxe Plancka, Jeana Perrina a jedinou ženu - Marie Sklodowskou-Curie.

V prvních dnech listopadu 1911 v hotelu Metropole v Bruselu, Marie Sklodowska byla obklopena novináři, kteří jeden po druhém ji žádali, aby se vyjádřil k článku v „Le Journal“ s názvem „Love story: paní Curie a profesor Langevin,“ ve kterém byla nazvána „Únosce manželů“. Článek publikoval rozhovor s tchýní Paula Langevina a hovořil o milostných dopisech jako důkazu o románu s nositelkou Nobelovy ceny s tím, že neví, kde v současné době pár milenců žije. V „Le Petit Journal“ byl v té době rovněž publikován rozhovor se ženou Langevina Jeanne „Romance v laboratoři: dobrodružství paní Curie a pana Langevin“, v němž řekla, že ví o styku svého muže s Marií Sklodowskou od 3 let a jeden a půl roku má důkazy, ale nechce je sdílet, doufajíc smíření se svým manželem.

Marie neodpovídala na otázky novinářů v průběhu konference a napsala otevřený dopis do deníku „Le Temps“, kde uvádí, že v Paříži všichni vědí, kde bydlí, a kritizuje pomluvy o „utíkajících milencích“. Vědci, účastníci konference, četli rovněž tiskové zprávy, ale považovali to za nesmysl. Byli přesvědčeni, že Curie s Langevinem spojuje silné přátelství dvou vědců, které manželka Paula nemůže pochopit. Většina z nich také věděla o problémech manželství Langevinů. Marie odstoupila z posledního zasedání, a vrátila se do Francie. Tam skandál se stával vážným.

V „L'Intransigeant“, byl otištěn otevřený dopis „Pana X, fyzika“, který ve skutečnosti byl adresován Langevinovi. V „New York World“, napsali o našťavané Sklodovské-Curie, která popírá pomluky a cituji slova Paula Langevina, který řekl: „Byl jsem nucen odejít od manželky z důvodu každodenních scén žárlivosti. Znáám paní Curie přes vědeckou práci, ale náš vztah nikdy neměl žádný jiný význam. Pravicový „L'Action Francaise“ podléhající nacionalistické atmosféře napsal, že cizinka Maria Sklodowska rozbíjí domov Francouzky. Gustave Tery, šéfredaktor „L'Oeuvre“ publikoval 12 stránkový text „Pravda o skandálu Langevin-Curie“, který citoval výňatky žaloby Jeanne Langevin proti svému manželovi, Langevina nazval zbaběleцем, a Sklodovskou-Curie - „vestfálkou chrámu radia“. Bulvár typu „Blesku“ existoval i v této době.

Text Teryho způsobil před domem nositelky Nobelovy ceny se srocní davu, který křičel „Pryč s cizincem!“, „Zlodějka manželů!“ Také začaly přímé střety. Redaktor „Gil Blas“ v obraně Marie vyzval na souboj kordem novináře z „L'Action Francaise“ (a vyhrál), pak Gustav Tera vyzval na souboj dalšího redaktora „Gil Blas“. Nakonec sám Paul Langevin vyzval Teryho na souboj. V rozhodujícím okamžiku se účastníci souboje neodvážili vystřelit a tím souboj skončil. Tyto bizarní souboje budily úsměv ve Francii i zahraničí. Marie, v této nejžhavější době, dostala informace z Nobelova výboru, který jí udělí další Nobelovu cenu za chemii.

Den poté, co Maria dozvěděla o udělení Nobelovy ceny, Christopher Aurivillius, sekretář Královské švédské akademie věd, snažil dozvědět od velvyslance Švédska v Paříži, zda je pravdou, že Marie Sklodovská-Curie opustí Francii s ženatým mužem. Zároveň zpráva o skandálu dosáhly švédskou veřejnost. Po potvrzení zprávy o románu, Aurivillius napsal Marii: „Všichni moji kolegové mi oznámili, že nechtějí, abyste sem přijela. Já vás rovněž prosím, abyste zůstala ve Francii, protože nikdo nemůže předpovědět, co by se stalo, během slavnostního předávání cen. Čest, respekt k naší akademii, tak i pro samotnou vědu a k vaší vlasti, žádá, aby za těchto okolností, jste opustila myšlenku přijet si pro převzetí ocenění.“ O několik dní později Marie odepsala: „Musím jednat podle svého přesvědčení. Postup, který mi doporučujete, se mi zdá špatným. Myslím, že absolutně není žádná spojitost mezi mou vědeckou prací a skutečnostech osobního života, o které dezinformování lidé, nezasloužící si jakýkoliv respekt, používají proti mně. Jsem velmi dotčena, že nesdílíte můj názor.“ Maria Curie jela do Stockholmu osobně převzít cenu. Nic se nepříhodilo z toho, čeho se bál Aurivillius. Přivítali jí s úctou a láskou, a Švédská asociace žen učenců uspořádala banket na její počest.

Když Marie přebírala Nobelovu cenu, Paul Langevin obdržel souhlas odloučení od své manželky, soud mu vyměřil alimenty a denní setkání s dětmi. To však není finále příběhu. Langevin nakonec se vrátil ke své manželce a nikdy se s ní nerozvedl. To však neznamenal, že manželé znovu našli vzájemnou lásku a štěstí. Naopak, Paul si našel milenkou, bývalou studentku ze Sévres Eliane Montel, která se stala jeho sekretářkou a matkou jeho pátého dítěte, syna Paul-Gilberta.

Osud tomu chtěl, že v následujících generacích se vrátil milostný příběh Curie-Langevin: vnučka Marie Curie Helene Joliot (fyzička) si vzala vnuka Paula Langevina Michaela.

Literatura

- (1) Cahiers de l'Université Libre, U.F.U., n° 3, 1945
- (2) Mémorial de l'Artillerie Françoise, XX, 4 fsc. de 1946
- (3) Graff, K.F., A History of Ultrasonics, Mason and Thurston, editors, Chapter 1 of Physical Acoustics, Vol. 15, Academic Press, 1981



VÝZNAM DIGITÁLNÍHO ZPRACOVÁNÍ OBRAZU V DIGITÁLNÍ RADIOGRAFII I V KONTEXTU NOREM

INFLUENCE OF IMAGE PROCESSING ON DIGITAL RADIOGRAPHY CONNECT ALSO WITH CURRENT NDT STANDARDS

Michal Kubíny

Testima, spol. s r.o.

testima@testima.cz

Abstrakt

Tento článek se zabývá obecným pohledem na aktuální stav digitální radiografie a radioskopie v průmyslu. Při diskuzi je třeba probrat dílčí aspekty, které vstupují do procesu digitálního zpracování obrazu. Pro získání kvalitního snímku je rozebrána digitalizace záznamu včetně srovnání s klasickým filmovým systémem. Toto srovnání je dále rozebráno v technických parametrech snímků, které se různými metodami získávají. Už získaný digitální snímek je analyzován pomocí diskutovaných indikátorů kvality obrazu. V posledním dílu tohoto článku jsou diskutovány nežádoucí součásti digitálního snímku včetně metod digitálního zpracování obrazu pro jejich potlačení.

Klíčová slova: digitální radiografie, zpracování obrazu, NDT normy, historie

Abstract

This article is trying to offer one possible point of view to current situation in digital radiography and radioscopy used for industrial applications. Discussion in this article is focusing on each aspect of imaging process and how to achieve good quality. The first part of the process is digitizing the image and comparison to standard film process. Each detail of this comparison is presented within technical parameters and different way of image acquisition. Digital image is analyzed with standard image quality indicators. The last part of this article and image processing chain includes image quality enhancement and noise suppression.

Key words: digital radiography, image processing, NDT standards, history

1. Úvod

V současné době dochází k obrovskému rozmachu digitální radiografie a radioskopie. Počátky však sahají hluboko do historie. Nejprve se rozvinula digitalizace klasických snímků, až výrazně později se rozšířila i do oblasti rentgenových snímků. Vystála potřeba převést obrazovou informaci na velkou vzdálenost. I když se nejprve jednalo o čistě analogový proces, v různých formách se jednalo od počátku i o přenos v digitální formě, i když jsme ho ještě tehdy digitálním nenazývali.

Historicky první snímek ve stupních šedi byl zpracován a přenášen již v roce 1920, kdy pouze v 5 odstínech šedi byly přenášeny novinové články mezi New Yorkem a Londýnem. V té době trvalo okolo 3 hodin, aby byl jeden snímek přenesen. Tím mohlo být naplněno úslolí, že jeden snímek je více jak tisíc slov.

A jako v jiných oblastech, největší pokrok byl v oblasti výzkumu vesmíru a tyto technologie se později promítly do běžných oblastí. Výzkum kosmu a především Měsíce znamenal další vývoj přenosu a především zpracování digitálních snímků. Byly to především algoritmy, které korigovaly nedokonalosti kamery umístěné na sondě Ranger 7. Jsme stále v 60. letech minulého století, kdy Bellovy Laboratoře spolu s MIT a dalšími univerzitami začaly intenzivně pracovat na zpracování tehdejších černobílých snímků. Vše bylo následně podpořeno rozvojem levnějšího výpočetního výkonu v letech 70. Největšího rozvoje mohlo být dosaženo po přelomu tisíciletí, kdy výkon výpočetní techniky dovolil masové rozšíření do většiny průmyslových aplikací.

2. Digitalizace

Pro zpracování je nejprve třeba digitální snímek, který je složen z konečného počtu hodnot, kde každá reprezentuje jeden pixel snímku. Digitální snímek je tedy pouze aproximací snímaného obrazu. Samotná digitalizace už zavádí do obrazu šum způsobený končným počtem kroků pro rozlišení úrovně hodnot. Bez digitalizace na druhou stranu není možné použít další digitální zpracování. Pokud tedy zvýšíme efektivní počet hodnot, kterých může signál při digitalizaci nabýt, tím nižší je zkreslení vlastní digitalizací.

U digitální radiografie může být signál digitalizován buď přímo z kvant dopadajícího záření, jak tomu je v radiografii, pomocí plochých detektorů, nebo druhou možností je použít pružné fólie citlivé na ionizující záření. V druhém případě je dávka záření uschována v citlivé vrstvě o tloušťkách 0,1 až 0,3 mm. V jednom i druhém případě dochází ve většině případů k transformaci energie ionizujícího záření na energii o nižší hladině.

3. Klasifikace digitálních systémů

Digitální systémy a především jejich medium pro záznam záření v hlavní míře ovlivňují výslednou kvalitu obrazu. Bez další dodané informace není možné pouhým digitálním zpracováním obrazu získat informaci, která se v záznamu nenachází.

Digitální systémy mohou teoreticky poskytnout informaci ve třech hodnotách. První a asi nejčitelnější je rozlišení, tedy nejjemnější detail, který je možné na snímku rozeznat. Druhý běžný údaj je intenzita dopadajícího záření. Změny v intenzitě záření poskytují kontrast v obraze a tím i rozeznatelnost detailů. Třetím rozměrem může být spektrum dopadajícího záření. Vlastní spektrum ve svém důsledku znamená jemnější rozlišení dopadajícího záření. Zde už nastává z pohledu použití rozdíl v digitálních technologiích a i v možnostech nasazení digitálního zpracování obrazu.

Systémy používající paměťové fólie poskytují ekvivalent k filmovému systému, kde obraz je zaznamenán a následně načten do počítače pro analýzu. Digitální zpracování obrazu může pracovat jen se statickým obrazem.

Elektronické systémy s plochými detektory dovolují lépe kontrolovaný sběr informací a díky tomu je možné aplikovat širší spektrum nástrojů pro zpracování obrazu.

Digitální systémy se následně dělí podle rozsahu zaznamenaných hodnot. Nejlepší analogové systémy, které jsou následně digitalizovány, běžně pracují s 10 bitovým rozlišením, které odpovídá 1024 hodnotám šedi. Toto jsou hodnoty pro analogové předavače obrazu, kde použití filmového systému nenabídne vyšší hodnoty.

Dostupné studie již prokázaly na konkrétních aplikacích nahraditelnost filmů CR systémy s dostupnými 16 bity a tedy až 65536 odstíny šedi. Přímá digitalizace s plochým detektorem nabízí citlivější přístup k dopadajícímu záření a tak se běžně používají detektory pouze se 14 bity a tedy 16384 odstíny šedi. Jemnější odstupňování hodnot šedi nabízí při vhodném nastavení větší dynamický rozsah a tedy i více informací pro digitální zpracování obrazu především u kontroly strukturovaných odliktů případně použití zařízení u bezpečnostních složek.

4. Normalizace a parametry kvality snímků

Normalizace u většiny aplikací ionizujícího záření a kombinaci se snímkováním digitálním systémem už proběhla ve většině sektorů použití. Jedním z posledních byla oblast nedestruktivního zkoušení v Evropě. Většina požadavků vychází z Amerických ASTM norem, které se již dříve používaly. Harmonizaci prošly především evropské normy EN1435 a EN 14784 což vyústilo ve společnou normu EN 17636.

Tato změna je podstatná především pro kontrolu tavných svarových spojů. Na původní EN1435 se odvolávají normy pro kontrolu odliktů, které ještě nebyly aktualizovány.

Základem pro srovnání je použití běžného filmového systému a jeho rozlišení 88,6 um. Pro srovnání se nepočítá použití filmového systému se zesilovacími fóliemi, které rozlišení ještě výrazně zhoršují. Přestože je nutné brát v úvahu dílčí aplikaci, je ke dni vydání tohoto článku možné získat CR systémy s rozlišením až 30 um případně DR systémy s plochým detektorem s rozlišení 50um. Rozlišením je tedy dostupný digitální systém srovnatelný s běžným filmovým systémem. Rozlišení snímku je možné ovlivnit nastavením digitálního systému a tak se vyžaduje použití dvoj-drátkových měrek pro kontrolu.

Výsledná kvalita obrazu je ještě závislá na odstupu signálu od šumu na digitálním snímku. Tento parametr se vyhodnocuje pouze u digitálního obrazu. Digitální systémy běžně dosahují vyšších hodnot než filmový systém. Kvalita závisí na nastavení systému, podobně jak je třeba hlídat manipulaci a kvalitu vyvolávacího procesu u filmu.

Pro kontrolu kontrastních podmínek na snímku se používají standardní indikátory kvality obrazu jako na filmovém systému. Zde především přináší výhody následně nasazení dodatečného digitálního zpracování obrazu.

5. Aplikace a použití technologií

Rozlišení je třeba zvážit především u kontroly svarových spojů, kde se předpokládá kontrola na trhliny. Svarové spoje se většinou nevyskytují na rozdílných tloušťkách. Detekovatelnost vad je v hlavní míře závislá na citlivosti a šumu digitálního systému. Běžné 14 bitové systémy dosahují dostatečných hodnot, ale většinou mají horší šumové vlastnosti než 16 bitové systémy. Kontrastní snímek dovolí detekci i nejmenších detailů, bohužel vyšší kvality obrazu se většinou dosahuje pomocí horšího rozlišení detektoru. To je možné zčásti kompenzovat použitím geometrického zvětšení a vhodného typu rentgenové lampy.

Reálné použití filmů se zesilovacími fóliemi v konečném důsledku vykazuje na svarech většinou horší kontrastní podmínky a i rozlišení, než jak tomu je u dostupných digitálních systémů.

Opačné podmínky jsou nejdůležitější u kontroly odlišností. Platné normy pro kontroly odlišností vyžadují většinou rozlišení, kterým vyhoví i systémy s nižším rozlišením. Hlavní výhodou je použití digitálního systému s větším dynamickým rozsahem, než tomu je u analogového systému. Kontrola může probíhat na větším rozsahu tlouštěk při zachování jednoho nastavení prozařování. Pokud je navíc použit systém pro snímkování v reálném čase, pak je odezva detektoru dalším důležitým faktorem pro aplikaci digitálního systému.

6. Digitální obraz a jeho zpracování

Obraz a jeho kvalita se skládají z komponent jako je:

- věrnost podání
- kontrast
- jas
- ostrost
- šumové poměry

Výhodou digitálních systémů je věrnější podání dopadajícího záření, které na druhou stranu může vést k saturaci lidského oka. Pro optimální zobrazení je tedy třeba eliminovat okrajové podmínky podexponování anebo přeexponování digitálního zařízení. Citlivost těchto zařízení dovoluje získat slušný obraz i při jejich pod nebo přeexponování. V těchto okrajových situacích ale vstupuje výrazněji šum do kvality obrazu.

Digitální zpracování obrazu používá matematické operace pro úpravu obrazu za různými účely. Tyto příklady mají dokumentovat hlavní výhody proč používat digitální techniku, kde analogový záznam toto nedovoluje. Uvádíme pouze některé:

1. Zlepšení kvality obrazu
2. Obnovu zkrasleného obrazu při známém zkraslení
3. Rekonstrukce obrazu především v počítačové tomografii pomocí více snímků
4. Extrakce a rozpoznání detailů v obraze
5. Komprese objemu dat pro uložení snímku

Hlavní výhodou digitálního zpracování obrazu oproti filmům je možnost nastavení kontrastu ve snímku na základě požadavku operátora. Naproti tomu jas je nedílnou součástí nahlížení na kvalitu snímku, ale jeho hodnotu je možné měnit i bez digitálního zpracování jak na negatoskopu, tak i na monitoru. Nedílnou součástí úprav jasu a kontrastu u digitálních snímků je ale použití histogramu. Tento statistický nástroj dává lepší náhled na rozložení jasových úrovní ve snímku. Informaci ze statistického rozložení jasových úrovní je možné následně použít na kompresi dynamického rozsahu. Tato funkce se nazývá ekvalizace histogramu. Vhodně provedená ekvalizace nepůsobí jedním způsobem na šum. Složky šumu, které jsou mimo obsah optimalizace, budou potlačeny a na druhou stranu kontrast na šumu, který je součástí užitečného obrazu, může být zvýšen.

Rozeznání dílčích detailů a celková ostrost snímku závisí nejen na rozlišení detektoru, ale i na celkovém rozlišení celé geometrie včetně ohniska. Digitální zpracování obrazu nabízí další nástroj pro zaostření detailů v obraze. Při nevhodné aplikaci těchto filtrů může dojít a dochází k úpravám, které mohou dokonce zhoršit kvalitu obrazu. Největší činitelem pro znehodnocení obrazu je šum, který je většinou také zvýrazňován.

Šumové poměry v digitálním obraze se odvíjejí od různých zdrojů šumu. Šum je obecně výsledek náhodného procesu. Jeho zdrojem jsou fotony opouštějící zdroj a mají Poissonovo rozložení. Následně fotony, které projdou zkoumaným objektem a jsou zachyceny detektorem nebo filmem, mají binomální rozdělení. Ve výsledku můžeme pozorovat obraz s Poissonovým rozdělením šumu. Mezi nežádoucí signály v obraze patří mimo jiné i artefakty, které se liší tím, že nejsou náhodné a vyskytují se vždy na stejném místě pro danou expozici. Jelikož se nejedná o známý proces jejich tvorby, tak se i hůře eliminují než šum.

Nejběžnějším artefaktem u digitálních snímků je aliasing. Tento jev nastává, pokud chceme po zařazení, aby zobrazilo větší detaily, než je maximální rozlišení obrazu. Někdy se to uvádí také jako lokální, místní nebo prostorový aliasing. Máme tedy informaci, že detaily existují, ale na obraze je nemůžeme rozeznat. Jak jeden detail splyne vizuálně s druhým, tak se stane aliasem toho druhého. Pro zjištění limitů rozlišení obrazu se používají dvoj-drátkové měřky. Většina digitálních systémů má v běžném režimu takovou úroveň šumu, která často eliminuje vznik aliasingu. Tak drobné detaily se většinou ztratí v šumu pozadí. Čím je tedy zařazení kvalitnější a dokáže poskytnout čistší obraz, tím je větší pravděpodobnost, že aliasing vznikne.

7. Závěr

Digitální technologie se může na první pohled zdát jako komplikovanější oproti běžnému filmovému systému. Ve spoustě ohledů se na druhou stranu jedná o podobnou cestu získání radiografického obrazu. Mezi hlavní výhody patří především jednodušší práce s digitálními snímky pro všechny, kteří už běžně pro svojí práci používají počítače. V některých technických aspektech digitální technologie už překonaly běžně používané analogové systémy a ve zbytku se jim vyrovnávají. Nasazení digitálních systémů na většinu pracovišť stojí v cestě již jen správné pochopení a využití ze strany případných uživatelů. Tomuto problému se snaží čelit ti, kteří připravují normy pro správnou práci v radiografii a nabízejí metody jak používat digitální systémy s konečným výsledkem odpovídajícím zaběhlým praktikám. Kromě samotných norem je třeba před použitím systému seznámit se s jeho použitím a nechat se proškolit ve spolupráci s lidmi, kteří již kvalifikaci pro digitální systémy mají, protože stále existuje rozdíl mezi teorií a praxí běžně používaného filmového systému a systému digitálního.



ZMĚNA VODIVOSTI KOMPOZITNÍCH VZORKŮ S PŘÍDAVKEM UHLÍKOVÝCH NANOTRUBIČEK ELECTRIC CONDUCTIVITY CHANGES IN GEOPOLYMER COMPOSITE SAMPLES WITH ADDED CARBON NANOTUBES

Ivo KUSÁK*, Miroslav LUŇÁK*, Ladislav CARBOL*

*Department of Physics, Faculty of Civil Engineering, Brno University of Technology,
Veveří 95, 602 00 Brno, Czech Republic
Contact e-mail: kusak.i@fce.vutbr.cz

Abstrakt

Použitím uhlíkových nanotrubiček můžeme docílit nových jedinečných vlastností stávajících kompozitních materiálů. Ve struktuře těchto materiálů jsou vzduchové mezery, které přímo i nepřímo ovlivňují výsledné vlastnosti. V porézním prostředí kompozitů mohou působit uhlíkové nanotrubičky jako mikroplniva, která vytvoří hutnější a méně porézní strukturu [1]. Dochází ke zmenšení nebo úplnému zániku vzduchových mezíprostor v kompozitním materiálu. Směs se tak stává homogennější, projevuje se zásadní vliv na pozitivní změnu fyzikálně-mechanických vlastností. Příspěvek se zabývá alkalicky aktivovanými materiály na bázi jemně mleté granulované vysokopecní strusky. Je sledována změna elektrických parametrů nanokompozitu (geopolymeru) jako je např. elektrická kapacita bez a s využitím uhlíkových nanotrubiček. Výsledky mohou přispět k dalšímu výzkumu a vývoji alkalicky aktivovaných systémů se zaměřením na praktické využití ve stavebnictví.

Klíčová slova: *impedanční spektroskopie, dielektrické ztráty, ztrátový činitel, uhlíkové nanotrubičky, struktura geopolymeru, elektrická vodivost*

Abstract

Using carbon nanotubes, we can achieve a new unique properties of existing composite materials. In the structure of these materials are air gaps, which directly or indirectly affect the final properties. In porous media composite can act as fillers The carbon nanotubes, which creates a denser and less porous structure. There is a reduction or disappearance air interspace in the composite material. The mixture becomes homogeneous and show a substantial positive impact on the change of physico-mechanical properties. The paper deals with alkali activated materials based on finely ground granulated blast furnace slag. It is intended to change the electrical parameters of the nanocomposite (geopolymer) such as. Electrical capacity and without the use of carbon nanotubes. The results may contribute to further research and development of alkali-activated systems, focusing on practical applications in construction.

Key words: *impedance spectroscopy, dielectric losses, loss factor, carbon nanotubes, geopolymer structure, electrical conductivity*

1. Úvod

Výsledky poukazují, že aplikace uhlíkových nanotrubiček v materiálech má za následek zvýšení pevnosti, pružnosti a celkové trvanlivosti [2]. Nanotrubičky vykazují nízkou hustotu ($1,3\text{--}1,4\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ dle typu uhlíkové nanotrubičky), vysokou tepelnou vodivost ($1\,750\text{--}5\,800\text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$) a díky delokalizovaným vazbám podél celé uhlíkové vrstvy také vynikající elektrickou vodivost. Uhlíkové nanotrubičky jsou považovány za potenciální náhradu výtzuže v kompozitech, protože mají mechanické, elektrické, chemické a tepelné vlastnosti lepší než tradiční vlákna [2].

Alkalicky aktivované materiály, resp. geopolymery představují specifickou skupinu anorganických bezcementových hmot. Vznikají reakcí latentně hydraulických látek nebo pucolánů (granulovaná struska, popílek, metakaolín) s vhodným aktivátorem. Jako aktivátory lze použít roztoky rozpustných sloučenin alkalických kovů, především sodných a draselných, konkrétně uhličitanů, hydroxidů nebo křemičitanů. Produktem této aktivace jsou hydraulická pojiva, která jsou po přidavku vody využitelná pro tvorbu kompozitních látek výborných užitných vlastností [3]. Alkalicky aktivované materiály mohou prakticky sloužit jako alternativy klasických stavebních hmot, zejména cementového betonu, ale díky svým parametrům se mohou uplatnit v řadě ostatních oborů (např. při restaurování památek apod.). Především ve stavebnictví je ale jejich potenciál využit jen ve sporadickém měřítku, a to přesto, že výzkumy alkalicky aktivovaných materiálů probíhají již od šedesátých let minulého století.

Nespornou výhodou použití alkalicky aktivovaných materiálů jsou ekonomické a ekologické přednosti. V těchto materiálech se totiž mohou významně hodnotit druhotné suroviny, vykazující latentní hydraulicitu nebo pucolánovou aktivitu, především velkoobjemové vedlejší produkty z metalurgie a energetiky. Příprava alkalicky aktivovaných pojiv a kompozitů probíhá za běžných nebo jen málo zvýšených teplot, nevyžaduje předcházející výpal poloproduktů na vysokou teplotu (jako je tomu např. u portlandského slínku), ani zpeňování slinováním za vysokých teplot a omezuje se tedy vznik CO_2 ze spalovacích procesů a z rozkladu vápence. Předností alkalicky aktivovaných hmot je také možnost širokého využití často nestandardních plniv, která nejsou používána v technologii výroby betonu.

V tomto příspěvku jsou prezentovány základní elektrické vlastnosti laboratorně připravených alkalicky aktivovaných kompozitních materiálů na bázi jemně mleté granulované vysokopecní strusky s přidavkem různého množství uhlíkových nanotrubiček.

2. Použité materiály

Pro přípravu vzorků bylo použito několik druhů vstupních surovin. Funkci pojiva tvoří alkalicky aktivovaná jemně mletá granulovaná vysokopecní struska. Aktivace se provedla roztokem vodního skla, jehož silikátový modul byl upraven 50 % roztokem hydroxidu sodného na hodnotu $M_s=2,0$. Jako plnivo byl použit jednak normový zkušební písek používaný pro přípravu cementových zkušebních těles při zkoušení pevnosti cementu, tak uhlíkové nanotrubičky v odlišném množství pro různé sady. Složení dílčích směsí popisuje Tabulka 1.

Testovaná tělesa byla vyrobena o rozměrech $20\times 20\times 95\text{ mm}$ a byla vyrobena v množství 3 kusy pro každou z pěti směsí. Jednotlivé výsledky jsou porovnávány s referenčním vzorkem.

Složky	Ref.	0,1 % CNT	0,2 % CNT	0,3 % CNT	0,4 % CNT
struska [g]	140	140	140	140	140
vodní sklo [g]	28	28	28	28	28
písek [g]	140	140	140	140	140
CNT [mg]	0	140	280	420	560
voda [ml]	57	57	57	57	57

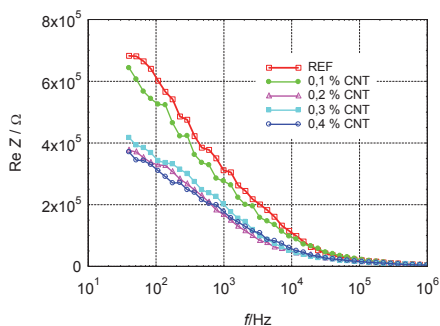
Tabulka 1. Receptury jednotlivých směsí geopolymery
Table 1. Recipes individual mixtures geopolymer

3. Experimentální uspořádání

Testování. Připravená testovaná tělesa (Tabulka 1) byla charakterizována metodou imedanční spektroskopie. Byly použity sinusový generátor signálu Agilent 33220A a dvoukanalový paměťový osciloskop Agilent 54645A. Tyto přístroje byly sestaveny dle navrženého schématu pro plně automatizovaného měření [4-8]. Pro komunikaci zařízení a zpracování dat byl vytvořený software v programovacím prostředí C++ Builder. Vzorky byly proměřovány ve využitím frekvenčním spektru 40 Hz až 1 MHz. Sledované veličiny byly: ztrátový činitel $\tan \delta (f)$, imaginární složka impedance $\text{Im } Z (f)$, reálná složka impedance $\text{Re } Z (f)$, elektrická kapacita C a dopočítána relativní permitivita pro zvolenou frekvenci tohoto spektra. Pro možnost provedení imedanční analýzy bylo nutné umístit vzorky mezi mosazné elektrody s plochou odpovídající ploše testovaných těles (20 × 95 mm) [4-8].

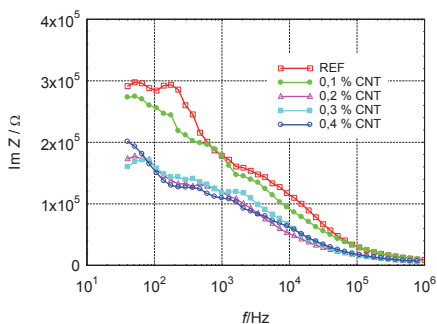
4. Výsledky a diskuze

Střídavý odpor (Obr. 1) vzorku bez CNT (REF) a s koncentracemi 0,1 až 0,4 % byl zjištěn pro frekvence 40 Hz až 1 MHz. Hodnoty $\text{Re}(Z)$ dosahují $7 \times 10^5 \Omega$ a jsou nejvyšší pro referenční vzorek, pro ostatní vzorky byly pozorovány nižší hodnoty. Zvláštním případem je vzorek s CNT s 0,1% koncentrací, který vykazuje v první půli frekvenčního pásma nižší hodnoty střídavého odporu a v druhé půli se hodnoty prolínají s hodnotami referenčního vzorku. Hodnoty reálné složky impedance klesají u všech vzorků společně a blíží se k jednotkám k Ω . Přítomnost uhlíkových nanotrubiček vytváří ve vzorku vodivé cesty, to odpovídá snížení elektrického odporu pro vzorky s vyšší koncentrací CNT, které pozorujeme v grafu na Obr. 1. Byly změřeny hodnoty $4 \times 10^5 \Omega$, byl zjištěn klesající trend, hodnoty se pro vzorky CNT 0,2 až 0,4 % mírně prolínají v celém spektru. Nepřesnost měření jako důsledek prolínání lze vyloučit, dokonce v oblasti 1 MHz pozorujeme odchýlení od křivky retenčního vzorku, patrně v logaritmickém souřadném systému na obou osách. Zastavení zvyšování vodivosti s rostoucí koncentrací CNT může být důsledkem reálných podmínek míchání jemných CNT do čerstvé směsi geopolymery, kdy se trubičky shlukují k sobě a tak nejsou rovnoměrně rozprostřeny při stěnách vzorku, na které jsou později přikládány vodivé deskové elektrody. Podobný důsledek bude mít možné rozbití CNT na menší kusy, opět jako důsledek míchání.



Obr. 1 Graf závislosti reálné složky impedance na frekvenci

Fig. 1 Graph of the real part of the impedance at the frequency

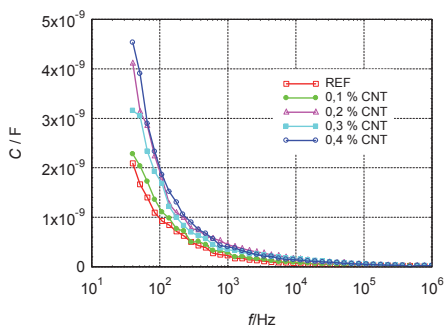


Obr. 2 Graf závislosti imaginární složky impedance na frekvenci

Fig. 2 Graph of the imaginary part of the impedance at the frequency

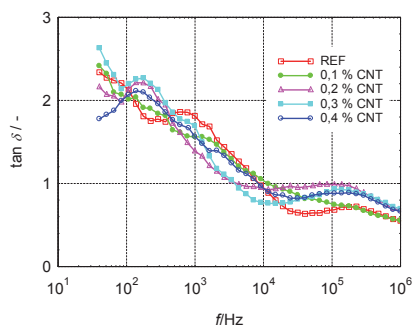
Pro imaginární složku impedance v závislosti na frekvenci (Obr. 2) pozorujeme stejné trendy průběhů a úrovně křivek, začínající pro referenční vzorek u největších hodnot $3 \times 10^5 \Omega$. Dále hodnoty poklesnou s rostoucí koncentrací CNT. V oblasti 1 MHz se k sobě přibližují, hodnoty impedance dosahují $6 \times 10^3 \Omega$, ale od posledních hodnot referenčního vzorku se znatelně liší.

Elektrická kapacita vzorků pro použité koncentrace CNT vykazuje nárůst přibližně dvojnásobný než u referenčního vzorku (Obr. 3). Výsledky u CNT s 0,1 % opět vykazují přiblížení se ke kapacitě referenčního vzorku v celém spektru frekvencí. Nárůst elektrické kapacity díky příměsi CNT je důsledkem schopnosti CNT pojmout elektrický náboj ať už ve formě volného nosiče nebo vytvořením dipólových elementů.



Obr. 3 Graf závislosti elektrické kapacity na frekvenci

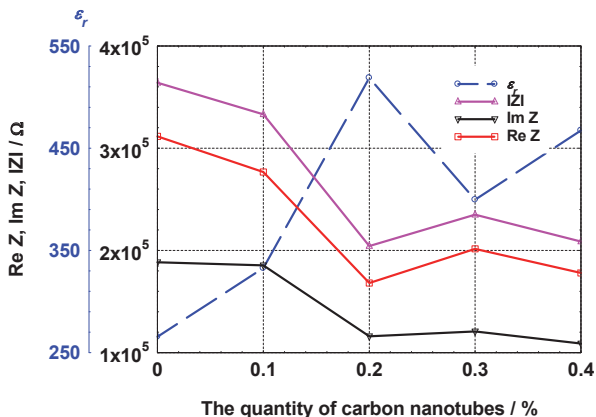
Fig. 3 Graf, depending on the frequency of electrical capacity



Obr. 4 Graf závislosti ztrátového činitele na frekvenci

Fig. 4 Graph of dissipation factor at a frequency

Zjištěná spektra ztrátového činitele (Obr. 4) se odlišují od běžně pozorovaných závislostí cementových materiálů. Křivka ztrátového činitele pro referenční vzorek zahrnuje jedno maximum kolem jednoho kHz a další kolem frekvence 2×10^5 Hz. U příměsi CNT 0,1 % tato maxima zanikají, křivka má klesající trend, odpovídající vodivostním ztrátám. U příměsí 0,2 a 0,3 % CNT dochází k vytvoření polarizačních maxim, ale v oblasti kolem 160 Hz a 10^5 Hz. Křivka 0,4 % CNT je oproti předchozí výrazně nižší pouze do frekvence 100 Hz, dále se k předchozím dvěma spíše přimyká, ve střední části spektra jsou hodnoty mírně vyšší, ale dále opět dochází k prolnutí. Elektrická relativní permitivita vypočtená pro frekvenci 1 kHz nabyla hodnoty 250 až 550 (Obr. 5). Do koncentrace CNT 0,2 % rostla k maximum, u koncentrace 0,3 % nastal pokles a následný mírný nárůst pro CNT 0,4 %.



Obr. 5 Hodnoty relativní permitivity a složky impedance pro referenční frekvenci 1 kHz
 Fig. 5 Values of relative permittivity and impedance components of the reference frequency of 1 kHz

Hodnoty obou složek impedance včetně velikosti absolutní hodnoty impedance impedance vykazují s rostoucí koncentrací pokles, což lze očekávat, avšak pro koncentrace 0,3 a 0,4 % došlo k mírnému zvýšení vzhledem k bodu CNT 0,2 %.

	ϵ_r [-]	$\text{Re } Z$ [k Ω]	$\text{Im } Z$ [k Ω]	$ Z $ [k Ω]	C [pF]
REF	265,5	311,539	188,459	364,106	228
0,1 % CNT	332,7	276,723	185,487	333,138	286
0,2 % CNT	518,9	168,162	115,939	204,255	446
0,3 % CNT	399,6	201,519	120,798	234,951	343
0,4 % CNT	467,4	177,982	108,904	208,657	401

Tabulka 2. Electrical parameters of specimens, measured with reference frequency of 1 kHz
 Table 2. Electrical parameters of specimens, Measured with a reference frequency of 1 kHz

5. Závěr

Na základě pozorovaných nečekaných abnormalit v trendech křivek se můžeme domnívat, že při míchání CNT vláken do směsi geopolymery došlo u vyšších koncentrací k rozlámání vláken, které nebyly dostatečně souvislé k vytvoření vodivých cest a vzorky vykazovaly horší vodivost, než byla očekávána. Absolutní hodnota impedance nicméně klesá s přibývajícím množstvím CNT vláken a relativní permitivita vykazuje v komplexním pohledu nárůst.

Poděkování

This paper has been worked out under the project No. LO1408 "AdMaS UP - Advanced Materials, Structures and Technologies", supported by Ministry of Education, Youth and Sports under the „National Sustainability Programme I" and under the project FAST-S-15-2626 – Using the alternating electric field for the assessment of physical properties of building materials supported by Faculty of Civil Engineering Brno University of Technology.

Literatura

- [1] J. H. Monica, A.T. Harris, *Nanotechnology innovations for the Construction industry*, Progress in Materials Science 2013 roč. 58, s. 1056 –1102.
- [2] M. Saafi, K. Andrew, D. Mcghon, S. Taylor, M. Rahman, S. YANG, X. ZHOU, P. L. TANG, *Multifunctional properties of carbon nanotube/fly ash geopolymeric*. Construction and Building Materials 2013, roč. 49, s. 46-55.
- [3] P. Lhoták, *Chemie Fullerenů* [online]. [cit. 2014-04-13].
Dostupné z: http://www.uochb.cas.cz/Zpravy/PostGrad2004/7_Lhotak.pdf
- [4] I. Kusák, M. Luňák, P. Schauer, Tracing of Concrete Hydration by Means of Impedance Spectroscopy (New Tool for Building Elements Testing), in: Applied Mechanics and Materials, ISSN 1660-9336, Trans Tech Publications, Switzerland, (2013).
- [5] I. Kusák, M. Luňák, *Comparison of Impedance Spectra of Concrete Recorded with Utilizing Carbon Transition Paste*, in: Advanced Materials Research, ISSN 1022-6680, Trans Tech Publication, Switzerland, (2014).
- [6] L. Pazdera, L. Topolář, V. Bílek, J. Smutný, I. Kusák, M. Luňák, *Measuring of Concrete Properties during Hardening*, In ESA 2010. 1. CZ, Palacky University. Pages 311 - 318. ISBN 978-80-244-2533-7, (2010).
- [7] M. Luňák, I. Kusák, Z. Chobola, *Dielectric Properties of Concrete Specimens after Heat Stress*, článek v Applied Mechanics and Materials, ISSN 1660-9336, Trans Tech Publications, Switzerland, (2014).
- [8] M. Cabeza, P. Merino, A. Miranda, X.R. Novoa and I. Sanchez, *Impedance spectroscopy study of hardened Portland cement paste*, Cement and Concrete Research, 32 881-91 (2002).



AN INVESTIGATION ON THE POTENTIAL APPLICABILITY OF IMPACT-ECHO METHOD FOR DEFECTOSCOPY OF CONCRETE SHIELDING IN NUCLEAR POWER STATION

Monika MANYCHOVÁ*, **Luboš PAZDERA**, **Marta KOŘENSKÁ**
Brno University of Technology, Faculty of Civil Engineering
Manychova.m@fce.vutbr.cz

Abstract

Concrete shielding is used in nuclear power stations to increase in radiation safety. Concrete structures ageing, cracks, pores and delamination, can affect nuclear power stations lifetime protraction negatively. Inspections of concrete shielding are necessary from the point of view of possible structure integrity degradation during its working life. Non-destructive method application is usually difficult for limited access to concrete shielding. The paper deals with study of use possibility of Impact-echo method for the given configuration of excited impulse and response sensor. Measurement results showed that the information about concrete structure quality cannot be obtained from response signal for the given configuration.

Key words: *nuclear power station, concrete shielding, non-destructive testing, structure integrity, impact-echo method, mechanical impulse, response signal*

1. Introduction

Safety is basic and primary requirement during nuclear power station operation. Incipient radioactive material and radiating must not get into environment and threaten power station staff. Radioactive shielding systems belong to the basic safety precaution and their aim is restraining infiltration of contaminating material to environment during operation and in the case of nuclear disaster too. A multiple barrier system, which consists of line of interactive independent barriers, is used usually for the shielding. In case of one barrier failure, remaining barriers prevent possible radioactive leakage. The containment, which creates last barrier, consists of concrete protective cover with steel hermetic lining which rounds reactor and main equipment of primary circuit. It prevents infiltration of radioactive material to environment in case of disaster.

However, the absence of an acceptable, relatively fast and cheap monitoring method, which would be capable of detecting concrete structure faults at an early stage remains a problem [1]. Therefore, development of new and simple defectoscopic methods, capable of detecting the integrity of these problematic structures is high importance. It is also essential to develop and/or refine the methods designed to estimate the reliability and the lifetime of the concrete structure. Acoustic methods (e. g. acoustic emission, impact echo method, nonlinear ultrasonic spectroscopy) are promising for structural constructions diagnostics [2-5]. It is also essential to add that the possibilities of concrete structure integrity monitoring are

limited by difficult admission to the concrete cover. Presented work deals with possibility of impact echo method use for monitoring of concrete protective cover integrity for given configuration of exciting impulse and sensor of response recording. This method is used for non-destructive quality evaluation of building elements and concrete and masonry structures, for example [6-10].

2. Experimental part

An experiment object was containment cutout with defined measuring points (exciting impulse and sensor positions) for monitoring of concrete shielding in situ (see Fig. 1).

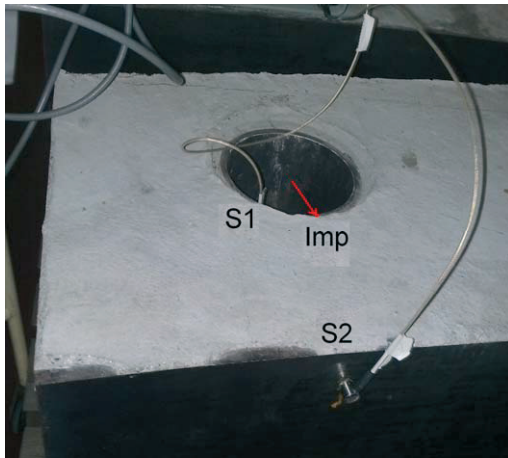


Fig. 1 Exciting impulse Imp and sensor S1, S2 location

Mechanical impulse was realized inside the pipe embedded in concrete (one and only practicable access in situ) and on the concrete surface for confrontation reasons. Two sensors were used for recording response. In the first stage, one sensor S1 was mounted inside the pipe, in the vicinity of exciting impulse, and the second sensor S2 was mounted on the steel lining for confrontation response signals. Recorded response signals were analyzed with the use of FFT. The measurement results are represented in the form of frequency spectra.

The first measurement was focused on the verification of the measurement result reproducibility. Mechanical impulse was repeated with different intensity. In this case, the frequency spectra were analysed from nonlinearity point of view as structural failure demonstration too. The structural integrity failure produces shift of dominant frequency during the higher intensity of exciting signal. In the Fig. 2, it can be seen that no nonlinear effects in the signal propagations are due to the structural integrity failure of this object.

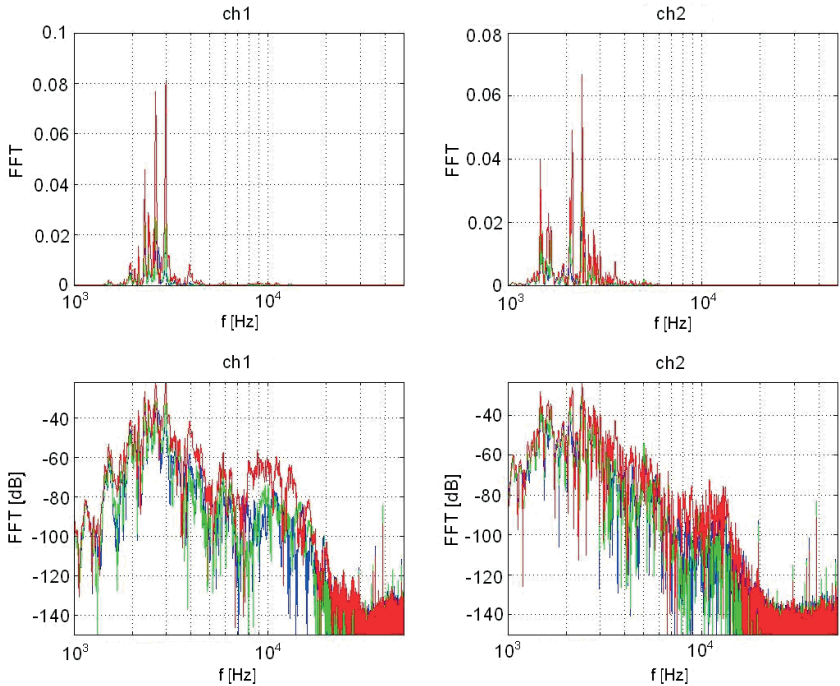


Fig. 2 Response frequency spectra of three mechanical impulses; sensor S1(ch1) mounted inside the pipe (left), sensor S2(ch2) mounted on the steel lining (right)

Response spectrum from sensor S1 mounted inside the pipe differs from the response spectrum from sensor S2 mounted on the steel lining, see Fig. 3. The upper graphs correspond to the sensor S1 mounted inside the pipe; the lower graphs correspond to the sensor S2 mounted on the steel lining. The higher attenuation in case of sensor S1 (inside the pipe) in comparison with sensor S2 (on the steel lining) can be seen in this Figure. Dominant frequencies of response from sensor S1 occur in the frequency range from 3 kHz to 10 kHz. In the case of the response frequency spectrum from sensor S2, frequency range from 1 kHz to 3 kHz, which is related to signal propagation through the lift concrete and its connection with the steel lining, is emphasized.

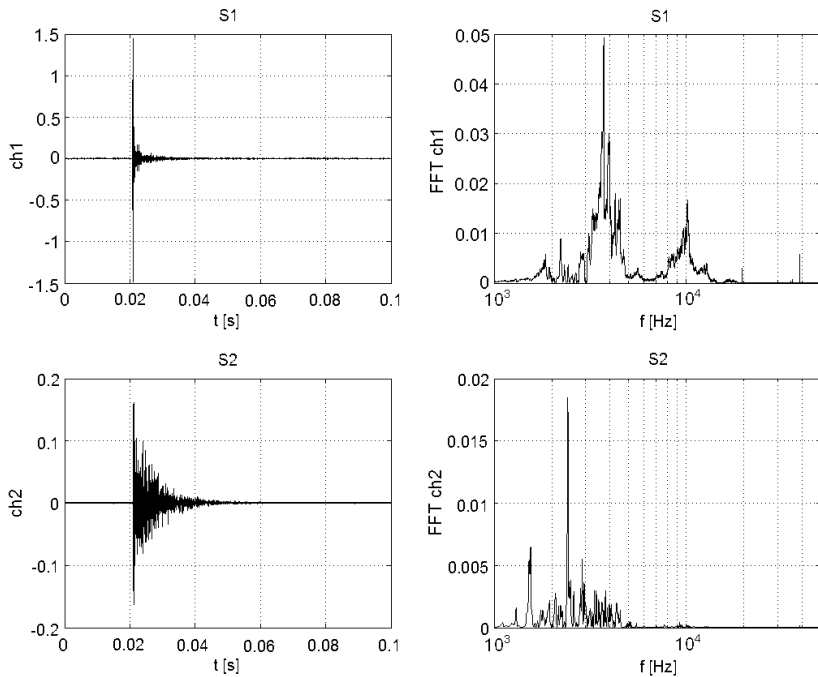


Fig. 3 Time plot and response frequency spectrum during realization of exciting impulse inside the pipe; graphs correspond to sensor S1(ch1) – above, graphs correspond to sensor S2(ch2) – below

The mechanical impulse was realized on the upper concrete surface in the second measurement stage, see Fig. 4.

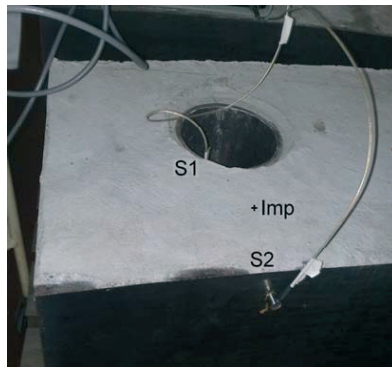


Fig. 4 Exciting impulse Imp and sensor S1, S2 location

The frequency components related with signal propagation through the concrete lift appeared partly also in frequency spectrum of response signal recorded by sensor S1 (mounted inside the pipe) as it is visible in Fig. 5.

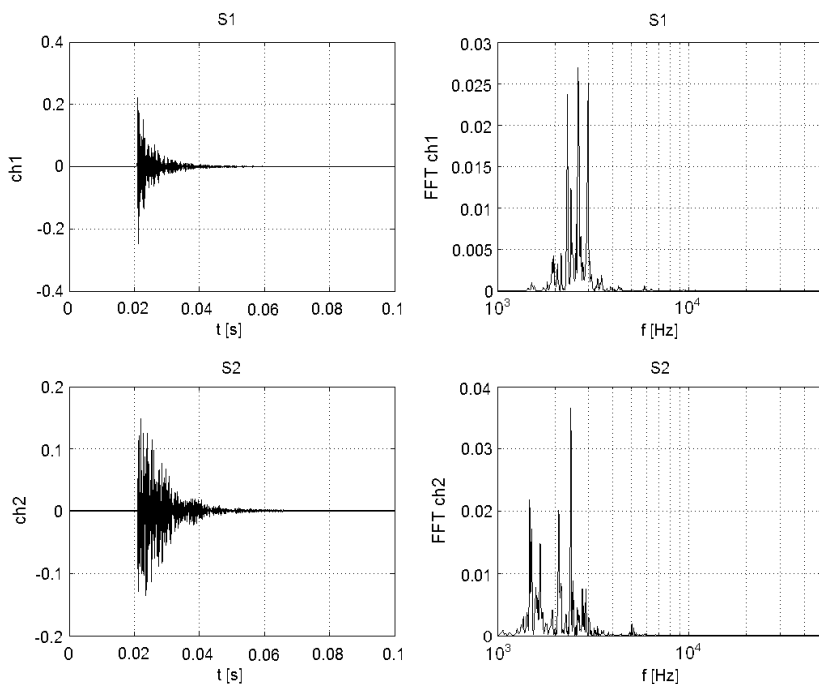


Fig. 5 Time plots and response frequency spectra during realization of exciting impulse on concrete upper surface; graphs correspond to sensor S1(ch1) - above, graphs correspond to sensor S2(ch2) - lower

Both sensors S1, S2 were mounted inside the pipe in the third measurement stage. Exciting signal was realized in the pipe between sensors, see Fig. 6. Measurement results from this configuration are presented in Fig. 7. It is evidently from both graphs in Fig. 7 that frequency components do not occur in range from 1 kHz to 3 kHz which is related to signal propagation through concrete structure in case of both sensors.

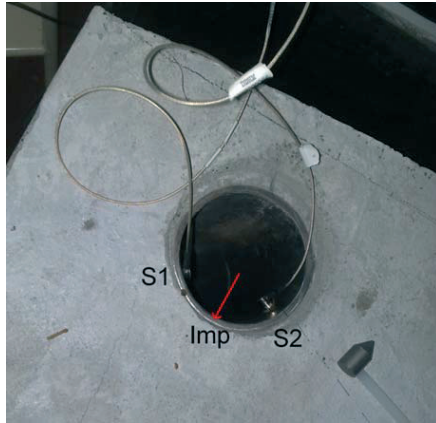


Fig. 6 Exciting impulse Imp and location of sensors S1, S2 inside the pipe

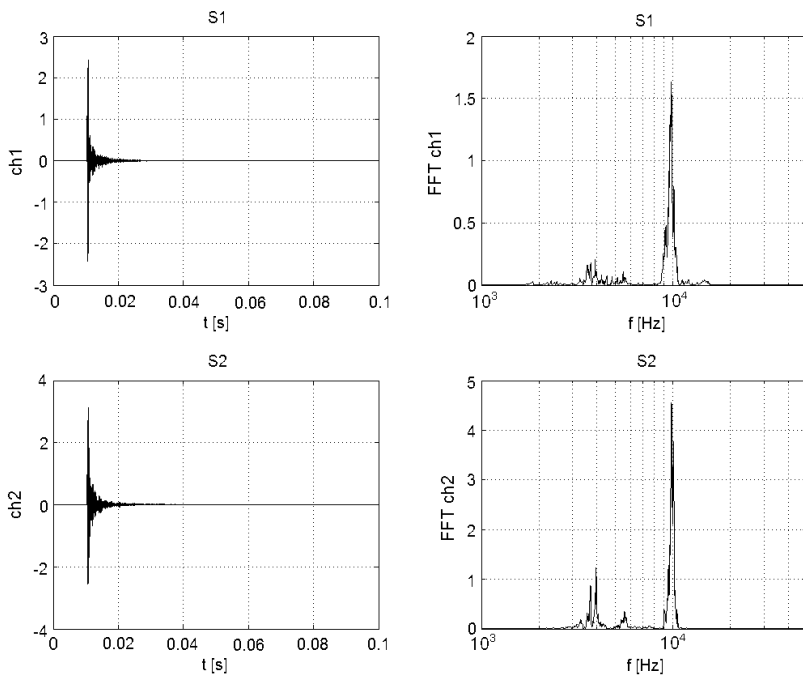


Fig. 7 Time plots and response frequency spectra during realization of exciting impulse in the pipe and location of both sensors inside the pipe; graphs correspond to sensor S1(ch1) - above, graphs correspond to sensor S2(ch2) - lower

3. Conclusion

The analysis of measurement results proved that structural defects in concrete shielding do not reliably detect requested configuration of the exciting impulse and sensor location inside the pipe.

Frequency components related to concrete shielding are fully suppressed in response frequency spectra in case of sensors located inside the pipe.

Acknowledgments

This paper has been worked out under the project No. LO1408 "AdMaS UP - Advanced Materials, Structures and Technologies", supported by Ministry of Education, Youth and Sports under the „National Sustainability Programme I”.

References

- [1] Sack, D. A., Olson, L. D. (1995): Advanced NDT methods for evaluating concrete bridges and other structures. Original Research Article, NDT and E International 1995, 28(6): p. 349-357
- [2] Leśnicki, K.J., Kim, Jin-Y, Kurtis, K.E., Jacobs, L.J., (2011): Characterization of ASR damage in concrete using nonlinear impact resonance acoustic spectroscopy technique. Original Research Article, NDT and E International, 44(8): p. 721-727.
- [3] Quiviger, A., Girard, A., Payan, C. et al., (2013): Influence of the depth and morphology of real cracks on diffuse ultrasound in concrete: A simulation study. NDT&E International, vol. 60, p. 11-16, 2013.
- [4] Lacouture, J., Johnson, P.A., Cohen-Tenoudji, F., (2003): Study of critical behaviour in concrete during curing by application of dynamic linear and nonlinear means. J. Acoust. Soc. Am. 2003; 113(3): p. 1325-1332.
- [5] Antonaci, P., Bruno, C. L. E., Gliozzi, A. S., Scalerandi, M., Bocca, P. G., (2010): Monitoring evolution of compressive damage in concrete with linear and nonlinear ultrasonic methods. *Cement and Concrete Research.*, vol. 40(7), p. 1106-1113, 2010.
- [6] Korenska, M., Pazdera, L., Ritickova, L., (2001): Resonant inspection – Interesting non-destructive testing tools for determine quality of tested specimen. In: Proceedings of 6th International Conference of the Slovenian-Society-for-Non-Destructive-Testing, Portoroz, Slovenia 2001: p. 45-48.
- [7] Korenska, M., Pazdera, L., Pospisil, K., et al., (2005): Detection of the reinforcement corrosion in prestressed concrete girders. In: Proceedings of 8th International Conference of the Slovenian-Society-for-Non-Destructive-Testing, Portoroz, Slovenia 2005: p. 317-322.
- [8] Korenska, M., Manychova, M., (2010): New Possibilities of Non-Destructive Testing of Ceramic Specimens Integrity. *Ceramics-Silikaty*, vol. 50(1), p. 72-77.
- [9] Korenska, M., Manychova, M., Pazdera, L., (2013): Experimental Study of the Nonlinear Effects Generated in a Concrete Structure with Damaged Integrity. *RUSSIAN JOURNAL OF NONDESTRUCTIVE TESTING*, Vol. 49(9), p. 530-537.
- [10] Korenska, M., Manychova, M., Pazdera, L., et al., (2014): Monitoring of the Damage in Stone Blocks by Means Non-Destructive Methods. Conference: 7th International Conference on Material Structure and Micromechanics Fracture, Brno, Czech Republic, Jul. 01-03, p. 2013.



VYUŽITÍ METODY AKUSTICKÉ EMISE PRO IDENTIFIKACI POŠKOZENÍ PNEUMATICKÝCH VÁLCŮ USE OF ACOUSTIC EMISSION METHOD TO IDENTIFY DAMAGE OF PNEUMATIC CYLINDERS

Pavel MAZAL *, **Houssam MAHMOUD ***, **Miroslav JÁNA ****
Vladimír BUKÁČEK **, **František VLAŠIC *****

* VUT v Brně, ** Poličské strojírny a.s., *** ZD Rpety - DAKEL
contact e-mail: mazal@fme.vutbr.cz, bukacek@pos.cz, vlastic@dakel.cz

Abstrakt

Běžnou součástí bezobslužných nepřetržitých provozů jsou různé pneumatické prvky. Tato zařízení s pohyblivými díly mají omezenou životnost, což negativně ovlivňuje chod celých výrobních linek. V současné době je diagnostika činnosti pneumatických systémů založena především na sledování vibrací, na principu ultrazvuku, případně je testováním postupem hluková analýza činnosti zařízení. Možnosti těchto metod se však ukazují jako nedostatečné, málo citlivé a značně nespolehlivé.

Metoda AE zatím není v oblasti identifikace poruch pneumatických zařízení mechanismů prakticky nasazována. Akustická emise však má velký potenciál být užitečným doplňkem běžných metod diagnostiky i v této oblasti uplatnění. Dosavadní výsledky experimentů realizovaných v oblasti diagnostiky poškození pneumatických válců na VUT v Brně jsou sumarizovány v příspěvku.

Klíčová slova: akustická emise, pneumatický válec, poškození

Abstract

A normal part of unattended continuous operations are different pneumatic elements. These devices with moving parts have a limited lifespan and their failure will adversely affect the operation of the whole production lines. Currently, the diagnosis of the pneumatic systems are mainly based on vibration monitoring, on the principle of ultrasound and on the analysis of the noise of the equipment. The capabilities of these methods, however, have proved insufficient, less sensitive and highly unreliable.

The method of AE is not yet in the area of identification of disorders of the pneumatic device mechanisms practically deployed. Acoustic emissions, however, has great potential to be a useful complement to the conventional methods of diagnosis in this area of application. The results of experiments in the field of diagnosis of damage of pneumatic cylinders at Brno University of Technology are summarized in the paper.

Key words: acoustic emission, pneumatic cylinder, damage

1. Úvod

Metoda akustické emise (AE) již prošla dlouhodobým vývojem a to konkrétně v oblasti přístrojů. Moderní analyzátoři umožňují sofistikované měření signálů na povrchu testovaných objektů. Poněkud obtížnější je samotná identifikace zdroje signálu AE. Tato metoda je však běžně užívána k diagnostice tlakových ventilů, nádrží, potrubí a energetických zařízení.

Prvním výzkumem využití AE jako metody pro detekci defektů v pneumatických obvodech se zabývali Dickey, Dimmick a Moore [1]. V jejich výzkumu je popsán vzájemný vztah mezi amplitudou signálu AE a velikostí úniku vzduchu z ventilu. Obdobná studie je popsána v článku [2], kde byl popsán vztah signálu AE a velikosti úniku v časové frekvenci. V těchto dvou studiích byl však pouze naznačen potenciál využití AE jako metody pro detekci vad v pneumatických obvodech, ale výsledky zde nevedou k vytvoření konkrétní metodiky s možností využití v průmyslu.

Vývoj využití metody AE v pneumatických obvodech opětovně pokračoval v posledních desetiletích. Hlavním cílem vývoje metodiky AE je analýza úniků na specifických částech pneumatického obvodu, jako jsou písty a válce. V publikaci [3] je popsáno využití AE pro diagnostiku pneumatických systémů elektráren. V této studii byla provedena detekce úniků třemi metodami, jako je AE, hluková a vibrační analýza. V publikacích [4] a [5] bylo využito měření AE k detekci úniků ve ventilech s cílem vyvinutí univerzální metody pro popis charakteru úniku. Výzkum [4] prezentuje výsledky vlivu velikosti úniku na hodnoty RMS signálu AE, kde byly použity senzory AE. Dále byl testován vliv rozdílných vnitřních tlaků na signál AE. Výsledky experimentu zde prokazují, že velikost hodnot RMS signálu AE roste spolu s rostoucí velikostí úniků nebo s vyšší velikostí tlaku uvnitř ventilu.

Ve studii [5] byla detekce velikosti úniků řešena analytickou metodou. Byl zde analyzován efekt odlišných velikostí ventilů na signál AE, ze kterého pak byla determinována hodnota amplitudy. Signál byl zde analyzován za pomoci Fourierovy transformace. Mimo jiné byl v této studii navržen postup metodiky pro determinaci velikosti úniku na základě signálu AE. Tato metoda je založena na parametrech zahrnujících vliv geometrie ventilu a vnitřního tlaku. Konkrétní hodnota úniku je obdržena aplikací těchto parametrů při zpracování signálu AE. Avšak experimenty této studie byly prováděny v laboratořích za předem stanovených podmínek. Z tohoto důvodu nelze navržený postup zcela aplikovat jako metodu diagnostiky v průmyslu při náhodných provozních podmínkách.

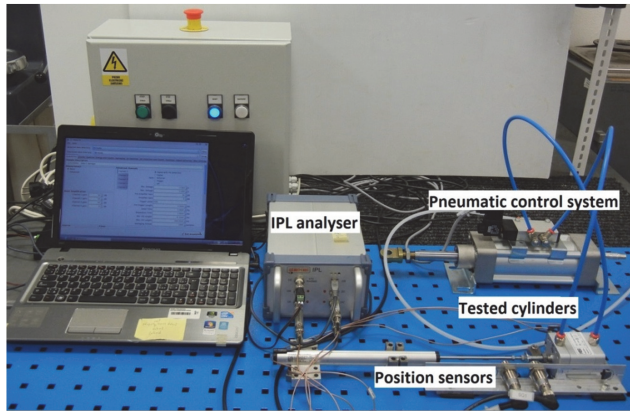
Laboratoř Ústavu konstruování na Vysokém učení technickém v Brně se již dlouhodobě zabývá vývojem akustické emise v oblasti nedestruktivního testování a to pro cyklicky zatěžované materiály a strojní součásti (únava materiálů, kontaktní únava, ložiska atd.). Kromě těchto tradičních aplikací byl výzkumnou skupinou podpořen výzkum pro využití tohoto způsobu nedestruktivního testování k dalším specifickým analýzám [6, 7, 8].

2. Experiment

Výzkum metody AE pro diagnostiku částí pneumatických systému byl zahájen i na vědeckém pracovišti Ústavu konstruování VUT v Brně. Výzkum je převážně zaměřen na diagnostiku pneumatik a je podporován projektem ve spolupráci se společností

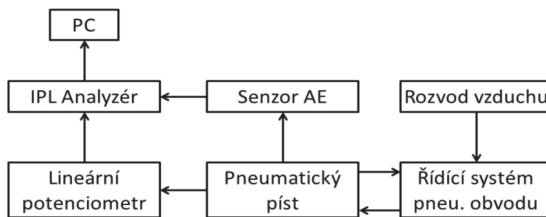
Poličské strojírny a.s. Cílem výzkumu je vytvořit metodu diagnostiky poruch na konkrétních typech pneumatických válců.

Pro testování chodu pístů byla sestavena experimentální stanice, která umožňuje detekci poškození válců během chodu. Měřicí řetězec stanice, sloužící pro analýzu poškození pístů, se skládá ze: tří či čtyř snímačů AE, lineárního polohového potenciometru a 4-kanálového IPL analyzátoru (obr. 1). Pro měření a následné zpracování signálu byl použit systém společnosti DAKEL. Chod stanice byl regulován pneumatickým kontrolním systémem, jehož schéma je uvedeno na obr. 2.



Obr. 1 Sestava měřicí aparatury

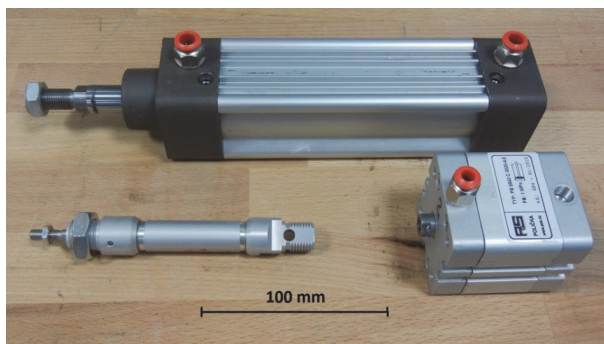
Fig. 1 Assembly of experimental equipment



Obr. 2 Schéma zapojení experimentální stanice pneu válců

Fig. 2 Schema of the experimental stand for testing of pneumatic cylinders

Nejprve byly měřeny válce bez poškození, jejichž signál AE byl porovnán a použit jako vzor správného chodu válce. Posléze byly vytvořeny vady na jednotlivých válcích. Celkem bylo použito 14 válců, každý s odlišným typem vady (obr. 3). Nejprve byly válce měřeny senzory AE za účelem detekce vad, které je možno metodou AE analyzovat. Dále byly snímače umístěny ve třech pozicích na tělese, čímž byla určena nejvhodnější pozice pro měření. Lineární polohový potenciometr byl použit pro měření pozice pístnice během jeho chodu.

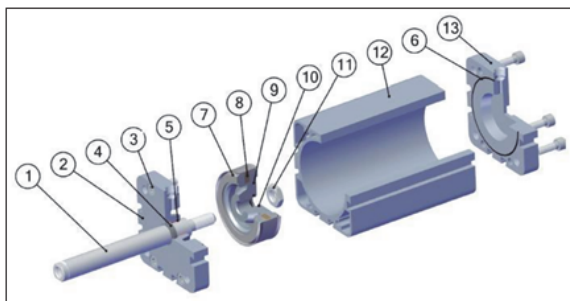


Obr. 3 Typy testovaných pneumatických válců

Fig. 3 Types of tested pneumatic cylinders

3. Výsledky experimentů

Pro analýzu dat se osvědčila jako nejvhodnější metoda založená na spektrální analýze. Aplikací této metody bylo možné identifikovat konkrétní frekvence a odlišit signály získané od nepoškozených a poškozených válců. Dále také pro zpracování signálu byla využita obálková metoda, avšak zde nebylo dosaženo tak přesných výsledků jako u předchozí metody. Prezentované výsledky byly získány na válcích s označením PB 6040C (Poličské strojírny), jejichž struktura je zobrazena na obr. 4.



Obr. 4 Schéma pneumatického válce PB 6040C

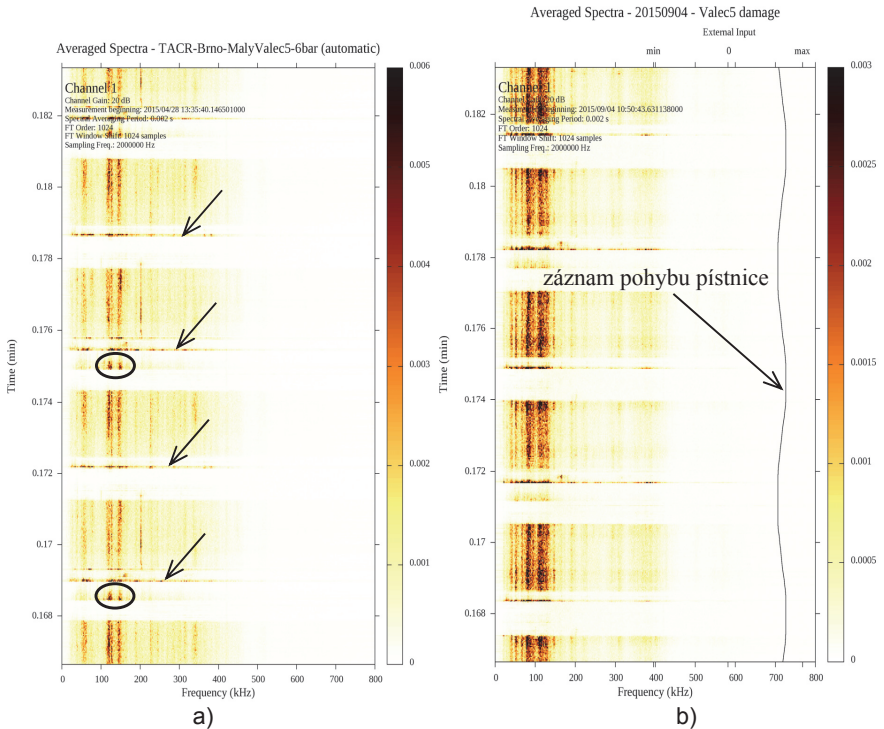
Fig. 4 Scheme of the pneumatic cylinder PB 6040C

- | | | |
|--------------------|-----------------|-----------------|
| 1 pístnice | 6 O-kroužek | 11 matice |
| 2 přední víko | 7 těsnění pístu | 12 těleso válce |
| 3 šroub | 8 magnet | 13 zadní víko |
| 4 těsnění pístnice | 9 píst | |
| 5 vedení pístnice | 10 O-kroužek | |

Pásmo měřených frekvencí je definováno parametry senzorů AE a jeho velikost se pohybuje přibližně v rozsahu od 50kHz do 400kHz. V získaném signálu AE docházelo k úbytku či nárůstu některých dominantních frekvencí a to dle typu poškození válce.

Na obr. 5a je znázorněn krátký úsek záznamu signálu snímače AE, který byl umístěn ve střední části těla nepoškozeného válce. Bílá pole mezi jednotlivými cykly označují min. a max. vysunutí pístnice, z čehož vyplývá, že senzor detekuje signály pouze během fáze vysouvání a zasouvání. Ze záznamů jdou také vyčíst okamžiky zahájení půl-cyklu krátkodobými impulzy v širším rozsahu frekvencí (označeno šipkami). Při max. vysunutí těsně před zahájením zasouvání byly navíc nalezeny signály s dominantními frekvencemi kolem 120 a 140 kHz, které mají zřejmě spojitost s vlastní funkcí válce (označeno kruhy). Měření na zbytku nepoškozených válců stejného typu mělo velmi podobný charakter.

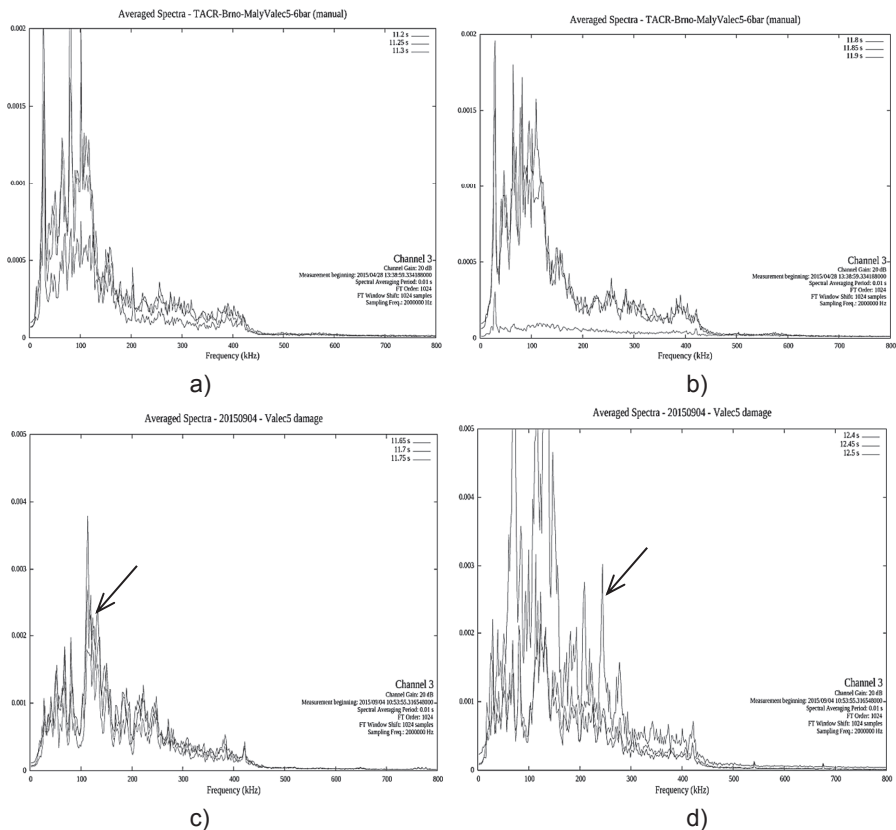
Dále bylo provedeno měření s poškozenými válci. Zde byly použity stejné válce jako u předchozího měření, avšak již s vytvořenými vadami. Konkrétně na uvedeném měření na obr. 5b se jedná o nařznutí O-kroužku (pozice 10 na obr. 4). Na záznamu je také zakreslen pohyb pístnice z potenciometru (černou barvou v pravé části grafu). Výsledky ukazují obdobné chování jako u nepoškozeného válce, avšak s tím rozdílem, že tento defekt způsobuje potlačení některých nižších frekvencí a zvýraznění frekvencí reflektující dané poškození. Tyto frekvence se opakují pro každý cyklus pohybu pístu.



Obr. 5 Frekvenční spektrum v čase (1 vteřina) nepoškozeného (a) a poškozeného (b) válce PB s přestříženým O-kroužkem na pístu

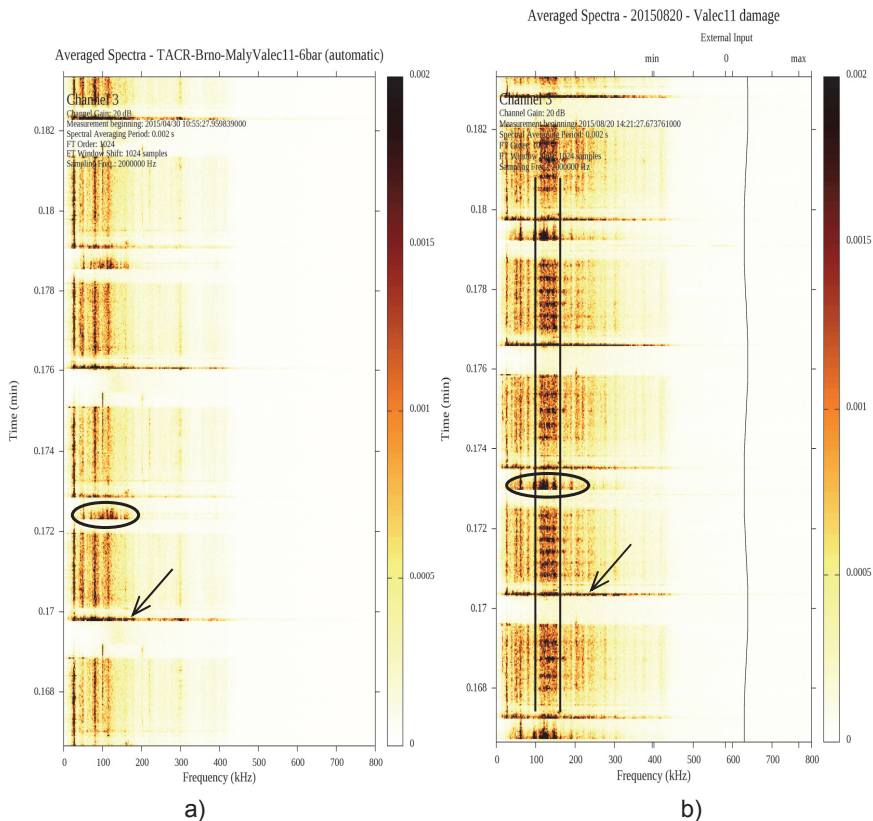
Fig. 5 Spectral analysis in particular time - differences between signal spectrums obtained from signals of the cylinder without defect (a) and with defect (b)

Zmiňované frekvence jsou lépe viditelné na dalších grafech, které porovnávají frekvenční spektra při vysouvání a zasouvání pístnice v případě nepoškozeného (obr. 6a, b) a poškozeného válce (obr. 6c, d). Na první pohled se jeví rozdíly velké, ale po detailnějším rozboru jsou obě fáze podobné. V čem se však nepoškozený a poškozený válec liší, jsou přenášené frekvence. Zatímco pro nepoškozený jsou typické tři až čtyři hlavní frekvence do 100 kHz, poškozený má daleko vyšší amplitudy zejména v oblasti nad 100 kHz (označeno šipkami).



Obr. 6 Frekvenční spektrum nepoškozeného válce PB při vysunutí (a) a zasunutí pístnice (b) a poškozeného při vysunutí (c) a zasunutí (d) pístnice
Fig. 6 Spectral analysis of the cylinder without defect at ejected (a) and inserted position (b) and with defect at ejected (c) and inserted position (d)

Jako porovnání chování válce s naříznutým O-kroužkem, je na obr. 7a, b prezentováno srovnání válce nepoškozeného s několika málo cykly a po najetí více než 12 tis. cyklů. Také zde byly nalezeny obdobné jevy jako v případě nepoškozeného z obr. 5a, avšak opotřebení je zde více zřetelné posunem hlavních frekvencí k vyšším hodnotám a zachováním přibližně stejných amplitud na rozdíl od válce poškozeného defektem. U „nového“ dominují opět tři až čtyři frekvence do 100 kHz. Válec s 12 273 cykly se projevuje výrazným pásem frekvencí od cca 115 do 160 kHz (znázorněným na obr. 7b černými vertikálními čarami).

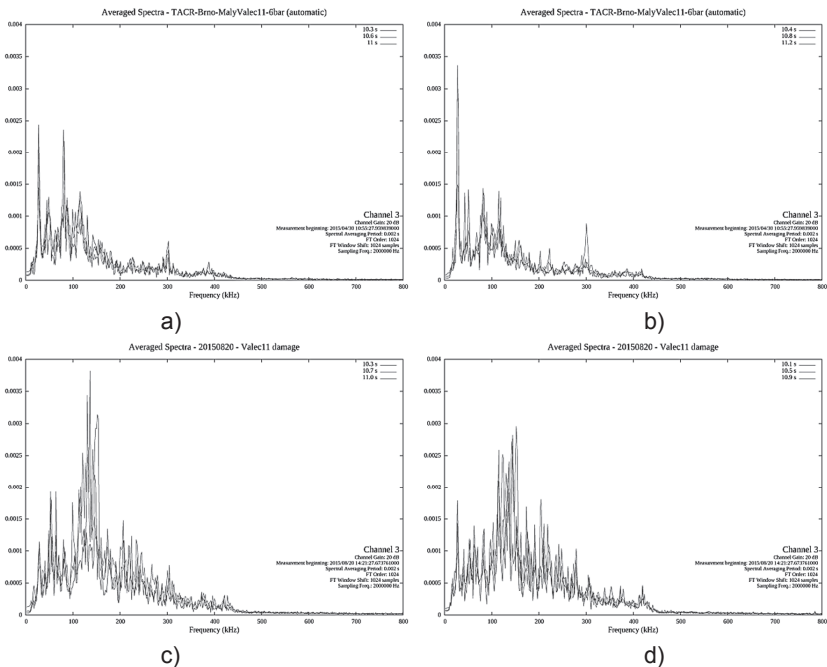


Obr. 7 Frekvenční spektrum v čase (1 vteřina) nepoškozeného válce (a) a válce po 12 273 cyklech (b)

Fig. 7 Spectral analysis in particular time - differences between signal spectrums obtained from signals of the cylinder without defect (a) and after 12 273 cycles (b)

Opět tyto frekvence jsou lépe viditelné na obr. 8. Amplitudy obou válců jsou přibližně na stejné úrovni, ale nosné frekvence u válce s najetými cykly jsou posunuty směrem k vyšším hodnotám.

Ve článku je porovnáván pouze jeden typ vady z mnoha definovaných výrobcem a válce s najetím více než 12 tis. cyklů. Z výše prezentovaných výsledků je zřejmé, že metodou AE a frekvenční analýzou je možné identifikovat rozdíly mezi nepoškozenými a poškozenými válci s různým rozsahem závažnosti. Bude však zapotřebí se více zaměřit na detailní analýzu frekvenčních spekter a analýzu šumu a po předem stanovených etapách opakovat měření celé série válců s poškozením za cílem ověřit váhu opakovatelnosti měření a monitorovat vývoj chování daného defektu po ujetí určitého počtu cyklů. Další etapou pak bude měření se zátěží, které bude simulovat provozní podmínky pneumatických válců.



Obr. 8 Frekvenční spektrum nepoškozeného válce PB při vysunutí (a) a zasunutí pístnice (b) a stejného válce po 12 273 cyklech po vysunutí (c) a zasunutí (d) pístnice

Fig. 8 Spectral analysis of the cylinder without defect at ejected (a) and inserted position (b) and after 12 273 cycles at ejected (c) and inserted position (d)

4. Závěr

Ve výše uvedené části tohoto článku byly prezentovány prvotní výsledky výzkumu možnosti diagnostiky pneumatických válců metodou akustické emise. Touto metodou byl ověřen předpoklad, že válce stejného typu mají přibližně stejnou charakteristiku signálu AE, která může být použita jako srovnávací vzor se signály získaných z válců s defekty. Vyhodnocování vlivů odlišných vad pístu na signál AE je ve stádiu probíhajícího výzkumu. Nicméně již nyní se potvrzuje původní předpoklad, že diagnostické zařízení vyvinuté na základě metody akustické emise bude možné využít jednak v rámci výstupní kontroly na výrobní lince pneumatických prvků a předpokládáme i využití pro externí kontroly funkčnosti těchto prvků u uživatelů.

Poděkování

Výsledky představené v tomto příspěvku souvisí s řešením projektu Technologické agentury České republiky číslo *TA04011374* " *Nový systém nedestruktivní diagnostiky pneumatických a hydraulických komponent*", použité laboratorní vybavení bylo získáno v rámci projektu NETME Centre (New Technologies for Mechanical Engineering), Reg. No. CZ.1.05/2.1.00/01.0002 a jeho následující etapy podporované v rámci projektu NETME CENTRE PLUS (LO1202) financovaného z prostředků Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy ČR v programu „National Sustainability Programme I“.

Literatura

- [1] DICKEY, J.; DIMMICK J. and MOORE, P.M.: Acoustic measurement of Valve Leakage Rates. *Material Evaluation*. 1978, No. 36, p. 67-77.
- [2] PLLOCK, A.A.; HSU, S.Y.S.: Leak Detection Using Acoustic Emission. *Journal of Acoustic Emission*. 1982, No. 4, p. 237-243.
- [3] CHEN, X.; LI, B.: Acoustic emission method for tool condition monitoring based on wavelet analysis. *Int J Adv. Manuf. Technol*. 2007, No. 33, p. 968–976. DOI: 10.1007/s00170-006-0523-5.
- [4] LEE, S.; PARK, J. H.; YOO K. B.: Evaluation of Internal Leak in Valve Using Acoustic Emission Method. *Key Engineering Materials*. 2006, p. 661-664.
- [5] KAEWWAEWNOI, W, A.; PRATEEPASEN, P.; Investigation of the relationship between internal fluid leakage through a valve and the acoustic emission generated from the leakage. *Measurement*. 2010, No. 43, p. 274-282.
- [6] MAZAL, P.; NOHÁL, L.; KOMENDA, L.: Diagnostics of damage development of bearings and gears by acoustic emission method. *International Journal of Microstructure and Materials Properties*. 2014. 9(3/4/5). p. 433-447. ISSN 1741-8429.
- [7] MENTL, V., VLASIC, F., BARTKOVA, D., MAZAL, P.: Application of AE for Identification of Differences in Fatigue Damage of Selected Materials for Power Plants. *Key Engineering Materials* (print). 2014. 627(313). p. 313 - 316. ISSN 1013-9826.

[8] MAHMOUD, H.; VLASIC, F.; MAZAL, P.: Simulation of operational loading of pressure equipment by means of non-destructive testing. In: METAL 2015, Brno, Tanger Ltd. 2015. p. 321 - 327. ISBN 978-80-87294-58-1.

[9] MAZAL, P.; KOMENDA, L; VLASIC, F.; BUKACEK, V.; JANA, M.: New areas of application of acoustic emission method. In 8th workshop NDT in Progress, 2015, Prague, p.109 - 118, CNDT, ISBN 978-80-214-5262-6.



MONITOROVÁNÍ STAVU VALIVÝCH LOŽISEK POMOCÍ METODY AKUSTICKÉ EMISE CONDITION MONITORING OF ROLLING BEARING USING ACOUSTIC EMISSION METHOD

Libor NOHÁL, Pavel MAZAL

Vysoké učení technické v Brně, FSI, Ústav konstruování
Contact e-mail: nohal@fme.vutbr.cz

Abstrakt

Diagnostika a monitorování stavu valivých ložisek patří v současné době ke standardním službám. Pokud známe aktuální provozní podmínky valivých ložisek, jsme schopni predikovat jejich životnost. Monitorování ložisek v provozu přináší jejich výrobcům také neocenitelné informace, které by šlo pomocí experimentů jen těžko získat, nebo za vynaložení enormních nákladů. Pro monitorování stavu se v praxi využívá několik metod. Nejčastěji vibrodiagnostika, případně kombinovaná, v závislosti na aplikaci, s tribodiagnostikou a termografií. U pomaloběžných ložisek nachází uplatnění i metoda akustické emise, která je schopna detekovat pulsy s menší energií. Toho lze využít také pro detekci změny režimu mazání a případně kontaminace maziva.

Klíčová slova: akustická emise, kontaktní únava, pitting, zkoušky trvanlivosti

Abstract

Diagnosis and condition monitoring of rolling bearings is currently one of the standard services. If you know the current operating condition of rolling bearings, we are able to predict their life. Monitoring of bearings during operation give their manufacturers invaluable information, that would be difficult to obtain through experiments, or by incurring enormous costs. In practice the several methods is used for the condition monitoring. Most often vibrodiagnostics or combined, depending on the application, with tribodiagnosics and thermography. The acoustic emission method is applied for slow-speed bearing, because it is able to detect pulses with less energy. This can be also used to detect changes in friction regimes and lubricant contamination.

Key words: acoustic emission, rolling contact fatigue, pitting, durability test

1. Úvod

Počátky aplikace metody akustické emise (AE) pro monitorování ložisek nebo valivého kontaktu se datují do 70. let 20. století. Mezi prvními se touto problematikou zabýval Catlin [1], který studoval odezvu vysokofrekvenčního signálu AE na defekty valivých ložisek. Pozoroval, že signál AE nejlépe reagoval na poškození valivých drah vzhledem k ostatním chybám uložení – uvolnění ložiska, ohyb hřídele.

Yoshioka a Fujiwara [2] provedli sérii experimentů na zařízení pro zkoušky plochého vzorku. Vzorek materiálu byl axiálně zatěžován kontaktním tlakem 4 759 MPa přes tři kuličky vedené v kleci. Některé prezentované experimenty proběhly i při zatížení

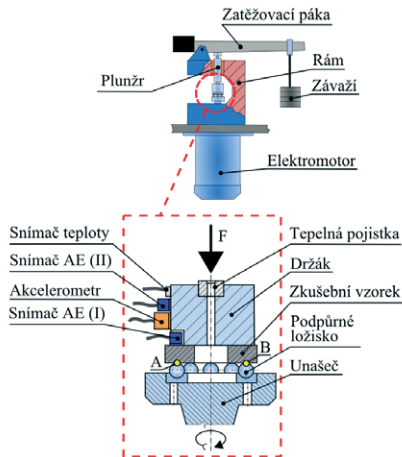
5 700 MPa. Experimentální zařízení bylo poháněno elektromotorem s konstantními otáčkami 660 min^{-1} a mazáno minerálním olejem.

Na ty to experimenty navázali později Elforjani a Mba [3], kteří na zařízení pro zkoušky plochého vzorku prováděli experimenty při nízkých otáčkách 72 min^{-1} a porovnávali parametry AE se zrychlením vibrací. Experimenty byly cíleny na identifikaci vzniku a následného šíření podvrchových mikrotrhlin vedoucích ke vzniku povrchových defektů v místě kontaktu. Detekce se zaměřila zejména na praskavý signál emitovaný sporingem na povrchu vzorku. Nejlépe korelovala s defektem informační entropie a škálogram spojité vlnkové transformace.

Rahman et al. [4] se zabýval identifikací počáteční fáze kontaktního poškození materiálu a jeho lokalizaci využitím metody akustické emise. Pro experiment bylo využito zkušební zařízení sestávající se ze dvou radiálně zatížených kotoučů. Zkouška probíhala při konstantní rychlosti otáčení a neproměnném zatížení. Z výsledků je usuzováno, že podstatným parametrem pro vyhodnocení kontaktního poškození je časová četnost událostí.

2. Metodika

Pro experimentální studium vzniku kontaktní únavy byla použita modifikovaná zkušební stanice určená pro zkoušky plochých vzorků materiálu AXMAT II (Obr. 1) sestávající se z rámu, pohonné a zatěžovací jednotky, řídicího systému a měřicí aparatury pro snímání vibrací, teploty a signálu akustické emise. Toto experimentální zařízení bylo navrženo především za účelem ověřování kvality materiálu a jeho tepelného zpracování. Dále umožňuje provádět výzkum vlivu maziv na trvanlivost valivých kontaktů, zkoušky trvanlivosti za vyšší nebo snížené teploty, zkoušky trvanlivosti axiálních ložisek apod.



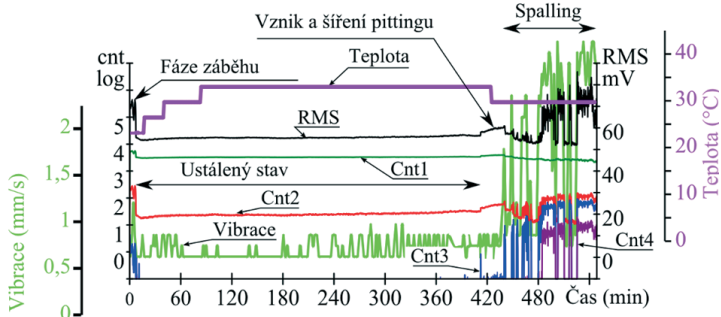
Obr. 1 Zkušební zařízení AXMAT II [8]

Fig. 1 Layout of test-rig AXMAT II [8]

3. Výsledky

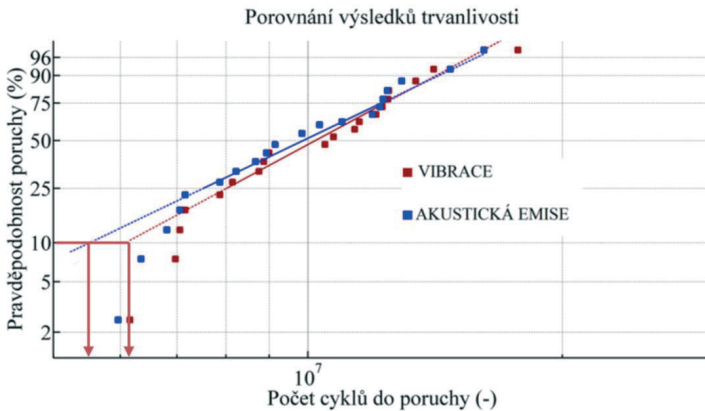
Na obr. 2 je zobrazen průběh parametrů AE (tři hladiny časové četnosti překmitů, RMS), rychlosti vibrací a teploty. Jsou zde patrné tři fáze zkoušky. V prvních cca 20 min. zkoušky dochází k záběhu, vytvoření valivé dráhy, což se odráží ve zvýšených parametrech. Následuje ustálený stav a v závěru je detekován vznik pettingu a rozvoj do finálního poškození (spallingu).

Přítomnost defektu se projevuje kromě zvýšených parametrů AE i modulací signálu AE chybovou frekvencí defektu na povrchu vzorku.



Obr. 2 Zkouška vzorku oceli 100Cr6 [8]
Fig. 2 Test of specimen of steel 100Cr6 [8]

Na obr. 3 jsou znázorněny výsledky zkoušek trvanlivosti ložiskové oceli 100Cr6 a porovnání hodnot trvanlivosti stanovené na základě detekce přítomnosti pettingu vibracemi a metodou akustické emise. V průměru byla přítomnost defektu detekována cca o 20 % dříve.



Obr. 3 Weibullův graf zkoušky trvanlivosti oceli 100Cr6 [8]
Fig. 3 Weibull graph of duration test of steel 100Cr6 [8]

4. Závěr

Byly zde prezentovány výsledky ze zkoušek ložiskové oceli 100Cr6 mazaných plastickým mazivem. Metoda akustické emise dokáže detekovat dřívější stádium kontaktního poškození proti tradiční vibrodiagnostice. Přítomnost defektu lze identifikovat ve spektru demodulovaného signálu AE pomocí obálky získané Hilbertovou transformací. Vzhledem k citlivosti metody lze předpokládat její využití pro detekci kontaminace maziva nebo zhoršení podmínek mazání. Metoda akustické emise přináší další informace o valivém kontaktu a doplňuje tak běžně monitorované veličiny jako vibrace a teplota.

Poděkování

Výsledky tohoto projektu NETME CENTRE PLUS (LO1202) byly získány za finančního přispění Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy v rámci účelové podpory programu „Národní program udržitelnosti I“.

Literatura

- [1] CATLIN Jr., J. B. The Use of ultrasonic diagnostic technique to detect rolling element bearing defects. *Proceeding of Machinery and Vibration Monitoring and Analysis Meeting*, Vibration Institute, USA, April 1983, pp. 123-130.
- [2] YOSHIOKA, T. Detection of Rolling-Contact Subsurface Fatigue Cracks Using Acoustic-Emission Technique. *Lubrication Engineering*, Apr 1993, Vol. 49, No. 4, pp. 303-308.
- [3] ELFORJANI, M. a MBA, D. Accelerated natural fault diagnosis in slow speed bearings with Acoustic Emission. *Engineering Fracture Mechanics*, Jan 2010, Vol. 77, No. 1, p. 112-127.
- [4] RAHMAN Z., OHBA H., YAMAMOTO T. A YOSHIOKA T. A Study on Incipient Damage Monitoring in Rolling Contact Fatigue Process Using Acoustic Emission, *Tribology Transactions*, 2008, Vol. 51, No. 5, pp. 543-551.
- [5] NOHÁL, L.; HORT, F.; DVOŘÁČEK, J.; MAZAL, P. An Experimental Investigation of Rolling Contact Fatigue of Steels Using Acoustic Emission Method. *INSIGHT*, 2013, roč. 55, č. 12, s. 665-669. ISSN: 1354- 2575. DOI: <http://dx.doi.org/10.1784/insi.2012.55.12.665>
- [6] MIETTINEN, J. a ANDERSSON, P. Acoustic Emission of Rolling Bearings Lubricated with Contaminated Grease. *Tribology International*, 2000, Vol. 33, pp. 777-787.
- [7] ŠEMBERA, V. *Experimentální studium vlivu maziv na trvanlivost valivých kontaktů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 42 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Libor Nohál.
- [8] NOHÁL, L. *Korelace změny signálu AE s rozvojem kontaktního poškození*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 102 s. Vedoucí dizertační práce doc. Ing. Pavel Mazal, CSc.



AN EVALUATION OF MEASURED SIGNALS IN THE ZBRASOV ARAGONITE CAVE.

Aleksandr PODSHIVALOV

Technická 3058/10 616 00 Brno Czech Republic / FEEC VUT

Contact e-mail: xpodsh00@stud.feec.vutbr.cz

Abstract

This paper deals with the results of the measured signal in the Zbrasov cave in the Czech Republic. Here we present a description of the measurement and try to find and identify the electromagnetic emission (EME) signals from noise. The article shows maximum values and RMS¹ of the measured signal during one day.

We found out and presented the spectra at different times of the day, and examples of different types of impulses of the measured signal and presented evaluation of the measured signal. Several harmonical signals were found at different frequencies in spectra of the measured signal, their differences and similarities were shown. Evaluation of different impulses is based on our subjective experience, and the experimental data obtained by measuring the EME signals from solid samples whose experimental destructions were carried out in the laboratory (these studies were published in earlier articles).

Key words: *Data analysis, signal processing, electromagnetic emission, measurement*

1. Introduction

The measurements data in this article were provided by a group of researchers from Brno University of Technology (BUT) with the Natural History Museum Vienna (NHM), the Institute of Rock Structure and Mechanics (IRMS) and Academy of Sciences of the Czech Republic [1]. These organizations focus on the study of electromagnetic emission (EME) in rocks and in caves. The phenomenon of EME from solids is based on the generation of an electromagnetic field accompanying the mechanical excitation of the solids [2]. EME depends on seismic activity, cracks generation and exists due to processes occurring in the rocks. Also researches of EME carry out in the laboratories. More information about it can be found in the articles [2], [3] and [4].

We aim at diagnosing the processes which occur in the rocks, such as the cracks generation. Measurements were carried out in the Zbrasov aragonite cave – the first site in the project. They were taken by the special antenna created by the scientific team. Central resonant frequency of the antenna is 30 kHz. The cumulative increase in the measuring channel is 47 dB. The sampling frequency of the signal was 500 kHz. The signal was recorded in a cave for a few days. The data are stored on hard disks. This article provides some results of signal processing in Matlab program.

¹ RMS algorithm calculate the root-mean-square (RMS) of the input data.

2. Signal processing

The measurements whose purpose was to test the efficiency of the equipment were carried out for two weeks.

Different sources of noise are possible in the cave. These include lamps supplied by the electricity, CO₂ sensors, etc.

The method of RMS is commonly used to analyze this kind of long time signals. Figure 1 is an example of the RMS signal measured within a day. RMS signal during the remaining days of the measurement has a similar character. It is shown that increasing the RMS in all cases occurs during the working day from about 5 a.m. to 6 p.m. RMS reduction occurs from about 6 p.m. to 5 a.m. It can be assumed that signal impulses in the measured signal are of anthropogenic origin, not related to the processes occurring in rocks.

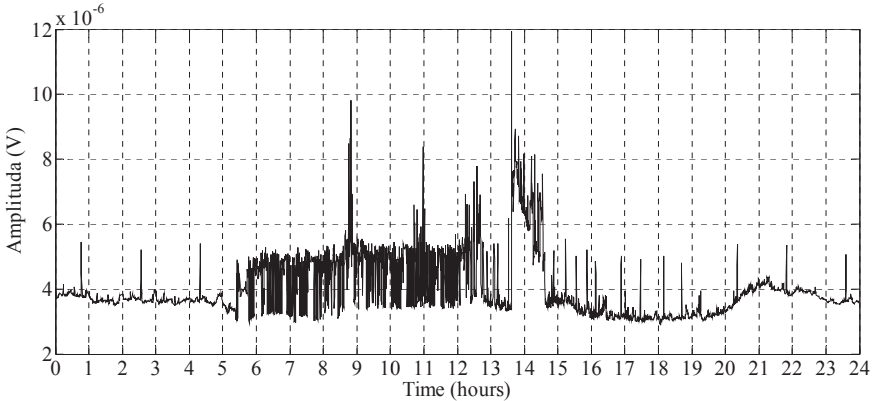


Fig.1 Schedule of RMS during one day

Figure 2 shows the maximum signal value during the day. One point on the graph corresponds to the maximum value of 10^7 counts in the measured signal.

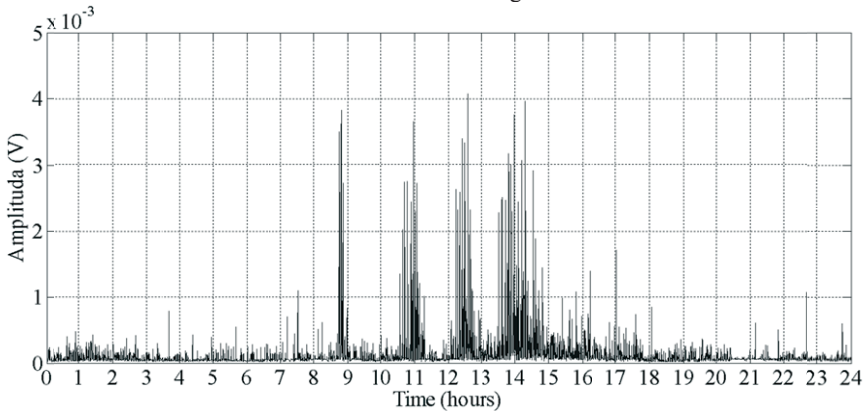


Fig.2 Schedule of maximum values during one day

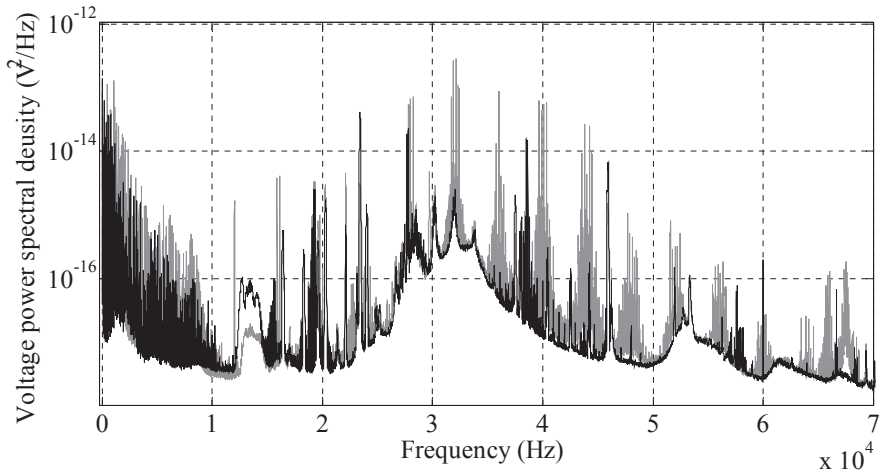


Fig.3 Comparison of the spectra at 3 a.m. (black) and 11 a.m. (gray)

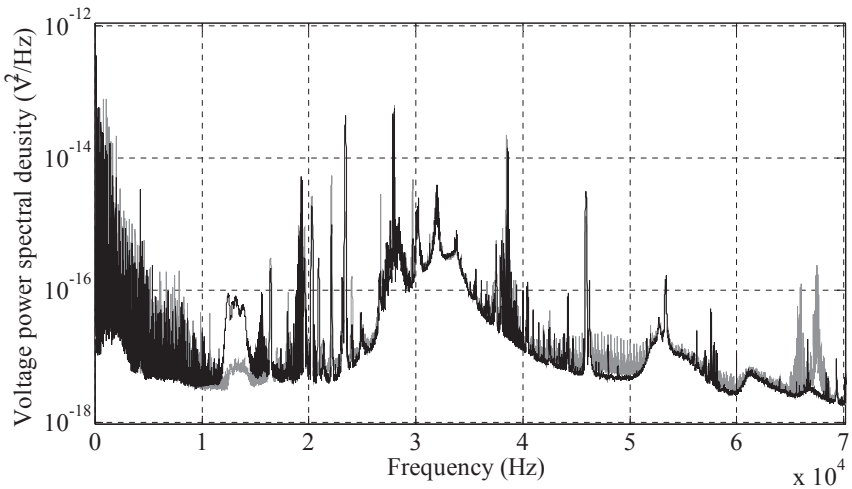
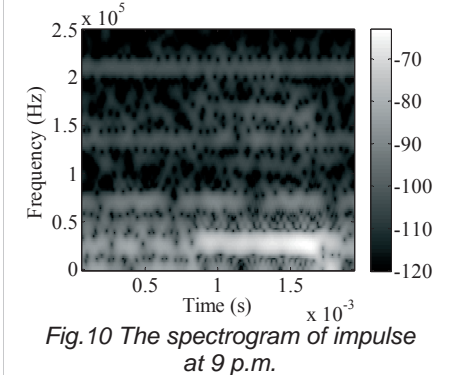
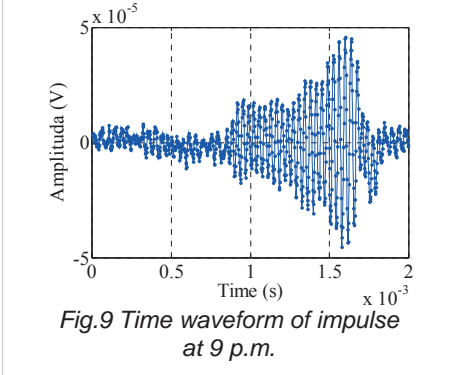
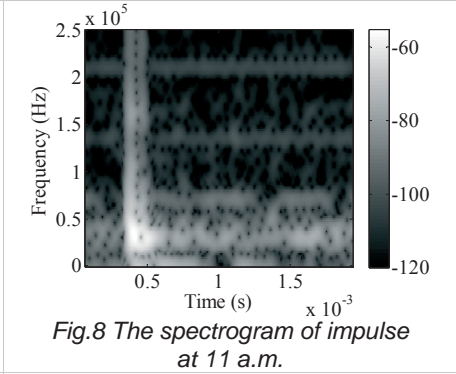
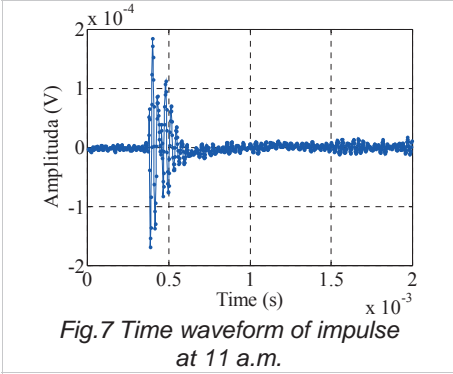
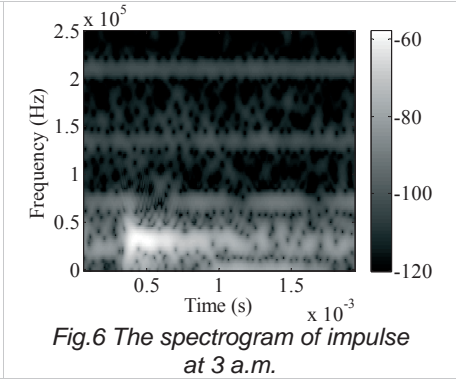
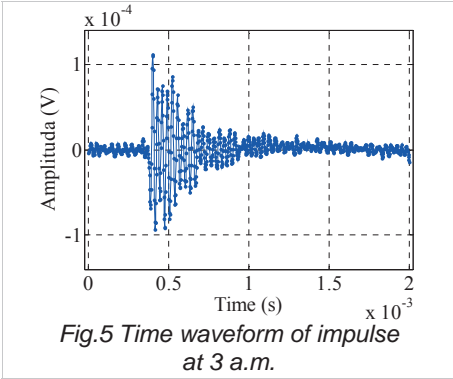


Fig.4 Comparison of the spectra of 2 p.m. (gray) and 9 p.m. (black).

Figures 2 and 3 compare the spectra of signals at night and in the daytime. Figure 2 shows the spectra at 3 a.m. and at 11 a.m. Figure 3 shows the spectra at 2 p.m. and at 9 p.m. The spectra were constructed for the segment length 100 s ($5 \cdot 10^7$ dots). In both figures the signal spectrum was considerably increased in the frequency range from $12.5 \cdot 10^4$ to $15 \cdot 10^4$ Hz. There is likely to appear on the spectrum a periodic pulsed signal produced by some electrical device. The increase in the signal level at night can be explained by a decrease in the load on the electricity and increasing the power input to the device. And, therefore, it may be a cause of the spectrum increasing. At all other frequencies the spectral components in the daytime

exceed the night range or have a similar range. A strong difference of spectra during the day is seen in the band from $3 \cdot 10^4$ to $5 \cdot 10^4$ Hz while differences in night spectra are virtually absent.



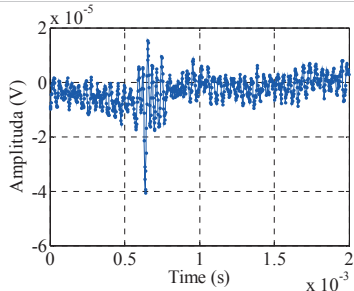


Fig.11 Time waveform of impulse at 9 p.m.

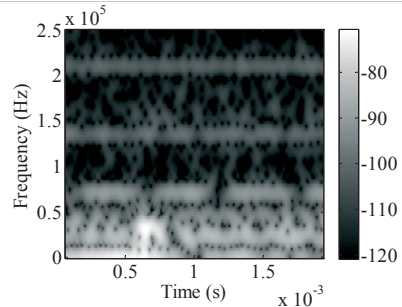


Fig.12 The spectrogram of impulse at 9 p.m.

Figures 5-12 show a few types of pulses. These pulses are shown as examples. Impulses on figures 5 and 7 can be attributed to the EME. The impulse shape corresponds to the process of occurrence of EME impulse, that is, while crack generating on the opposing ends of it there arise electric charges which correspond to a sharp increase in the amplitude of the impulse. Then there goes a fast or slow process of this discharge which corresponds to the fall of the impulse amplitude. Impulse in Figure 11 may also be EME. Impulse in Figure 9 has a very strange shape. It is difficult to imagine a process in the rocks which could be a source of this type of impulse.

3. Conclusion

In this paper were shown RMS and maximum values during one day, the spectra at different times of the day, and examples of different types of impulses of the measured signal. Several harmonical signals were found at different frequencies in spectra of the measured signal, their differences and similarities were shown. Consideration of the individual types of impulses shows that it is impossible to determine whether any single impulse is a result of noise or a result of EME. It is noteworthy that the detection of EME could be difficult without a complete determination of the background. The main way to detect the EME is using of the RMS. We can judge about its presence indirectly by the increase of the amplitude of the RMS, that is, due to change in the statistical characteristics of the signal.

Any anomaly or earthquake, which we could detected, didn't happen during two weeks of measurement.

This measurement method is intended for parallel measurement of EME and for detection of the processes in the rocks.

We will be able to detect EME in the case of appearance of active processes in rocks, and therefore further measurements are required.

4. Acknowledgments

This research has been partially supported by the European Centre of Excellence CEITEC CZ.1.05/1.1.00/02.0068, as well as by the grant FEKT-S-11-11. These supports were gratefully acknowledged.

5. References

- [1] Baron I. Electromagnetic emissions of deformed rock due to active tectonics and deep-seated slope failures. International bi-lateral project between FWF and GACR. Vienna, 2015.
- [2] Koktavý, P., Trčka, T., Koktavý, B.: Noise diagnostics of advanced composite materials for structural applications. In 21st International Conference on Noise and Fluctuations ICNF 2011. 1. Toronto, Kanada, up for electromagnetic and acoustic emission IEEE. 2011. p. 88 - 91. ISBN 978-1-4577-0191-7.
- [3] Koktavý, P.: Experimental study of electromagnetic emission signals generated by crack generation in composite materials. Measurement Science and Technology. 2008. 20(1). p.0 - 7. ISSN 0957-0233.
- [4] P. F. Biagi, G. Della Monica. Normal and anomalous behaviour of electric, magnetic and seismoacoustic signals recorded in the Amare cave. 1996.
- [5] Signal Processing Toolbox User's Guide. Natick: The MathWorks, Inc., 1993.



NONDESTRUCTIVE LOCALIZATION THE BORDER BETWEEN WATER AND AIR USING ULTRASONIC TOMOGRAPHY

**MSc. Ing. Łukasz RADZIK*, PhD, DSc. Ing. Krzysztof SCHABOWICZ*,
MSc. Ing. Dorota JAWOR*,**

Wroclaw University of Technology, Faculty of Civil Engineering
Contact e-mail: lukasz.radzik@pwr.edu.pl

Abstract

The article describes the use of an ultrasound scanner to locate the place on the border between water and air (mediums of different density in the concrete element). For clarity, the article presents the most important issues related to the propagation of mechanical waves. A non-destructive testing with use of ultrasonic tomography, which were used to locate the boundaries of different density and thus confirmed the possibility to find such a location using ultrasonic tomography.

Key words: concrete, nondestructive evaluation, ultrasonic tomography

1. Introduction

In engineering practice, we often need to determine the geometry of the existing building structures and locations of utilities placed in them. The task is difficult, if access to the structure is one-sided and there is no documentation of the structure, and most of time it is the case. For example it may be needed to determine the location of PVC wires embedded in concrete slab or concrete floor. You can do an opening, but it would increase the repair costs, and closure of the premises for the duration of the works. Useful for this purpose might be, however, the non-destructive methods [1]–[3]. With their help, without interfering with concrete structure, we can determine the location of plumbing, water supply, tendons, etc. which are embedded in concrete slab or concrete floor. In the case of duct obstruction, as shown in Figure 1, the non-destructive localization of the border between mediums of different density may also make it a much easier solution. Almost all methods of NDT use the excitation of a longitudinal wave in the test subject [2]–[3]. Recent methods allow the use of transverse wave, which, compared to the longitudinal wave has a lower scattering during the propagation through the concrete element [6]. One such method is an ultrasonic tomography. The article presents the possibility to locate a border between the mediums of different density, which are placed in a concrete using ultrasound tomography by the transverse wave excitation.

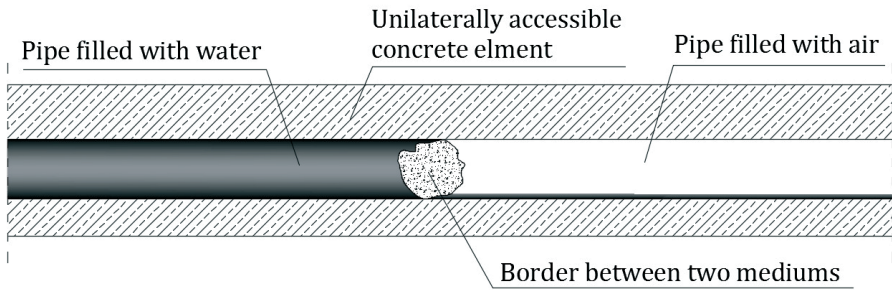


Fig. 1 Illustration of obstruction - a place on the border of different density mediums located in the concrete element.

2. The method of ultrasonic wave propagation in solids

In order to locate the place on the border between the mediums of different density it was proposed to use the ultrasonic waves. The theory of propagation of these waves in solids centers has already been repeatedly described [6], [7]. For clarity it is worth mentioning that an ultrasonic wave is a disturbance of the medium that is spreading through the vibrations of molecules [6], [7]. There are three types of mechanical waves: longitudinal waves (Fig. 2a), transverse wave (Fig. 2b) and surface wave (Fig. 2c).

When the transverse wave is propagating perpendicularly to the border of the fixed medium (Fig. 2d), and encounters the fluid at the boundary medium (eg. water, air), it will reflect completely, due to the lack of propagation of vibrations in such form in liquid and gas mediums [7]. In the case of longitudinal waves, which comes across the solid - liquid medium border (Fig. 2e), part of the energy will be transferred to molecules of the second center, in the form of longitudinal wave excitation, and the remaining value will remain in the former medium, in the form of a wave traveling towards of the reflection. The intensity of the wave reflection will depend on the value of wave impedance of the mediums [7].

Accordingly, causing a longitudinal wave propagating through a medium perpendicularly to its border results is a different intensity of the wave reflection, depending on whether the opposite side contains water or air. We do not receive such a distinction for similar transverse wave.

In the case of transverse wave propagation in the fixed medium at an angle to its border a reflection will occur, the intensity of which will depend on the angle at which wave is directed, and on the wave impedance of the mediums. On this basis, it is theoretically possible to determine whether at the medium border the transverse wave encounters water or air.

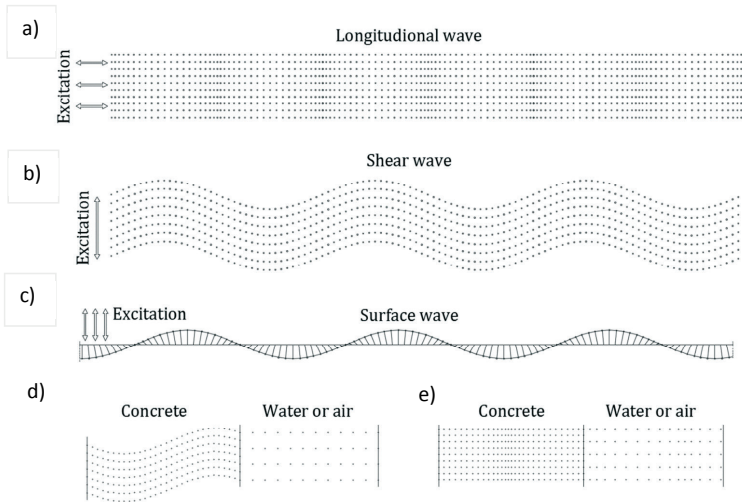


Fig. 2 Types of waves occurring in solid mediums.

3. Laboratory tests

In order to confirm the feasibility of location the border between different density mediums which are embedded in concrete element by ultrasonic transverse wave, a non-destructive testing using ultrasonic tomography was performed. View of the ultrasonic tomograph is shown in Figure 3 [3].



Fig. 3. Ultrasonic tomography: a) view of device b) the method of operation

Tests were carried out on the concrete element (size of it is 500 x 500 x 1000 mm), which had embedded three PVC pipe (diameter of them is 80, 155 and 458 mm) (Fig. 4a). On the upper surface of the sample the grid of 100 x 100 mm was drawn. The location of pipes was checked in the first step, using access only to the upper surface of the element. Result of this is a tomographic image which allows to locate pipes (Fig. 4b).

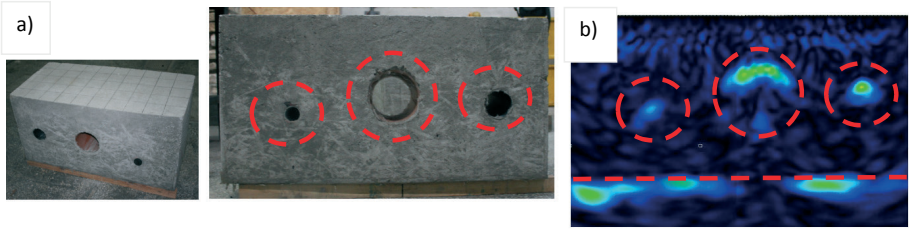


Fig. 4. a) The concrete element used for testing b) tomographic image.

Then in five sections by the of central pipe tomographic images were created during its filling with water and air. The results obtained in the form of a single tomographic images is presented in Figure 5. In each of the sections signal reflection from the upper surface from the boundaries is visible. In any case give a difference between the pipe filled with water and pipe filled with air.

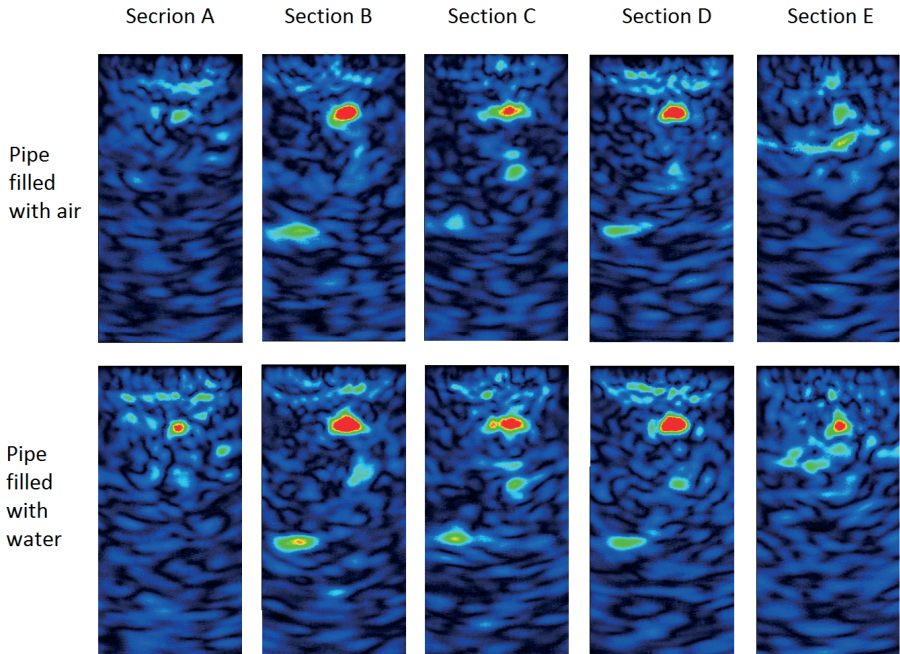


Fig. 5. The results of the tests carried out on a sample of concrete with the pipe filled by water and air.

4. Summary

The article presents the possibility to locate the place on the border between mediums of different density in the concrete element using ultrasonic tomograph. Theoretical basis of phenomena was presented. A concrete component was testing. Results showed the convergence of computer simulation - in both cases, localization the place on the border between mediums of different density in the concrete element using ultrasonic tomography was possible.

Literature

- [1] K. Schabowicz, „Ultrasonic tomography – The latest nondestructive technique for testing concrete members – Description, test methodology, application example”, *Arch. Civ. Mech. Eng.*, t. 14, nr 2, ss. 295–303, Luty 2014.
- [2] A. O. De La Haza, A. A. Samokrutov, i P. A. Samokrutov, „Assessment of concrete structures using the Mira and Eyecon ultrasonic shear wave devices and the SAFT-C image reconstruction technique”, *Constr. Build. Mater.*, t. 38, ss. 1276–1291, Stycze 2013.
- [3] V. M. Malhotra i N. J. Carino, *Handbook on Nondestructive Testing of Concrete*. CRC Press, 2004.
- [4] K. Schabowicz, „Methodology for Non-Destructive Identification of Thickness of Unilaterally Accessible Concrete Elements by Means of State-of-the-Art Acoustic Techniques”, *J. Civ. Eng. Manag.*, t. 19, nr 3, ss. 325–334, Czerwiec 2013.
- [5] K. Schabowicz, „Modern acoustic techniques for testing concrete structures accessible from one side only”, *Arch. Civ. Mech. Eng.*
- [6] J. L. Davis, *Wave Propagation in Solids and Fluids*. New York, NY: Springer New York, 1988.
- [7] L. D. Rozenberg, Red., *Physical Principles of Ultrasonic Technology*. Boston, MA: Springer US, 1973.



PRVNÍ ZKUŠENOSTI S MKS – NOVÝM ZAŘÍZENÍM PRO ZKOUŠENÍ TLAKOVÝCH NÁDOB REAKTORŮ

FIRST EXPERIENCE WITH MKS – A NEW DEVICE FOR THE REACTOR PRESSURE VESSEL TESTING

Zdeněk SKÁLA, Lukáš STAINER, Jan VÍT
ŠKODA JS a.s., ZLPK
Contact e-mail: zdenek.skala@skoda-js.cz

Abstrakt

ŠKODA JS a.s. provádí automatizované zkoušení tlakových nádob jaderných reaktorů od roku 1982. Požadavky na kvalitu a rychlost tohoto zkoušení se neustále stupňují a tak je nutné po určité době obměňovat používaná zařízení. Pro zkoušení tlakových nádob reaktorů z vnitřního povrchu bylo ve společnosti ŠKODA JS a.s. vyvinuto a v květnu 2015 prvně použito zařízení MKS.

První návrh nového zařízení MKS, které nahradí zařízení SKIN používané k provozním kontrolám tlakových nádob z vnitřního povrchu od roku 1992, byl rozpracován v roce 2010. Od roku 2012 probíhal vývoj a návrh zařízení s finanční podporou TAČR v rámci projektu č. TE01020455 – Centrum pokročilých jaderných technologií (CANUT). Koncem roku 2012 byla zahájena výroba jednotlivých komponent manipulátoru, v následujícím roce bylo nakoupeno vybavení pro nedestruktivní zkoušení a proběhla montáž a kompletace celého zařízení. V roce 2014 proběhly funkční a komplexní zkoušky. Po nich měly proběhnout praktické kvalifikační testy na blocích s umělými nečistostmi a zařízení mělo být použito k provozní kontrole 1. bloku JE Temelín v srpnu 2014. Při komplexních zkouškách byly zjištěny závady a tak nemohly proběhnout kvalifikační testy a zařízení nemohlo být použito na jaderné elektrárně. Po odstranění závad proběhly úspěšně opakované zkoušky a zařízení MKS bylo prvně použito při provozní kontrole 2. bloku JE Temelín v květnu 2015. Toto první nasazení na jaderné elektrárně prokázalo přínosy nového zařízení, ale projevil se i další problémy, které bude nutné řešit.

Klíčová slova: tlaková nádoba reaktoru, provozní kontroly, nedestruktivní zkoušení, automatizované zkoušení

Abstract

ŠKODA JS a.s. has been performing the automated testing of nuclear reactor pressure vessels since 1982. Demands on quality and speed of this testing are increasing and so it is necessary to change the used device. ŠKODA JS a.s. has developed and in May 2015 used for the first time MKS – device for the testing of reactor pressure vessels from the inner surface.

First concept of a new device MKS, which shall substitute SKIN used for the in-service inspections of reactor pressure vessels from the inner surface since 1992, was prepared in 2010. The development and design of a new device started in 2012 and was financially supported by TACR in the frame of project TE01020455 – Center of Advanced Nuclear Technologies (CANUT). The manufacture of manipulator components started before the end of 2012, the NDT equipment was bought and the assembly and completion of the whole device were performed in the next year. Functional and overall test were done in 2014. Practical qualification trials on samples with artificial flaws should be done afterwards and the device should be used for the in-service inspection of NPP Temelín Unit 1 in August 2014. Some malfunctions were discovered during the overall tests and so the qualification trials could not be performed and the device could not be used on the NPP. The repeated tests and qualification trials were done successfully after the repair of malfunctions and the MKS device was used for the first time for the in-service inspection of NPP Temelín Unit 2 in May 2015. This first deployment on a NPP proved the benefits of the new device but some new problems occurred, which must be solved.

Key words: reactor pressure vessel, nuclear power plant, ultrasonic testing, automated testing

1. Úvod

Od roku 1982, kdy zahájila automatizované zkoušení tlakových nádob reaktorů (TNR), až do roku 2014 používala společnost ŠKODA JS a.s. ke kontrolám z vnitřního povrchu dvě zařízení. První z nich, Reactortest TRC [1], bylo používáno od roku 1982 do roku 1992, kdy bylo nahrazeno zařízením SKIN [2]. Jeho hlavními částmi jsou manipulátor, řídicí část a defektoskopické přístroje. Zatímco mechanické části manipulátoru nebylo dosud nutné upravovat, prošla řídicí část a defektoskopické přístroje dvěma modernizacemi, které zajistily kvalitu zkoušení, požadovanou pracovníky jaderných elektráren [3]. Bylo však zřejmé, že po téměř dvaceti letech provozu bude nutné přistoupit i k náhradě manipulátoru. K tomuto rozhodnutí přispěl i požadavek jaderných elektráren na zkrácení časů na kritické cestě odstávky a tedy i na zkrácení doby nedestruktivního zkoušení tlakové nádoby. V roce 2007 byla proto zpracována studie [4], která měla rozhodnout, zda modernizovat manipulátor SKIN, nebo vyvinout manipulátor nový. Výsledkem bylo doporučení vyvinout nové zařízení, pro které bylo zvoleno označení MKS (modulární kontrolní systém).

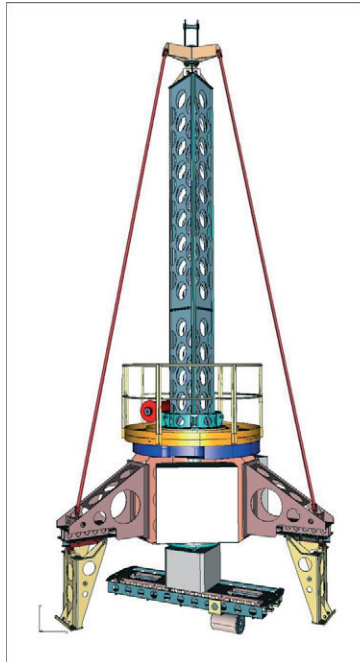
2. Návrh zařízení

V roce 2010 byl vypracován první návrh manipulátoru [5]. Při návrhu nového zařízení byly stanoveny následující požadavky:

- Zkrátit a zjednodušit montáž a demontáž.
- Omezit potřebu použití polárního jeřábu.
- Zkrátit časy mezioperačních montáží.
- Zkrátit dobu zkoušení.
- Používat pro zkoušení tlakových nádob reaktorů VVER 440, VVER 100, MIR 1200, AP 1000 a EPR 1600.
- Možnost nést opravné moduly.

Návrh celého zařízení byl dále rozpracován a dokončen v roce 2012, již za finanční podpory TAČR v rámci projektu č. TE01020455 – Centrum pokročilých jaderných technologií (CANUT). Výsledkem návrhu bylo zařízení MKS [6], [7], které má následující hlavní části:

- Manipulátor.
- Velín s řídicím pultem.
- NDT přístroje a sondy.



Obr. 1 Návrh manipulátoru MKS

Fig. 1 Draft of MKS manipulator

Manipulátor MKS je navržen k manipulaci s moduly pro provádění nedestruktivních kontrol uvnitř TNR. Je optimalizován pro podmínky pracoviště (prostupy, prostory, zdvih jeřábu) běžné na reaktorovém sále při odstávce reaktoru a pro snadnou dekontaminaci.

Hlavní komponenty manipulátoru MKS jsou:

- Portál.
- Sloup.
- Příčná dráha.

Portál je základem MKS. Pomocí 3 nosných konzol je uchycen do závitových hnízd v přírubě TNR, tvoří vedení sloupu a zajišťuje jeho otáčení. Nese rozvodné skříně elektroinstalace a vyhodnocovacího zařízení, pohonnou jednotku otáčení sloupu a kruhovou dráhu kabelového řetězu s plošinou pro montáž sloupu.

Sloup slouží k nesení příčné dráhy a jejímu pohybu po výšce TNR. Zdvih sloupu je 10,8 m. Sloup je uspořádán teleskopicky, se dvěma pohyblivými díly. Profil dílů je trojúhelníkový, pro dosažení dostatečné tuhosti při plném vysunutí. Ve spodní části sloupu je umístěn rozvodný box (pneumatický rozvod pro přetlak a pohony, elektrorozvody, koncové snímače, osvětlení, kamery, UT a ET trasy). V horní části je umístěn závěs pro manipulaci se sloupem nebo s celým MKS.

Příčná dráha slouží k pohybu dvou vozíků, které nesou rotační moduly se zkušebními hlavicemi. Vozíky se pohybují v radiálním směru vůči TNR. Délka vedení je 2600 mm, pracovní využití 2300 mm. Podél vedení jsou na vnějších stranách žlaby pro kabelové řetězy a svazky kabelů k jednotlivým modulům a sondám.

Tato koncepce umožňuje pohyb zkušebních sond ve válcových souřadnicích po celém vnitřním povrchu TNR.

Manipulátor je navržen tak, že části zasahující pod HDR, tj. sloup, rozvodný box, příčná dráha, kabelové rozvody a kontrolní moduly, jsou přizpůsobeny pro práci ve vodě. Část nad úrovní HDR je upravena pro snadnou dekontaminaci ostřikem. Celková hmotnost MKS je cca 5000 kg.

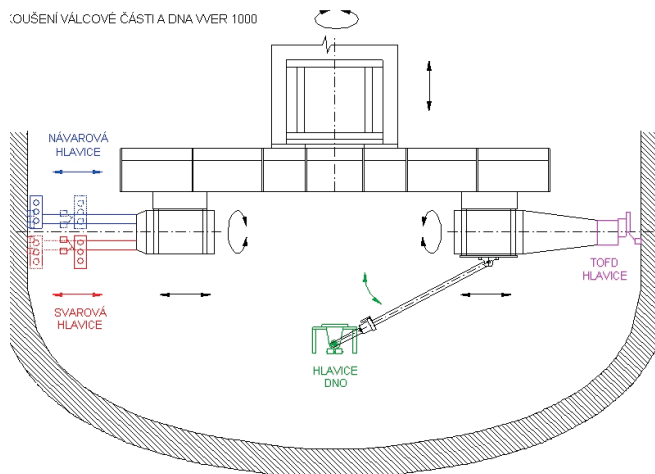
Na manipulátor bude možné uchytit současně až čtyři různé koncové moduly (Obr. 2), čímž dojde ke zkrácení mezioperačních montáží. Nižší hmotnost částí manipulátoru používaných při zkoušení umožní zvýšit rychlost zkoušení a tak zkrátit dobu zkoušení. Podle odhadu by tak měl být čas nutný pro zkoušení tlakové nádoby reaktoru VVER zkrácen z jedenácti na osm dnů.

Velín je určen pro obsluhu při práci MKS. Obsahuje:

- Ovládací a napájecí pult s obrazovkou řídicího PC a HD monitory – (Obr. 3).
- Jednotku klimatizace (vně, ukládá se na střechu, napájena a ovládána je z velína).
- Skříně pneumatických rozvodů.
- Síť Ethernet.
- Elektrické rozvody a osvětlení.

NDT vybavení je určeno pro zkoušení ultrazvukem mnoha kanálovou odrazovou technikou a difrakční technikou TOFD, zkoušení vířivými proudy a dálkovou vizuální prohlídku televizními kamerami.

Ultrazvukový přístroj zařízení MKS je složený ze šesti vzájemně propojených ultrazvukových přístrojů MICROPLUS II dB-POD uložených v jednom pouzdře (Obr. 4). Každý MICROPLUS II dB-POD obsahuje 8 ultrazvukových kanálů. Celý komplet tedy disponuje 48 kanály využitelnými jako vysílače nebo přijímače. Vysílač generuje záporný obdélkový impuls o napětí od -30 V do -270 V s šířkou od 15 ns do 1000 ns. Každý ultrazvukový kanál má svůj lineární zesilovač s pásmem od 0,5 kHz do 40,0 MHz a zesílením od -4 dB do +110 dB nastavitelným po 0,5 dB. V rozsahu od -4 dB do 110 dB lze provádět kompenzaci vlivu vzdálenosti.

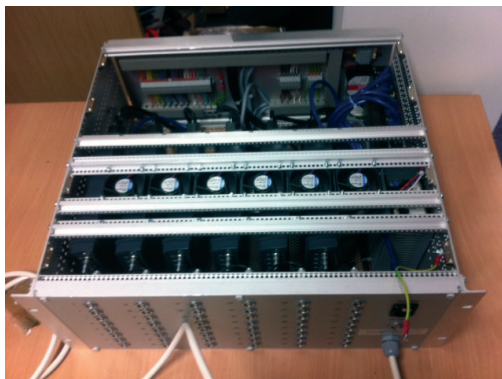


Obr. 2 Manipulátor MKS může nést čtyři zkušební hlavice současně
 Fig. 2 MKS manipulator can carry four testing heads simultaneously



Obr. 3 Ovládací pult zařízení MKS
 Fig. 3 Control console of MKS device

Přístroj dále digitalizuje signál a detekuje špičky ultrazvukového signálu. Digitalizace se provádí s volitelnou frekvencí 10, 20, 40, 80 nebo 160 MHz s rozlišením 8 bitů. Detektor špiček umožňuje zaznamenávat až 16 vadových ech, přesahujících nastavenou prahovou úroveň v nastavené bráně, s rozlišením 8 bitů. Je k dispozici sada dolnopropustných filtrů (0,6; 1,0; 2,0; 3,5; 7,0; 13,0 a 23,0 MHz) a hornopropustných filtrů (0,2; 0,4; 0,7; 1,3; 2,5; 4,3; 8,0 a 15,0 MHz).



Obr. 4 Ultrazvukový přístroj zařízení MKS

Fig. 4 Ultrasonic instrument used with MKS device

Přístroj MICROPLUS II dB-POD je umístěn v rozvaděči na portálu manipulátoru MKS, takže není trvale ponořený pod hladinou vody v TNR. S konektorovým polem v podvodním boxu je propojený pomocí triaxiálních ultrazvukových tras o celkové délce 30 m. S řídicím osobním počítačem ve velínu je propojený síťovým (Ethernetovým) kabelem délky 50 m. Externí integrální širokopásmový zesilovač pro difrakční techniku TOFD lze připojit k libovolnému ultrazvukovému kanálu.

Ultrazvukové sondy jsou k přístroji připojeny triaxiálními kabely o impedanci 50 Ω , průměru 4,2 mm a délky 36 m. Z této délky je celkem 30 m pevně zabudováno jako tzv. trasy v manipulátoru MKS. Zbývající 6 m jsou triaxiální kabely, které jsou integrální součástí ultrazvukových sond.

Citlivost ultrazvukového zkoušení odrazovou metodou se nastavuje pomocí etalonů vyrobených z identických materiálů jako TNR, na vývrtech s plochým dnem o průměru 4 mm a válcových vývrtech o průměru 3,2 mm, které byly používány pro zařízení SKIN.

Osobní počítač v provedení laptop / notebook obsahuje příslušné programové vybavení pro záznam a zpracování dat při mnohakanálovém zkoušení odrazovou technikou a difrakční technikou TOFD.

Přístroj vířivých proudů MS 5800 a ET sondy – MS 5800 je multifrekvenční vícesondový přístroj vířivých proudů s digitálním výstupem. Záznam a zpracování naměřených dat se provádí na spolupracujícím počítači, který je s přístrojem spojen pomocí sítě Ethernet. Měřicí systém umožňuje měřit a zaznamenávat signál až ze 16 kanálů, tedy ze čtyř sond buzených čtyřmi nezávislými frekvencemi. Při kontrole návaru válcové části tlakové nádoby reaktoru i při kontrole návaru rádiusové části i válcové části hrdel DN 500 se používají současně dvě sondy, jedna pro zjišťování necelistvostí orientovaných kolmo na směr pohybu a druhá pro zjišťování necelistvostí rovnoběžných se směrem pohybu. Obě sondy jsou zabudovány do jednoho pouzdra. Pouzdro s ET sondami se umísťuje do hlavice společně s UT sondami, tzn., že UT a ET se provádí současně.

Citlivost přístroje vířivých proudů se nastavuje pomocí etalonů vyrobených z identických materiálů jako TNR na umělých necelistvostech ve tvaru drážek o šířce 0,2+0,4 mm, délky 10 mm a hloubky od 1 mm do 5 mm, stejně jako u zařízení SKIN.

Pro vizuální zkoušení slouží HDTV souprava. Na MKS jde připojit až 4 HD kamery, jejichž signál je veden do pultu ve velínu, kde je umístěn titulkovač, do kterého přes sériovou linku RS485 řídicí systém předává informace o poloze a názvu bloku. Dále je pak signál zpracováván a ukládán v PC. Ke každé kameře lze připojit až dvě světla (každé LED, max. 10 W) ovládaná z ovládacího pultu. Polohování kamer je zajištěno pomocí 4 dvouosých polohovadel, která jsou ovládaná z řídicího systému přes sériovou sběrnici RS485.

3. První zkoušky

Začátkem roku 2014 byly po dokončení výroby a kompletace manipulátoru MKS zahájeny jeho funkční zkoušky podle programu pro předkomplexní vyzkoušení (PKV) [8].

PKV zařízení MKS má dva hlavní cíle. Prvním cílem PKV je dosažení stavu, při kterém manipulátor vykonává všechny potřebné pohyby ve stanoveném rozsahu poloh a rychlostí při požadované přesnosti odečítání polohy jednotlivých pohyblivých částí vzhledem k poloze kontrolovaných míst na tlakové nádobě reaktoru. Tato část PKV se tedy vztahuje na manipulátor, řídicí a napájecí obvody, odečítání polohy a koncové spínače.

Druhým cílem je ověření současné funkce celého zařízení, tj. manipulátoru, řízení, přístrojů a sond pro zkoušení ultrazvukem, přístrojů a sond pro zkoušení vířivými proudy, HDTV soupravy, snímání, ukládání a zpracování dat, tedy prověrka připravenosti zařízení MKS k provedení provozní kontroly tělesa tlakové nádoby reaktoru.

Bylo tedy třeba zajistit:

- Prověření bezproblémového chodu všech pohybových jednotek MKS.
- Zjištění a odstranění případných závad na jednotlivých pohybových jednotkách MKS.
- Potvrzení parametrů pohybových jednotek, uvedených v technických podmínkách a v projektu.
- Prověření součinnosti zařízení MKS s řízením a NDT přístroji, včetně TV kamer.
- Prověření schopnosti sběru dat v požadované minimální kvalitě.

Následovaly zátěžové zkoušky na tzv. zkrácené tlakové nádobě typu VVER 440 v reaktorové hale v Plzni. Rozsah zátěžových zkoušek odpovídal rozsahu provozní kontroly na jaderné elektrárně; zkoušky probíhaly od března až do května 2014, protože byly přerušeny odjezdem pracovníků na plánovanou odstavku 2. bloku EDU. Po skončení zátěžových zkoušek byly všechny jednotky a části zařízení MKS demontovány a následovala důkladná kontrola stavu všech komponent. Ta odhalila závažný problém – izolace kabelů v kabelovém řetězu portálu byla poškozena a nebylo možné zaručit funkci kabelů po celou dobu plánované provozní

kontroly. Bylo proto rozhodnuto zařízení MKS k provozní kontrole ETE 1 nepoužít, změnit provedení kabelového řetězu a kabelový svazek vyměnit.

Kabelový řetěz v novém provedení byl dodán kabelovým svazkem osazen až koncem roku 2014. Závěrečnou montáž kontroloval a její správnost potvrdil i zástupce dodavatele kabelového řetězu.

4. Opakované zkoušky

Začátkem roku 2015 proběhlo druhé kolo funkčních zkoušek manipulátoru MKS. Proběhly úspěšně a ihned na ně navazovaly opakované zátěžové zkoušky po delší dobu, než před rokem. Po jejich ukončení a prověrce stavu kabelového řetězu portálu a ostatních součástí manipulátoru následovalo ověřování způsobilosti pro provádění NDT (validace zařízení).

Ověřování způsobilosti MKS pro provádění NDT lze zjednodušeně charakterizovat jako zopakování částí kvalifikace metod a zařízení pro nedestruktivní zkoušení. Dosažené výsledky byly v naprosté většině stejné nebo lepší než v případě zařízení SKIN, a to jak pro metodu vířivých proudů (ET), tak i pro metodu ultrazvukovou (UT) – výsledky obsahují výzkumné zprávy [9] a [10]. Prvnímu nasazení MKS na jaderné elektrárně již nic nebránilo.

5. První provozní kontrola

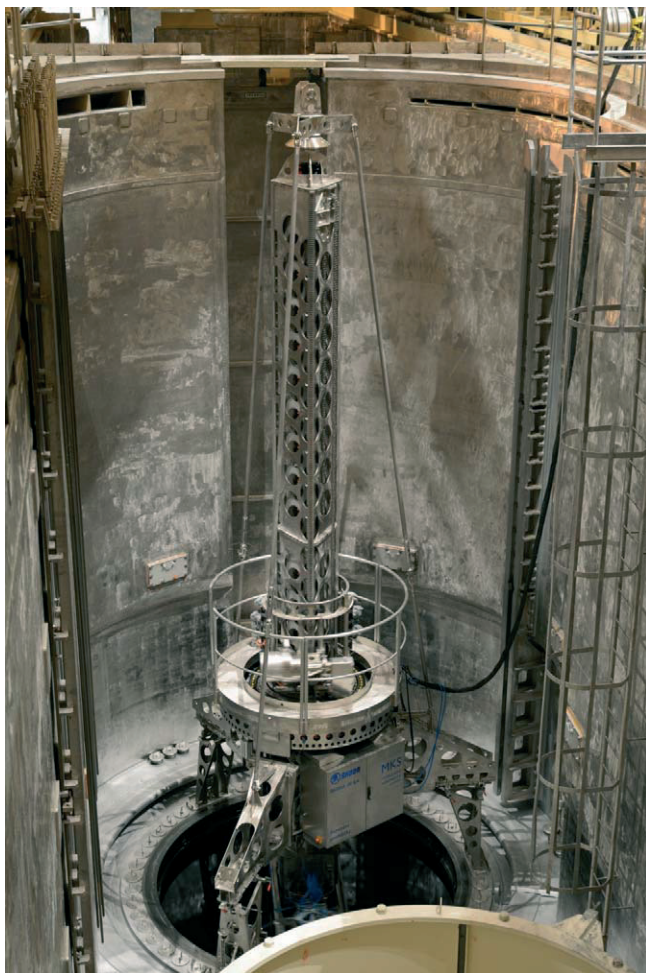
K prvnímu nasazení zařízení MKS došlo při provozní kontrole tlakové nádoby reaktoru z vnitřního povrchu během plánované odstávky 2. bloku ETE v květnu 2015. Snímek zkušebního zařízení MKS z jeho prvního nasazení je na Obr. 5. Zkoušení zařízením MKS proběhlo v plném plánovaném rozsahu a v jeho průběhu se ukázalo, jak se podařilo splnit stanovené požadavky.

První a třetí z požadavků, zkrátit a zjednodušit montáž a demontáž a zkrátit časy mezioperačních montáží, byl splněn. Při stejném rozsahu zkoušení byly při použití MKS potřebné dvě montáže, jejichž čas byl kratší než čas čtyř montáží při použití zařízení SKIN. Také omezení potřeby zdvihů polárního jeřábu oproti staršímu zařízení SKIN se plně potvrdilo. Čistá doba zkoušení byla také zkrácena, i když na celkové době se negativně projevil problém s komunikací mezi UT přístrojem a řízením manipulátoru, které vedly k opakovanému zkoušení některých částí.

Výsledky provozní kontroly NDT tlakové nádoby reaktoru byly velmi dobré; metoda vířivých proudů (ET) plně potvrdila výsledky minulé provozní kontroly a ultrazvuková metoda (UT) dosáhla lepších výsledků než při předchozí kontrole zařízením SKIN v roce 2009. Možnosti systému vizuálního zkoušení (VT) jsou výrazně lepší než u zařízení SKIN. TV souprava pracuje v kvalitě HD, rozdíl je vidět i laickým pohledem na obrazovky TV soupravy ve velínu.

Na úspěšném provedení kontroly se podílela i servisní směna složená z programátora řídicího software, konstruktérů a zkušených pracovníků, která umožňovala operativní řešení problémů.

První kontrola pomocí MKS na ETE proběhla sice úspěšně, ale nebyla bez problémů. Největší dopad mělo předčasné ukončení UT zkoušení jedné části bez uložení dat jako důsledek chybné komunikace mezi ultrazvukovým přístrojem a řídicím software. Dalším vážným problémem pak bylo rušení UT signálu polárním jeřábem při zkoušení difrakční technikou TOFD. Po návratu z provozní kontroly ETE bylo proto zařízení MKS instalováno na pracovišti v Plzni a proběhly intenzivní práce na odstraňování zjištěných problémů a také na přípravě provozní kontroly TNR 1. bloku EDU. Ta byla zahájena v září 2015 a přinese další zkušenosti z provozu MKS.



Obr. 5 Manipulátor MKS při provozní kontrole TNR v JE Temelín
Fig. 5 MKS manipulator at in-service inspection of RPV in NPP Temelín

6. Závěr

Zařízení MKS pro zkoušení tlakové nádoby reaktoru z vnitřního povrchu, vyvinuté a vyrobené společností ŠKODA JS a.s., bylo poprvé použito k provozní kontrole 2. Bloku JE Temelín v květnu 2015. Kontrola proběhla úspěšně a potvrdila, že hlavní požadavky stanovené na konstrukci zařízení MKS byly splněny. Projevily se však také problémy, které nebyly odhaleny při zkouškách na zkrácené tlakové nádobě ani při ověřování způsobilosti MKS na blocích s umělými necelistvostmi. Po krátké údržbě spojené s odstraňováním zjištěných problémů bylo zařízení MKS nasazeno v září 2015 při provozní kontrole 1. bloku JE Dukovany. Toto nasazení přinese další zkušenosti, doufejme, že kladné.

Literatura

- [1] Bumbálek A. a kol.: *Osvojování zkušebního zařízení Škoda REACTORTEST TRC, výzkumná zpráva (Ae 5215/Dok), Škoda ZES, Plzeň, 1983.*
- [2] Pecher V. – Záhořík S.: *Manipulátor SKIN – Návod na montáž a údržbu, výzkumná zpráva (Ae 10170/Dok), Škoda JS a.s., Plzeň, 2002.*
- [3] Skála Z., Stainer L., Vít J.: *ŠKODA JS – 25 let automatizovaného nedestruktivního zkoušení na jaderných elektrárnách typu VVER, Defektoskopie 2007, Praha 2007.*
- [4] Rausch I.: *Modulární kontrolní systém – Technická studie, výzkumná zpráva (Ae 12255/Dok), Škoda JS a.s., Plzeň, 2007.*
- [5] Rausch I.: *Modulární kontrolní systém – Popis úvodního návrhu, výzkumná zpráva (Ae 13253/Dok), Škoda JS a.s., Plzeň, 2010.*
- [6] Suchý J.: *Modulární kontrolní systém – Technický popis projektu, technická zpráva (Ae 14910/Dok), Škoda JS a.s., Plzeň, 2013.*
- [7] Skála Z., Stainer L., Vít J.: *Modulární kontrolní systém, 8. ročník konference Zvyšování životnosti komponent energetických zařízení v elektrárnách, Srní, 2013.*
- [8] Šmolík P. a kol.: *Předkomplexní a komplexní vyzkoušení manipulátoru MKS, technická zpráva (Ae 15349/Dok Rev. 2), Škoda JS a.s. Plzeň, 2015.*
- [9] Vít J. a kol.: *Porovnání výsledků ultrazvukového zkoušení kvalifikačního bloku KB 190 manipulátory SKIN a MKS, technická zpráva (Ae 15882/Dok Rev. 0), Škoda JS a.s. Plzeň, 2015.*
- [10] Forman J. a kol.: *Ověření způsobilosti systému MKS k provádění provozních kontrol vířivými proudy, technická zpráva (Ae 15920/Dok Rev. 0), Škoda JS a.s., Plzeň, 2015.*



BEZKONTAKTNÍ DIAGNOSTIKA POTRUBNÍCH SYSTÉMŮ ULOŽENÝCH V ZEMI

NON-CONTACT DIAGNOSTICS OF BURIED PIPELINE SYSTEMS

Václav Svoboda, František Žemlička, A. A. Dubov
Preditest, s.r.o., Praha

Klíčová slova: magnetická paměť materiálu; potrubí; vyhledávání defektů; diagnostika

Anotace:

Metoda Magnetické paměti materiálu je NDT metoda založená na měření a analýze rozložení zbytkových magnetických polí v kovových materiálech odrážejících technologickou historii materiálu. Využívá se pro určení SCZ (Stress Concentration Zones), poruch a heterogenity v mikrostruktuře materiálu a svarových spojů. Magnetická paměť materiálu reprezentuje jev, který nastává v materiálu ve formě zbytkové magnetizace vlivem procesu výroby, tepelného zpracování, ochlazování, tváření, ohýbání, tvarování, lisování, svaření apod. v prostředí zemského magnetického pole a vlivem provozního zatížení.

Abstract:

Method of Metal Magnetic Memory is method of a nondestructive inspection based on registration and analysis of distribution of self-magnetic leakage fields (SMLF) arising on products and equipment in stress concentration zones (SCZ) and metal defects. At that, SMLF reflect irreversible change of a magnetization in a direction of maximal stresses action from working loads. Also SMLF reflect structural and technological heredity of products and welded joints after their manufacturing and cooling in a weak magnetic field.

MPM je založena na měření narušení magnetického pole Země, v důsledku změn magnetizace kovových trubek v oblasti koncentrace napětí (SCZ) a v oblastech rozvoje koroze a únavového poškození. Charakteristické oblasti změn (frekvence, amplituda) vzhledem k deformaci potrubí, vznikají v důsledku řady faktorů: vlivem procesu výroby, tepelného zpracování, ochlazování, tváření, ohýbání, tvarování, lisování, svaření apod. v prostředí zemského magnetického pole a vlivem provozního zatížení, za kolísání teploty venkovního vzduchu a vliv životního prostředí (půda, voda, atd.).

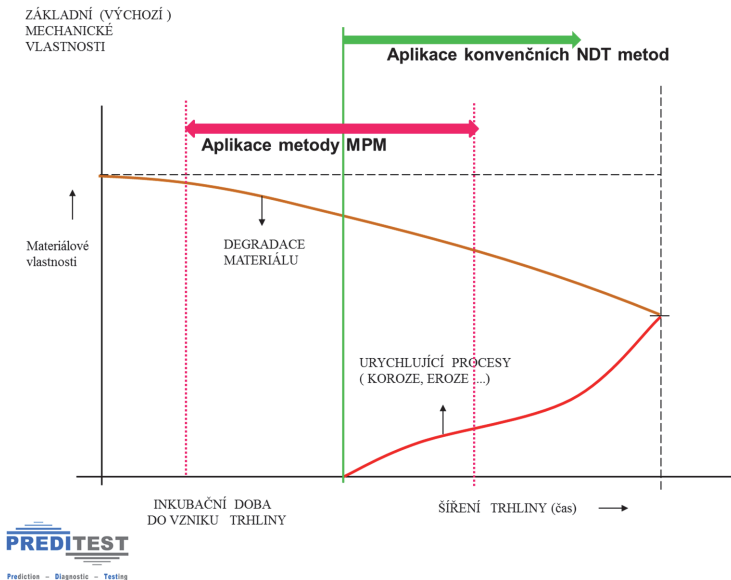
Principem metody je scanování **intenzity magnetického pole H_p těsně nad povrchem materiálu** pomocí scanovacího zařízení, viz obrázek 1.1 – je to vozíček, na kterém jsou upevněny snímací sondy, opatřené kolečky pro snímání vzdálenosti L_x a příslušnou elektronikou pro zesílení a digitalizaci signálů ze sond za použití ověřených kritérií a softwaru, kterým jsou data zpracovávána.

Pro vlastní měření není třeba speciální úprava povrchu nebo odstraňování krycí nátěrové vrstvy. Četnost snímání dat ve vztahu k měřením vzdálenosti je možno volit ve vlastním měřicím programu.



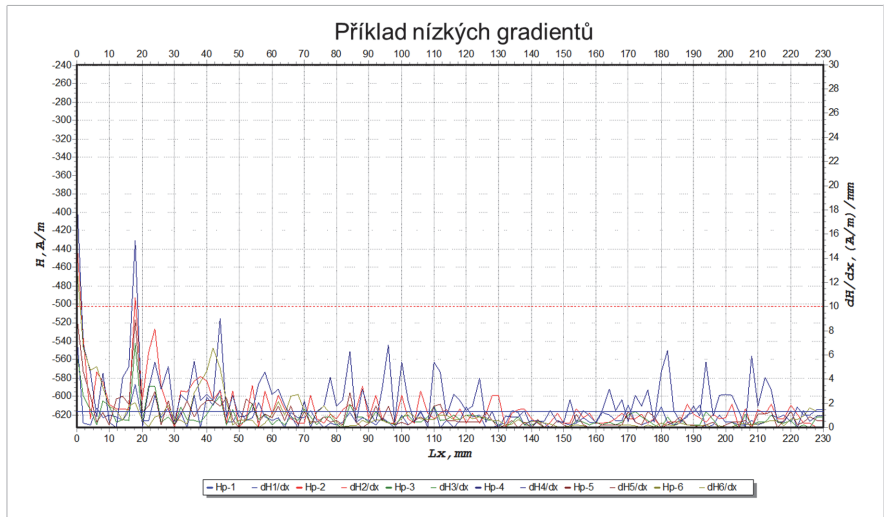
Obrázek 1.1 – Měřicí přístroj MPM se scanovací sondou

Obecně je aplikace MPM využitelná ke sledování změn koncentrací namáhání od samého počátku uvedení konstrukcí do provozu a dále pak v periodických časových intervalech stanovených pro danou konstrukci. V následujícím schématu je znázorněna možnost využití této metody pro diagnostiku konstrukcí.



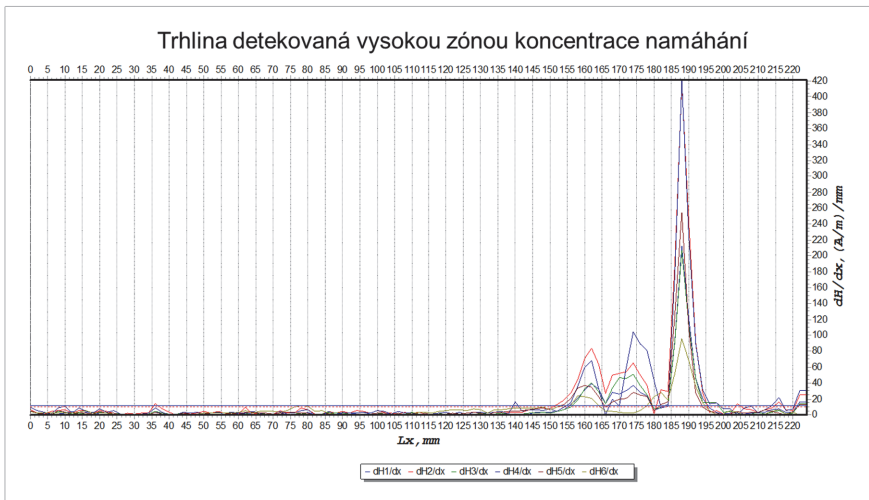
Obr. 2.1 – Schéma aplikace metody MPM pro diagnostiku konstrukcí

Na obrázku 3.1 je příklad měření nízkých gradientů na potrubí. Z hlediska úrovně amplitud se jedná o těleso bez výskytu defektů a trhlin.



Obr. 3.1 – Nízké hodnoty zón koncentrací namáhání

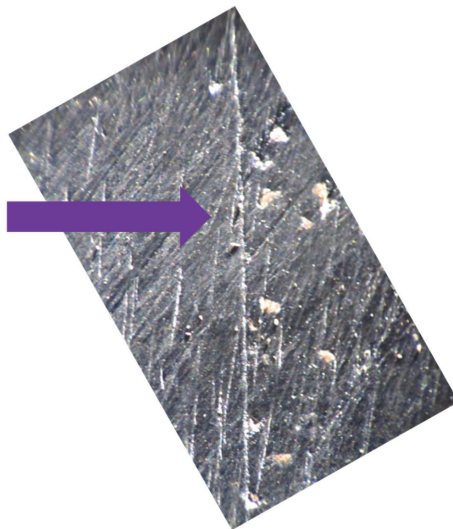
Naproti tomu obrázek č. 4.1 reprezentuje lokalizaci místa zvýšené koncentrace namáhání v konstrukci vyvolané vznikem a šířením únavové trhliny. Příslušné amplitudy gradientů řádově přesahují základní úroveň vůči materiálu bez defektu.



Obr. 4.1 – Záznam reflektující existenci únavové trhliny

Na obrázku 5.1 je detail zjištěné trhliny metalograficky. Je vidět, že ostrá koncentrace namáhání odpovídá z hlediska lokalizace místu, ve kterém se trhlina nachází.

Detail trhliny



Obr. 5.1 – Reálná trhlina



Příklady využití MMM metody

Elektrárny, plynovody, naftovody

Kovové konstrukce, doprava, letectví

Lodě, zdvihací stroje, strojní součásti

**Metalurgie, vědecká výzkumná
činnost**

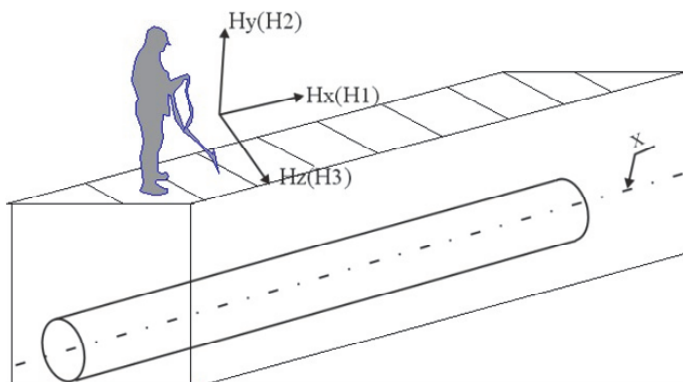
Diagnostika potrubí uložených v zemi

Bezkontaktní magnetometrická diagnostika – BDM

Tímto způsobem lze kontrolovat **plynovody, ropovody, teplovody, vodovody, obecně: produktovody**.

Snímání intenzity magnetického pole:

- vertikální (osa Y)
- axiální, vodorovná podél osy trubice (osa X)
- kolmo k ose trubky (osa Z);
- gradient dH/dx po délce dX trubka pro všechny výše uvedené složky magnetického pole.



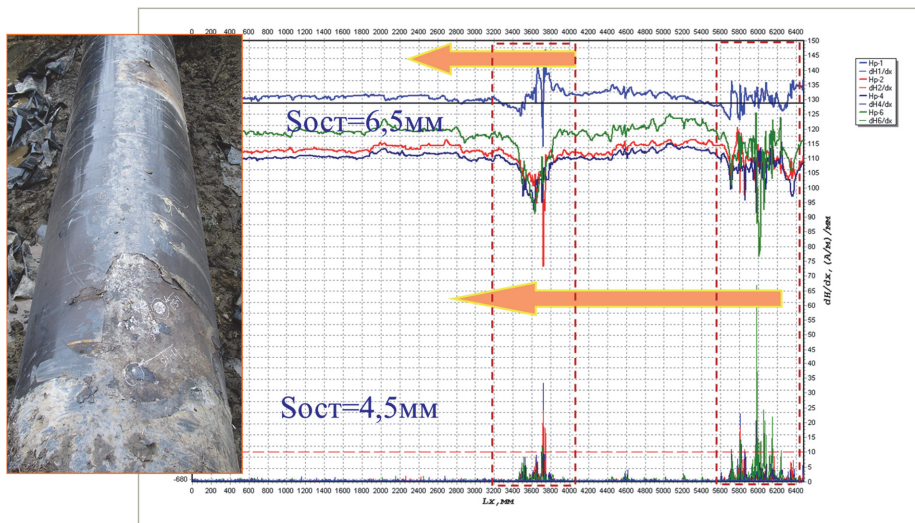
Obr. 6.1 – Znárodnění měření ve třech osách



1 - silniční kolo, a 2 – systém měřící vzdálenost, 3 - držák skeneru Typ 11/12, 4 - snímač typu 11/12, 5 - rukojeť: 6 - držák měřícího zařízení, 7 - skládací stojan, 8 - univerzální hlavy.

Obr. 7.1 – Měřící kolo s měřící sondou

Na obrázku 8.1 jsou znázorněna místa zvýšené koncentrace namáhání, která po odkrytí potrubí reprezentovala korozní poškození materiálu na vnějším povrchu.

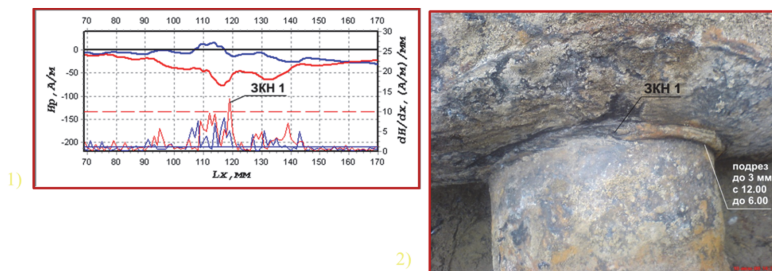


Obr. 8.1 – Výsledky měření bezkontaktní diagnostikou (BDM)

Na obrázku 9.1 je záznam magnetogramu a gradientů pro oblast napojení potrubí DN 300 na hlavní potrubí DN 1200.

Výsledky scanování MMM kontaktní metodou na potrubí D 1020 mm přípojka D 300 mm.

- 1 - rozložení magnetického pole H_p a jeho gradient dH/dx podél koutového svaru.
- 2 - zářez až 3 mm v rohu svaru, který se shoduje se zónou maximální koncentrace napětí SCZ.



Obr. 9.1 – Záznam magnetogramu a gradientů

Praktický postup provádění inspekce BDM je na obrázku č. 10.1.

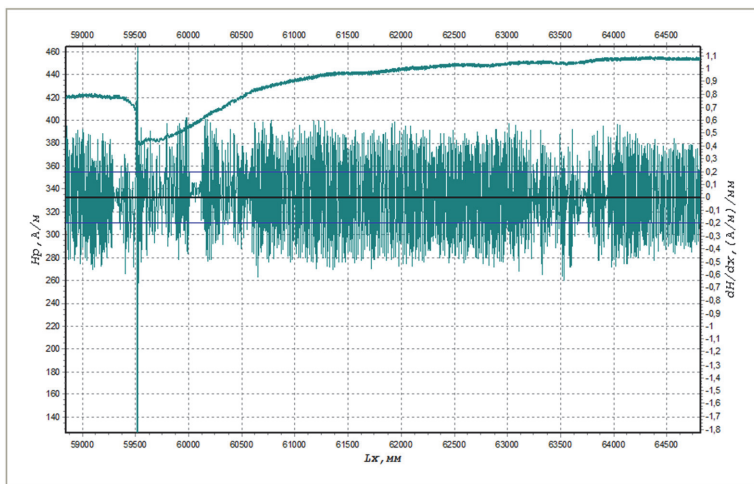


Obr. 10.1 – Inspekce pomocí BDM



Obr. 11.1 – Vyznačené potrubí

V místě výrazné anomálie bylo provedeno odkrytí potrubí a detailní diagnostika, jejíž výsledky jsou na obrázku 13.1.



Obr. 12.1 – Typický záznam signálu v závislosti na vzdálenosti s významnými anomáliemi

Na obrázku 13.1 byl detailní diagnostikou zjištěn defekt typu vnější trhlina, jejíž velikost a hloubka byla ověřena ultrazvukem. Daný úsek potrubí byl vyříznut a nahrazen novou částí potrubí. Na vyříznutém úseku potrubí s defektem byla provedena tlaková destrukční zkouška.



Obr. 13.1 – Detail zjištěného defektu

Závěr

Mezi hlavní výhody této metody patří:

- rychlost měření
- opakovatelnost měření
- není třeba úprava povrchu měřeného materiálu
 - inspekce je možná za provozu
- včasná diagnostika únavového poškození
 - vibrace nemají vliv na měření

Metoda magnetické paměti materiálu (MPM) má široké oblasti použití, ale i dílčí omezení, vlivem vysoké citlivosti.

K limitujícím faktorům patří: nemagnetické materiály, uměle zmagnetované kovy, přítomnost cizích magnetických materiálů v těsné blízkosti kontrolovaného objektu, přítomnost externího magnetického pole nebo elektrického svařování do vzdálenosti 1 m.



THE IMPACT-ECHO METHOD IS BEING USED AS A TOOL TO EVALUATE DEGREE OF DEGRADATION IN CIVIL ENGINEERING

Daniela ŠTEFKOVÁ, Libor TOPOLÁŘ

*Brno University of Technology, Faculty of Civil Engineering,
Veveří 331/95, 602 00 Brno, Czech Republic
Contact e-mail: stefkova.d@fce.vutbr.cz

Abstract

This paper reports the results of measurements by Impact-echo method on two applications in civil engineering. The results are obtained in the laboratory during the hardening process in quasi-brittle materials such as alkali-activated slag mortars and the degradation of composite materials based on cement by high-temperature (in the temperatures range from 200°C to 1200°C). The results of non-destructive testing of such samples by acoustic methods confirmed the differences in the structure of mortar specimens. A significant decrease of the absorbed frequencies was observed depending on the temperature. A shift of the dominant frequency to a lower value is a key indication of the presence of the flaw.

Key words: High-temperature, impact, mortar, specimens, frequencies.

1. Introduction

In civil engineering, efficient non-destructive quality control plays an important role in the optimization of resources for manufacturing, maintenance and safety. The impact-echo method is useful a non-destructive technique for flaw detection in concrete. It is based on monitoring the surface motion resulting from a short-time mechanical impulse. This method overcomes many of the barriers associated with flaw detection in concrete, which occur at ultrasonic methods. One of the key features of this method is the transformation of the recorded time domain waveform of the surface motion into the frequency domain. The impact gives rise to modes of vibration and the frequency of these modes is related to the geometry of the tested object and the presence of flaws.¹

A short-time mechanical impulse, generated by tapping a hammer against the surface of a concrete structure, produces low-frequency stress waves which propagate into the structure.^{3, 4} Thus generated waves propagate through the specimen structure and reflect from the defects located in the volume of specimen or in the surface. Surface displacements caused by the reflected waves are recorded by a transducer located adjacent to the impact.⁵ The signal is digitized by an analogue/digital data system and transmitted to a computer memory. This signal describes transient local vibrations, which are caused by the mechanical wave multiple reflections inside the structure. The dominant frequencies of these vibrations give an account of the condition of the structure, which the waves pass through.^{6, 7}

The signal analysis from the impact-echo method is the most frequently performed by frequency spectra obtained from the fast Fourier transform. Fourier analysis converts time to frequency and vice versa. A fast Fourier transform (FFT) is an algorithm to compute the discrete Fourier transform (DFT) and it is inverse.

2. Experimental

Materials. Material for hardening process of alkali-activated slag mortars:

The mixture consisted of 450 g of fine-grained granulated blast furnace slag Štramberk 380 (specific surface area 380 m²kg⁻¹), 180 g of sodium silicate (water glass) with modulus 1.6, 1350 g of silica sand (maximum grain size of 2.5 mm) and 95 ml of water. The amount of admixtures was 0.1 wt.% with respect to the slag. CNTs were added in the form of well-dispersed aqueous dispersion containing 1 wt.% of multi-walled carbon nanotubes (Graphistrengths CW 2-45). Since CNTs are commonly not water-soluble, the dispersion contained also carboxymethyl cellulose (68 g/L) as a dispersing agent.⁸ The slurry was poured into steel moulds (40×40×160 mm) to set. The samples were demoulded after 24 h and one set was tested (marked 0d) and second set was immersed in water for another 28 days before testing (marked 28d).

Specimens intended to be subjected in heating proces:

Mortars (of dimensions 40x40x160 mm) were produced using a type CEM I 42.5 R Portland cement (Českomoravský Cement-Heidelberg Cement Group) and water to cement ratio (w/c = 0.46) and quartz sand from Filtrační písky, s.r.o. for preparation mixture test mortar, in a ratio of 1 to 3. In compliance with ČSsyN 721200 standard. The specimens were left in the moulds for 24 hours, then cured in water for 27 days and finally air-cured for 31 days at laboratory temperature (25±2 °C) a relative humidity of 53±5 %.

After initial curing, the specimens were dried at a temperature of 60 °C for two days. Subsequently, the specimens were subjected to gradual heating in a furnace at 200 °C, 400 °C, 600 °C, 800 °C, 1000 °C and 1200 °C. The temperature increase rate was 5 °C/min. A dwell of 60 minutes at each temperature was provided, in other to find out the effect to temperature on the specimens. After heat treatment, the specimens were left to cool down spontaneously at laboratory conditions.

Test. In order to generate the acoustic signal, a hammer of 12 g mass, originally suspended from a hanger, was released to fall down on the specimen from a height of 4 cm. The impulse is reflected by the surface but also by micro-cracks and defects of the specimen under investigation. The response was picked up by an MIDI type piezoelectric sensor. Its output voltage was fed into a TiePie engineering Handyscope HS3, which is a two-channel, digital, 16 bits oscilloscope. The piezoelectric sensor was placed at the end of the beam at the center of transverse side and the hammer hit was carried out on the opposite side in the direction of the longitudinal axis. The sensor was attached to the surface of the sample by beeswax. Subsequently, the fast Fourier transform technique was used to transform the recorded waveform into the frequency domain for each of the output signals.

3. Results and discussion

The experiment was employed to determine micro structural changes during hardening process of alkali-activated slag composite with different admixtures. Changes in density of the material due to the process of hardening as well as the creation of micro cracks due to a time of curing are reflected in the shift of dominant frequencies. Fig. 1 shows the shift of the resonance frequency during 14 days after demoulding without curing. The frequency of the reference specimen (AAS) increased about 37 % during the first 48 hours from the measurement start and then decreased to the steady value around 18% from initial value. The dominant frequency of AAS+CNT (AAS+HPMC) specimen started 21% (15%) above the initial dominant frequency of reference specimen (AAS). The dominant frequency of AAS+CNT (AAS+HPMC) increased about 35 % (30 %) from initial value during the first 24 hours and then decreased to the steady value around 23% (25%) from initial value. The process of hardening and the formation of a hard and dense structure cause the initial increase of dominant frequencies. At a later time, the frequencies are again slightly shifted towards lower values. This phenomenon is probably associated with the drying process, which is followed by shrinkage of the AAS matrix and formation of microcracks.

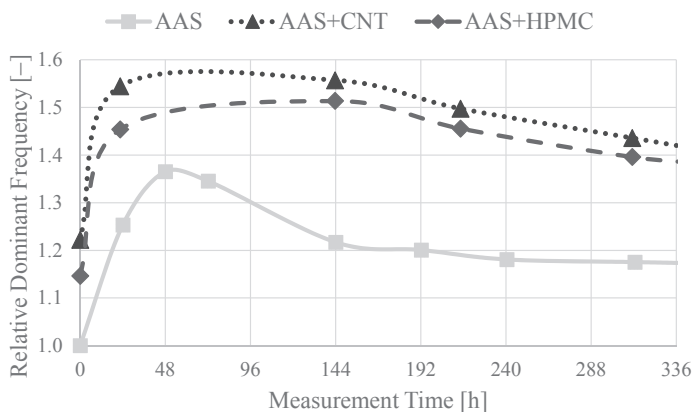


Fig. 1 Change of relative dominant frequencies over time - without curing

Fig. 2 shows the shift of the resonance frequency during 14 days after 28 days of curing. The dominant frequency decreased for all measurement time to stable value. For AAS specimen was stable value about 70% from initial value. For AAS+CNT (AAS+HPMC) was the decline about 25% (20%) from initial value. This decline is mainly associated with the drying process, which is followed by shrinkage of the AAS matrix and probably formation of microcracks. Whereas that dominant frequency obtained for specimens with admixtures were higher than for reference sample, then both admixtures have a positive effect on the formation of structure of alkali-activated slag composite. Both cellulose derivatives, which were added to mixture, are able to retain water. These admixtures prevent the material

from rapid drying and subsequent formation of the microcracks caused by drying shrinkage, which generally occurs during hardening of samples. Carbon nanotubes employed in one set of samples can act as micro reinforcement, it participates on the improvement of the mechanical properties.

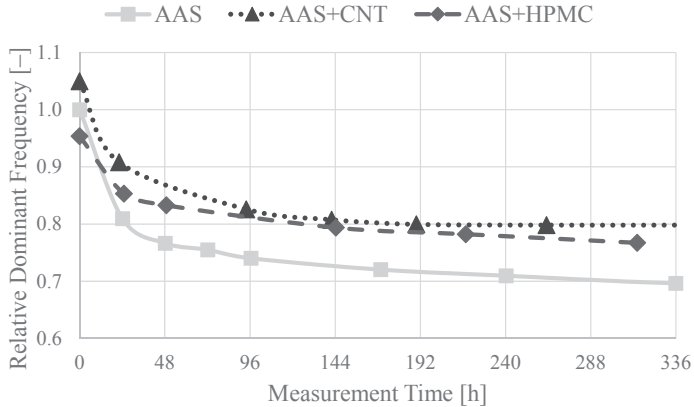


Fig. 2 Change of relative dominant frequencies over time –after 28 days of curing

The mortar specimens of the compositions were exposed to the temperatures of 200 °C, 400 °C, 600 °C, 800 °C, 1000 °C and 1200 °C. Fig. 3 presents the change of dominant frequency versus temperature at which the specimens of mortar compositions were subjected (arrangement U0-S0; longitudinal waves). For this measurement, the sensor was placed at the specimen's end at its centre line direction, while the specimen was hit at the opposite end at the centre line direction-arrangement U0-S0. Longitudinal waves, which propagate within the sample at a speed of about 5100 m/s, can affect the mortar element oscillations. The exposure at elevated temperatures causes a decrease of dominant frequency, leading to the conclusion that the material's elastic modulus for each composition also decreases. Predominant frequencies are shifting towards to the lower frequency range in the course of the degradation. The change is more rapid at the temperature range of 400 °C - 600 °C, where are intense impurities changed. It is seen that the predominant frequencies shifted down towards the lower frequency region. For the specimen which underwent a thermal stress by a temperature of 1200 °C is seen that the predominant frequencies shifted upwards towards the higher frequency region. It is evident that a structural change, accompanied with the creation of new crystal phases, takes place in the specimen at temperatures of about 1200 °C.

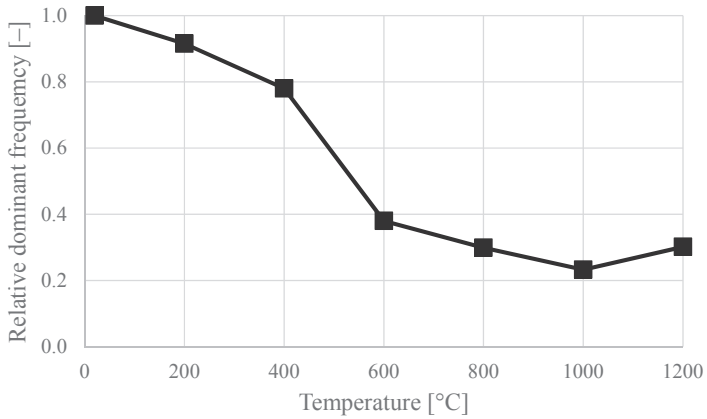


Fig. 3: Shift of dominant frequency induced by degradation at elevated temperatures (Arrangement U0-S0)

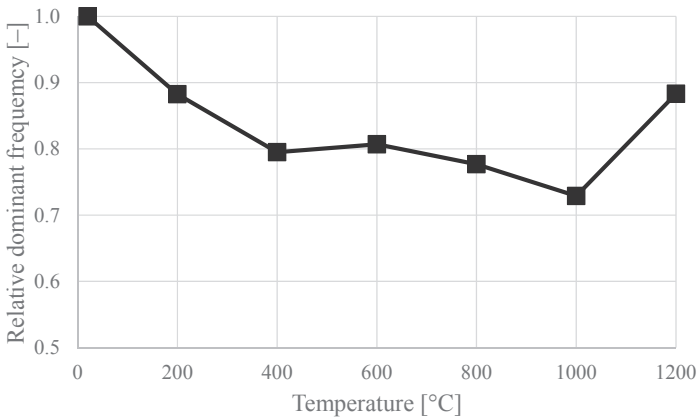


Fig. 4: Shift of dominant frequency induced by degradation at elevated temperatures (Arrangement U1-S1).

Fig. 4 shows the change of dominant frequency versus temperature when the arrangement was the U1-S1 one. In this case, transverse waves (gradual waves) are predominantly spread through the specimens. The difference between U0-S0 and U1-S1 arrangements is that in the latter the measurement took place with the sensor being placed at the mid-point and perpendicular to the specimen. The specimen was hit at the mid-point opposite to the sensor. The dependence of frequency on temperature was similar to that observed when U0-S0 arrangement was used, however frequency values were lower in the case of U1-S1 arrangement.

Similarly as in the case of U0-S0 arrangement (Fig. 3). The comparison of Figs. 3 and 4 indicates that the frequency change is slower when arrangement U1-S1 is applied. In general, acoustic methods illustrated the physical changes in the structure of all tested materials. The reduction of predominant frequency values was observed. Moreover, it was also observed in every case of elevated temperature. The heating up to 110 °C resulted in loss of capillary water and reduction of cohesive forces (weakening of bonds) due to moisture evaporation. At about 170 °C decomposition of gypsum occurred, resulting in expansive spalling. Between 250 - 300 °C the hydrated cement phases were decomposed, while above 300 °C resulted in $\text{Ca}(\text{OH})_2$ decomposition. Further temperature increase up to 300 or 400 °C intensified cement paste thermal decomposition and degradation. All mentioned changes resulted in embrittlement and hardening of the tested materials. Thus, the observed reduction of frequency values was assumed to be due to the formation of microcracks.

4. Conclusions

The paper deals with the results of measurements by Impact-echo method on two applications in civil engineering. The aim of this paper was study the application of the impact-echo method for detection of flaws in composite materials during different stress situation (setting and hardening on air and exposing to elevated temperature). It is known that the impact response signal of a specimen is composed of frequencies corresponding to the modes of vibration of the specimen. A shift of the dominant frequency to a lower value is a key indication of the presence of the flaw. From the results obtained in the framework of our research and the results demonstrated in this paper it can be summarized that the frequency inspection carried out by means of the Impact-echo method makes a convenient tool to assess the quality and life of these composite materials when exposed to stress situation.

Acknowledgement

This paper has been worked out under the project No. LO1408 "AdMaS UP - Advanced Materials, Structures and Technologies", supported by Ministry of Education, Youth and Sports under the „National Sustainability Programme I" and under the projectof specific research program at Brno University of Technology, project No. FAST-J-15-2580.

REFERENCES

- [1] N. J.Carino: Structures Congress and Exposition 2001. Proceedings. American Society of Civil Engineers. May 21-23, 2001, Washington, DC, Chang, P. C., Editor(s), 1-18 pp, 2001.
- [2] B. Kucharczyková, P. Misák, T. Vymazal, Russian Journalof Nondestructive Testing, 46(3)(2010)226 – 233,doi:10.1134/S1061830910030113
- [3] T. Vymazal, N. Žižková, P. Misák, Ceramics-Silikáty, 53(3)(2009) 216 – 445, ISSN 0862-5468.

- [4] I. Plšková, M. Matysík, Z. Chobola: Evaluation of ceramic tiles frost resistance using Impact Echo Method, In 10th International Conference of the Slovenian Society for Non-Destructive Testing: Application of Contemporary Non-Destructive Testing in Engineering, Ljubljana, 2009, 333 – 340, ISBN 978-961-90610-7-7.
- [5] M. Matysík, M. Kořenská, I. Plšková: NDT of freeze-thaw damaged concrete specimens by nonlinear acoustic spectroscopy method, In 10th International Conference of the Slovenian Society for Non-Destructive Testing: Application of Contemporary Non-Destructive Testing in Engineering, Ljubljana, 2009, 317 – 323, ISBN 978-961-90610-7-7.
- [6] M. T. Liang, P. J. Su, Cement & Concrete Research, 31 (2001) 1427–1436, doi:10.1016/S0008-8846(01)00569-5.
- [7] E. Birgham, Fast Fourier Transform and Its Applications, 1st ed., Prentice Hall, New Jersey 1988, 448, ISBN-13: 978-0133075052.
- [8] L. Topolář, H. Šimonová, P. Rovnaník, P. Schmid: The Effect of the Carbon Nanotubes on the Mechanical Fracture Properties of Alkali Activated Slag Mortars, In Dynamic of Civil Engineering and Transport Structures and Wind Engineering, Applied Mechanics and Materials, Donovaly, 2014, 243 – 246, doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.617.243.



THE MONITORING OF DEGRADATION OF REINFORCED CONCRETE CONSTRUCTIONS BY NON-DESTRUCTIVE METHODS OF TESTING

Kristýna TIMČAKOVÁ*, Michal MATYSÍK*

*Brno University of Technology, Faculty of Civil Engineering, Veveri 331/95, 602 00 Brno, Czech Republic

Contact e-mail: timcakova.k@fce.vutbr.cz

Abstract

The corrosion of steel elements in reinforced concrete can cause considerable damage to civil engineering structures. Early detection of rust is therefore very important. The aim of this paper is to evaluate the possibility of using the impact-echo method for monitoring corrosion of concrete-covered steel.

For research we manufactured concrete beams, which were reinforced with one standard reinforcing steel bar passing through the centre of the beam. After concrete curing and drying, the samples were exposed to 20% carbon dioxide atmosphere. After concrete pH decreased below 9.6 throughout the sample volume, samples were immersing into a 5 % water solution of NaCl and subsequently placing into a drying oven. The measurement was carried out before carbonation of concrete, after it, and then after every 20 cycles of accelerated degradation by chlorides.

Impact-echo method uses a short-time mechanical impulse applied to the surface of the test sample which produces elastic waves. These waves spread throughout the sample and is reflected from the surface but also from micro-cracks and unobservable defects inside the sample.

To verify the correctness of the NUS and impact-echo method results, additional measurements were carried out (confocal scanning microscope).

It has been proved that this method can be used for monitoring corrosion of concrete-covered steel.

Key words: *impact-echo, reinforced concrete, steel corrosion, confocal microscopy*

1. Introduction

Steel reinforced concrete parts can be threatened by corrosion. The corrosion of steel elements in concrete decreased a lifetime of affected constructions and negatively changes their properties. Steel in concrete is usually in a noncorroding, passive condition. But if chloride moves into the concrete, it violates the passive layer protecting the steel, causing it to rust. Another reason of steel corrosion in concrete is carbonation. Alkaline environment in concrete protects steel from corrosion. A problem causes the action of carbon dioxide which has the effect of lowering the concrete pH. Under these conditions the steel is not passive and can corrode. [1]

This article describes the monitoring of corrosion which is caused by carbonation of the concrete and supported by action of chlorides by using impact-echo method. The paper presents results obtained on the reinforced concrete samples with one steel rod passing through the centre.

Impact-echo method is based on the acoustic properties of the material which are dependent on its condition. A short-time mechanical impulse usually caused by a hit of a hammer or falling steel ball spreads throughout the sample in the form of elastic waves. These waves are reflected from the surface of sample but also from micro-cracks and unobservable defects inside the sample and they are thus transformed. On another location on the sample surface the piezoelectric sensors subsequently detects these transformed waves as the response signal. [6-8] The signal analysis from the impact-echo method is the most frequently performed by frequency spectra obtained from the fast Fourier transform. Usually we monitor changes in dominant frequency depending on the damage of material structure. This method has a wide application in mechanical engineering, power engineering and in many industries as well as in civil engineering for its simplicity and quick to use. [2-5]

In addition, the sample surface was observed using a confocal microscope. In conventional microscopy, not only is the plane of focus illuminated, but much of the specimen above and below this point is also illuminated resulting in out-of-focus blur from these areas. This out-of-focus light leads to a reduction in image contrast and a decrease in resolution. In the confocal microscope all out-of-focus structures are suppressed at image formation. The detection pinhole does not permit rays of light from out-of-focus points to pass through it. The wavelength of light, the numerical aperture of the objective and the diameter of the diaphragm (wider detection pinhole reduces the confocal effect) affect the depth of the focal plane. To obtain a full image, the point of light is moved across the specimen by scanning mirrors. The emitted/reflected light passing through the detector pinhole is transformed into electrical signals and processed by the computer.

2. Experimental section

For the research, the beams of dimensions 50 x 50 x 330 mm were made. They were reinforced with one standard reinforcing bar of 10 mm diameter and of 400 mm length, which passing through the centre of the sample. For the production of concrete was used a mixture composed of 300 kg cement CEM II/B – S 32.5, 1350 kg of sand with fraction of aggregate 0 – 4 mm and 225 l of water. The concrete had high water-cement ratio for ease penetration of degradation agents into the concrete structure. After 24 hours, when these samples were in the form, they cured in water for next 27 days and then they were dried on natural humidity at room temperature. Thus prepared samples were exposed to 20% carbon dioxide at 80% humidity and temperature 26 °C. The carbonation lasted for 60 days and the pH decreased below the value 9.6 throughout the sample volume. Then the samples were undergo to accelerated degradation by chlorides, when they were immersed into a 5 % water solution of NaCl for 16 hours, to be subsequently placed into a drying oven with temperature of air 40 °C, for 8 hours. The measurement was carried out before carbonation of concrete, after carbonation and after every 20 cycles of accelerated degradation by chlorides. We performed a total of 100 degradation cycles.

We constructed a measuring apparatus for impact-echo method. In this case the hanging hammer weighing 12 g was used and the hit was carried out from a predetermined height, which was the same for all measurements. The piezoelectric sensor MIDI took the signal response, which was fed to the input of the two-channel oscilloscope (TiePie engineering Handyscope HS3). Sensor was placed on surface

of concrete and hit was carried out on uncovered reinforcement. [6-9] Scheme of impact-echo method is shown in Fig. 1

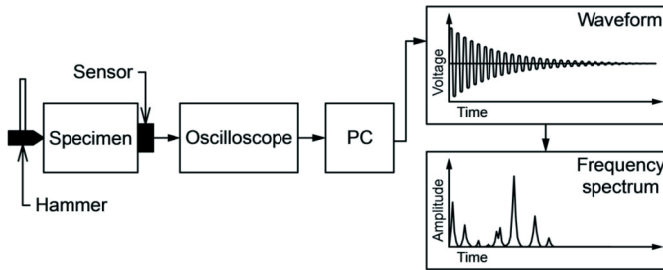


Fig.1 Impact-echo method scheme

Olympus LEXT 3100 laser confocal scanning microscope was used to study the surface and cracks of specimens. The microscope uses the Ar laser blue-green spectral line of the wavelength 488 nm, which makes it possible to gain a very high precision 3D imaging and measurement. The microscope resolution power is: superficial, 120 nm; sectional, 40 nm.

3. Results and Discussion

All the measurement results of individual methods are represented by sample 256 and sample 259. The dominant frequency of frequency spectrum obtained by the impact-echo method for sample 256 before degradation by carbon dioxide was at position 10869 Hz. After carbonation of concrete, this frequency moved to 10 172 Hz and after 100 cycles of accelerated degradation by chlorides the value of this dominant frequency was 9 950 Hz. These frequency shifts during the degradation is shown in the graph in Fig. 2.

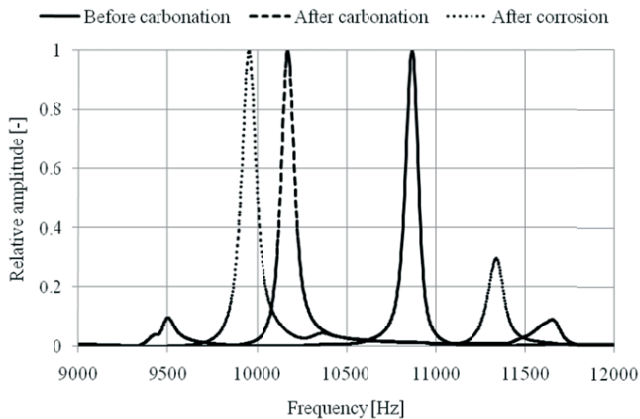


Fig.2 Frequency shifts during the degradation of specimen 256 (obtained by impact-echo method)

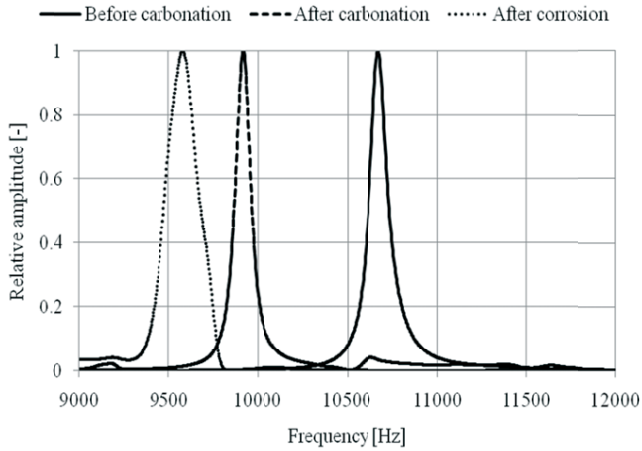


Fig.3 Frequency shifts during the degradation of specimen 259 (obtained by impact-echo method)

Using confocal microscope LEXT 3100, we monitored the state of the surface and cracks of concrete samples during degradation. We always scanned the same place on the surface. We are particularly interested in the growth of cracks. In the Fig. 4-6 (for sample 256) and 7-9 (for sample 259) we can see the gradual expansion of cracks during the degradation process.

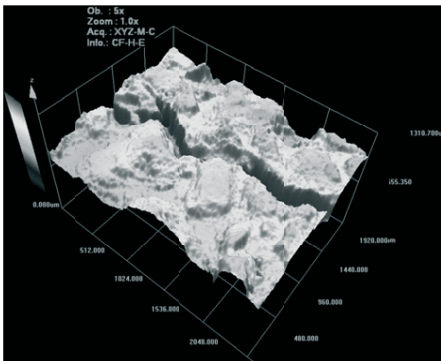


Fig.4. Crack in the specimen 256 after 40 cycles of accelerated degradation by chlorides

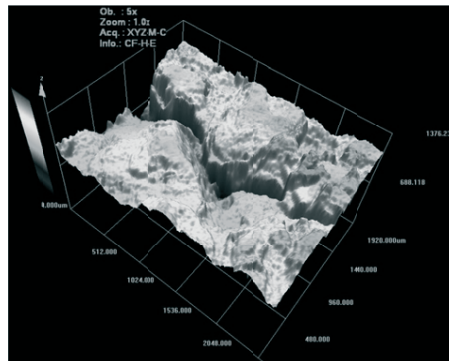


Fig.5: Crack in the specimen 256 after 60 cycles of accelerated degradation by chlorides

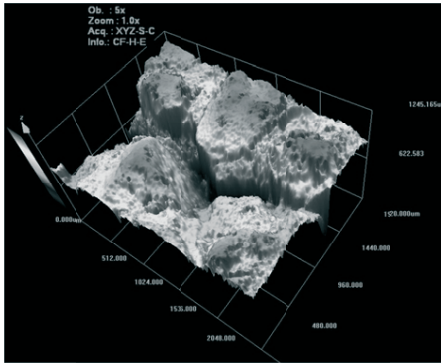


Fig.6. Crack in the specimen 256 after 100 cycles of accelerated degradation by chlorides

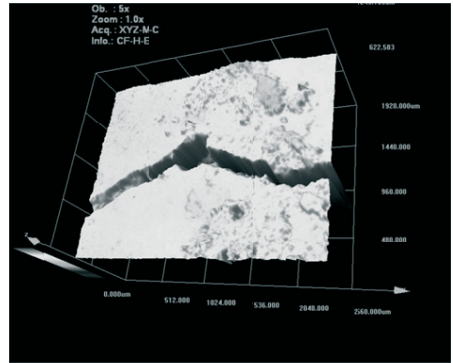


Fig.7 Crack in the specimen 259 after 40 cycles of accelerated degradation by chlorides

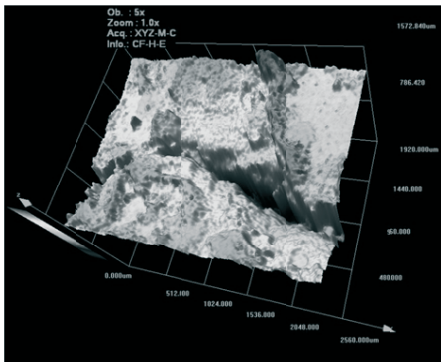


Fig.8. Crack in the specimen 259 after 60 cycles of accelerated degradation by chlorides

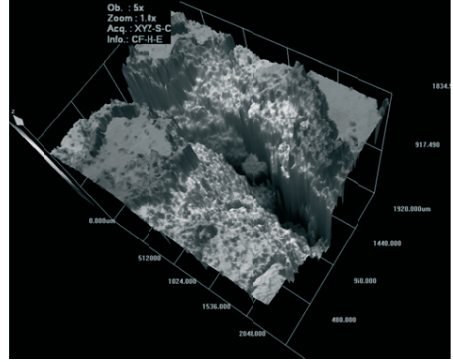


Fig.8 Crack in the specimen 259 after 100 cycles of accelerated degradation by chlorides

4. Conclusions

This paper presents our results of concrete-covered steel corrosion monitoring by means of impact-echo method. The results of impact-echo method proved that this method is very sensitive to damage of the concrete structure by carbonation and corrosion. The shifts of the dominant frequencies obtained by using fast Fourier transform from the response signal correspond with changes of the structure during degradation. It has been shown that the deteriorating state of the structure has an effect on the reduction of dominant frequencies.

Growth of the cracks was also proved by confocal microscopy. Based on this we can say, that method is very promising for steel corrosion monitoring in concrete.

Acknowledgments

This paper has been worked out under the project No. LO1408 "AdMaS UP - Advanced Materials, Structures and Technologies", supported by Ministry of Education, Youth and Sports under the „National Sustainability Programme I" and under the project of specific research program at Brno University of Technology, project No. FAST-S-15-2622.

References

- [1] M. Collepardi, *The New Concrete*, 1st ed, Tintoretto, 2006, 421, ISBN: 9788890146947
- [2] K. E. Van Den Abeele, A. Sutin, J. Carmeliet, P. A. Johnson, *NDT & E International*, 34 (2001) 4, 239-248, doi:10.1016/S0963-8695(00)00064-5
- [3] L. Pazdera, L. Topolar, *Russian Journal of Nondestructive Testing*, 50 (2014) 2, 127–132, doi:10.1134/S1061830914020065
- [4] M. Matysik, I. Plskova, Z. Chobola, *Advanced Materials Research*, 1000 (2014), 285 – 288, doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.1000.285
- [5] G. Epasto, E. Proverbio, V. Venturi, *Materials and Structures*, 43 (2010) 1-2, 235–245, doi:10.1617/s11527-009-9484-0
- [6] B. Kucharczykova, P. Misak, T. Vymazal, *Russian Journal of Nondestructive Testing*, 46 (2010) 3, 226 – 233, doi:10.1134/S1061830910030113
- [7] M. Krause, M. Barmann, R. Frielinghaus, *NDT & E International*, 30 (1997) 4, 195–204, doi:10.1016/S0963-8695(96)00056-4
- [8] T. Vymazal, N. Zizkova, P. Misak, *Ceramics-Silikáty*, 53 (2009) 3, 216 – 224, ISSN 0862-5468
- [9] D. N. Boccaccini, M. Maioli, M. Cannio, M. Romagnoli, P. Veronesi, C. Leonelli, A. R. Boccaccini, *Engineering Fracture Mechanics*, 76 (2009) 11, 1750–1759, doi:10.1016/j.engfracmech.2009.03.008



SROVNÁNÍ ALKALICKY AKTIVOVANÝCH BETONŮ S RŮZNÝMI AKTIVÁTORY METODOU AKUSTICKÉ EMISE THE COMPARISON OF ALKALI-ACTIVATED CONCRETE WITH DIFFERENT ACTIVATORS BY ACOUSTIC EMISSION METHOD

Libor TOPOLÁŘ * , Luboš PAZDERA *

*Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební
Contact e-mail: topolar.l@fce.vutbr.cz

Abstrakt

Beton je základní stavebním prvkem ve stavebnictví. V průběhu tuhnutí, tvrdnutí příp. zrání probíhají v betonu fyzikální a chemické děje, při kterých beton získává chemickou stabilitu a mechanické vlastnosti. Období tuhnutí a tvrdnutí je tedy velmi důležité. Tvrdnutí a tuhnutí betonu jsou velmi komplikované a důležité procesy, které významně rozhodují o celkových vlastnostech betonu. Příspěvek se zabývá sledováním vlastností alkalicky aktivovaných betonů v tomto důležitém stádiu. Alkalicky aktivované stavební materiály mají velký potenciál pro široké použití v praxi. Pro analýzu a hodnocení se použilo měření teplot uvnitř vzorků a sledování aktivity akustické emise. Metoda akustické emise sleduje aktivní zdroje (např. poruchy) vznikající uvnitř sledované struktury. Tedy může identifikovat zdroje při tuhnutí a tvrdnutí. Výsledky získané v laboratoři jsou užitečné k pochopení různých fází vzniku mikrotrhlin během tuhnutí a tvrdnutí alkalicky aktivovaných betonů a může pomoci k jejich rozšíření v praxi.

Klíčová slova: *alkalicky aktivovaný beton, mikrotrhliny, akustická emise, teplota, tuhnutí, tvrdnutí*

Abstract

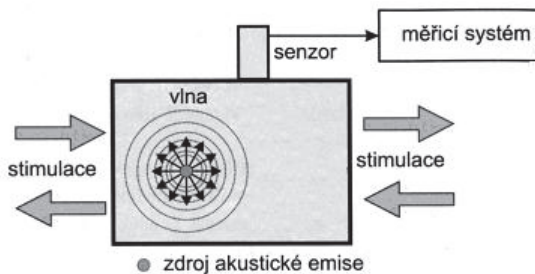
Concrete is the basic building material in the building industry. While concrete setting eventually there are some physical and chemical processes in progress that helps to get the chemical stability and mechanical quality. That is why the period of concrete setting and hardening is so important. Concrete setting and hardening are very complicated and important processes that influence the overall concrete quality. The article describes the observation of the alkali-activated concrete quality during this important stage. Alkali activated concrete is a material having a great potential to be used in practice. The temperature measuring inside the specimen and observing of the acoustic emission's activity were used for the analysis and evaluation. The method of the acoustic emission observes the active source (for example the defects) that occur inside the monitored structure. The results obtained in the laboratory are useful to understand the various stages of micro-cracking activity during the hardening process in alkali activated slag concrete and extend them for field applications.

Key words: *Alkali-activated concrete, microcracks, acoustic emission, temperature, setting, hardening*

1. Úvod

A Metody nedestruktivní defektoskopie jsou diagnostické metody, které tvoří nedílnou část kontroly výrobku, struktury či konstrukce jak ve výzkumné, vývojové, předvýrobní a výrobní etapě tak i v provozu. Bez defektoskopie by nebyla zajištěna bezporuchovost, spolehlivost a bezpečnost v mnoha oblastech jako např. v letectví, v jaderné energetice, v chemickém průmyslu, ale i v bezpečnosti mostů, přehrad apod. Obecně se nedestruktivní defektoskopie zabývá testováním struktury kovových i nekovových materiálů a vnitřních nebo povrchových vad objektů bez zásahu do jejich celistvosti. Za vadu materiálu nebo výrobku považujeme nesprávné chemické složení, vady struktury, odchylky od požadovaných mechanických a fyzikálních vlastností, necelistvosti (trhliny, praskliny), dutiny (bubliny, póry, sraženiny, řediny), vměšky (struskovitost, nekovové a kovové vměšky), tvarové vady, koroze, opotřebení aj. [1].

Neexistuje žádná univerzální defektoskopická metoda, která by byla jednoznačně použitelná k pokrytí všech požadavků kontroly a všech okolností, kterým může být výrobek, struktura či konstrukce vystavena ať už se jedná o klimatické podmínky nebo lidský faktor. Při volbě defektoskopické metody je nutné vycházet z řady faktorů (mechanické dle použité metody také elektromagnetické vlastnosti testovaného materiálu, rozměry objektu, okolní prostředí, umístění objektu z hlediska přístupnosti aj). Současným trendem defektoskopických metod je kromě zjištění vady také stanovení typu a rozměru této vady a její lokalizace v objektu. V případě zjištění vady je nutné rozhodnout o její závažnosti z hlediska předpokládaného použití výrobku. Defektoskopické metody také mohou sloužit k popisu chování technických struktur [1, 2].



Obr. 1 Vznik a šíření vlny při události akustické emise [1]

Fig. 1 Scheme of the paper pages

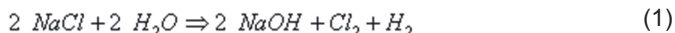
Metoda akustické emise patří k technikám nedestruktivního zkoušení. Na rozdíl od jiných nedestruktivních technik je metoda akustické emise pasivní kontrolní metodou, která může prověřovat celou objemovou strukturu konstrukce. Výhodou akustické emise oproti jiným defektoskopickým metodám je kontinuální monitorování objektu a úspora času v porovnání s postupným testováním jinými metodami. Avšak metoda akustické emise detekuje pouze aktivní poruchy. K akustické emisi dochází ve zdroji akustické emise při uvolnění energie vlivem stimulace vnitřním nebo vnějším napětím viz Obr. 1 [1,2].

Metoda akustické emise na rozdíl od většiny ostatních postupů nedestruktivního testování sleduje aktivní defekty probíhající uvnitř sledované struktury. Tyto poruchy mohou vzniknout pouze při zatížení sledované struktury. Pasivní defekty či tvar struktury nemá na lokalizaci akustické emise zásadní vliv.

Událost akustické emise je emitována nevratnými dislokačními a degradačními procesy v mikrostruktuře a makrostruktuře materiálu. Uvolněná energie se transformuje na mechanický napěťový impuls šířící se materiálem jako elastická podélná nebo příčná vlna. Jakmile vlna dopadne na povrch materiálu, částečně se odrazí a částečně dochází k její transformaci na jeden nebo více módů. U deskových struktur se vlna šíří převážně Rayleighovou, tj. povrchovou vlnou. Kromě povrchové vlny dochází také k transformaci např. na Lambovy, tj. deskové vlny. Každá z těchto vln se šíří různou rychlostí. Signál detekovaný na snímači akustické emise a převedený na elektrický se označuje jako signál akustické emise [3].

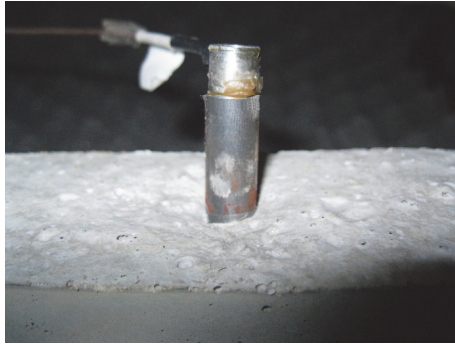
Alkalicky aktivovaný beton je materiál, který nepotřebuje cement jako pojivo. Místo cementu se použije materiál bohatý na křemík a hliník (popílek, vysokopecní struska apod.). Tento materiál se aktivuje pomocí zásaditého činidla, kdy nejčastější je kombinace křemičitanu sodného nebo draselného a hydroxidu sodného nebo draselného. K výrobě alkalicky aktivovaného betonu se využívá stejných technologií jako při výrobě běžného (cementového) betonu, podobně jako v běžných betonech plnivo zabírá největší objem (75-85 %).

Hydroxid sodný (louh sodný, E524). V současné době se hydroxid sodný vyrábí elektrolytickým rozkladem roztoku chloridu sodného (solanky), přičemž vedlejším produktem elektrolyzy je plynný chlór.



Při rozpouštění ve vodě se uvolňuje velké množství tepla. Proto se vždy přidává hydroxid sodný do vody a ne voda do hydroxidu sodného. Voda, do které se hydroxid přidává, musí být vlažná (30-40 °C), nikdy by neměla být horká nebo studená [4]. Hydroxid draselný se využívá méně než hydroxid sodný. Průmyslově se vyrábí buď elektrolyzou vodného roztoku chloridu draselného, nebo varem uhličitanu draselného s hydroxidem vápenatým [5].

Existuje mnoho způsobů pro určení vlastnosti betonu. Jejich aplikace v ranných stádiích je velmi složitá, nebo dokonce nemožné [6]. A v takových situacích je vhodné použít akustický vlnovod (Obr. 2). Jedná se o mechanické zařízení sloužící k zjednodušení a zpřesnění měření při přenosu akustických vln ve vzorku z pasty, malty nebo betonu. Vlnovod umožňuje jednoduché umístění snímačů příp. generování mechanických impulzů. Tedy prováděné experimenty mají podobnou statistickou chybu, která se neliší od přímého umístění na vzorku. Používá se např. pro měření chování betonových směsí v čase – v uvedeném případě i měření aktivity akustické emise.



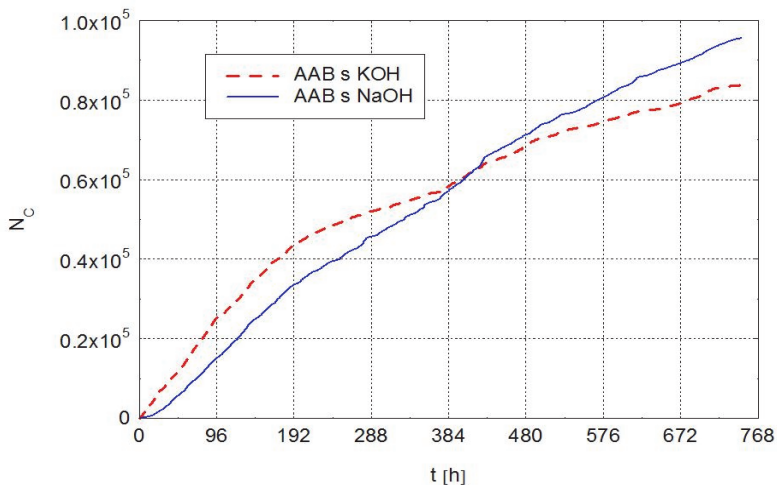
Obr. 2 Umístění snímače na vlnovodu
Fig. 2 Location of sensor on the waveguide

2. Experiment

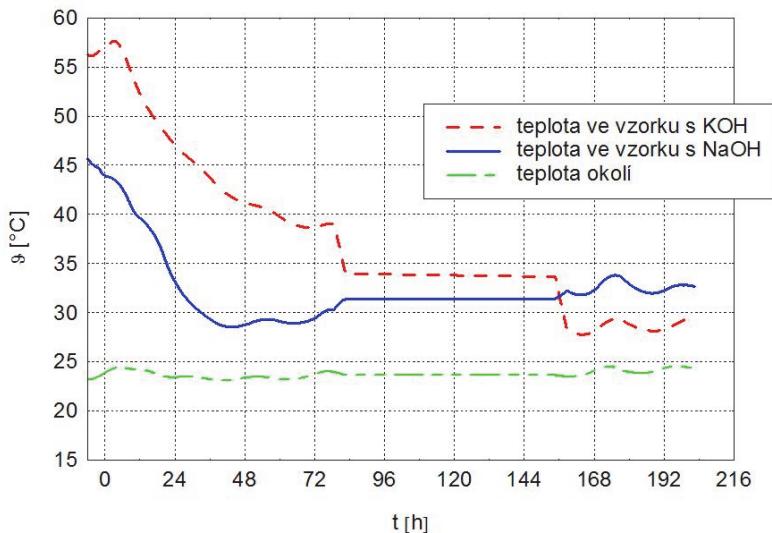
Vzorky tvoří betonové kvádry o rozměrech 10 cm x 10 cm x 40 cm. Odlití se provádí do betonových forem, jejichž delší stěna je odkryta. Následně po odlití a do vibrování (pokud je nutné) jsou do formy umístěna čidla teploty. Měření pomocí metody akustická emise bylo provedeno na zařízení DAKEL XEDO s použitím vhodných snímačů a vlnovodů. Snímače akustické emise byly připevněny na vlnovod (Obr. 2), který byl zapuštěn do čerstvé směsi. Pro vyhodnocení vzniku mikrotrhlin jsme se zaměřili na aktivitu akustické emise, resp. nejčastěji používaný parametr počet překmitů přes nastavenou úroveň. Teplotní čidla jsou odporové NTC termistory s negativním součinitelem odporu α , tj. s rostoucí teplotou jejich odpor klesá. Čidla jsou umístěna uvnitř vzorku.

3. Výsledky

Z grafu (Obr. 3) je patrné, že u směsi s vodním sklem a KOH je rychlejší nástup událostí akustické emise během prvních 200 hodin od začátku měření. Oproti tomu je počet událostí u směsi s vodním sklem a NaOH během měřeného úseku větší. U obou vzorků byla měřena i teplota během tvrdnutí (Obr. 4), která může napomoci při vysvětlování předcházejících srovnávacích grafů. Velký nárůst počtu událostí akustické emise na počátku měření u směsi s vodním sklem a KOH je způsoben rychlým nárůstem i poklesem teploty během prvních čtyřia dvaceti hodin. Naproti tomu směs s vodním sklem a NaOH měla po znovu zahájení měření vyšší teplotu a tím si vysvětlujeme celkově větší počet událostí akustické emise v celém měření. Obecně je patrný trend nižšího počtu akustických událostí pro beton s KOH a to i přesto, že při jeho tuhnutí došlo k výraznějšímu růstu teploty a pevnosti byly podstatně vyšší.



Obr. 3 Srovnání závislosti kumulativní četnosti na čase
 Fig. 3 Time history of acoustic emission cumulative counts



Obr. 4 Srovnání průběhů teplot v obou směsích
 (měření bylo přerušeno mezi 87 – 160 h)
 Fig. 4 Time history of temperature in specimens
 (measurement was interrupted between 87 – 160 h)

4. Závěr

Metoda akustické emise se jeví jako zajímavá doplňující metoda pro měření chování stavebních konstrukcí, struktur či nových materiálů při jejich zatěžování. Příspěvek ukazuje možnosti použití této metody pro sledování chování alkalicky aktivovaného betonu na začátku jeho života. Částečně ukazuje změny v oblasti mikrostruktury sledovaných vzorků, v tomto případě vlivem přirozeného procesu tuhnutí, tvrdnutí a zrání betonu. Můžeme usuzovat, že změny mikrostruktury v průběhu prvních 8 dnů jsou pod vlivem odlišného hydratačního tepla. Průběh teplot ukazuje jak klasický průběh, tak i anomálie, které jednotlivé směsi mohou vykazovat. Změny v dalším období budou pravděpodobně vyvolány různým alkalickým aktivátorem. Uvedené metody ukazují, že jejich použití pomáhá k popisu tuhnutí, tvrdnutí a zrání alkalicky aktivovaného betonu v laboratorních podmínkách.

5. Poděkování

Příspěvek byl vytvořen v rámci řešení projektu č. LO1408 "AdMaS UP - Pokročilé stavební materiály, konstrukce a technologie" podporovaného Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy v rámci účelové podpory programu „Národní program udržitelnosti I“ a projektu specifického výzkumu na Vysokém učení technickém v Brně, projekt číslo FAST-S-15-2774.

6. Literatura

- [1] KREIDL, M., ŠMÍD, R.: Technická diagnostika - 4. díl. BEN – technická literatura, Praha 2006, ISBN 80-7300-158-6
- [2] PAZDERA, L., SMUTNÝ, J., MAZAL, P.: Využití akustické emise při sledování vlastností zatěžovaných materiálů a konstrukcí. Vysoké učení technické v Brně, Brno 2004, ISBN 80-214-2802-3
- [3] POLLOCK, R. A.: Practical guide to acoustic emission testing. Physical Acoustic Corporation - Princeton, New Jersey 1988
- [4] SHI, C., KRIVENKO, P. V., ROY, D.: Alkali-Activated Cements and Concretes, Taylor & Francis, London 2006, ISBN 0-4157-0004-3
- [5] SONG, S., SOHN, D., JENNINGS, H. M., MASON, T. O.: Hydration of alkaliactivated ground granulated blast furnace slag, Journal of Materials Science 35 (2000) 249-257, ISSN 1573-4803
- [6] STRUBLE, L. J., ZHANG, H., SUN, G.-K., and LEI, W.-G.: Oscillatory shear behavior of Portland cement paste during early hydration, Concrete Science and Engineering, 2000 Vol. 2, No. 9, pp. 141-149



OPPORTUNITIES FOR THE REDUCTION OF SUBSTANCES AND EQUIPMENT IMPACT ON PERSONNEL IN PENETRANT AND MAGNETIC PARTICLES TESTING

Yuriy YAREMENKO
MR CHEMIE GmbH, Germany
yaremenko@mr-chemie.de

Abstract

Penetrant testing (PT) and magnetic particles inspection (MPI) are widespread methods of non-destructive testing which are not required a lot of investments for manual application and are simple in terms of discontinuous interpretation. On the other hand, work with chemicals requires special precautions, safety instructions and disposal limitations. Growing demand among customers to decrease impact of consumables and equipment on personnel and environment, shift producers' priorities to develop new, safer solutions.

This work offers to consider some results of MR Chemie company in development of free of dangerous components consumables for PT and MPI and to look closer at aspects of ultraviolet irradiation, as part of fluorescent PT and MPI methods, which affect on personnel safety.

Key words: *penetrant testing, magnetic-particles inspection, UV irradiation, personnel safety, test media hazards*

1.1. TEST MEDIA PERFORMANCE AND HAZARD CONSEQUENCES

When we consider parameters which influence the probability of discontinues detection by Penetrant testing (PT) and Magnetic particles inspection (MPI), besides process variables and conditional variables, professionals stress the importance of test media properties. Chemical composition of the test media brings on the top of tests' performance such qualitative parameters as wetting ability, which is responsible for parts coverage by test media in PT and MPI; viscosity, which links to magnetic particles mobility during magnetization in MPI; washing ability – parameter affecting on background during interpretation in PT, etc.

From the beginning of PT and MPI methods invention, consumers and producers of test media were focused on achieving highest qualitative parameters of the test media. In that times kerosene, naphtha and AZO dye pigments were widely used in test media production, as they were the simplest and easiest way to maximize test media's performance. On the other hand, these substances were (and are) distinct risk factors, initiating such serious diseases like skin cancer, genetic damage and other fatal impacts, as well as they were subject of disposal limitations.

1.2. REACH REGULATION

In order to ensure a high level of protection of human health and the environment from the risks that can be posed by chemicals, so called REACH regulation by European Chemical Agency (ECHA) was found. Since 2007, the regulation has been regularly updated, bringing more restrictions for the chemicals circulation and better transparency in dangerous substances identification for the end user.

Upcoming version of REACH, which is awaited for release at the end of 2015, is bringing more changes (below are listed some of these changes):

- Candidates list of carcinogen, mutagenic and toxic substances continues to expand and draw up 161 substances (on Dec 2014)
- Threshold concentrations, when substance counted as hazard, are being decreased for a lot of products
- Health and other hazard phrases are being rephrased with greater emphasis on the danger impact
- Hazard pictograms graphical conversion to GHS (Globally Harmonized System of Classification and Labeling of Chemicals)

As result, much more substances should be declared by producers as dangerous and labeled accordingly.

1.3. ACHIEVEMENTS AND APPLICATION CHANGES

MR Chemie company were eager to meet this challenge and alongside with our standard products (which do not have AZO-dye pigments, and most of them counted as bio-degradable) to develop line of consumables which are recognized as free of dangerous components according to the upcoming new version of REACH regulation. These products are labeled as ECO LINE and have additionally such properties as:

- Not hazard (even not irritant)
- Not flammable
- Do not contain volatile organic compounds (VOC)
- Have optimal removability and wetting ability
- Have no foaming effect and have high particles mobility
- Have increased fluorescence brightness

It is worth mentioning, that development of such properties ought to change recipes substantially, which result in several changes in application of the test media. Products, which are in aerosol cans supplied, have narrower and not homogeneous spraying pattern; for application of aqueous developer and white contrast paint pneumatic spray guns are necessary, also increased application and dryness time should be taken into account; Pre-cleaning procedures before water-based test media application should be handled thoroughly. Nevertheless, more and more customers adapt these changes in favor of safer operation.

2.1. ULTRAVIOULET IRRADIATION AS PART OF INTERPRETATION PROCESS

Ultraviolet (UV) irradiation is a part of interpretation process in fluorescent sub-methods of PT and MPI. Therefore exposure to UV and its hazard consequences

should be considered by Health and Safety Executives inherently with test media hazards.

UV filtered spectacles, masks and clothing which covers exposed parts of the body are essential part of protective measures for operators. Alongside with the operator, the risk of exposure for surrounding personnel is always existent. Therefore, comprehensive approach to protective measures is needed, and UV basics, UV harmful impact and types of artificial sources should be studied more thoroughly.

UV light is electromagnetic radiation with a wavelength shorter than visible light, but longer than X-rays. Whole UV spectrum lies in the range of 100 – 400 nm and typically cannot be seen by human eye. Basically, UV is classified in 3 wavelength bands. Short wavelength UV-C [100...280nm], middle wavelength UV-B [280...315nm] and long – UV-A [315...400nm]. In non-destructive testing, there is UV-A spectrum permissible with a peak at 365 ± 5 nm. According to EN ISO 3059, particular requirements to the UV spectrum profile are prescribed as well. Such strict approach to approved UV wavelength is caused by the fact that different UV wavelength bands have different influence on human. Let us look at these main differences.

2.2. ULTRAVIOLET HAZARD ASPECTS

Parts of human body affected by UV are eyes and skin. The lens of the eyeball is more sensitive to UV-A and part of UV-B bands. Starting from 300 nm this and higher wavelength of the UV are absorbed by lens and cause protein changes. On the other hand, the layer of the skin called epidermis is more sensitive to UV-B irradiation, whereas UV-A is passing by to deeper layer, i.e. the dermis. UV-B spectrum plays a key role in DNA changes in epidermis cells, and both UV-B and UV-A contribute to skin aging (photoaging). It is worth mentioning that alongside with UV spectrum, there is another harmful light band belonging to visual spectrum, namely violet light [400 ... 490 nm]. This light band affects the back wall of the eyeball and its element called macula.

Typical diagnoses caused by each band of wavelength are: conjunctivitis and cataract for the eyes affected by UV-A and UV-B; Macula degeneration for the eyes affected by violet light emission; erytherma, elastosis (photoaging) and skin cancer for the skin – mainly by UV-B.

After the overview of causes leading to the most harmful consequences to the human health, it is important to consider the relationship between the wavelength of the light emitted and power of its effects.

2.3. WAVELENGTH AND THE POWER OF EXPOSURE CORRELATION

European Directive 2006/25/EC set requirements regarding personnel protection exposed by the artificial optical radiation to the eyes and to the skin. UV exposure limits values for 8 hours shift draw up: 30 J/m^2 for the general UV spectrum (180-400 nm) and 10^4 J/m^2 for UV-A band only.

These values shows that biophysical impact of the UV-B and UV-C spectrum dose is seen as a lot more harmful than UV-A. Graphical interpretation, as shown in Figure 1, describes detailed relationship between biophysical impact of different UV bands, using Action spectrum Index, $S(\lambda)$.

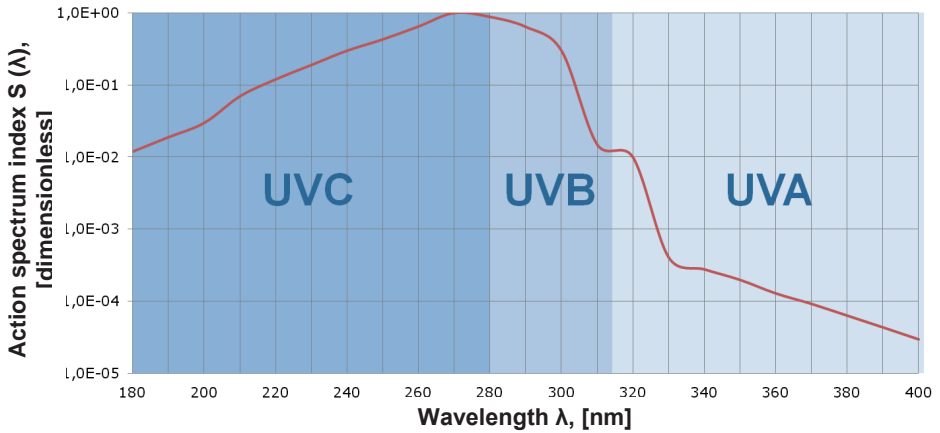


Figure 1: Biophysical impact of UV irradiation as a function of wavelength. Graphical interpretation of the data obtained from 2006/25/EC Directive

When we impose on this graphic Xenon, Mercury or other type of conventional UV source (Figure 2) and compare the overlay with the spectrum of UV Light Emitted Diodes (LEDs) (Figure 3), it clearly shows that conventional UV sources have much more intensive effects on operator than UV based on LED source. Taking into account logarithmic scale of action spectrum index $S(\lambda)$, the harmful influence becomes sizable even at UV spectrum with low intensity.

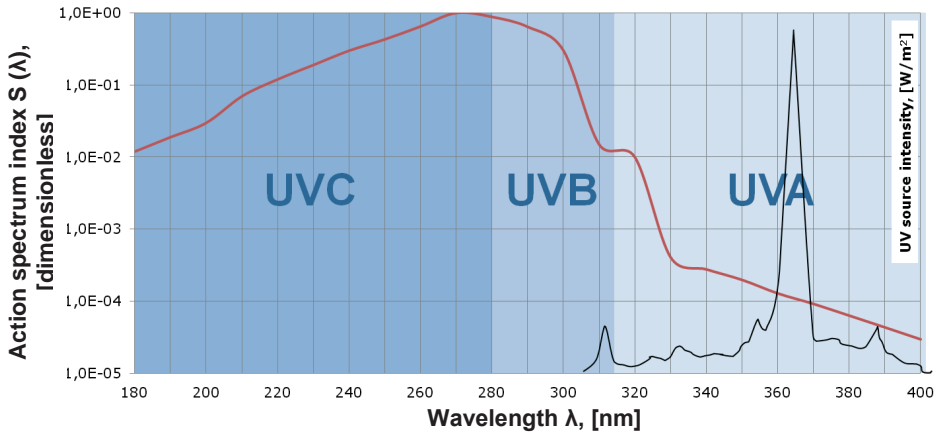


Figure 2: Selective example of Xenon UV Lamp spectrum with built-in UV filter

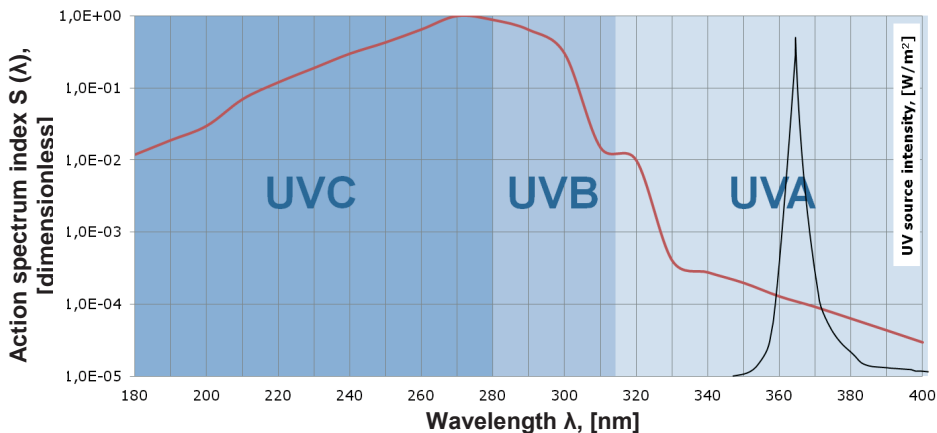


Figure 3: MR 97 UV LED Lamp spectrum

Moreover, in course of time, UV filter age and the borders of intercepted spectrum expand, and unwished UV wavelengths (which emitted unfiltered conventional UV source) are amplified. On the other hand, LEDs produce narrower UVA spectrum and do not irradiate UVB spectrum at all, no matter whether these irradiations are filtered additionally or not.

Besides UV spectrum, Health and Safety executives need to pay attention to violet light band, whose harmful spectrum sometimes underestimated. Figure 4 shows difference in action of Violet light spectrum in association with Macula degeneration diagnosis.

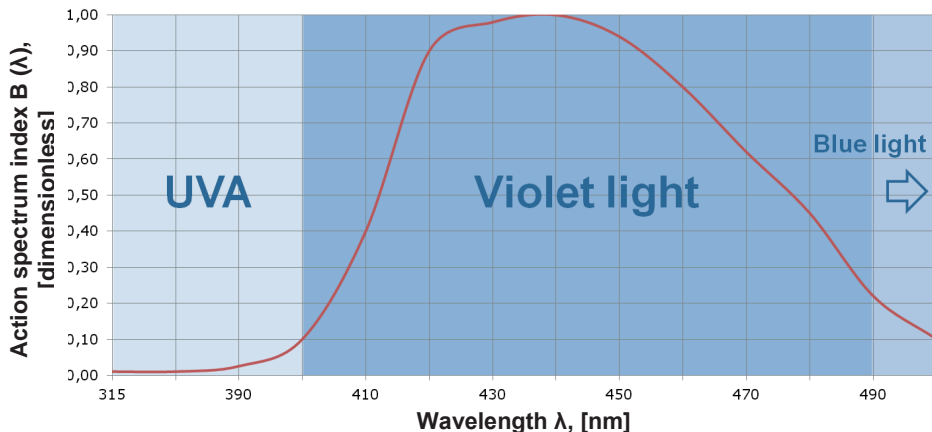


Figure 4: Photochemical impact of Violet light spectrum. Graphical interpretation of the data obtained from 2006/25/EC Directive

Alongside with the conventional UV sources, UV Lamps with any kind of UV source, which produce spectrum of visible light in wavelength 400 – 490 nm should be

avoided. Furthermore, violet background is typically registered on inspected surface, during its exposure under permissible 365 nm UV. The higher the concentration of UV beam, the more intense the violet light emissions back to the operator.

3. SUMMARY

Thus, there are a list of preventive measures, which have to be taken into account for the impact reduction of consumables and UV equipment when perform PT or MPI.

For consumables:

- Pay attention to symbols and hazard phrases labeled on product AND mentioned in Safety Data Sheets (SDS)
- Avoid products with carcinogenic, mutagenic, toxic and other serious harmful effects
- Consider products free of hazard symbols

For UV equipment:

- Use protective equipment against UV irradiation
- Avoid UV sources with any portion of UVB spectrum
- For conventional UV sources, as mercury, xenon, etc., replace UV filter regularly
- Avoid any UV sources with violet light irradiation [400...490 nm]
- Consider UV sources based on LED technology
- Avoid UV sources with high intensity and concentrated UV beams

ABSTRACT / ABSTRAKTY



ZKOUŠENÍ UHLÍKOVÝCH KOMPOZITŮ LASEREM BUZENÝM ULTRAZVUKEM

CONTACT LASER-ULTRASONIC EVALUATION OF CARBON-FIBER REINFORCED COMPOSITES

Alexander KARABUTOV, Alexey ZHARINOV, Elena SAVATEEVA,
Elena MIRONOVA, Petr ŽBÁNEK, Velerij MAKAROV
ILC MSU, NUST "MISiS", ATG Praha
zbanek@atg.cz

Abstrakt

V příspěvku je představena technika zkoušení uhlíkových kompozitů pomocí laserem buzeného ultrazvuku. Je demonstrováno vyšší rozlišení a vyšší citlivost. V příspěvku je diskutováno srovnání techniky phased array s laserem buzeným ultrazvukem, dále je diskutován budoucí vývoj techniky laserem buzeného ultrazvuku.

Klíčová slova: uhlíkový kompozit, ultrazvuk

Abstract

The technology of Contact Laser-Ultrasonic Evaluation of fiber reinforced composites is presented. Enhanced resolution and sensitivity is demonstrated. The comparison of phase-array and contact laser-ultrasonic evaluation investigation of composites is discussed. The prospects of contact laser-ultrasonic evaluation are discussed.

Key words: carbon-fibre reinforced composite, ultrasound



ZKOUŠKA TĚSNOSTI MĚŘENÍM PRŮTOKOMĚREM ATC Inc. LEAK TESTING BY MICROFLOW METER ATC Inc.

David NOVÁK

ATG s.r.o.

Contact e-mail: novak@atg.cz

Abstrakt

Příspěvek se zabývá celosvětově patentovaným způsobem zkoušení těsnosti s použitím velmi přesného průtokoměru společnosti ATC Inc. Příspěvek porovnává běžné metody měření těsnosti používané v praxi v sériové výrobě i jiných aplikacích. Příspěvek zmiňuje základní princip a posloupnost měření a uvádí několik příkladů z průmyslové praxe.

Klíčová slova: zkouška těsnosti, měření průtoku, sériová výroba

Abstract

The article deals with worldwide patented way of leak testing by using highly precise flowmeter manufactured by ATC Inc. The article compares usual methods of measuring of leak measurements used in serial production and other applications. The article mentions basic principles and sequence of measurement and denotes several examples of industrial applications.

Key words: leak testing, flow measurement, serial production



3-D NONLINEAR SUB-HARMONIC IMAGING TO VISUALIZE CLOSED CRACK PROFILE

Choon-su PARK

Korea Research Institute of Standards and Science in South Korea.
choonsu.park@kriss.re.kr

Abstract

Ultrasound phased array (PA) imaging for industrial nondestructive inspection usually used to show where flaws are in 2-D plane by using a linear measurement array. As a commonly used nondestructive internal flaw imaging method, there has been increasingly needed to see the flaw in three-dimension like as medical imaging has been doing. The major reason for the increase in the use of 3-D imaging is associated with the limitation of planar section viewing of 3-D flaw. The limitation that asks for improvement of 2-D imaging algorithm as well as transducer fabrication has long been investigated, but some technical deficiencies still remain for practical use. In particular, nonlinear sub-harmonic phased array imaging also has been proved to be a method to show closed crack in 2-D plane from linearly aligned measurement. Closed cracks such as SCC (stress corrosion crack) often complicatedly propagate through elastic solid. Here, a 3-D sub-harmonic imaging is presented, and 2-D beamforming to form 3-D images is numerically simulated. In addition, it is experimentally demonstrated that 3-D sub-harmonic imaging with CT specimen after cyclic load clearly shows closed crack profile with a scanning laser Doppler vibrometer.

Key words: *nonlinear sub-harmonic imaging, closed crack, 3-D imaging, phased imaging*



PŘÍPRAVA NOVÉ LEGISLATIVY V RADIAČNÍ OCHRANĚ

Zuzana PAŠKOVÁ

Státní úřad pro jadernou bezpečnost
zuzana.paskova@sujb.cz

Abstrakt

Státní úřad pro jadernou bezpečnost připravuje od roku 2011 novelu „atomového zákona“. Důvodů ke změnám je několik: technologický vývoj, zkušenosti z předchozích úprav, nové Doporučení ICRP a nové Direktivy Evropské komise v oblasti radiační ochrany, změna legislativně technických požadavků a příprava nového jaderného zdroje.

Podle nového doporučení ICRP se do praxe zavádějí tzv. „expoziční situace“ – plánovaná, existující a nehodová a k nim budou vztahovány požadavky na zajištění radiační ochrany. Významnou změnou je změna hodnoty ročního limitu pro radiační pracovníky na 20 mSv pro efektivní dávku a snížení limitu ekvivalentní dávky na oční čočku na 50 mSv za rok.

Pro oblast využívání zdrojů k průmyslovým aplikacím jsou stanoveny podrobnější požadavky pro práci s nimi, především pro přechodná pracoviště, která jsou z hlediska vzniku nestandardních situací nejvíce riziková. Současně bude vyšší důraz kladen na zabezpečení zdrojů z hlediska jejich možného zneužití (security). Vyhláška o radiační ochraně obsahuje podrobné požadavky na zabezpečení zdrojů vzhledem k jejich kategorii rizika, které byla převzaty z doporučení Mezinárodní agentury pro atomovou energii.

V současné době je připraveno paragrafové znění novely atomového zákona a dokončuje se paragrafové znění vyhlášek. Předpokládaná účinnost nových předpisů je od 1. 1. 2017.

Klíčová slova: jaderná bezpečnost, novela, atomový zákon



OHLÉDNUTÍ ZA KONFERENCÍ 11. ECNDT 2014 A POKROKY V NDT METODÁCH

HINDSIGHT TO THE 11TH ECNDT 2014 CONFERENCE AND THE PROGRESS IN NDT METHODS

Zdeněk PŘEVOROVSKÝ

Ústav termomechaniky AV ČR, Praha

zp@it.cas.cz

Abstrakt

V loňském roce pořádala ČNDT dosud největší mezinárodní akci ve své historii – 11. Evropskou konferenci o NDT, která se zařadila jak účastí (byli zde účastníci ze 62 zemí všech kontinentů), tak počtem odborných referátů a vystavovatelů mezi nejvýznamnější světové události v tomto oboru. V příspěvku jsou shrnuty některé závěry a výsledky vyplývající z této konference a její srovnání s předchozími evropskými a světovými konferencemi za posledních 15 let. Přehled témat, obsažených ve více než 4000 odborných příspěvků na 4 evropských a 4 světových konferencích ukazuje, že nejčastěji se týkají především tradičních ultrazvukových a radiografických metod, u kterých jsou nicméně rovněž patrné výrazné kvalitativní změny. Tyto změny spolu se zaváděním zcela nových metod a postupů vedou jak ke zvýšení spolehlivosti defektoskopických závěrů, tak k automatizaci kontrol s vyloučením lidského faktoru a k postupnému zavádění kontinuálního monitorování. Zajímavá jsou srovnání počtu příspěvků z různých oblastí NDT činnosti, naznačující vývojové trendy a pokroky v jednotlivých NDT metodách a aplikacích, z nichž je možné vyvodit i prognózy, jakým směrem se budou NDT techniky ubírat v nejbližších letech. Pro členy ČNDT byla tato konference významná jak z hlediska mezinárodní prestiže tohoto spolku i tím, že prokázala vysokou úroveň defektoskopie v ČR, srovnatelnou s nejvyspělejšími zeměmi světa a otevřela další příležitosti pro uplatnění českých NDT firem na zahraničních trzích.

Abstract

In the last year, the Czech Society for NDT organized up to now the biggest international action in its history – 11th European Conference on NDT “ECNDT 2014”. With attendance of participants from 62 countries around the world and large number technical contributions and exhibitors, ECNDT 2014 can be ranked among the most considerable events in this domain. Some conclusions and results following from 11th ECNDT are presented in this contribution, along with its comparison with previous European and World NDT conferences during the last 15 years. A survey of topics handled in more than 4000 papers presented at 4 European and 4 World conferences shows that they are mostly dealing with traditional ultrasonic and radiographic methods undergoing pronounced qualitative changes. These changes along with implementing new methods and techniques are leading as to enhancement of defects detection reliability as control automation with human factors elimination. Remarkable are also gradual installations of continuous Structural Health Monitoring systems. Interesting is a comparison of numbers of papers concerning various NDT areas, which imply evolution trends and progress of different NDT methods and applications. It allows also prognoses of

NDT directions in near future. 11th ECNDT 2014 conference was highly important for members of the Czech NDT Society as it shown international prestige of the Society and high level of NDT in the Czech Republic, comparable with the most advanced world countries. The conference also opened new opportunities for exertion of the Czech NDT firms and experts abroad.



MAGNETIZACE NESTANDARDNÍCH DÍLŮ MAGNETICKOU PRÁŠKOVOU METODOU MAGNETIZATION OF SPECIAL PARTS BY MEANS OF MAGNETIC PARTICLE METHOD

Miroslav ROXER

ATG s.r.o.

Contact e-mail: roxer@atg.cz

Abstrakt

Příspěvek se zabývá způsobem magnetizace feromagnetických dílů nestandardních tvarů pro účel zkoušky magnetickým práškem. Naznačuje limity standardních magnetizačních technik pro dané aplikace. Tyto limity vycházejí jednak z požadavků norem a zákazníků, druhak z reálných možností magnetizérů. Příspěvek dále ve dvou případech srovnává numerický model magnetizace s následným fyzickým experimentem. Konkrétními objekty, kterými se příspěvek zabývá, jsou brzdové kotouče pro letecký průmysl a motocyklová hřídele.

Klíčová slova: magnetická prášková metoda, numerický model, MT klikové hřídele, MT brzdových kotoučů

Abstract

The article deals with way of magnetization of ferromagnetic parts of special shapes for the purpose of magnetic particle test. It denotes limits of standard magnetization techniques for given applications. These limits rise from the requirements of standards and customers as well as real capabilities of magnetizers. In two cases the article also compares numerical model with following real experiment. The article deals with aircraft brake wheel and motorbike crankshaft.

Key words: magnetic particle method, numerical model, physical experiment, MT of crankshafts, MT of break wheels



DIAGNOSTIKA DEFEKTOV SOLÁRNÝCH ČLÁNKOV ZA POUŽITIA INFRAČERVEJ TERMOGRAFIE A ŠUMOVEJ SPEKTROSKOPIE DIAGNOSTICS OF SOLAR CELLS DEFECTS USING INFRARED THERMOGRAPHY AND NOISE SPECTROSCOPY

Lubomír ŠKVARENINA

Ústav fyziky, Fakulta elektrotechniky a komunikačných technológií VUT
Contact e-mail: xksvar01@stud.feec.vutbr.cz

Abstrakt

Tento článok sa zaoberá nedeštruktívnou diagnostikou monokryštalických kremíkových solárnych článkov. Defekty solárnych článkov ovplyvňujú elektrické parametre a následne majú značné dôsledky na ich účinnosť či spoľahlivosť. Z tohto dôvodu je potrebná analýza a lokalizácia defektov pre zabránenie, prípadne minimalizovanie ich prítomnosti v následných technologických procesoch výroby. Šumová spektroskopia je metóda, ktorá je veľmi citlivá na detekciu rôznych defektov a nehomogenít. Diagnostika vychádza z predpokladu, že PN prechod solárneho článku je v závernom smere. PN prechod je namáhaný a lokálne preťažený silným elektrickým poľom, ktoré spôsobuje silné fluktuácie prúdu nasledované generáciou šumu. Nárast záverného prúdu taktiež spôsobuje zvyšovanie lokálnej prúdovej hustoty v defektných oblastiach sprevádzaných lokálnym prehrievaním. Tieto miestne prehriatia sú následne lokalizované použitím infračervenej termokamery v kombinácii s makro objektívmi.

Kľúčové slová: solárny článok, nedeštruktívna diagnostika, šum, termografia, spektroskopia

Abstract

This article deals with non-destructive diagnostics of single-crystalline silicon solar cells. Solar cells defects affect electrical parameters and subsequently have major consequences for their efficiency and reliability. Therefore it is necessary to analyse and locate defects to prevent or minimize their presence in further technological processes of production. The noise spectroscopy is a method which is very sensitive for detection of various defects and inhomogeneities. Diagnosis is based on the assumption that a PN junction of solar cell is reverse-biased. The PN junction is stressed and locally overloaded by strong electric field which causes a strong current fluctuations followed by generation of noise. The growth of the reverse current also causes an increase of local current density in defective area accompanied by local overheating. This local overheating is then localized using an infrared thermal imager in combination with a macro lenses.

Key words: solar cell, non-destructive diagnostics, noise, thermography, spectroscopy



MOŽNOSTI VYUŽITÍ IRNDT PRO DETEKCI KOROZNÍHO POŠKOZENÍ VNITŘNÍ STRANY OCELOVÝCH STĚN

POSSIBILITIES OF IRNDT FOR CORROSION DAMAGE DETECTION ON STEEL WALLS INNER SIDE

Michal ŠVANTNER

Západočeská univerzita v Plzni
msvantne@ntc.zcu.cz

Abstrakt

V příspěvku je představena metoda infračerveného nedestruktivního testování (IRNDT). Jsou popsány základní vlastnosti metody a postupy měření. Jsou uvedeny výsledky měření na testovacím ocelovém vzorku, kde jsou demonstrovány možnosti plošného a hloubkového rozlišení metody. Je uveden příklad využití metody pro detekci korozního poškození vnitřní strany ocelových stěn.

Klíčová slova: *infračervené nedestruktivní testování, ocelová stěna*

Abstract

The infrared non-destructive testing method (IRNDT) is presented in the contribution. The method basic properties and measurement procedures are described. Results of an inspection of a steel test sample are presented. The results are used for demonstration of the spatial and depth resolution of the method. An example of detection of corrosion damage on a steel wall inner side is presented..

Key words: *infrared non-destructive testing method, steel wall*



PIEZOELEKTRICKÉ BALKOVÉ, KOMPOZITNÍ A FÓLIOVÉ SNÍMAČE PRO AE DEFEKTOSKOPII ROZBOR VNITŘNÍ STRUKTURY, SROVNÁVACÍ MĚŘENÍ A APLIKAČNÍ LIMITY

PIEZOELECTRIC BALK, COMPOSITE AND FOIL AE SENSORS FOR NON-DESTRUCTIVE ANALYSIS OF INTERNAL STRUCTURE, COMPARATIVE MEASUREMENT AND APPLICATION LIMITS¹

Miroslav VESELSKÝ

DAKEL – ZD Rpety

e-mail: veselsky@dakel.cz

Abstrakt

Ve článku je popsáno konstrukční uspořádání několika vybraných konstrukčních variant snímačů AE s elementy z PZT piezokeramiky s analýzou vzájemných vztahů základních parametrů. Srovnávány jsou hodnoty finálních parametrů snímačů s balkovou keramikou, piezokompozitem typu 3-1 a tenkou piezokeramickou fólií. V grafických přehledech jsou uvedena srovnávací měření frekvenčních charakteristik zástupců jednotlivých typů snímačů v pásmu 10 kHz až 800 kHz, včetně dynamických odezev na pulzní zdroj.

Klíčová slova: *snímače akustické emise, piezokompozitní materiály, tenké piezokeramické folie, frekvenční charakteristika*

Abstract

The present paper describe the inner arrangement of the several types of the AE sensors with the active PZT piezoelectric ceramic elements with the structural modification – bulk ceramic unit, piezocomposite class 3-1 unit and thin PZT foil unit. The task was focused on the comparison measuring of the frequency characteristic of the AE sensors and the dynamic behaviour under Hsu-Nielsen source excitation.

Key words: *acoustic emission (AE) sensor, frequency characteristic, PZT piezoelectric ceramic, PZT thin foil, piezocomposite*

¹ Strojový překlad službou Google



ZAJIŠŤOVÁNÍ KVALITY PROCESU PERSONÁLNÍ KVALIFIKACE A CERTIFIKACE V NDT ENSURING QUALITY OF NDT PERSONNEL QUALIFICATION AND CERTIFICATION PROCESS

Tomáš ZAVADIL

ATG (Advanced Technology Group), s.r.o.
Contact email: zavadilt@atg.cz

Abstrakt

Proces kvalifikace personálu je důležitá součást procesu nedestruktivního testování. Existují různé kvalifikační systémy, které lze obecně rozdělit do dvou skupin (nezávislá a zaměstnavatelská), lišících se delegací odpovědností za kvalifikační proces. Oba typy kvalifikačních systémů mají své výhody a nevýhody a jejich rozdíly vyžadují od školicích a zkušebních středisek zcela rozdílný přístup. ATG nabízí obě alternativy již 24 let s rostoucí základou zákazníků. Přístup ATG reflektuje potřeby zákazníků, stejně tak jako i trhu celkově a v rámci této prezentace bude vysvětlen.

Klíčová slova: školení, zkoušení, kvalifikace, certifikace, hodnocení výkonnosti

Abstract

Qualification process is an important part of the NDT process. There are various qualification systems involved, divided generally into two groups (independent and employer) based on the delegation of responsibility for the qualification process. Both qualification system types have their advantages and disadvantages and their differences require from training and examination centers different approach. ATG provides both alternatives already for 24 years with growing base of customers. The ATG way is reflecting both needs of customers as well as needs of the market as a whole and in this presentation it will be explained.

Key words: training, examination, qualification, certification, performance evaluation



ZKOUŠENÍ ZPŮSOBILOSTI JAKO NÁSTROJ PRO HODNOCENÍ A POROVNÁVÁNÍ DODAVATELŮ PROCESU NDT PROFICIENCY TESTING AS A TOOL TO EVALUATE AND COMPARE NDT PROCESS SUPPLIERS

Zbyněk ZAVADIL, Tomáš ZAVADIL, Václav JANDURA, Jiří PITTER
ATG (Advanced Technology Group), s.r.o
Contact email: zavadil@atg.cz, zavadilt@atg.cz, pitterj@atg.cz

Abstrakt

Investoři a společnosti zajišťující NDT proces externími zdroji od nezávislých organizací potřebují pravidelně hodnotit své dodavatele a vzájemně je porovnávat, aby byli schopni vybrat vhodného dodavatele procesu NDT. To může být zajištěno svými auditory, nebo může být využito Proficiency Testing (Zkoušení Způsobilosti). Princip mezilaboratorního systému ILAC dle ISO/IEC 17043 poskytuje nezávislý nástroj k ověření způsobilosti možných současných či budoucích dodavatelů NDT procesu, ověřit jejich shodu s implementovaným systémem řízení kvality dle ISO 17025 a motivovat portfolio dodavatelů k celkovému zvyšování jejich výkonnosti.

Klíčová slova: zkoušení způsobilosti, ISO 17043, ISO 17025, proces NDT

Abstract

Investors and companies outsourcing NDT process from secondary organizations need to evaluate their contractors on regular basis and compare them to choose the appropriate NDT services supplier. It can be provided by own auditors and approval staff or can be exploited Proficiency Testing tool. ILAC according to ISO/IEC 17043 provides an independent tool for validation of professional competence of possible or current NDT suppliers, assess their conformity with implementation of quality management system according to ISO 17025 and motivate its portfolio of suppliers to increase their overall performance.

Key words: proficiency testing, ISO 17043, ISO 17025, NDT process

Název	NDE for Safety / Defektoskopie 2015 sborník příspěvků
Editor	Luboš Pazdera, Marta Kořenská, Pavel Mazal
Vydal	Vysoké učení technické v Brně ve spolupráci s Českou společností pro NDT
Tisk	Betis s.r.o. Praha Tel.: +420 604 817 600, www.tiskarnabetis.cz
Vyšlo	listopad 2015
Vydání	první
Náklad	200

Tato publikace neprošla redakční ani jazykovou úpravou

ISBN 978-80-214-5280-0



46th International Conference and Exhibition NDE for Safety / Defektoskopie 2016

November 8-10, 2016, SPA Luhacovice, Czech Republic

This event will be organized by **Czech Society for NDT** as an international annual meeting and exhibition in the Spa Luhacovice (Moravia). The conference is aimed to all topics of non-destructive testing and evaluation of materials and structures in all areas of technical activities.

It is an opportunity to meet together all people interested in research, development, as well as in practice, standardization and application of NDT/NDE methods. All interested persons are invited to participate at the conference, and to contribute by papers in both oral and poster sections. Manufacturers and suppliers of NDT instruments, software, literature and service providers are invited to present their products and innovations.

Main Conference Topics:

- Acoustic emission
- Magnetic and inductive methods
- Radiography
- Surface and optical methods
- Tomography
- Ultrasonic methods
- Leak detection
- NDT corrosion damage monitoring
- NDT in material and structure testing
- Industrial standards and innovations
- Functional and operational testing, reliability and safety assurance
- Education, standardisation, certification and accreditation



Spa Luhacovice is the fourth largest and one of the most beautiful spas in the Czech Republic. Luhacovice differs from other spas in the strength of natural healing springs and the beauty of its surroundings. The singular architecture of the city completes the unique atmosphere of spa Luhacovice. Many spa buildings in Luhacovice were constructed in the style of Dusan Jurkovic, a Slovak folk Art Nouveau architect. Unique natural healing springs rank Luhacovice among the top healing spas in Europe.

Corresponding Address:

Dr. Pavel Mazal

CNDT – NDE for Safety, Brno University of Technology, Technicka 2,

CZ 616 69 Brno, Czech Republic

E-mail: cndt@cndt.cz

More info: www.cndt.cz

ISBN 978-80-214-5280-0