NEDESTRUKTIVNÍ TESTOVÁNÍ, CERTIFIKACE A ZKUŠEBNICTVÍ

FOTO: TWN Technology

NAPÍNAVÁ CESTA POD POVRCH VĚCÍ

Časy se mění – a to dnes s rychlostí dříve nebývalou – ale některé věci zůstávají a vyzrávají jako víno, což lze vztáhnout i na mnohé ryze technické záležitosti.

Obor označovaný jako nedestruktivní testování (Non Destructive Testing – NDT) se stal specifickou a velmi významnou skupinou zkušebních metod, které nacházejí stále častější využití v nejrůznějších oblastech a aplikacích – a to včetně těch, s nimiž se vlastně pro tento obor původně ani nepočítalo.

Dnes je NDT jedním z oborů, které se přes veškeré vývojové zvraty a nástup nových trendů, o svou budoucnost určitě obávat nemusí. Kromě klasických zkoušek, prováděných např. při pravidelných revizích, jsou to např. i zkoušky nových, často individuálně zákaznicky vytvářených vzorků. Objevují se nové materiály, jejichž tvůrci potřebují pro jejich komercionalizaci nejrůznější certifikace – i tady má NDT spolu s dalšími testovacími technologiemi svou nezastupitelnou úlohu. A tak se s nástupem nových technologií otevřely i zcela nové možnosti pro NDT.

V průběhu vývoje se vyvinuly desítky metod, jak daný objekt či vzorek detailně prozkoumat a proniknout dovnitř jeho struktury, aniž by došlo k jeho poškození. Někdy není možné použít běžnou destruktivní metodu, která vyžaduje odběr části jako testovacího vzorku, např. u různých průmyslových konstrukcí nebo v případech, že jde o vzácné nenahraditelné historické či jiné unikáty neocenitelné hodnoty, kdy by hrozilo jejich fatální poškození či zničení. Takto např. čekaly na svou šanci vzorky hornin dopravené z Měsíce, ale NDT pomáhá třeba i archeologům při odkrývání tajemství historických artefaktů i objevování celých nových lokalit ukrytých dosud před lidskými zraky, jak se můžete dočíst na str. 36.

A možná právě tato nová zjištění a objevy mohou přilákat i do NDT branže nové odborníky – mnohá dnešní velká dobrodružství se neodehrávají v tropických džunglích či neprobádaných pustinách, ale v laboratořích. ■

ČNDT V DOBĚ KORONAVIROVÉ

Kdy jindy provádět kontrolu a údržbu na zařízeních a konstrukcích, než když podnik částečně stojí? Ano, právě teď v této době by mělo být nedestruktivní zkoušení na vrcholu. A proto jsme rádi, že máme opět možnost prezentovat novinky v oblasti NDT v aktuálním čísle TechMagazínu.

Metody nedestruktivní defektoskopie jsou diagnostické metody, které tvoří nedílnou část kontroly výrobků, 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.

Moderní přístup se nespoléhá jen na jednu metodu, ale na kombinaci více metod. Kdy se využije více fyzikálních poznatků, máme pak díky nim celistvý obraz zkoumaného výrobku, struktury či konstrukce. Současným trendem je efektivnější a co nejrychlejší zobrazování defektů. Nyní je již běžným postupem prezentovat diagnostická data formou 2D a 3D zobrazení s následným zpracováním v reálném čase. Současně se využívají i různá cloudová úložiště pro velké množství dat a následné vyhodnocení.

> Současným trendem je efektivnější a co nejrychlejší zobrazování defektů.

FOTO: archiv

Ale ani moderní diagnostické přístroje nenahradí důkladně proškolený personál, který musí mít znalosti v NDT. Je smutné, že nám dobří „defektoskopové“ stárnou a další generace je zatím v nedohlednu. Na technické vysoké školy se hlásí velmi málo studentů. Ale ani jejich případný vyšší počet by nebyl úplnou spásou, protože stále není nikde akreditovaný obor NDT inženýr, tak jako v okolních státech – bude to budoucí časovaná bomba.

Tady nastupuje trochu skromná role České společnosti pro NDT, která se pokouší o osvětu i v této nelehké době. Na konci loňského roku a počátkem letošního se nám podařilo vydat NDT příručky (Ultrazvukové zkoušení, Zkoušení kapilární a Magnetická prášková metoda); v tisku je čtvrtá Basic – což je základ pro všechny metody; pracuje se na páté (Vířivé proudy) a závěrečným dílem bude Radiografie. Příručky jsou dostupné na našich akcích a v budoucnu i v e-shopu na našich webových stránkách www.cndt.cz, které také v letošním roce dostaly nový kabát. ČNDT se také angažuje v oblasti vzdělávání NDT odborníků nejen vydanými a připravovanými příručkami, ale také tím, že sdružuje jako firemní členy většinu školicích, certifikačních a zkušebních středisek, kde ve vedení těchto pracovišť jsou naši členové, kteří garantují kvalitu práce všech těchto pracovišť.

Na závěr bych chtěl ještě zmínit jednu velmi důležitou činnost ČNDT, kdy v rámci společnosti funguje Centrum technické normalizace, které zajišťuje překlady všech technických norem z oboru NDT.

Chtěl bych všechny zájemce o NDT, NDE, CM a SHM pozvat na druhý ročník Evropských dnů NDT a CM, které se budou konat v říjnu 2021 v Praze.

Tato činnost je velmi nevděčná a velmi málo zaplacená, takže ji provádí jen několik málo dobrovolníků, spíše bych řekl nadšenců, kteří také nemládnou. A pokud se s tímto stavem nic nezmění, zůstaneme v budoucnu jen u překladu první stránky, což si nikdo z lidí z praxe nepřeje.

Tady mělo následovat pozvání na výroční 50. Defektoskopii, ale bohužel letošní konference byla po důkladném rozboru aktuální situace kolem koronaviru COVID-19 zrušena. Nechtěli jsme riskovat rušení konference na poslední chvíli během podzimu, anebo v případě příznivějšího přístupu vlády konferovat v rouškách, to nám přišlo nedůstojné.

Přesto bych chtěl všechny zájemce o NDT, NDE, CM a SHM pozvat na příští rok, kdy na říjen připravujeme akci pod názvem 2nd European NDT and CM Days in Prague. Tato akce bude specifická tím, že se během jednoho týdne na jednom místě budou konat čtyři provázané a současně i samostatné akce, a to: 11th Workshop NDT in Progress, International Conference NDE & CM for Safety, 50th + 51st konference Defektoskopie 2021 a výstava NDT & CM Expo (**www.endtcm21.com**). Doufáme, že po letošním na konference chudším roce, bude účast hojná nejen ze zahraničí, ale i z domácí NDT, NDE a SHM scény.

Na závěr bych nám všem chtěl popřát pevné zdraví a dobrá rozhodnutí. A budu doufat, že se setkáme na některé námi organizované NDT akci. ■

Libor Topolář, prezident ČNDT

CHYSTÁME SE NA TO, CO BUDE… NAŠÍM POSLÁNÍM JE AUTORIZOVAT BUDOUCNOST

Na Velkém okruhu železničního Zkušebního centra VUZ ve Velimi přibyl nový unikátní indikátor plochých kol a středisko chystá další investice.

1

S novým systémem pro detekci a měření tzv. plochých kol (systém Argos) a se záměry Výzkumného Ústavu Železničního, a.s. (VUZ) nás seznámil jeho generální ředitel ing. Martin Bělčík.

Co bylo důvodem k pořízení této novinky?

Pravidelná technologická obnova našich zkušebních zařízení je spolu s vysokou odbornou úrovní našich pracovníků nejdůležitější podmínkou pro to, abychom se udrželi na technologické špičce železničního zkušebnictví. Nový indikátor zachycuje odvalování celého kola v detailu, kterého původní zařízení nebylo schopno dosáhnout. Náš původní indikátor by byl dostačující pro běžnou infrastrukturu, ale pro vysokorychlostní zkušební železniční okruh byl již nedostatečný.

Zařízení je instalované na Velkém zkušebním okruhu v přímém úseku, kde provádíme zkoušku hluku a zkoušky brzd. Zkušební souprava, která krouží rychlostí 200 km, objede tento okruh za 3 minuty a 40 sekund.

1 **„Výrobce od nás** může s vozidlem mířit rovnou ke schválení, k registraci a následně do provozu, to je naše přidaná hodnota," říká ing. Martin Bělčík.

2 **Šéfredaktor** Josef Vališka (vlevo) zpovídal Martina Bělčíka (vpravo) cestou k ukázce nového zařízení Argos umístěného na Velkém zkušebním okruhu.

3 **Systém Argos** pomocí 16 měřicích bodů rozmístěných na 9metrovém úseku (aby se kolo odvalilo min. dvakrát) snímá z čidel data (více o systému v příštím vydání TM).

Za jednu 8hodinovou směnu dokáže nejezdit přes tisíc kilometrů a jediná defektní náprava tak může kriticky poškodit trať. Jakékoli poškození trati tedy znamená zvýšené riziko negativního ovlivnění výsledku zkoušek a objektivity naměřených hodnot, protože i drobná chyba na infrastruktuře se může projevit ve zkušebních výsledcích. Je pro nás naprosto klíčové, aby naše trať v každém okamžiku odpovídala požadovaným parametrům.

Mimo vlastní indikaci poškození kol, provádíme každé tři měsíce ve spolupráci se SŽ měření kvality infrastruktury speciálními měřicími vozy. Naše nové zařízení nám v meziobdobí umožňuje s vysokým rozlišením indikovat potenciální problémy ihned a nečekat na výsledky měření.

Pro VUZ to znamená omezení provozních přestávek na traťovou údržbu, což v důsledku znamená zvýšení využitelnosti infrastruktury a snížení potenciální ztráty na tržbách. Z ekonomického hlediska je takovéto poškození trati ztráta v milionech Kč. Z tohoto pohledu se jedná o ekonomické a pragmatické rozhodnutí.

Měli jste tedy už cílenou představu i požadavky?

Ano i ne, do výběrového řízení jsme stanovili požadavky, co od zařízení očekáváme – neřešili jsme technické detaily, jak má být konstrukčně řešeno, ale stanovili jsme námi požadovanou přidanou hodnotu za náročných dodacích podmínek. A povedlo se, s výsledkem jsme spokojeni.

Při dodávce sice došlo k drobnému zpoždění, způsobenému situací s koronavirem, ale instalace proběhla ihned, jakmile to bylo možné, dodavatelská firma reagovala hbitě a systém je uvedený do zkušebního provozu. Do plného provozu systém převedeme nejpozději začátkem roku 2021.

Můžete tedy konkurovat i západním zkušebnám?

V Evropě, včetně Ruska, je šest zkušebních okruhů, které jsou v určitém konkurenčním postavení, ale zároveň je každý specifický, každý má odlišné technické parametry, jiné silné stránky a jiné slabiny. Tyto okruhy jsou mezi sebou obtížně porovnatelné.

Dovolím si říci, že Zkušební centrum VUZ ve Velimi je v Evropě zcela unikátní a možná i nejlepší. Silnou stránkou ZC Velim a celého VUZ je, že svoje služby nabízíme v komplexní podobě na jednom místě, což je pro zákazníka významná přidaná hodnota. Máme dva zkušební okruhy, jsme schopni v rámci napájecí soustavy modelovat všechny evropské napájecí systémy jak ve stejnosměrné, tak střídavé trakci garantovat výkon 10 MWh. Disponujeme kompletním technickým a technologickým zázemím. Mimo to jsme současně Autorizovanou osobou, máme akreditované činnosti, VUZ je certifikační

orgán pro certifikaci systémů kvality atd. Aktuálně jsme také získali notifikaci NoBo podle 4. železničního balíčku.

Tedy pokud bych se měl vrátit na začátek otázky – ano jsme konkurenceschopní a patříme do světové první ligy.

Předminulý rok jsme zcela přehodnotili naši obchodní a investiční politiku. Cílem je dělat projekty od A do Z a chceme k nám dostat všechny zkoušky nových železničních vozidel. Velký železniční okruh je de facto jediná vysokorychlostní trať v České republice, kde mohou jezdit vozidla 230 km/h! Postupně vytváříme podmínky, aby k nám mířili výrobci vozidel konstruovaných na rychlost 200 km/h. V těchto dnech k nám například dorazily nové vagony od konsorcia Siemens/Škoda Trasportation, máme zde vozidla od společností Alstom, Stadler, CAF a dalších významných evropských i mimoevropských výrobců.

Testování vozidel pro regionální dopravu a autonomní řízení vozidel je další naší prioritou. Nechceme tedy stavět nové haly, ale implementovat nové technologie.

Změna obchodní koncepce i investiční filozofie je poměrně zásadní věc. V čem tkví základní moment, proč jste se k tomu rozhodli?

Snažíme se identifikovat, co budou výrobci potřebovat ne teď, ale za 5, 10, 15 let. Předjímáme budoucí nároky výrobců a tímto směrem cílíme i naše investice. Čtvrtá průmyslová revoluce míří i do železničního sektoru s velkým důrazem na celkovou bezpečnost. Naše krédo je poskytovat našim zákazníkům služby v celém životním cyklu výroby nového kolejového vozidla od vývoje po certifikaci.

VUZ technologii nejenom odzkouší, a tím pomůže s dokončením vývoje, ale také posoudí a ocertifikuje vozidlo (tedy nejenom prodej kapacit zkušebního centra, ale posouzení shody, jako tzv. No/Bo – notified body nebo DeBo – designated body, organizace určená v rámci EU členským státem k posouzení shody s technickými požadavky vyžadovanými předpisy před uvedením na unijní trh). To je naše přidaná hodnota. Od nás může výrobce s vozidlem mířit rovnou ke schválení, k registraci a následně do provozu.

Díky změně obchodní politiky jsme kapacitně vyprodaní ve všech produktových vertikálách. V současné době máme vyprodanou i kapacitu na rok 2021 a 2022, a prodáváme kapacitu na roky 2023 až 2024.

Plánuje VUZ v rámci modernizačního programu ještě další podobné investice?

Z investičních akcí letos plánujeme pořídit váživý systém, dostavujeme dvě odstavné koleje, kde rozšíříme naše služby o další stacionární zkoušky. Také chystáme významnou změnu funkčního využití Malého železničního okruhu. Do úprav letos investujeme cca 60 mil. Kč. Do této modernizace jsme zapojili i vysoké školy a máme zájem vtáhnout do tohoto projektu i další partnery. Malý železniční okruh obohatíme o smart řešení, jako je internet věcí a zařízení, která umožní zkoušky autonomní dopravy, nikoli jen automatizované. Málokdo ví, že se u nás zkoušely například i vozy metra a rádi bychom se k tomuto konceptu vrátili.

Na konci roku bychom měli disponovat novým hnacím vozidlem, lokomotivou Vectron od společnosti Siemens, s unikátní čtyřsystémovou konfigurací. Umožní nám provádět zkoušky ve všech evropských napájecích systémech. Navíc bude tato lokomotiva oprávněna na zkušebním okruhu dosahovat rychlosti 210 km/h a jako povinnou třešničkou bude vybavena ETCS baseline 3!

Na Velkém železničním okruhu souběžně investujeme do ETCS a zvýšení z baseline 2 na baseline 3. Naším cílem je mít takovou infrastrukturu, abychom při zkouškách zabezpečovače byli schopni otestovat veškeré situace a scénáře a byli jsme v případě sporných situací schopni identifkovat, zda problém je v infrastruktuře nebo na vozidle.

Není tedy čas se chystat na „minulé bitvy“ – naším posláním je autorizovat budoucnost.

Provádíte testování souprav i zákazníkům ze zahraničí?

Převážně. Více než 75 % našeho ročního obratu tvoří zákazníci mimo ČR, v rámci železničního průmyslu jsme vlastně exportérem. Testovaly se u nás nejrůznější soupravy a vlakové jednotky, a to nejen evropské – za nejexotičtější je možné jmenovat třeba japonské. Z mimoevropských výrobců u nás aktuálně probíhají zkoušky souprav čínské CRRC. Zajímavé je, že celkově se ve struktuře našich projektů odráží schopnost a ochota jednotlivých států, dopravců a výrobců investovat do nových vozidel – v ČR je spíše trendem modernizace secondhandu. To bohužel působí problémy například s implementací ETCS. Ale to už je na jiné povídání. ■

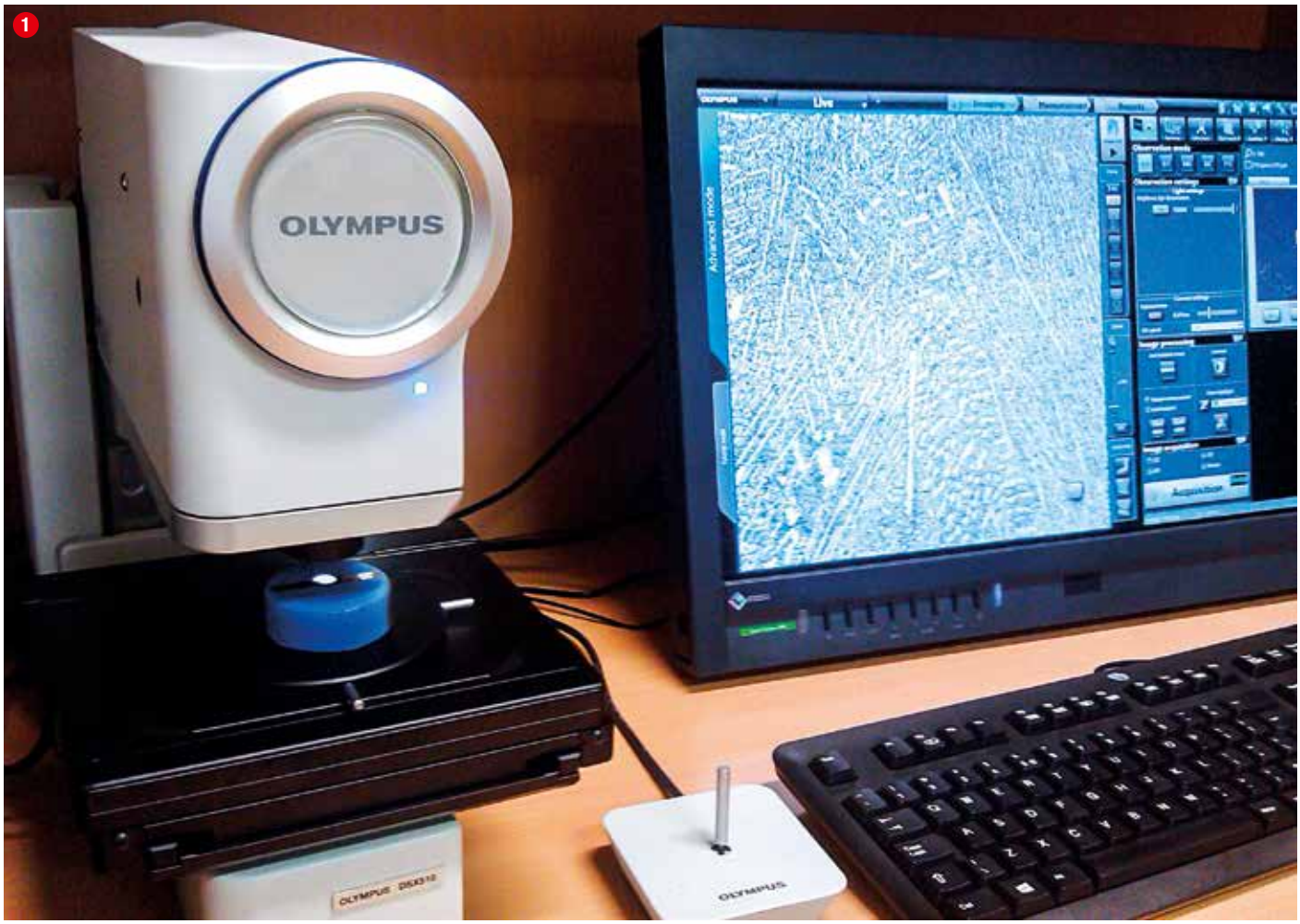
> Nový systém Argos zachycuje odvalování celého kola v detailu, kterého původní zařízení nebylo schopno dosáhnout.

Josef Vališka

FOTO: TMP, VUZ

METODA OPTICKÉ METALOGRAFIE

DEKRA Standard & Advanced NDT je jednou z organizačních jednotek DEKRA CZ, se zaměřením na nedestruktivní a destruktivní materiálové testování. Tento segment činností je provozován zkušebnou jak přímo v sídle provozovny DEKRA CZ v Pardubicích, tak po celé České republice a ve světě. Zkušebna je akreditována podle ČSN EN ISO/IEC 17025:2018.



Jednou z akreditovaných služeb, které zkušebna DEKRA CZ může nabídnout svým zákazníkům, je metalografické hodnocení struktury materiálů pomocí optické metalografie. Tato metoda, která je akreditovaná od 17. května 2019, plně využívá výhod digitálního, plně motorizovaného mikroskopu Olympus DSX510 a specializovaného softwaru Olympus Stream.

Možnosti mikroskopu

Mikroskop DSX510 je vybaven vysokým rozsahem zvětšení, vysokou rozlišovací schopností objektivů a softwarem, který díky motorizaci v ose Z umožňuje pořizovat snímky s vysokou hloubkou ostrosti. Díky motorizaci v ose X a Y je možné vytvářet složené snímky větší části vzorku, čehož lze s výhodou využít při pořizování makrosnímků velkého vzorku.

Studovaný objekt je možné pozorovat jak ve standardním světlém poli, tak také v tmavém poli, v polarizovaném světle

1 **Metoda optické metalografie** využívá výhod digitálního plně motorizovaného mikroskopu Olympus DSX510 a specializovaného softwaru Olympus Stream.

2 **GJS 400-15,** leštěno, základní materiál při zvětšení 300x, PO

FOTO: DEKRA CZ

nebo s využitím Nomarskiho kontrastu. Toto vše umožňuje maximální komfort při studiu a hodnocení metalografických zkoušek.

Nedílnou součástí výbavy mikroskopu DSX510 je software pro pokročilou obrazovou analýzu Olympus Stream, který umožňuje fázovou analýzu, měření ve 2D i 3D, měření velikosti zrna, tlouštěk vrstev a svarů. Dále umožňuje měřit velikost, distribuci a hustotu pórů, hodnotit a klasifikovat částice a hodnotit mikročistotu, případně analyzovat grafit u litin.

Metalografické zkoušky

Hlavní doménou metalografického zkoušení je hodnocení makrostruktury a mikrostruktury svarových spojů podle normy ČSN EN ISO 17639. Vedle toho lze poskytnout metalografické hodnocení mikrostruktury litin dle ČSN 420461 nebo ČSN EN ISO 945-1, stanovení obsahu nekovových vměstků dle ČSN ISO 4967, stanovení velikosti zrna dle ČSN 420462 nebo ČSN EN ISO 643, metalografické hodnocení tvářených ocelí dle ČSN 420469 nebo měření povrchových vrstev dle ČSN EN ISO 3887 a ČSN EN ISO 2639. Akciová společnost DEKRA CZ má snahu neustále rozšiřovat portfolio nabízených služeb. Také tím naplňuje trvalý cíl nepřetržitého zlepšování kvality své nabídky pro zákazníky.

Trochu teorie

Cílem metalografie je zviditelnění struktury materiálu pro její následné studium. Umožňuje zjišťovat souvislosti mezi strukturou materiálu a jeho vlastnostmi, sledovat a kontrolovat vlastnosti materiálu při jeho výrobě i zpracování a hledat příčinu vad materiálu nevyhovujících výrobků nebo vysvětlit důvody selhání nějakého zařízení.

Metalografie se řadí mezi destruktivní zkoušky (přestože 3D repliky jsou nedestruktivní a používají se pro aplikaci v terénu) a dělí se na zkoušky makroskopické a mikroskopické ve stavu leptaném i neleptaném.

3 **1.4404, Kalling 2,** základní materiál při zvětšení 300x, DIC

4 **AW 6063,** Weck, základní materiál při zvětšení 200x, BF

5 **S355J2,** nital, TOZ u hranice stavení při zvětšení 600x, BF

6 **Domex 400,** nital, základní materiál při zvětšení 1000x, BF

7 **Domex 400,** nital, oblast svaru sešita ze 150 foto při zvětšení 500x, BF

> Hlavní doménou metalografického zkoušení, pro niž se mikroskop DSX510 využívá, je hodnocení makrostruktury a mikrostruktury svarových spojů.

- **Rozdělení metalografie**
  - Makroskopická zkouška je prováděna v leptaném i neleptaném stavu při malém zvětšení.
  - Mikroskopická zkouška je také prováděna v leptaném i neleptaném stavu, ale s využitím mikroskopu s obvyklým zvětšením do 1000x.

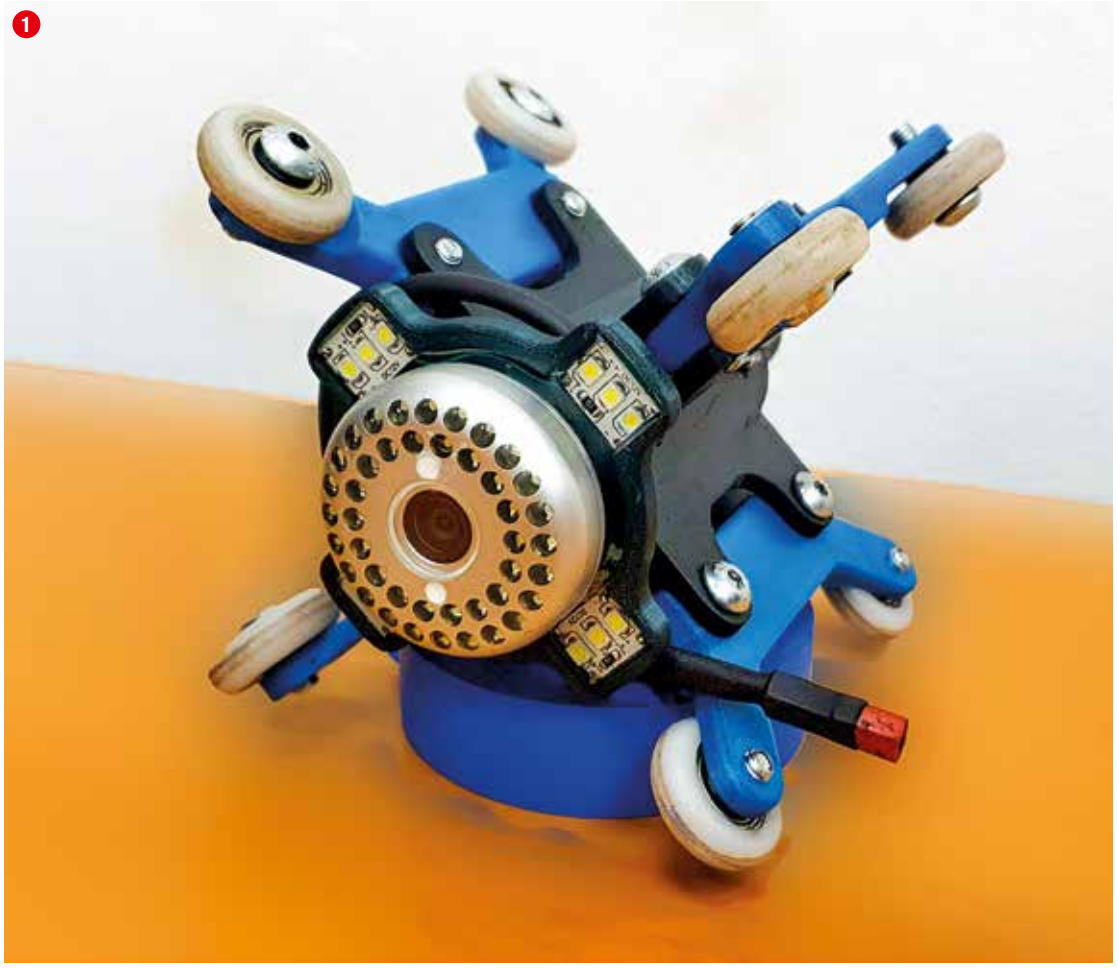
- **Příprava vzorku**
  - Aby bylo možné strukturu vzorku pomocí mikroskopu studovat, je nutné na vzorcích vykonat sérii kroků, které spočívají v odběru vzorku, jeho preparaci, broušení, leštění a leptání.

- **Hodnocení vzorku**
  - V neleptaném stavu se dle požadovaných norem hodnotí přítomnost, množství, velikost a rozložení necelistvostí (trhliny, praskliny, neprůvary, póry, staženiny) a nekovové fáze (vměstky, tvar a velikost grafitu v litinách).
  - V leptaném stavu se dle požadovaných norem hodnotí velikost, tvar a rozložení jednotlivých strukturních součástí, velikost a tvar zrn materiálu, způsob krystalizace, míra prokalení, tloušťka nauhličené nebo oduhličené vrstvy, stanovuje směr a míra deformace zrn tvářené struktury, hodnotí svary. ■

www.dekra.cz

KONTROLA VÁLCOVÝCH DUTIN A VÝVRTŮ

Pomocí většiny metod NDT se kontrolují především takové části zařízení či předmětů, které jsou „přímo“ přístupné. Například trubky se kontrolují ultrazvukem téměř vždy z vnější stěny, podobně je to u metod kapilárních, magnetických atd.



1 **Modulární hlavice** pro vizuální kontrolu nepřímou.

2 **Hlavice manipulátoru** pro souběžnou kontrolu metodou vířivých proudů a vizuální kontrolu nepřímou.

3 **V zorném poli kamery** je vidět jak oblast indikované vady, tak měřicí sondy v ose snímku dole.

4 **Záznam vad** typu trhlin komunikujících s vnitřním povrchem zjištěných metodou vířivých proudů.

5 **Manipulátor** pro zjišťování poškozování oblasti u vnitřních svarových spojů metodou UT Phased Array.

Jednou z výjimek jsou např. metody elektromagnetické, kde se trubky výměníků kontrolují pomocí vnitřní sondy. Přesto existují různé možnosti, jak zkoušet například vývrty v tělesech, jako jsou svorníky, trubkovnice případně tlustostěnné trubky.

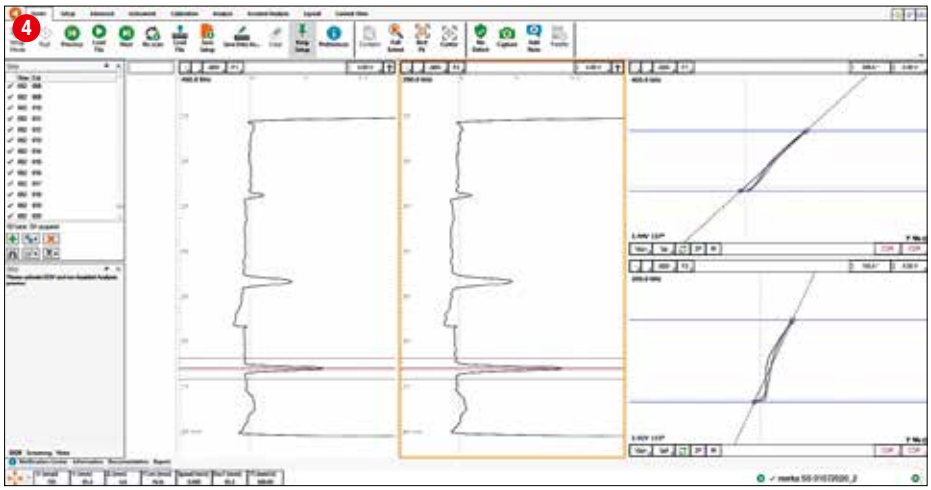
Volba metody

Základním problémem každého měření je, že jednotlivé metody měření a jejich aplikace nejsou v mnoha případech univerzální. Tím není myšleno, že by fyzikální principy nebyly vždy stejné, naopak, ty jsou zcela pevnou veličinou, ale právě na nich závisí volba metody a její aplikace podle toho, co je předmětem zkoumání.

Příkladem může být kontrola válcového otvoru na přítomnost trhlin vycházejících z vnitřního povrchu. Může se jednat například o vývrt v trubkovnici o tloušťce 30 mm (nebo také 100 mm), může se ale jednat i o vývrt ve svorníku o délce větší než jeden metr, ale také v rotoru turbíny o délce několika metrů. Může jít také „pouze“ o nepřístupnou tlustostěnnou trubku umístěnou v nádobě.

Pokud bychom chtěli použít kontrolu ultrazvukem metodou IRIS (vnitřní rotační ultrazvuková sonda), příliš bychom v případě trhliny neuspěli, protože na tuto aplikaci není metoda vhodná. Z vnější strany nebude přitom buď žádný přístup, nebo tvar bude natolik složitý, že běžná aplikace ultrazvukového zkoušení nebude možná. Nepůjde použít ani kapilární a magnetické metody, nemluvě o radiografickém zkoušení. Zkoušení těsnosti nám nic nezjistí

FOTO: TEDIKO



o velikosti a hloubce vady, pokud není skrz celou stěnu.

Co nám tedy zbývá?
Ve skutečnosti je to především vizuální kontrola nepřímá. V případě, že je kolem otvoru dostatek místa, je možná i kontrola ultrazvukem (avšak jen s omezeným dosahem) nebo v případě větších otvorů pomocí plošné flexibilní UTPA sondy. Pro kontroly svarových spojů ve spojích trubky trubkovnice pro případ, že tyto spoje jsou provedené z druhé strany trubkovnice a nejsou tedy přímo přístupné, lze použít vyvinutou aplikaci založenou na manipulátoru, který je vybaven sondou s automatickým přitlačováním k povrchu, doplňováním vazebního prostředku pod sondu a navíc enkodérem pohybu. Lze tedy zaznamenávat stav celého svarového spoje a při případné opakované kontrole není problém nalézt jakékoliv konkrétní místo.

Pokud je potřeba hledat s vnitřním válcovým povrchem komunikující vady, je reálnou možností kontrola metodami elektromagnetickými – vířivými proudy. Zde je možné nalézt dokonce několik řešení. Volba řešení je však velmi výrazně ovlivňována samotným materiálem a celkovým stavem povrchu. Záleží také samozřejmě na charakteru hledaných vad, případně zda se hledají příčné či podélné trhliny.

Pro kontroly vývrtů se osvědčily aplikace buď diferenčních vnitřních sond, podobných sondám pro zkoušení teplosměnných trubek výměníků nebo aplikace s použitím příložných sond. Prvně jmenovaná aplikace je velmi rychlá, a v případě nedostatku času a potřeby co nejrychleji nalézt zásadně nevyhovující vady, je více než vyhovující. Její nevýhodou je pouze to, že polohu vady lze určit pouze podél kontrolovaného vývrtu.

Aplikace za použití příložných sond umožňuje v případě zástavby do manipulátoru určení polohy nejen po délce vývrtu, ale i po obvodu vývrtu. Data se ukládají v počítači či na vzdálené datové úložiště, a vzhledem k existenci obou rozměrových údajů není problém s následnou identifikací nalezeného místa.

Základním problémem každého měření je, že jednotlivé metody nejsou v mnoha případech univerzální.

Aby bylo možné zároveň i přímo vidět místo, kde je indikovaná vada, je manipulátor vybaven kromě vířivoproudé sondy i možností sledování pomocí videoendoskopu. V zorném poli kamery videoendoskopu je vidět oblast zájmu včetně konce vířivoproudé sondy. Je pořizován nejen záznam z měření vířivými proudy, ale i záznam z videoendoskopu.

Při konstrukci manipulátorů se osvědčilo využití možností 3D tisku. Díky značným zkušenostem s vývojem a použitím 3D tiskáren pro oblast nedestruktivního zkoušení, představuje pro nás použití systémů ideální příležitost pro poskytování služby zákazníkům.

Společnost TEDIKO často používá pro měření manipulační prostředky z vlastního výzkumu vyvinuté přímo na míru dané aplikace zákazníka. Tyto prostředky umožňují kontrolovaný pohyb měřicích sond, urychlují a zpřesňují kontrolu.

To je případ i zde popisované metody. Moderní metody návrhu a výroby umožňují operativní a pružné uzpůsobování měřicího zařízení okamžitým požadavkům.

Popsané metody jsou vhodné pro diagnostiku stavu a sledování životnosti výrobního zařízení v energetice, teplárenství, chemickém průmyslu včetně rafinérií a dalších průmyslových oborech, zkoušek tlakových i plynových zařízení. ■

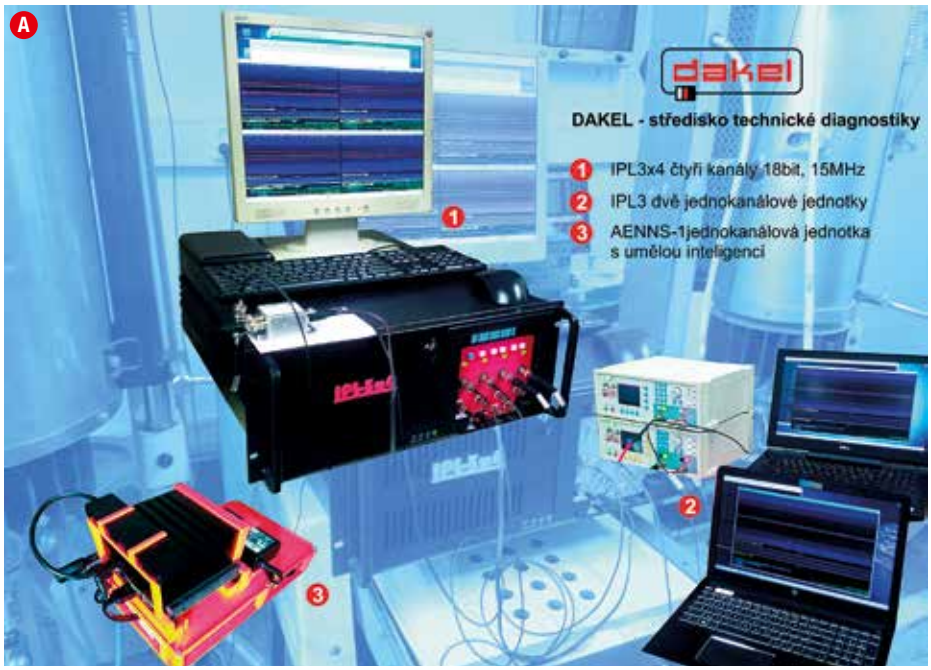
Tediko

TEDIKO, s.r.o.
Pražská 5487, 430 01 Chomutov
tel.: 474 652 161, e-mail: info@tediko.cz
www.tediko.cz

FOTO: TEDIKO

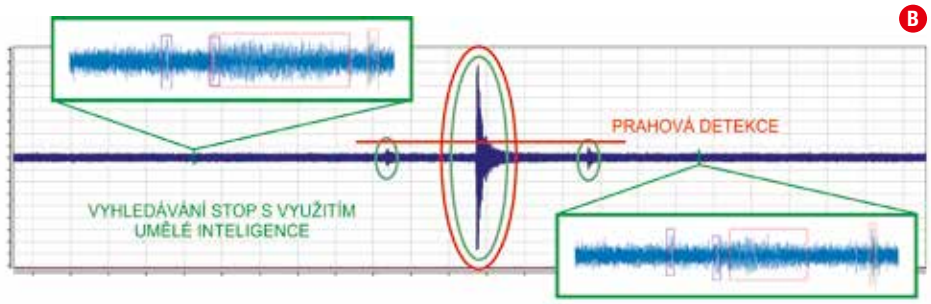
DAKEL NN – NOVÁ DIMENZE VYUŽITÍ AKUSTICKÉ EMISE V PRŮMYSLU

Akustická emise zachycuje ultrazvukový signál emitovaný různými anomáliemi v materiálu při provozu zařízení. Její využití v průmyslu je omezeno především velikostí provozního šumu, ve kterém se signál ztrácí. Nové způsoby detekce umožňují zvýšit citlivost a využít akustickou emisi pro reálnou prediktivní diagnostiku.



DAKEL – středisko technické diagnostiky ZD Rpety se zabývá využitím akustické emise (AE) v nedestruktivní diagnostice (tlakové zkoušky, rozměrné struktury) více než 30 let. Současně ale také vyvíjí nová zařízení a spolupracuje s vysokými školami a vědeckými institucemi. Výsledkem jsou systémy s vysoce citlivými snímači, rozlišením 18 bitů a vzorkovací frekvencí 15 MHz. Díky unikátním zesilovačům je možné dosáhnou celkové zesílení měřicího řetězce až 130 dB. To nám umožňuje v laboratorních podmínkách registrovat nejslabší signály generované strukturálními změnami v materiálech. Ty se projevují anomáliemi ve snímaném signálu, které označujeme jako stopy (trace). K vyhledávání těchto stop využíváme algoritmy umělé inteligence. Výsledkem je identifikace jednotlivých procesů probíhajících v zatěžovaném materiálu.

Důležité je, že vyhledávání stop umělou inteligencí funguje nezávisle na amplitudě signálu a je schopné vyhledat a identifikovat i stopy, jejichž amplituda je srovnatelná se šumem nebo dokonce pod úrovní šumu. Vyhledávání stop je vhodnou metodou pro velmi slabé nebo silně zarušené signály akustické emise, zejména pro detekci náhodných a neperiodických anomálií.



A **AENNS – 1** je první systém, který využívá pro zpracování signálu akustické emise umělou inteligenci.

B **Srovnání rozlišovací schopnosti** prahové detekce a metody vyhledávání stop.

C **Malé přenosné detekční zařízení BAT** pro akustické emise je alternativou ke kontaktním snímačům.

AENNS – 1

Jde o první systém, který využívá pro zpracování signálu akustické emise umělou inteligenci. Jedno z možných průmyslových využití je prediktivní diagnostika průmyslových zařízení. S využitím umělé inteligence je možné z naměřeného signálu AE vybrat stopy probíhajících fyzikálních procesů a na základě jejich přítomnosti, četnosti a energií určit míru rizika havárie, a to s dostatečným předstihem. Mezi hlavní výhody systému patří:

- Měření probíhá za normálního provozu, systém není nutné odstavovat nebo vystavovat většímu zatížení.
- Měřicí aparatura nemusí být na systému instalována trvale, stačí provádět periodická měření ve vhodně zvolených intervalech.
- Během měření mohou být ukládána kompletní naměřená data, použitelná pro pozdější podrobné off-line analýzy.

Určitou nevýhodu může představovat obrovské množství produkovaných dat. Na druhou stranu kompletní naměřená data mohou být porovnávána s předchozími měřeními a je tak možné získat představu o vývoji v čase. Je také možné aplikovat další metody vyhodnocení signálu a například u rotačních systémů analyzovat periodické signály.

Typickými aplikacemi vhodnými pro AENNS – 1 jsou:

- monitorování potrubních systémů
- monitorování ramen a výložníků
- monitorování skladovacích nádrží a sil
- monitorování rozsáhlých struktur (kovové konstrukce, draky a křídla letadel, lodní trupy)
- monitorování prvků kolejového svršku
- monitorování sloupů a zemních kotev

FOTO: Dakel

- monitorování strukturální integrity kompozitních struktur (lopatky větrných turbín)
- monitorování mostních konstrukcí (kovových i železobetonových)
- monitorování elektrických výbojů v materiálech

CAN

Dakel – CAN jsou malé jednokanálové inteligentní jednotky pro trvalou instalaci. Nepřetržitě monitorují AE zařízení a porovnávají hodnoty RMS a FFT s přednastavenými hodnotami. Pokud se aktuální hodnoty odchýlí od přednastavených, generuje jednotka chybový signál. Jednotky komunikují buď protokolem CAN Bus, nebo MODBUS, je tedy možné na jedno vedení připojit až 127 jednotek. To umožňuje realizovat rozměrná, trvale instalovaná snímačová pole za příznivou cenu. Běžně se taková pole využívají pro monitorování stavu rozměrných konstrukcí a neslouží k záznamu signálu. Snímače mají vodotěsné nerezové pouzdro, k měřenému systému se připevňují pomocí přírub. Snímač a elektronika jsou galvanicky odděleny od pouzdra.

Speciální verze jednotky Dakel – CANB je vybavena akumulátorem a přes Bluetooth rozhraní komunikuje s aplikací v systému Android. Slouží pro běžné provozní kontroly a pro nastavování snímačových polí.

BAT

Dakel – BAT je malé přenosné detekční zařízení pro AE, které je alternativou ke kontaktním snímačům v případech, kdy není možné nebo ekonomické použít kontaktní snímač. Primárně bylo vyvinuto pro rychlou detekci úniků z pneumatických systémů. Podmínkou je, aby při úniku vznikalo turbulentní proudění. Za ideálních podmínek je zařízení schopno detekovat úniky kolem 80 Pa/s.

Pomocí citlivého ultrazvukového mikrofonu s šířkou pásma 160 kHz zachycuje signál AE. Na displeji zobrazuje FFT, popřípadě RMS a obálku signálu. V případě FFT lze nastavit až tři frekvenční pásma, která budou z FFT „vymazána“ – to slouží k eliminaci provozního rušení. Stejně tak je možné nastavit až tři frekvenční pásma pro alarmové hodnoty. Pro RMS a obálku je možné nastavovat alarmové hodnoty. Zařízení je vybaveno klasickým heterodynem s výstupem na sluchátka, který umožňuje citlivější detekci. V případě potřeby je možné zaznamenat signál na SD kartu pro pozdější analýzu. Podle typu detekovaných signálů je možné zařízení vybavit různými nástavci pro směrovou nebo plošnou detekci.

Prediktivní diagnostika pomocí AE

Systémy AE jsou v řadě případů ideálním prostředkem pro diagnostiku strojů a zařízení. Na rozdíl od jiných metod poskytují celkovou informaci o mechanickém stavu stroje nebo funkčního celku. Mohou být prováděny za provozu a nevyžadují tak speciální čas na tuto diagnostiku. Umožňují sledovat vývoj stavu zařízení v čase. Vyhodnocení naměřených dat ovšem vyžaduje větší znalosti.

Měření akustické emise upozorní s dostatečným předstihem na vznikající problém – potom musí následovat přesná diagnostika poškozené části jinými metodami NDT a její případná výměna. Význam využití systémů pro detekci AE spočívá především ve včasném odhalení možných problémů. To umožní provést opravu ještě před tím, než se závada plně rozvine, nebo naplánovat výměnu dílu s ohledem na provozní možnosti. V konečném důsledku to vede k úspoře prostředků, ať už za náhradní díly nebo za neplánované provozní odstávky. ■

www.dakel.cz

▼ INZERCE

Slyšíme i to co není slyšet

Někde tam možná jsou - trhliny, vady
nebo strukturní nehomogenity
a čekají na příležitost - nedejte jim šanci.

dakel

DAKEL - středisko technické diagnostiky

- Defektoskopie s využitím akustické emise
- Vývoj a výroba měřicích a diagnostických systémů
- Vývoj a výroba snímačů pro průmysl i výzkum
- Zákaznická řešení

koula@dakel.cz

DAKEL-ZD Rpety, Ohrobecká 408, 142 00 Prague 4, Czech Republic

NA VOLBĚ NDT METODY MŮŽE ZÁVISET EFEKTIVITA CELÉHO VÝROBNÍHO PROGRAMU

Společnost ÚJV Řež se pokročilému materiálovému inženýrství věnuje už přes 65 let. Obor diagnostiky a nedestruktivního zkoušení za tu dobu prošel bouřlivým technologickým vývojem.

1

Vzhledem k tomu, že v Řeži se řeší NDT zakázky převážně pro vysoce náročné prostředí jaderné energetiky, je tady na využití nejlepší mezinárodní praxe a aplikaci nejnovějších poznatků kladen speciální důraz.

Kontrola spolehlivosti a životnosti strojírenských komponent samozřejmě není jen výhradní doménou jaderných provozů. Na nedestruktivní zkušební a kontrolní mechanismy spoléhají výrobci strojírenských dílů pro řadu dalších odvětví. Každá taková výroba vyžaduje pečlivý výběr vhodných diagnostických metod a zpracování detailní metodiky pro jejich aplikaci. Právě díky tomuto know-how se ÚJV Řež v posledních letech stále více profiluje i v oblasti specializovaného poradenství a tvorby metodik pro nedestruktivní zkušebnictví v nejaderných provozech.

> Každá výroba strojírenských dílů vyžaduje pečlivý výběr vhodných diagnostických metod a zpracování detailní metodiky pro jejich aplikaci.

Zrychlit testování při zachování vysoké spolehlivosti

Jednou ze zajímavých referenčních zakázek ÚJV Řež z poslední doby byla práce pro výrobce svarových konstrukcí tlakových nádob. Zadavatel do té doby používal kapilární a magnetickou metodu zkoušení. Toto běžné řešení je sice relativně levné, nicméně výsledky testování mohou být ovlivněny mnoha faktory při aplikaci, a hlavně je nutné následně materiál pečlivě očistit před návaznými technologickými kroky. Při výrobě tím vznikají prostoje a zkoušení se i obtížněji automatizuje.

NDT specialisté z Řeže tedy stáli před zadáním navrhnout a ověřit alternativní

FOTO: ÚJV Řež

1 **Mechanizovaná PAUT kontrola** (Phased Array Ultrasonic Testing) svarového spoje za pomoci manipulátoru ROTIX a softwaru UltraVision.

2 **Detail PAUT kontroly** svarového spoje.

3 **Zkušební vzorky** pro měření UTT (Ultrasonic Thickness Testing).

metodu, která by při zachování vysoké míry spolehlivosti testování výrobků zrychlila, nevyžadovala dodatečné technologické kroky a byla vhodná i pro vyšší míru automatizace procesů. ÚJV Řež navrhl, i díky pozitivním zkušenostem z jiných projektů, model zkoušení vířivými proudy, které pro detekci a charakterizaci povrchové a podpovrchové vady vodivých materiálů využívá princip elektromagnetické indukce. Výhodami této metody je rychlá a bezkontaktní aplikace, možnost automatizovaného využití několika různých vířivoproudých sond současně a také uplatnění i pro materiály, které nejsou feromagnetické (např. pro hliník).

Zakázková výroba vzorků i detailní návrh metodiky

Proces zavádění metody do výrobní praxe zadavatele zahájil ÚJV Řež výrobou sady speciálních zkušebních vzorků, ve kterých byly uměle vytvořeny (vyjiskřeny) typizované vady. Dílny pro zakázkovou výrobu atypických zkušebních těles a vzorků jsou ostatně pracovištěm, které má vysoké renomé i v zahraničí. Na základě ověření, že metoda vířivých proudů zachytila ve vzorcích detekovatelné vady určených rozměrů, byly tyto vzorky předány zákazníkovi, který je dále využívá pro kalibraci sond. Celý proces předání technologie byl završen vypracováním podrobné dokumentace k metodice testování a samozřejmě také zaškolením personálu u zákazníka.

„Optimalizace nedestruktivních zkušebních metod může výrobním firmám ušetřit citelné částky a často i zabránit velkým provozním škodám. Rostoucí poptávka po našich NDT službách svědčí o tom, že si to výrobci z různých oborů dobře uvědomují," poznamenává Ing. Daniel Dopjera, PhD., vedoucí oddělení Diagnostika a měření ze společnosti ÚJV Řež. ■

Ing. Alena Rosáková

▼ INZERCE

ÚJV

ÚJV Řež – NDT a diagnostika

Už 65 let jsme vaším partnerem pro nedestruktivní zkoušení materiálů a diagnostiku zařízení pro energetiku, strojírenství a další průmyslové aplikace.

- PMI kovových materiálů
- Diagnostika armatur
- Hodnocení radiografických snímků
- Kontroly PEC (Pulsed Eddy Current Testing)
- NDT kontroly VT, PT, ET, MT, UT, PAUT
- Mechanizované PAUT kontroly (zkušenosti s heterogenními svarovými spoji)
- Personál se zkušenostmi s NDT v jaderné energetice
- Personál kvalifikovaný na stupeň 3 podle ISO 9712 pro VT, PT, ET, UT, RT

ÚJV Řež, a. s.
Hlavní 130, 250 68 Husinec
e-mail: ujv@ujv.cz
www.ujv.cz

oddělení Diagnostika a měření
tel.: +420 266 172 634
e-mail: daniel.dopjera@ujv.cz
www.ujv.cz

FOTO: ÚJV Řež

NDT ZKOUŠKY NA PRACOVIŠTI DYNAMICKÉHO ZKUŠEBNÍHO STAVU VUZ

Dynamický zkušební stav (DZS) je specializované pracoviště Výzkumného Ústavu Železničního, nacházející se v areálu Zkušebního centra VUZ ve Velimi (ZC Velim), ve kterém se realizují statické, dynamické a únavové zkoušky převážně železničních vozidel a jejich součástí, železniční infrastruktury, ale i zkoušky v oblasti automotive a stavebního průmyslu.

1

Únavové trhliny nalezené na třmenu šroubovky v místě kontaktu s táhlovým hákem. Při hodnocení kritérií dle ČSN EN 10228-1 (stupeň jakosti 1) lze tyto indikace považovat za přípustné (9 indikací únavových trhlin delších než 5 mm, nejdelší indikace délky 15 mm, celková délka indikací na referenční ploše činí 71 mm).

2 3

Na svaru žebra a konzoly uložení kloubu prvku vedení dvojkolí (kyvného ramene) detekována únavová trhlina po 8 milionech cyklů. Svar byl vybroušen až na základní materiál, ale trhlina nezmizela. Příčinou vzniku byl neprovařený kořen svaru.

Významným prvkem zkoušek jsou zkoušky rámů podvozků, při kterých se statickým zatížením ověří namáhání konstrukce vyplývající z předpokládaných provozních stavů vozidla (postavení vozidla v oblouku, ve výhybce, zatížení rámu brzdnými silami a v případě hnacích podvozků i silami působícími v uložení trakčních pohonů), načež se v průběhu cca 2–3 měsíců simulovaným provozním zatížením v rozsahu 10 milionů cyklů ověří i životnost rámu podvozku. Obdobným způsobem se testují i další komponenty z portfolia akreditovaných zkoušek, jako jsou šroubovky, táhlové háky, nárazníky, železniční kola, nápravy, rozpory zdržní nebo i nápravová ložiska, pražce a systémy upevnění kolejnic.

NDT jako akreditovaná zkouška

Zkušební laboratoř, pod kterou DZS spadá, je držitelem osvědčení o akreditaci č. 565/2019 podle ČSN EN ISO/IEC 17025:2018 vydávaného Českým institutem pro akreditaci, o. p. s. (ČIA). Jeho součástí jsou akreditované nedestruktivní zkoušky metodou MT a PT. Pracovníci vykonávající defektoskopické zkoušky jsou certifikováni Certifikačním střediskem personálu defektoskopie ČD, a. s., ve stupni 2, v sektoru „údržba na železnici“ (RS), podsektoru „dvojkolí“ (d) a „podvozky“ (w). Tato úroveň certifikace umožňuje každému pracovníkovi pracovat zcela samostatně.

> Vstupní kontrola slouží k utvoření „obrázku“ o stavu vzorku bezprostředně po výrobě.

Specifika NDT v podmínkách DZS

Defektoskopická zkouška v podmínkách DZS je odlišná např. od NDT zkoušek prováděných při údržbě vozidel a odvíjí se od zkušebních podmínek testovaných komponent. Jiné podmínky pro vyhodnocování únavových trhlin jsou pro velké svařence typu rám podvozku (za nepřípustné jsou považovány jakékoliv únavové trhliny vzniklé v průběhu prvních 8 mil. cyklů únavové zkoušky) a jiné pro výkovky typu táhlový hák (vznik únavových trhlin je možný v omezeném rozsahu za předem stanovených podmínek vyhodnocení). Co však mají všechny testované komponenty totožné, je vstupní defektoskopická kontrola.

FOTO: VUZ

Vstupní NDT
Vstupní kontrola je prováděna před zahájením statických zkoušek vzorku a slouží k utvoření „obrázku“ o stavu vzorku bezprostředně po výrobě. Při vstupní prohlídce se zaznamenají veškeré nalezené výrobní vady (převýšení svarů, póry, vruby po kování atd.), které můžou v namáhaných částech konstrukce způsobit iniciaci únavové trhliny. Vstupní kontrola může objednateli zkoušky ukázat mezery ve výrobním procesu a tento proces zdokonalit.

V případě svařenců se při vstupní NDT (ale i průběžné a výstupní) kontrolují všechny svarové spoje na vzorku. U výkovků nebo obrobků je kontrolován veškerý přístupný povrch vzorku.

Průběžná NDT
Jelikož je únavová zkouška poměrně nákladná, provádí se průběžné kontroly již v jejím průběhu. Kontrolují se vybraná místa se zvýšeným únavovým namáháním (popř. celý vzorek jako při vstupní kontrole). U rámů podvozků se jedná např. o svary v místě napojení rozsoch na podélník a svary v oblasti kluznic, u náprav se kontroluje oblast rádia na přechodu sedla kola do dříku nápravy a u celistvých kol je kontrolována deska kola. Kritická místa a četnost prohlídek u složitých konstrukčních celků určuje výrobce na základě výpočtové analýzy metodou konečných prvků (MKP). V případě detekce únavové trhliny při průběžné kontrole může být únavová zkouška přerušena a testovaný vzorek bude po konstrukčních úpravách testován znovu od začátku.

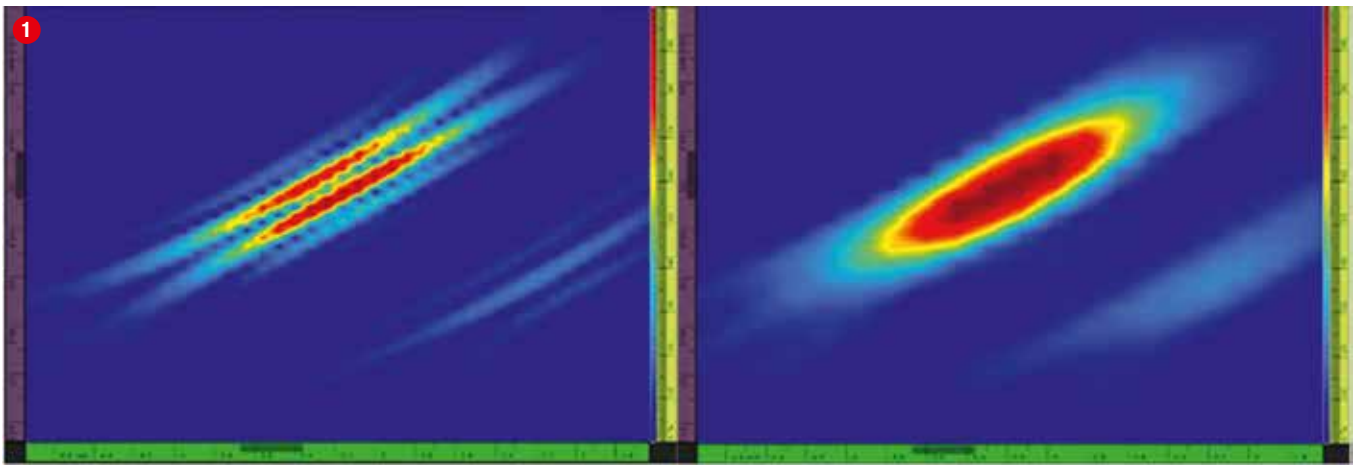
Výstupní NDT
Výstupní kontrola je prováděna po dokončení únavové zkoušky, a to ve stejném rozsahu jako při vstupní kontrole. Poté je sepsán protokol o zkoušce, který se stává jedním z podkladů pro schválení příslušného prvku do provozu. ■

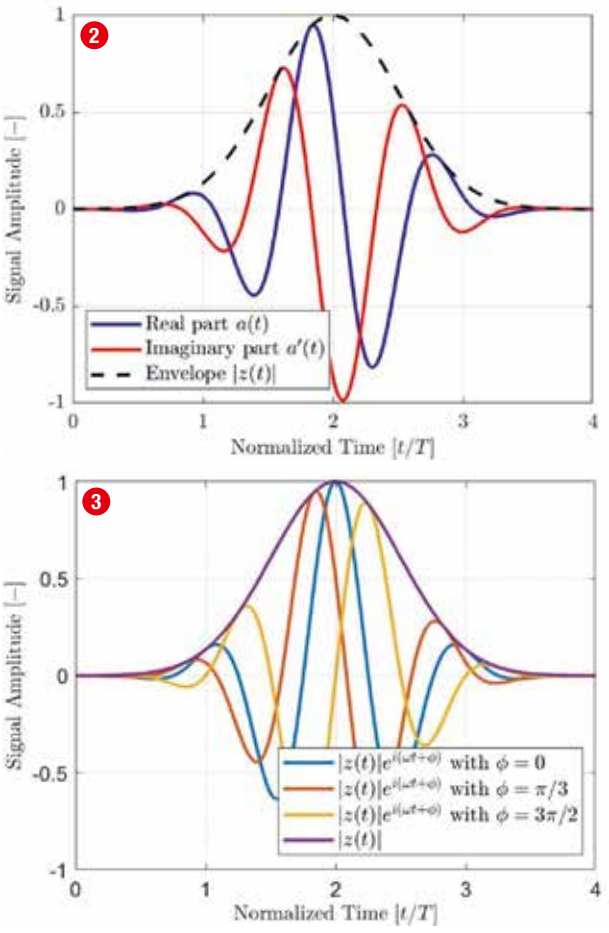
Ing. Radek Stuchlík

▼ INZERCE

POUŽITÍ METODY TFM S FUNKCÍ OBÁLKY

Metoda TFM (Total Focusing Method) představuje nedávno zavedený a uznaný postup nedestruktivního hodnocení materiálů a struktur.





1 **Vlevo** – snímek TFM postranního vrtaného otvoru (SDH) s přísně kladnými hodnotami amplitud a oscilací signálu (tj. standardního snímku TFM). Rozlišení rastru činí 0,08 mm (λ/8,1) a maximální amplituda 108,7 %. **Vpravo** – snímek téhož prvku SDH při použití obálky TFM. Rozlišení rastru činí 0,16 mm (λ/4,0) a maximální amplituda 122,6 %.

2 **Typický impulz** modulovaný pomocí Gaussovy řady, kde je znázorněn skutečný a pomyslný díl s vypočítanou obálkou.

3 **Typické impulzy** |z(t)|ei(ωt+ϕ) modulované pomocí Gaussovy řady s rozdílnými fázovými posunutími ϕ. Obálka z(t) signálů je zřetelně nezávislá na okamžité fázi analytického signálu.

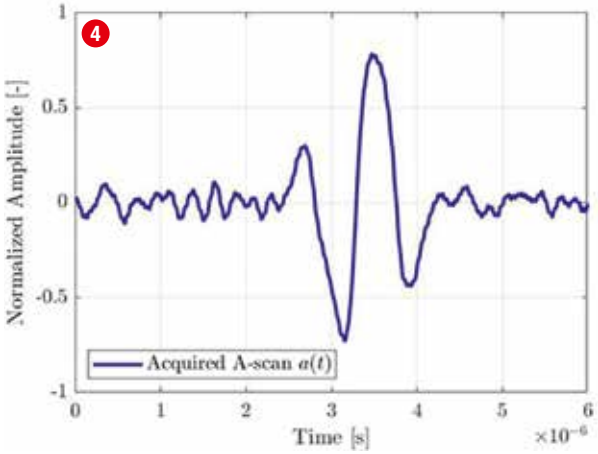
Určité předpisy a normy již nyní obsahují oddíly týkající se záznamu s dokonalou maticí (FMC) a metody TFM při nedestruktivním zkoušení. Následující text představuje postup při výpočtu obálky snímku získávaného metodou TFM a výhody používání této obálky jako součástí řešení, které je ve shodě s příslušnými předpisy a normami.

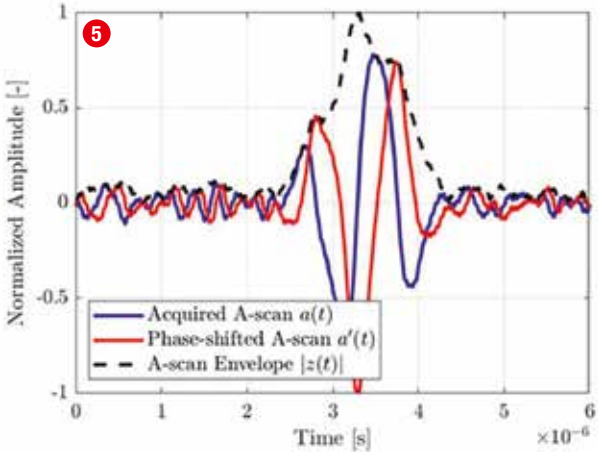
Obálka TFM je získávána normalizovaným vypočítáváním dvou rozdílných snímků TFM – prvního vypočítávaného ze standardního záznamu s dokonalou maticí (FMC) a druhého vypočítávaného za použití záznamu FMC zpracovávaného Hilbertovou transformací. Výsledný snímek s obálkou TFM poskytuje lepší základ pro použití metody amplitudového určování velikostí, jelikož je odolnější proti kolísání amplitudy ve srovnání se standardním oscilačním snímkem TFM získaným při totožném rastrovém rozlišení. Oproti standardnímu oscilačnímu snímku TFM je proto pro obálku možné nastavovat hrubší rozlišení rastru, a tak snižovat celkovou náročnost výpočtu. V konečném důsledku lze zvyšovat výslednou rychlost pořizování snímku.

Některá zařízení pro NDT, jako např. detektor vad OmniScan X3, umožňují zobrazování za použití metody TFM v reálném čase. Tato metoda je založena na získávání součtu většího počtu hodnot amplitud měřených elementárním amplitudovým snímáním. Snímky jsou oscilačního typu, protože zvuková vlna má původ v základním amplitudovém snímání. Charakterizační schémata v aplikacích pro NDT naproti tomu představují amplitudové postupy, u nichž lze oscilační chování považovat za nadbytečný akustický artefakt. Běžný postup spočívá v usměrňování amplitudy tak, aby získávaný obraz měl přísně kladné hodnoty. I když může usnadnit interpretaci obrazu ve vztahu k jeho plně oscilačnímu protějšku, použití obálky signálu může dále zlepšit výsledky získávané charakterizací a reálně zvýšit rychlost pořizování záznamů oproti standardnímu oscilačnímu snímku TFM.

Použití takového oscilačního snímku TFM je však spojeno s několika nevýhodami. Rozlišení rastru (tj. vzdálenost mezi dvěma pixely ve snímku) musí činit přibližně λ/8, aby bylo ve shodě s předpisy. Hodnota λ je

FOTO: Olympus





4 **Část pořízeného** elementárního amplitudového snímku (ze záznamu FMC).

5 **Stejný amplitudový snímek** společně s jeho Hilbertovou transformací a vypočítanou obálkou.

vlnová délka, která je ve vztahu s centrální frekvencí sondy a rychlostí šíření zvuku v součásti. Malé rozlišení rastru je spojeno s vysokou náročností výpočtů, což má za následek nižší rychlost pořizování snímků. U oscilačních snímků TFM je také nepříznivě ovlivňována odolnost proti kolísání amplitudy, nezbytná u metod amplitudového určování velikostí vad. Maximální amplituda měřeného odrazu zvuku je ve skutečnosti silně závislá na fázovém posunu získávaného signálu.

Všechny tyto problémy lze řešit použitím obálky TFM, která odstraňuje kmitání signálu v obrazu a umožňuje provádět odolnější měření maximální amplitudy (viz **obr. 1**). To vede k vyšší produktivitě při pořizování záznamů, jelikož vyžaduje snížené rozlišení rastru (tj. větší rozestup mezi dvěma sousedními pixely) při stejné odolnosti proti kolísání amplitudy ve srovnání se standardním snímkem TFM. Při použití obálky je např. postačující rozlišení rastru činící přibližně λ/4 k získání stejné stálosti amplitudy (2 dB) jako u standardního oscilačního snímku pořizovaného za použití rozlišení λ/8.

Metoda FMC-TFM

Typickým znakem ultrazvukového fázového pole je schopnost zaostřování v kterémkoli místě kontrolovaného dílu. Postup zaostřování fázového pole využívá jednotlivých zpoždění (jak při vysílání, tak i při příjmu) k synchronizaci časů průchodu krátkých impulzních signálů v oblasti zájmu. V ohniskové zóně vzorku se zmenšuje celková šířka generovaného akustického svazku a výrazně zvyšuje rozlišení při detekci.

Metoda TFM představuje přirozené rozšíření této schopnosti, jelikož vytváří zaostřený svazek prostřednictvím fokalizace fázového pole a jeho usměrňování v každém místě oblasti zájmu kontrolovaného dílu, přičemž operátor sleduje pouze sadu fokalizovaných datových bodů ve vysokém rozlišení. Oblast zájmu často tvoří stejnoměrný kartézský rastr obsahující všechny požadované cílové objekty postupu fokalizace. Dosahování fokalizace v každém místě rastru konvenčním postupem by bylo mimořádně časově náročné vzhledem k době fyzického šíření zvukových vln, potřebné k dosažení každého místa v oblasti zájmu.

Jelikož typické ultrazvukové vlny používané v NDT jsou lineární, fyzické utváření svazků, dané pro všechny zúčastněné prvky apertury výsledkem superpozice skutečných akustických polí, může být emulováno použitím následné akvizice datové sady získávané při provádění záznamu s dokonalou maticí (FMC). To vyžaduje zaznamenávání signálu pocházejícího od všech prvků tvořících přijímající aperturu v době, kdy jsou akustické emise vytvářeny každým jednotlivým prvkem tvořícím vysílající aperturu. Samotná datová sada FMC je pak tvořena velkým množstvím elementárních amplitudových snímků zahrnujícím všechny kombinace vysílajících i přijímajících prvků.

Stejně jako u konvenčního zaostřeného fázového pole vyžaduje získávání fokalizované amplitudy v daných místech splnění následujících předpokladů:

- vypočítávání doby průchodu potřebné k šíření zvukových vln pro dosahování polohy ohniska shodující se se zvolenou polohou oblasti zájmu v rastru i následné odesílání těchto vln zpět k přijímajícímu prvku (pro všechny dvojice vysílajících a přijímajících prvků příslušné apertury),
- výběr datového bodu amplitudy odpovídajícího příslušné době průchodu během vysílání i přijímání (rovněž pro všechny dvojice vysílajících a přijímajících prvků),
- vytváření součtu všech vybraných datových bodů amplitudy příslušejících všem zúčastněným prvkům tvořícím vysílající i přijímající apertury,
- umísťování výsledné součtové amplitudy v počáteční vybrané poloze uvnitř rastru.

Opakování těchto kroků pro všechna místa rastru v celé oblasti zájmu vytváří amplitudovou mapu pro všechny hodnoty amplitud odpovídající fokalizovanému svazku, a to jak při vysílání, tak i při příjmu. Tento způsob využívání dat FMC k vytváření mapy amplitud fokalizovaných v každém z míst celé oblasti zájmu (tj. v zóně TFM) je označován jako metoda FMC-TFM.

> Oproti standardnímu oscilačnímu snímku TFM je pro obálku možné nastavovat hrubší rozlišení rastru, a snižovat tak celkovou náročnost výpočtu a rychlost pořizování snímku.

Výpočet obálky TFM

Při vypočítávání obálky TFM za použití stejných amplitudových snímků (FMC), jaké jsou získávány při použití standardní metody TFM, je nutno poukázat na skutečnost, že obálka má fyzickou podobu a nepředstavuje tedy pouhý algoritmus vyhlazování obrazu. Obálka snímku TFM má svůj původ v jednotlivých amplitudových snímcích, ze kterých sestává. Pro schematické znázornění jejího chování bude koncepce obálky představena pomocí Gaussovy řady časových impulzů. Proces je aplikován také na empirický amplitudový snímek a na úplný snímek TFM.

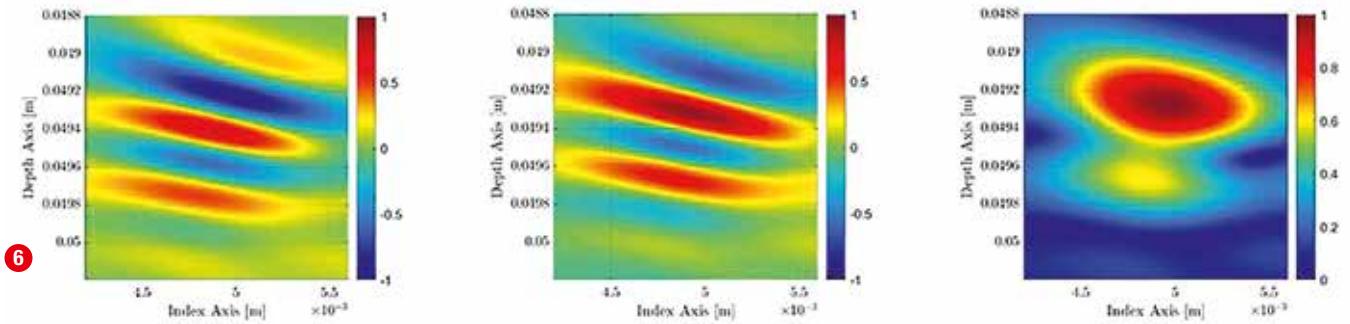
Signál a(t) odpovídá získanému signálu – tj. ekvivalentu elementárního amplitudového snímku pořízeného prostřednictvím záznamu typu FMC – a ve skutečnosti je reálnou součástí komplexního analytického signálu z(t), který může být zapsán jako:

$$z(t)=a(t)+ia'(t)=|z(t)|e^{i\theta(t)}$$

kde a'(t) odpovídá pomyslné části analytického signálu a θ(t) je okamžitá fáze signálu. Pomyslná část byla účinně vypočítána za použití Hilbertovy transformace. Obálka signálu odpovídá normalizovanému analytickému signálu, což je možno zapsat jako: $|z(t)|=\sqrt{a(t)^2+a'(t)^2}$

Na **obr. 2** je příklad jednoduchého impulzu a(t), modulovaného pomocí Gaussovy řady. Skutečný signál a(t) je znázorněn modře, jeho pomyslná část a'(t) transformovaná Hilbertovou metodou červeně a přerušovanou čarou je výsledná obálka z(t), která není ovlivňována okamžitou fází θ(t) tohoto signálu, takže signály s rozdílnými fázovými posunutími ϕ mohou mít stejnou obálku.

FOTO: Olympus



6

Několik impulzů modulovaných pomocí Gaussovy řady s rozdílnými fázovými posuny ϕ, společně s jejich výslednou obálkou znázorňuje **obr. 3**. Měřená maximální amplituda signálu je tudíž při použití obálky signálu odolnější než absolutní hodnota skutečné složky analytického signálu.

Stejný postup lze použít k získání obálky empirického amplitudového snímku. Na **obr. 4** je elementární amplitudový snímek pořízený prostřednictvím FMC a na **obr. 5** je tentýž amplitudový snímek (modrý) společně s jeho Hilbertovou transformací (červená) a vypočítanou obálkou (přerušovaná čára). Všechny znázorněné signály jsou normalizovány podle maxima amplitudové obálky.

Obraz s obálkou TFM se vypočítává pomocí analytických signálů příslušejících všem amplitudovým snímkům, které se na vytváření obrazu podílejí. Ve skutečnosti jde o výsledek výpočtu normalizovaného analytického obrazu TFM y(k, l) sestávajícího ze standardního snímku TFM x(k, l), vypočteného za použití standardně pořízených dat FMC a ze snímku TFM x'(k, l), vypočteného pomocí Hilbertovy transformace dat FMC. V obou případech je použita stejná sada zpoždění. Obálka TFM je pak vypočtena za použití následujícího výrazu:

$$|y(k,l)| = \sqrt{(x(k,l))^2 + (x'(k,l))^2}$$

Obraz s obálkou TFM je proto výsledkem kombinace dvou obrazů (viz **obr. 6**): Jednoho z reálné složky tvořené elementárními amplitudovými snímky a druhého z vypočítané pomyslné složky elementárních amplitudových snímků. I když tento postup zvyšuje náročnost výpočtu a snižuje rychlost pořizování záznamu nedestruktivním zkušebním přístrojem, potřebné rozlišení rastru lze významně snížit i bez nepříznivého ovlivnění stálosti amplitudy, což umožňuje opětovně zvýšit rychlost pořizování záznamu, která je pak vyšší než při použití standardních snímků TFM.

POROVNÁNÍ KVALITY OBRAZU 7

Rozlišení rastru	Standardní snímek TFM	Snímek s obálkou TFM
λ/9,3	AF = 1.41 dB Acq = 46.8 Hz	AF = 0.37 dB Acq = 25.3 Hz
λ/8,1	AF = 1.85 dB Acq = 57.9 Hz	AF = 0.48 dB Acq = 31.3 Hz
λ/5,9	AF = 3.63 dB Acq = 93.2 Hz	AF = 0.88 dB Acq = 50.5 Hz
λ/4,0	AF = 8.58 dB Acq = 146.3 Hz	AF = 1.77 dB Acq = 79.6 Hz

Červené rámečky označují stav, kdy se nepodařilo dosáhnout hodnoty stálosti amplitudy 2 dB ve shodě s předpisy. Povšimněte si vyšší rychlosti pořizování záznamu při ekvivalentní hodnotě AF.

Výhody použití obálky TFM

Výhody názorně demonstruje vzájemné porovnání několika snímků s rozdílnými poměry rozlišení rastru, které se pohybují v rozsahu od λ/9,3 do λ/4, a sledování prováděného za použití různé kritické kontrolní metriky.

6 **Standardní snímek TFM** (vlevo), snímek TFM vypočítaný za použití Hilbertovy transformace záznamu FMC (uprostřed) a výsledný obraz s obálkou TFM (vpravo).

7 **Porovnání kvality obrazu** mezi standardním snímkem TFM a snímkem s obálkou TFM při čtyřech hodnotách rozlišení rastru (AF znamená stálost amplitudy, Acq odpovídá rychlosti pořizování záznamu při určitém rozlišení rastru).

8 **Uspořádání použité** k pořízení snímků TFM uvedených v tabulce. Modrý obdélník odpovídá celé oblasti zájmu (20 x 20 mm) a červený přiblížené oblasti zájmu (5 x 5 mm).

FOTO: Olympus

Některá zařízení pro NDT, jako např. detektor vad OmniScan X3, umožňují zobrazování za použití metody TFM v reálném čase.

Výsledky byly získány za použití sondy 5L32-A31 a optického klínu SA31-N55S-IHC při pozorování ocelového bloku opatřeného postranním vrtaným otvorem (SDH) o průměru 1 mm (viz **obr. 8**). Mezi optickým klínem a ocelovým blokem byl použit vazební gel (Sonotech Ultragel II). Data byla pořízena detektorem vad Olympus OmniScan X3. Byla vybrána akustická dráha typu impulz–ozvěna (T-T), velikost oblasti činila (20 x 20 mm). Vlnová délka přiřazená dílu a vybrané akustické dráze činila λ = 0,648 mm. Rozlišení rastru bylo zaznamenáváno v jednotkách představujících zlomky vlnové délky.

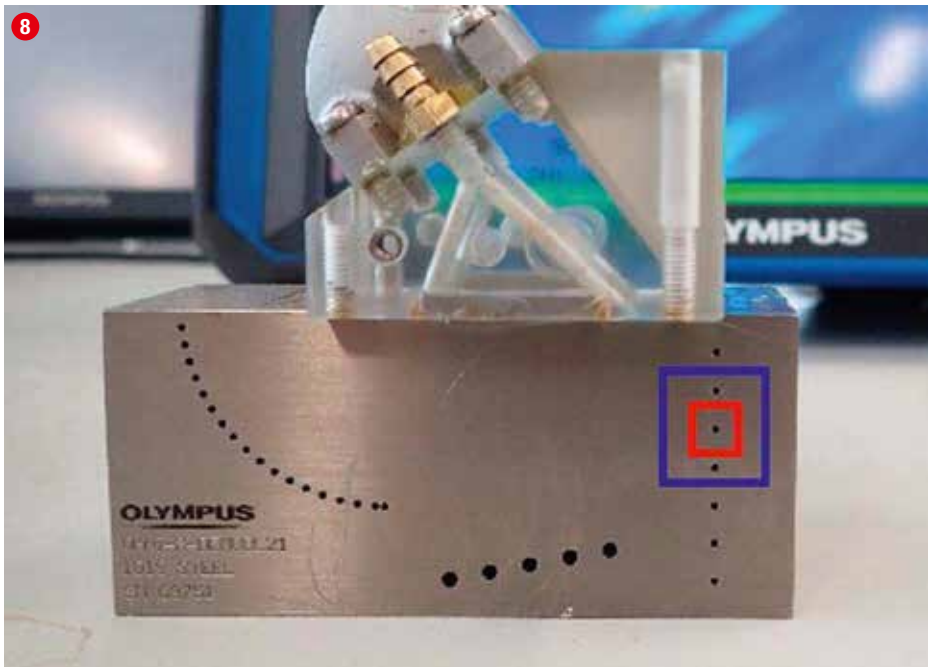
Tabulka zobrazuje výsledné snímky TFM pro rozdílné hodnoty rozlišení rastru v rozsahu od λ/9,3 do λ/4, a to jak pro standardní snímky TFM, tak i pro snímky TFM s obálkou. V každém ze snímků je vyznačena vypočítaná hodnota stálosti amplitudy i výsledná rychlost pořizování záznamu.

Nově vydané předpisy a normy požadují, aby stálost amplitudy činila 2 dB nebo méně. U standardní metody TFM jsou proto ve shodě s těmito předpisy pouze první dvě hodnoty rozlišení rastru (λ/9,3, λ/8,1). Obálka TFM však umožňuje použití hrubšího rozlišení rastru (λ/4) při zachování stálosti amplitudy, která je ve shodě s předpisy. Použití obálky TFM s hrubším rastrem pak umožňuje zvýšit rychlost pořizování záznamu o přibližně 37 % oproti nejvyšší rychlosti dosažitelné s použitím standardní metody TFM, splňující požadavky předpisů a norem (57,9 Hz při λ/8,1).

Obálka signálu je nezávislá na jeho okamžité fázi, a poskytuje tak spolehlivější základ pro postupy amplitudového měření velikostí (např. pro metodu využívající pokles o 6 dB). Neslouží pouze k vyhlazování obrazu, a neměla by tedy být považována za filtr, který může způsobovat vznik ztrát dat. Třebaže je k získání výsledné obálky TFM nutno vypočítávat dva snímky použitím hrubšího rozlišení rastru, lze významně snížit náročnost zpracování při zachování shody zbývajících hodnot s požadavky předpisů a norem. To je dosaženo díky odolnosti obálky proti kolísání amplitudy. Výsledkem je snímek, který je lépe uzpůsoben amplitudovému určování velikosti, přestože je získáván vyšší rychlostí než ekvivalentní snímek standardní metodou TFM. ■

Nicolas Badeau, Olympus

FOTO: Olympus



▼ INZERCE

OLYMPUS

Defektoskop OmniScan® X3

Spolehlivost, kterou můžete zažít

Výjimečné zobrazení a promyšleně navržený software - vyšší standard v přístroji phased array. Přístroje Omniscan jsou známé svojí spolehlivostí a jednoduchostí použití - X3 nabízí ještě lepší vlastnosti pro detekci nejrůznějších vad materiálů.

TFM (Total Focusing Method) a **FMC** (Full Matrix Capture) techniky s podporou **64 elementové aktivní apertury.**

Vylepšené Phased Array zobrazení včetně inovativní **live TFM obálky a simulátoru mapy akustického vlivu** (Acoustic Influence Map - AIM) pro TFM techniku.

Vytvořte si **komplexní skenovací plán v jednom kroku** a ověřte si jeho nastavení pomocí vizualizačních nástrojů. **Sdílejte obraz** ze svého defektoskopu s kolegy použitím Olympus Scientific Cloud.

Olympus a OmniScan jsou registrovanými známkami společnosti Olympus.

Scientific Solutions Division
OLYMPUS CZECH GROUP, S.R.O., ČLEN KONCERNU
Evropská 176/16, 160 41 Praha 6 | Tel.: +420 221 985 211 |
info-industrial@olympus.cz | www.olympus.cz
Více informací na www.olympus-ims.com

KDE KVALIFIKOVAT TECHNICKÝ PERSONÁL

Certifikační sdružení pro personál – APC, je nejstarší akreditovanou společností v České republice, která se věnuje certifikaci personálu v širokém počtu metod nedestruktivního zkoušení (NDT).

FOTO: APC

Jedná se o metody, které uvádíme v populárním jazyce:

- **Tradiční objemové** (zkoušení na přítomnost vad uvnitř i na povrchu součástí) jsou metody využívající ultrazvuk (UT) nebo rentgen (RT),
- **Tradiční povrchové** (zkouší přítomnost vad na povrchu součástí magnetických stejně jako nemagnetických, vodivých, nevodivých, ale i nekovových materiálů) zahrnují metody: magnetické (MT), kapilární (PT), vizuální (VT), těsností (LT) a vířivými proudy (ET) a
- **Speciální metody:** akustická emise (AT) zjišťuje vady v objemných součástech stejně jako složitých a náročných konstrukcích včetně leteckých. Zkoušení lan (FT) je speciálně zaměřeno na lanové dráhy, lyžařské vleky, důlní výtahy a jeřáby.

Certifikujeme dle zavedených standardů platných mezinárodních norem (Std. 101 a Std. 301) nejen výše uvedené klasické NDT metody v portfoliu našeho sdružení.

APC má schválená školicí a zkušební střediska s jednotnou metodikou a postupy pro procesy kvalifikace a certifikace.

Pro jednodušší i složitou kontrolu

Narůstající specializace ve výrobních a údržbových provozech vytváří zájem o získávání i jednodušší formy odbornosti personálu ke zkoušení produktů převážně ve vstupní a výstupní kontrole:

- **Zjednodušené zkoušení** tloušťěk materiálů ultrazvukem (UTT) spočívá ve využití speciálních tloušťkoměrů (Std 201 a 202)
- **Zjednodušené vizuální zkoušení** svarových spojů (VTP), které redukuje metodu VT pouze na tento výrobkový sektor v již zmíněném Standardu 101.

NÁRODNÍ AKREDITAČNÍ ORGÁN
Signatář EA MLA
Český institut pro akreditaci, o.p.s.
Olšanská 54/3, 130 00 Praha 3

vydává

v souladu s § 16 zákona č. 22/1997 Sb., o technických požadavcích na výrobky, ve znění pozdějších předpisů

OSVĚDČENÍ O AKREDITACI

č. 288 / 2016

Certifikační sdružení pro personál
se sídlem Podnikatelská 545, 190 11 Praha 9 - Běchovice, IČ 62934210

pro certifikační orgán č. 3037

Rozsah udělené akreditace:

Certifikace NDT pracovníků a operátorů NDT vymezená přílohou tohoto osvědčení.

Toto osvědčení je dokladem o udělení akreditace na základě posouzení splnění akreditačních požadavků podle

ČSN EN ISO/IEC 17024:2013

Subjekt posuzování shody je při své činnosti oprávněn odkazovat se na toto osvědčení v rozsahu udělené akreditace po dobu její platnosti, pokud nebude akreditace pozastavena, a je povinen plnit stanovené akreditační požadavky v souladu s příslušnými předpisy vztahujícími se k činnosti akreditovaného subjektu posuzování shody.

Toto osvědčení o akreditaci nahrazuje v plném rozsahu osvědčení č.: 501/2015 ze dne 01.07.2015, popřípadě správní akty na ně navazující.

Udělení akreditace je platné do 12.05.2021

V Praze dne 12.05.2016

Český institut pro akreditaci, o.p.s.

Ing. Jiří Růžička, MBA
ředitel
Českého institutu pro akreditaci, o.p.s.

Nové sídlo APC se po pětadvaceti letech vrací do míst, kde začala epocha kvalifikace personálu NDT.

FOTO: APC

Pro potřeby průmyslu se zaměřením na životnosti jejich výrobků vzrůstá poptávka po kvalitativně vyšší úrovni personálu, **zabývající se povrchovými úpravami v oblasti koroze a protikorozní ochrany** (Std 401). Podobně se zvyšuje zájem o odbornou způsobilost personálu v oblasti **tepelného zpracování kovů** (Std 402).

Pro všechny výše uvedené metody a standardy má sdružení a vrcholový orgán APC schválená školicí a zkušební střediska s jednotnou metodikou a postupy pro procesy kvalifikace a certifikace.

Činnost sdružení APC

Sdružení má základ již od poloviny minulého století, ve kterém tyto metody rozvíjel Státní výzkumný ústav materiálu (SVÚM) Praha v Běchovicích. V roce 1994 se tyto činnosti postupně transformovaly do dnešní podoby sdružení, jehož členové byly nebo nadále jsou významnými vývojovými, obchodními, výrobními nebo uživatelskými institucemi zmiňovaných činností. Seznam stávajících členů APC naleznete na **www.apccz.cz/cz/o-nas-2/clenove.**

V současné době tvoří základnu 31 velkých, velmi významných firem, ale i drobných zahraničních společností, které nesou každá svůj podíl na funkci a naplňování procesu kvalifikace NDT v APC. Všichni členové mají rovná práva a povinnosti. Nutno zmínit i odborníky z technických vysokých škol společně s ČAV a dalšími nadšenci, podílejícími se na kompletaci a průběžné validaci školicího a zkušebního systému. Z mezinárodního hlediska je velmi důležitým členem APC německý certifikační orgán SEKTOR Cert, GmbH, který je od letošního roku společně s APC spoluvlastníkem pověřeného kvalifikačního orgánu QC Plzeň. Tento kvalifikační orgán nepřetržitě, od počátku vzniku sdružení, zaštiťuje mimo jiné i nejvyšší kvalifikace Level 3 v některých metodách NDT dle požadavků zahraničních zákazníků.

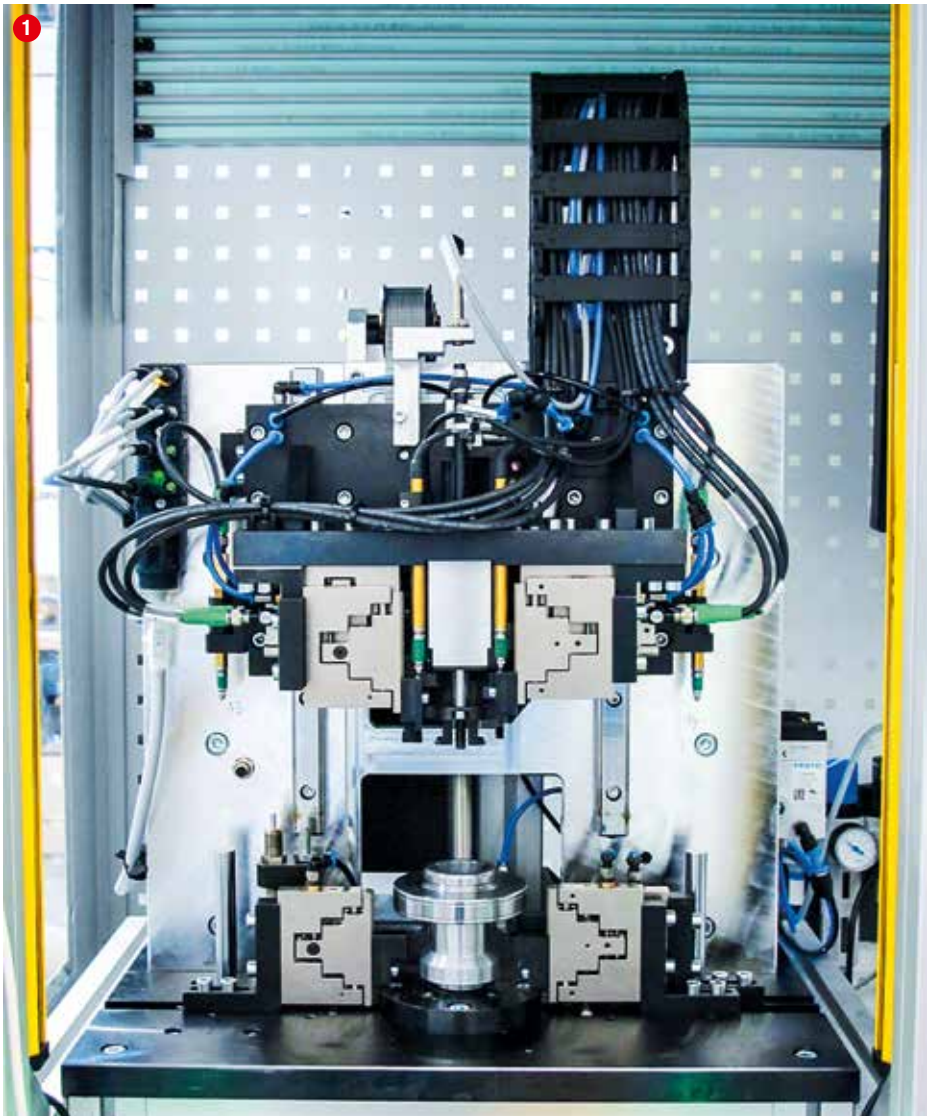
Od roku 1994 pokračujeme v původní myšlence zakladatelů sdružení spojeně s nedocenitelnou prací a nasazením mnoha kolegů a velkého množství bezejmenných nadšenců, kteří jsou ochotni věnovat i své osobní volno ku prospěchu a rozvoji činností, které jsou společenskou zárukou kvality a bezpečnosti výrobků i služeb.

Počátkem roku 2020 došlo ke změně sídla sdružení, a tak po více než pětadvaceti letech se vracíme na místa, kde v minulém století začala epocha kvalifikace personálu nedestruktivního zkoušení. Tentokrát však v přívětivějším prostředí školicích a zkušebních prostor včetně exteriéru budovy. ■

Certifikační sdružení pro personál – APC, z.s.
Provozovna: Podnikatelská 565/13A
Praha 9–Běchovice
www.apccz.cz

ZPŘESŇOVÁNÍ AUTOMATICKÉ KONTROLY OTVORŮ

Součástky s úzkými tolerancemi, kterých rychle přibývá, se budou nově měřit snímači s rozlišením 0,01 µm a opakovatelností cca 0,1 µm, ale i lepší.



1. **Měřicí místo** mnohasnímačové víceparametrické stanice
2. **Snímače** pro kontrolu hlubokých otvorů
3. **Pákové snímače** pro kontrolu menších otvorů
4. **Snímač na kontrolu drážek,** zápichů a štěrbin umožní i kontrolu tenkých fólií, planžet atd.
5. **Test opakovatelnosti a dlouhodobé stability**
6. **Test doby dokmitu**

Přesná a rychlá rozměrová kontrola kruhových i nekruhových otvorů, drážek, štěrbin atd., se dnes běžně realizuje již přímo ve výrobním procesu pomocí různých měřidel a stále častěji i účelovými kontrolními stanicemi (v sériové výrobě přirozeně převládají automatické verze).

Na kruhových otvorech, kterých je nejvíc, jsou podstatné zejména přesné vstupní údaje: hodnotí se průměr daného řezu (minimální, maximální, střední aritmetický, střední integrovaný), jeho ovalita a z údajů dvou řezů se pak vyhodnotí kuželovitost. Získaná data ze snímačů jsou často používána i ke stanovení matematické osy pro výpočet radiálního a čelního házení. Dynamické měření za protáčení součástkou se již stalo samozřejmostí.

> Progresivní sériová výroba bude stále více požadovat zakázkové řešení jak snímačů, tak i vlastních stanic.

Současná situace nenahrává maximální přesnosti

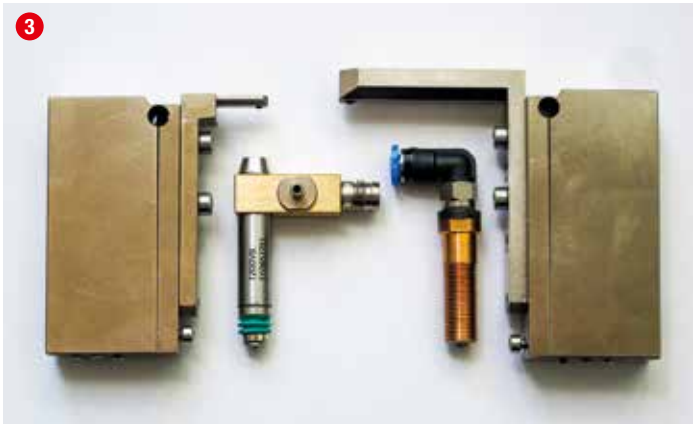
K měření průměrů se donedávna používaly hlavně různé rozpínací hlavice, u kterých se radiální změna polohy doteků přenášela na kuželové zakončení osově pohyblivé jehly. Její protilehlá čelní plocha byla v kontaktu s měřicím hrotem úchylkoměru, nebo novější univerzálního snímače s upínací stopkou Ø 8 mm. Tyto systémy se používaly k určení náhodného průměru, nebyly ale vhodné pro parametry vyžadující matematický výpočet. Nicméně sehrály nezastupitelnou roli při rozvoji kontroly otvorů a tuto pozici si určitě zachovají i v budoucnu při realizaci přesnostně méně náročných měřicích zařízení.

Následně se začaly rychle uplatňovat univerzální velkosériově vyráběné „ploché“ snímače s hlavním předepnutým kuličkovým a pomocným kluzným vedením. Umísťovaly se proti sobě a zapojovaly do součtového režimu. Díky nim nastal velký boom měření, využívajících matematické výpočty. Nevhodné silové zatěžování obou vedení, výskyt nepravidelných odporů ve vedeních a nerespektování Abbeho principu však obvykle znemožňovalo dosáhnout opakovatelnosti s přesností lepší než 1 µm.

Nové možnosti nabízejí speciální senzory

Další zlepšení přinesly „ploché“ snímače typu monoblok se čtyřmi pružnými klouby, tvořícími stabilní pružinový přímovod. Ani zde ale nebylo možné plně dodržet Abbeho princip, což se logicky odrazilo i v dosahovaných výsledcích.

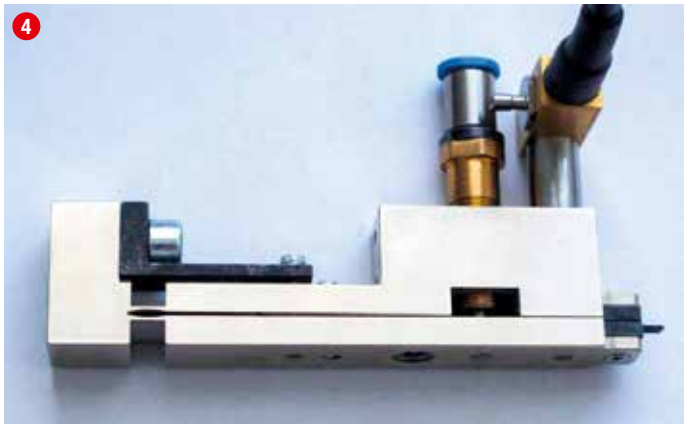
Ukázalo se, že cesta k rychlému, cenově dostupnému a vysoce přesnému provoznímu měření otvorů vede přes speciální – účelově koncipované snímače (v ČR a německy mluvících zemích hlavně indukčnostní s polomostovým zapojením). Až na malé výjimky nebyly

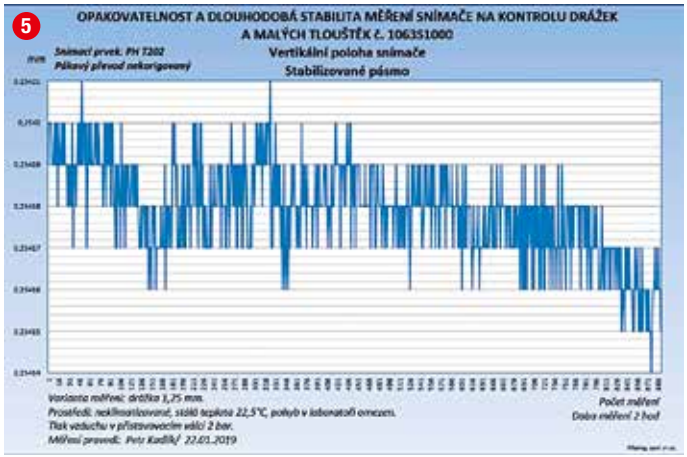


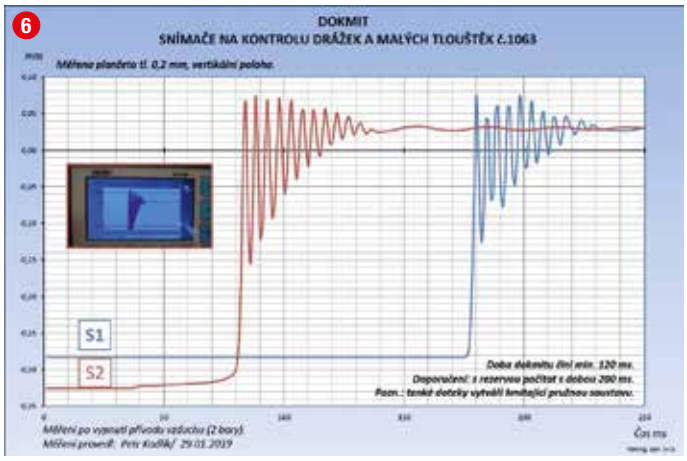
ale na trhu. Velkosérioví výrobci snímačů tuto problematiku neřeší, protože kusová výroba speciálů je technicky velmi náročná a není pro ně rentabilní. Nemají často ani operativní informace, co výrobci zakázkové měřicí techniky reálně potřebují. Právě zde se naskytla příležitost pro několik málo evropských firem, specializovaných na zakázkové kontrolní stanice, avšak s detailnějšími zkušenostmi se snímačovou technikou a začaly si potřebné speciální snímače vyvíjet a vyrábět samy. K nim patří i brněnská společnost MESING.

Trendy, které se v průběhu jejich působení v této oblasti projevily, potvrdily několik klíčových faktorů, jež vedly k úspěšnému prosazení specializovaných výrobců v náročném, silně konkurenčním prostředí průmyslových odvětví s nekompromisními kvalitativními požadavky. Základem úspěchu je zejména:

- minimalizace pasivních odporů použitím pružných prvků (pružinová – kalená a pérově popuštěná ocel; nutné speciální postupy obrábění a tepelného zpracování),
- dodržování Abbeho principu (ne vždy je to však možné),
- pneumatické odstavování doteků,
- použití speciálních materiálů s minimální hmotností a délkovou teplotní roztažností,
- použití vysoce citlivých indukčnostních systémů,
- instalace konektorového výstupu.







Příklady realizace

Příklady některých speciálních otvorových snímačů MESING jsou zobrazeny na **obr. 2 a 3**. Všechny pracují s rozlišením 0,01 µm, opakovatelností max. několik 0,1 µm a instalují se po dvojicích. Na **obr. 2** jsou snímače, které striktně dodržují Abbeho princip a jsou určeny pro měření v hlubokých otvorech. Doteky jsou odstavovány. Malá „kostka" je určena pro otvorové měřicí hlavice s větším počtem snímačů (měření Ø, kuželovitosti, radiálního házení a soosti), z prostorových důvodů není vybavena pneumatickým odstavováním doteku a konektorovým výstupem.

Na **obr. 3** jsou dvě varianty pákových snímačů pro kontrolu menších otvorů. Jsou vybaveny pneumatickým odstavováním doteků a k odměřování lze použít různé snímací prvky v souladu s přáním zákazníka (MESING, malé snímače PETER HIRT, TESA atd.). Při použití snímače M8 a konfigurace otvor Ø 18 mm a hloubka 32 mm bylo dosaženo opakovatelnosti měření cca 0,05 µm. Doba dokmitu je kratší než 100 ms. Snímače prokázaly funkčnost i v extrémních podmínkách mrazicího boxu (–20 °C) a termoboxu (+70 °C). Zakázkové varianty jsou samozřejmostí.

V současné době probíhá také vývoj i nízkosilových snímačů pro kontrolu malých průměrů výkyvem (Ø d > 0,5 mm) a pozornost je věnována mj. i provozní kontrole úzkých drážek, štěrbin a zápichů. Příklad takového snímače je na **obr. 4**. Opakovatelnost měření je několik 0,01 µm; výsledky testu jsou na **obr. 5**. Test dokmitu je na **obr. 6**. Obdobně je řešena i problematika snímačů pro kontrolu vnějších povrchů, zde jsou přesnostní parametry ještě lepší.

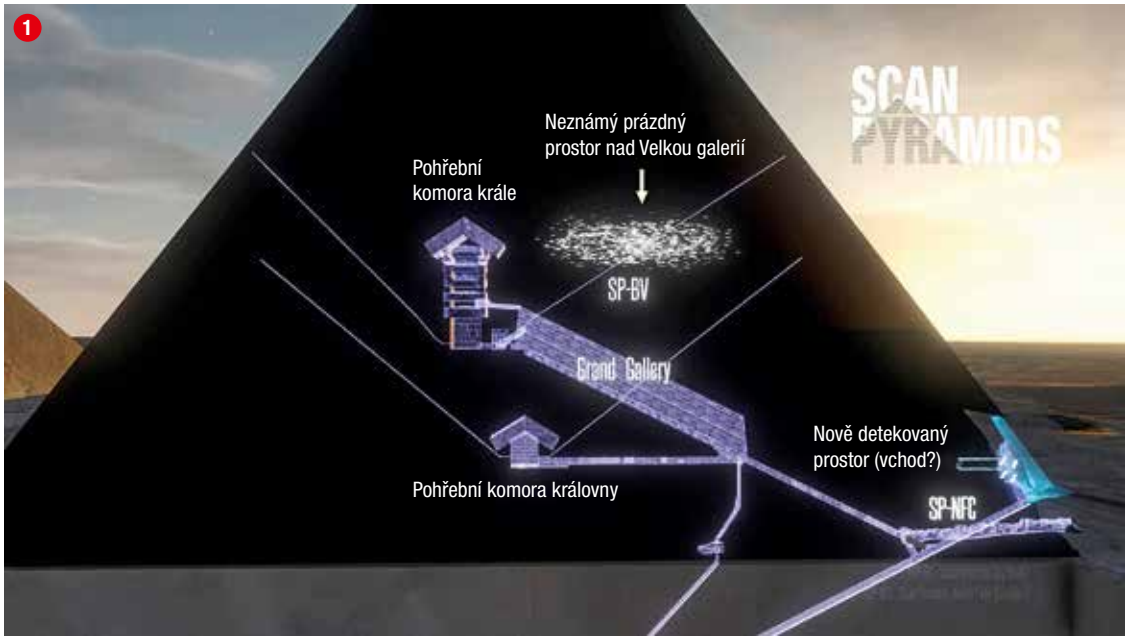
Progresivní sériová výroba bude stále více požadovat zakázkové řešení jak snímačů, tak i vlastních stanic. Mnohasnímačové víceparametrické kontrolní stanice vybavené indukčnostními snímači (příklad měřicího místa, viz **obr. 1**) umožní kontrolu součástek s vysokou přesností a za přijatelnou cenu, přičemž výkon těchto zařízení je opravdu vysoký – takt 2–3 sekundy již není neobvyklý. ■

Jan Kůr, MESING

FOTO: MESING

TECHNOLOGIE POMÁHÁ NAHLÉDNOUT DO HLUBIN VĚKŮ

Moderní metody umožňují odhalovat záhady, jejichž kořeny tkví staletí či dokonce tisíciletí v minulosti. Příkladem může být nasazení NDT v případě starověkých památek.



1 **Při neinvazivním průzkumu Cheopsovy pyramidy** byly zjištěny dosud neznámé prostory.

2 **Záhada Tutanchamonovy dýky rozluštěna:** Pro její čepel poskytl materiál prastarý meteorit.

Objev hrobky faraona Tutanchamona v roce 1922 přinesl i několik záhad, z nichž jednu se nedávno podařilo definitivně vyřešit – pomocí NDT. Mezi předměty uloženými v hrobce se našla i dvojice ozdobných dýk – jedna se zlatou a druhá se železnou čepelí. Protože železo bylo ve starém Egyptě vzácností, zajímal vědce původ této čepele, avšak tehdejší prostředky umožňující její analýzu by vyžadovaly odebrání vzorku, a tím i poničení historického artefaktu. Dýka proto čekala v Egyptském muzeu, až bude k dispozici vhodný způsob nedestruktivní analýzy.

Dýka s „čepelí z počátků času“

Už dřívější vyšetření prováděná v 70. a 90. letech sondovala možnost, že čepel pochází z meteoritu. Později tým italských a egyptských vědců využil nové technologie NDT, známé jako přenosná rentgenová fluorescenční spektrometrie, a podle jejich zjištění zveřejněných v časopise Meteority and Planetary Science je složení čepele ze železa, niklu a kobaltu, což podle nich silně naznačuje mimozemský původ. Výzkumníci z univerzit v Miláně a v Pise a Egyptského muzea v Káhiře provedli novou studii, která porovnávala železo čepele s 11 meteority, jež spadaly do okruhu 2 tis. km kolem pyramidy. Čepel vyrobená převážně ze železa, 10,8 % niklu a 0,58 % kobaltu odpovídala meteoritu známému jako Kharga, objeveného v roce 2000 poblíž přístavního města Marsa Matruh zhruba 240 km od Alexandrie. Je tak více než pravděpodobné, že právě z jeho úlomku je vytvořena i vzácná faraonova dýka. Samotné vědce však překvapilo výsledné složení, které jasně poukazuje na to, že okrasná dýka pochází z materiálu jednoho z nejstarších objektů ve Sluneční soustavě – její čepel tvoří směs prvků právě v takovém poměru, který se v pozemském železe nevyskytuje, zato je charakteristický právě pro meteority z prvopočátku Sluneční soustavy.

> Poprvé vědci nahlédli dovnitř mumie pomocí počítačové tomografie již v roce 1977.

CT a RTG oživují mumie

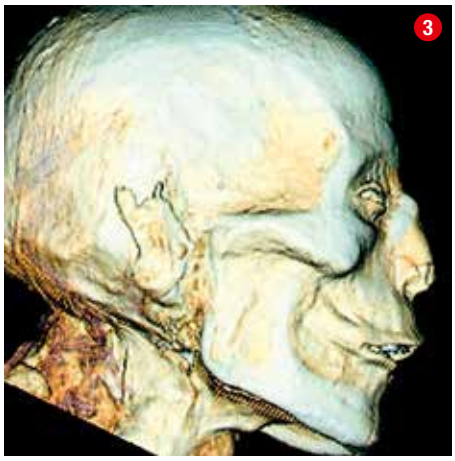
K dalším oblastem, v nichž se v archeologických výzkumech uplatňuje NDT, patří počítačová tomografie (CT) a rentgen (RTG), které umožňují nahlédnout dovnitř objektů bez poškození jejich obalů. To se stalo cenným při výzkumu staroegyptských mumií, dokonce pomohly rekonstruovat podobu těchto osob za jejich života.

Prohlídky pomocí CT a RTG dokážou najít nejen nejrůznější objekty (např. amulety, šperky apod.) zavinuté ve vrstvách, jimiž je mumie obtočena, ale vědcům umožnily odhalit na egyptských mumiích v roce 2017 i nejstarší známé případy rakoviny prsu a mnohočetného myelomu (nádorové onemocnění krve).

Poprvé vědci nahlédli dovnitř mumie pomocí CT skenu již v roce 1977, tzn. pouhé dva roky poté, co byla technologie počítačového tomografického skenování vyvinuta pro lékařské zobrazování. Byla aplikována na egyptskou mumii Nakht z Royal Ontario Museum, aby vědci mohli prozkoumat její mozek. Následující rok už bylo provedeno i první celotělové CT skenování mumie.

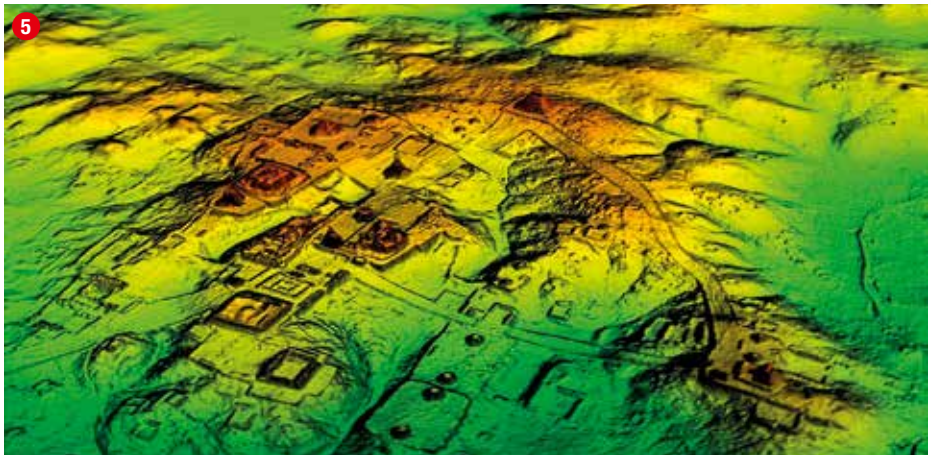
CT zobrazení vědci nedávno doplnili o další techniku pomocí nového 3D skeneru firmy Artec 3D. Zatímco CT skener lépe proniká pod povrch obalu mumie a odhaluje, jak vypadala i uvnitř, ruční optický 3D skener je schopen skenovat barevně a zachytit detaily, které klasické CT vyšetření a rentgen není schopen rozeznat a hlavně zobrazit. Kombinace výsledků obou skenů a jejich propojení do jednoho datového souboru pomocí software firmy Volume Graphics umožnilo vytvořit detailní 3D model – přesnou digitální kopii mumie – v tomto případě asi 8leté egyptské holčičky z Rosenkruciánského egyptského muzea v kalifornském San Jose. Analýza prováděná touto technikou může mít rozsáhlé využití – technologii půjde aplikovat nejen ve vědě (v archeologii, paleontologii, biologii, geologii apod.), ale i v průmyslové výrobě – např. když bude potřeba optické vlastnosti objektu spojit s vlastnostmi uvnitř něj. A nemusi jit jen o starověké artefakty.

Pomocí CT skenu téměř 270 let staré mumie, pořízeného před třemi lety, se podařilo zrekonstruovat podobu barona Františka Trencka, který kvůli tomu na čas opustil místo svého posledního odpočinku v brněnské hrobce Kapucínů. Povedlo se zjistit, jak slavný vojenský velitel z poloviny 18. století vypadal.



3 Rekonstruovaný obraz hlavy faraona ukazuje deformitu a absenci špičky pravého ucha – detail zjistitelný díky postprocesingovému algoritmu.

4 K vytvoření digitální kopie mumie holčičky posloužila kombinace dvou NDT metod.



5 Největší mayský komplex Aguada Fénix objevili archeologové až nyní pomocí LiDARu.

Od Cheopsovy pyramidy po města skrytá v džungli

NDT hraje významnou roli i v dalším případu tajemství říše faraonů. Poslední výzkum slavné Cheopsovy pyramidy ukázal, že tento 4500 let starý grandiózní objekt, řazený mezi sedm starověkých divů světa, je ještě mnohem tajemnější, vykazuje totiž výrazné termální anomálie. Když archeologové studovali pyramidu termálními skeny, zjistili nejméně na třech místech teplejší místa. Jedna anomálie v jižní části základny pyramidy je výjimečně velká. Další anomálie byly nalezeny v horní polovině pyramidy.

Vědci anomálie několikrát prověřovali, aby eliminovali vliv vnějších faktorů, měřili termálními skeny pyramidu několikrát denně v nejrůznějších denních i nočních hodinách. Výsledky jednoznačně potvrdily neznámý zdroj tepla uvnitř pyramidy. „První řada kamenů v pyramidě je úplně stejná, ale uvnitř je nepravidelnost. Podle všeho je mezi nimi úzký průchod, ale co je za ním?“ komentoval anomálii egyptolog Mamhoud el-Dematy, a vyzval vědce, aby pomohli najít způsob dalšího výzkumu.

Nové technologie z oblasti NDT v podobě laserového skenování, lidaru či termografie nebo tzv. zemních radarů (georadarů vidící pod povrch) sehrály významnou roli i při objevech řady archeologických lokalit, které byly dosud skryty pod úrovní terénu nebo hustým porostem džungle, ale objevily se např. na záznamech z leteckého snímkování. Příkladem mohou být třeba dosud neznámá sídliště starých Mayů a dalších předkolumbovských kultur na Yucatánském poloostrově, pohřbených v pralesích Střední Ameriky, khmerských měst v Kambodži apod. Na jihu Mexika objevil LiDAR pozůstatky monumentálního komplexu Aguada Fénix z období asi 1000–800 let př. n. l., zatím nejrozsáhlejší mayské struktury, jaká byla kdy nalezena. K objevu došlo přitom paradoxně v obydlené, džunglí nepokryté oblasti, jenže jde o místo, které je příliš rozlehlé a ploché, takže jej až dosud nikdo neodhalil. ■

Josef Vališka

FOTO: Arkeofili, Damian Evans, Scan Pyramid, Volume Graphics, History Arch