

# VAV PROJEKT: TURBÍNY – VÝVOJ METODIKY KONTROLY LOPATEK S VYUŽITÍM INFORMACÍ Z EPRI, ETAPA M1 A M2

## R&D PROJECT: TURBINES – DEVELOPMENT OF BLADE CONTROL METHODOLOGY USING EPRI INFORMATION, M1 AND M2 STAGES

Vlastimil Habrčeti, Pavel Mareš, Pavel Zahrádka a Jan Patera

Centrum výzkumu Řež s.r.o.

### Abstrakt

Tento příspěvek se zabývá dvěma etapami projektu VaV: Turbíny – vývoj metodiky kontroly lopatek s využitím informací z EPRI. Cílem první etapy bylo nalezení vhodné metody pro detekci a určování rozměrů korozních důlků, které se na lopatkách parních turbín mohou vyskytovat. Tyto metody byly testovány v provozu a jejich srovnáním byl vybrán nejvhodnější přístup. Naměřená data byla následně používána jako vstup pro hodnocení kritičnosti důlků podle výpočetního modelu. Další etapa se zabývala testováním metod nedestruktivního zkoušení za účelem detekce a určení rozměrů trhlin, které mohou vzniknout z korozních důlků. Testování proběhlo jak na vzorcích lopatek s uměle vyrobenými vadami, tak i na lopatkách v provozu.

### Abstract

This paper deals with two stages of the R&D project: Turbines – development of blade control methodology using EPRI information. The aim of the first stage was to find a suitable method for detecting and determining the dimensions of the corrosion pits that may be present on the steam turbine blades. These methods were tested in service, compared and the most appropriate approach was chosen. The measured data was subsequently used as an input to evaluate the criticality of the pits according to the computational model. The next step was to test non-destructive testing methods for the purpose of detecting and determining crack dimensions that can initiate from corrosion pits. Testing was carried out both on blade samples with artificially produced defects and on blades in operation.

**Klíčová slova:** turbína, korozní důlky, 3D skenování

### Úvod

U 13% chromové oceli dochází k potížím v oblasti počátku kondenzace páry, kdy korozně-agresivní látky obsažené v páře kondenzují na povrchu lopatek za tvorby vysoce koncentrované vrstvy. Během odstávky její koncentrace dále roste vysoušením na vzduchu a okysličení zvyšuje její reaktivitu. Tato zkorodovaná oblast se stává potenciálním zdrojem korozních důlků, které po dosažení kritické velikosti mohou iniciovat únavové trhliny, šířící se přes celou tloušťku směrem k sací straně lopatky.

Pro využití posouzení růstu únavové trhliny iniciované z korozního důlku je nutné získat informace o korozních důlcích. V rámci projektu bylo provedeno porovnání diagnostických metod se zaměřením na proveditelnost diagnostik, schopnost přístupnosti, možnosti kvantifikovatelnosti korozních důlků, schopnost monitorování a archivaci dat. Následně byly vybrány optimální diagnostické metody a vyzkoušeny na lopatkách NT dílů s výskytem důlkové koroze tak, aby se metody prakticky ověřily a bylo vytvořeno porovnání metod dle jejich parametrů.

### Etapa M1 – monitoring korozních důlků

Etapa byla rozdělena na 4 podetapy:

1. srovnání možností dostupných metod pro detekci a monitorování korozních důlků,
2. výběr a odzkoušení vhodných metod,
3. metalografické ověření charakteristik korozních důlků,

4. vypracování metody pro monitoring korozních důlků včetně způsobu vyhodnocení a kritérií.

**Podetapa 1** popisuje praktické zkušenosti s šesti typy zařízení a replikací povrchu. Hodnocení zařízení je založeno na zkušenostech získaných před i v průběhu práce na této podetapě, kdy byla jednotlivá zařízení podrobena zkouškám, a byly odhaleny jejich zásadní přednosti a nedostatky.

Nejvhodnějšími přístroji pro aplikaci měření důlků na lopatkách v provozu se ukázaly být ramenové laserové skenery. Sběr dat je vhodné doplnit snímáním replik, které zaručí vyhodnocení obtížně dostupných ploch. EPRI bylo rovněž kontaktováno s dotazem na doporučení vhodné technologie. Dle vlastních slov nezná žádnou technologii navrženou pro měření důlků v provozu a doporučilo snímat repliky z povrchu lopatek a následně je vyhodnocovat pomocí mikroskopu.

**Podetapa 2** obsahuje popis použitých metod měření, výsledky jednotlivých měření na elektrárnách EPČ, ELE, ECH, EPO, porovnání naměřených výsledků testovaných technologií a finální výběr vhodných metod. Bylo uskutečněno měření ramenovým laserovým skenerem a laserovým skenerem s optickým trackerem, které byly vybrány na základě výsledků podetapy E1 etapy M1 jako nejvhodnější technologie pro měření důlků na lopatkách v provozu. Měření těmito přístroji byla doplněna replikami, které byly použity pro obtížně dostupné povrchy.

Na základě provedených měření a současných znalostí lze konstatovat, že lopatky rotorů při odstávce je nutné skenovat ramenovým laserovým skenerem; nezbytná technologická operace přípravy povrchu je tryskání povrchu a uložení rotoru ve stojanu umožňující jeho otáčení.

**Podetapa 3** zahrnuje analýzu geometrie a rozměrů vybraných korozních důlků světelnou mikroskopií, současně se zaměřuje zejména na analýzu rozměrů a chemického složení korozních produktů ve vybraných důlcích technikou skenovací elektronové mikroskopie. Mimo analýzu vybraných důlků popisuje také korozní produkty detekované mimo důlky a výskyt trhlin v mikrostruktuře. Výsledky slouží jako komparační metoda pro ověření přesnosti měření pomocí 3D skenování.

Na dvou lopatkách byly určeny oblasti vhodné pro analýzu, kde byly provedeny příčné řezy a připraveny metalografické výbrusy. Přibližné rozměry vybraných důlků měřené pomocí světelné mikroskopie byly řádově ve stovkách  $\mu\text{m}$  (průměr  $\sim 300$  až  $700 \mu\text{m}$ , hloubka  $\sim 100$  až  $300 \mu\text{m}$ ).

Analýza byla v roce 2017 rozšířena o 32 vzorků z lopatek elektráren Dětmárovice a Chvalčice. Výsledky metalografického hodnocení byly využity k hodnocení charakteru korozního napadení jednotlivých lopatek a současně k porovnání s výsledky 3D měření.

**Podetapa 4** shrnuje data z měření a předchozích podetap do dvou základních dokumentů pro případný proces kvalifikace metodiky. Výsledkem podetapy je inspekční postup a návrh metodiky samotné kvalifikace. Metodika byla testována na předposlední řadě NT lopatek 200 MW parní turbíny. Metodika obsahuje požadavky na nedestruktivní zkoušení, postup měření, vyhodnocení skenování a požadavky na kvalifikaci personálu. Důležitým poznatkem zahrnutým do metodiky je předpoklad přípravy rotoru:

Před každým skenováním se kritická oblast lopatek očistí od nečistot a prachu. Očištění probíhá ideálně proudem vzduchu, méně vhodné je čištění hadrem či obdobnými materiály, které mohou zanechávat zbytky látky. Kvůli možným nežádoucím nánosům je nutno povrch tryskat, aby došlo k očištění povrchu od korozních produktů. Případnou úpravu povrchu zajistí provozovatel dle svého uvážení tak, aby bylo zajištěno úplné odkrytí korozních důlků. Pro kompletní naskenování všech lopatek dané řady je nutné umístit rotor do stojanu umožňující jeho otáčení. V případě statického uložení rotoru není možné naskenovat 100 procent lopatek dané řady.

## Etapa M2 – NDT ke zjištění trhlin

Etapa M2 byla rozdělena na 2 podetapy. Podetapa E1 se zabývala zjištěním současného stavu provádění nedestruktivních kontrol NT lopatek parních turbín, posouzením těchto metod a návrhem na zlepšení zkoušení za účelem detekce a zjištění velikosti vad na celém listu lopatky. Cílem podetapy E2 bylo vytvoření inspekčního postupu, který je zaměřen na lopatky předposlední řady a poslední řady NT dílů parních turbín. Lze jej ale aplikovat i na lopatky podobného tvaru a rozměrů jiných typů turbín. Ze zjištěných skutečností vyplývá následující postup pro měření lopatek:

Nejprve provést „prvotní screening“ metodou vířivých proudů s využitím flexibilní sondy. Toto měření provést ve dvou krocích z každé strany. Nejprve provést měření části blízko odtokové hrany, kde se průřez lopatky příliš nemění a poté provést měření na zbývající části lopatky. Doporučuje se využít sondu o frekvenci 250 kHz a např. přístroj Ectane 2 od firmy Eddyfi, který byl využit i při testování. Jako další krok provést měření magneto-práškovou metodou za použití jha podle postupu, tak jak se tato metoda aplikuje v současné době při provozních kontrolách. Použití dalších metod se doporučuje pouze v případě indikace necelistvosti pro ověření předchozích metod a zpřesnění interpretace dané indikace, tzn. ověření detekce a délky indikace ultrazvukovými povrchovými vlnami a kapilární metodou. Pokud indikace komunikuje s povrchem pouze na jedné straně lopatky, tak se provede určení její hloubky technikou phased array.

Dalším cílem podetapy E2 bylo vytvoření obecného popisu principů kvalifikací a postupu konkrétní kvalifikace NDT metodiky ke zjištění trhlin lopatek v NT dílech parních turbín. Tento postup kvalifikace byl vypracován v souladu s dokumentem „Evropská metodologie pro kvalifikační dokumenty (třetí vydání)“.

V průběhu projektu se naskytl možnost otestování metody zkoušení metodou vířivých proudů na NT lopatkách přímo v provozu. Při tomto měření bylo detekováno několik reálných trhlin a ověřena použitelnost metody v praxi. Rovněž byla možnost otestování všech navržených metod na trhlínách, které byly vytvořeny kmitáním v demontovaných lopatkách. Výsledky z těchto měření potvrdily použitelnost metod i na realistických trhlínách.

## Závěr

Projekt umožnil vytvoření efektivní NDT metodiky hodnocení lopatek NT dílů rotorů parních turbín. Tento postup nyní umožňuje během odstávek poskytnout klíčová data pro hodnocení, pomocí analytických nástrojů a výpočtových modelů vytvořených v dalších etapách projektu, zbytkovou životnost rotorů a významně tak přispět k přesnější evaluaci zda turbínu dále provozovat, či přistoupit k její preventivní opravě.

Tento postup bude zanesen do plánu řízeného stárnutí turbín ČEZ a umožní tak snižovat náklady spojené s haváriemi v dlouhodobém horizontu, či přímo předcházet těmto haváriím.

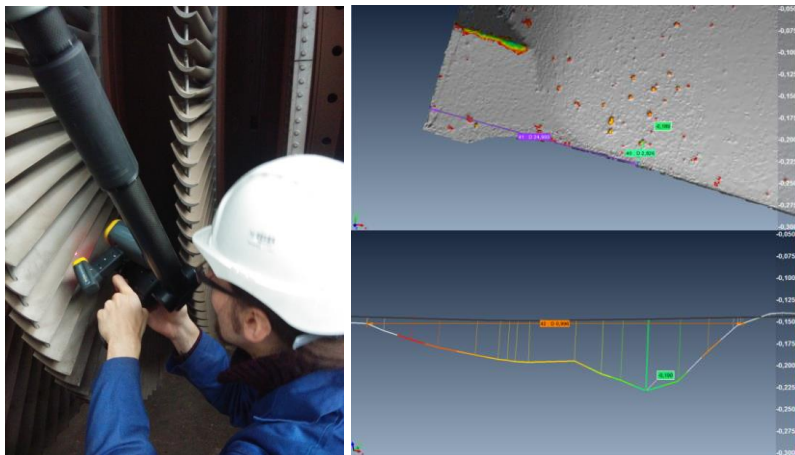
Během projektu bylo identifikováno několik dalších procesů materiálové degradace, či vzniku trhlin, které prozatím nebyli popsány a dostatečně identifikovány a u kterých hrozí, že přispějí ke zrychlené degradaci strojů. Tyto problémy budou proto podrobněji řešeny ve spolupráci CVŘ a VZÚ v rámci další spolupráce, například v rámci programu TACR: Národní centra kompetence 1, segment Energetika.

## Literatura

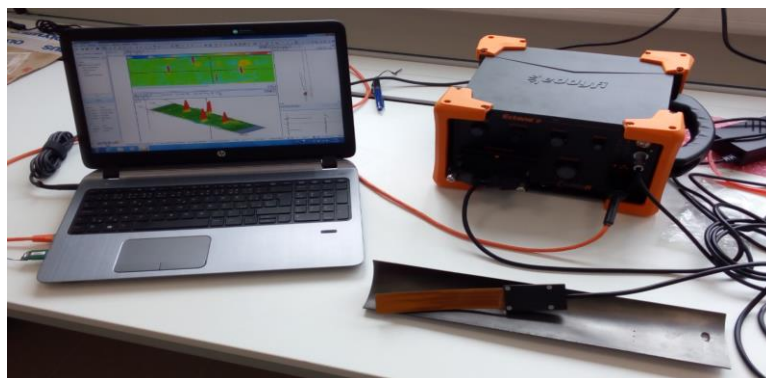
- [1] Patera, J., Zahrádka, P., Matějček, J., Habrcetl, V. (2017): *Inspekční postup měření důlkové koroze na oběžných lopatkách*. Rež: Centrum výzkumu Řež.
- [2] Patera, J., Zahrádka, P. (2016): *Corrosion Pitting on Low-Pressure Turbine Blades*. 12th International Conference on Non Destructive Evaluation in Relation to Structural Integrity for Nuclear and Pressurized Components.

## Poděkování

Prezentované výsledky byly finančně podpořeny Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy – projekt LQ1603 Výzkum pro SUSEN. Práce byla realizována na velké infrastruktuře Udržitelná energetika (SUSEN) vybudované v rámci projektu CZ.1.05/2.1.00/03.0108.



Obr. 1: Měření olopatkového rotoru s výsledky



Obr. 2: Aparatura pro měření lopatek ECT