

# VÝSLEDKY ŘEŠENÍ PROJEKTU LOPATKY TURBÍN – PŘÍČINY A PŘEDCHÁZENÍ PORUCHÁM

## RESULTS OF PROJECT THE TURBINE BLADES – CAUSES AND PREVENTION OF FAULTS

Pavel Mareš <sup>a)</sup>, Jan Patera <sup>a)</sup>, Josef Kasl <sup>b)</sup> a Pavel Kůs <sup>a)</sup>

<sup>a)</sup> Centrum výzkumu Řež s.r.o.

<sup>b)</sup> Výzkumný a zkušební ústav Plzeň s.r.o.

### Abstrakt

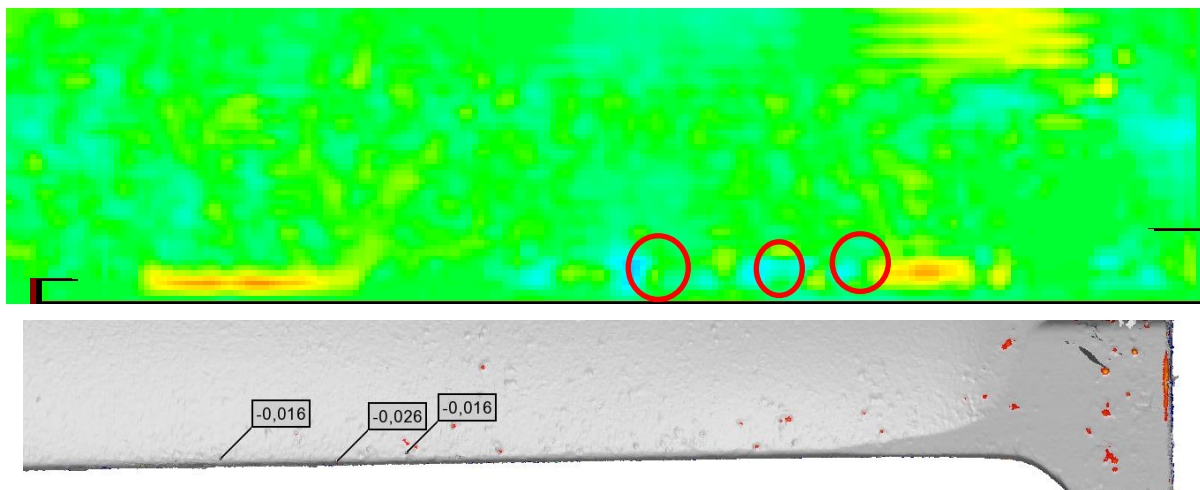
Tento článek se zabývá souhrnem výsledků řešených v rámci projektu národního centra pro energetiku, dílčího projektu DP6 „Vývoj diagnostických metod pro charakterizaci klíčových komponent energetických celků“, pracovního balíčku PB1.13 „Lopatky turbín – příčiny a předcházení poruchám“. Tento projekt byl rozdělen na tři oblasti: diagnostika, materiálový rozbor a výpočtové analýzy a sledování chemického režimu, jejichž hlavním cílem byl vývoj a praktické ověření metod hodnocení poškození komponent parní turbíny a optimalizace nastavení chemických režimů na klasických elektrárnách v přechodových stavech a při stabilním provozu.

### Abstract

This article deals with a summary of the results of the project of the National Center for Energy, sub-project DP6 “Development of diagnostic methods for characterization of key components of energy units”, work package PB1.13 “Turbine blades – causes and prevention of failures”. This project was divided into three areas: diagnostics, material analysis and computational analysis and chemical regime monitoring, the main goal of which was the development and practical verification of methods for assessing damage to steam turbine components and optimizing chemical regime settings at conventional power plants in transient states and in stable operation.

### Cíle projektu a jejich plnění

#### Detekce korozních důlků



Obr. 1: Srovnání výsledků metodou vířivých proudů a 3D skenování

Tato část se zabývá ověřením metod detekce korozních důlků na lopatkách NT rotorů pomocí vysokofrekvenčních sond metodou ET. Cílem je vyvinutí metodiky nalezení korozních důlků, které jsou obtížně detekovatelné pomocí 3D scanu (důlky neúplně odkryté po tryskání,

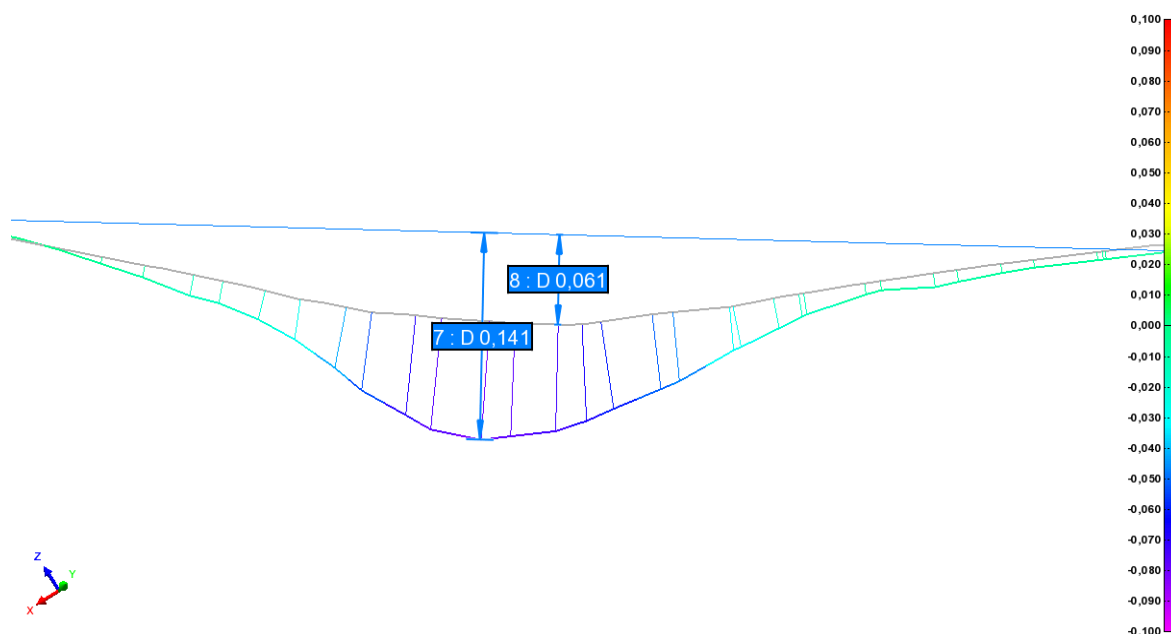
různě zanesené atd.). Případně nalezení a ověření další nedestruktivní defektoskopické techniky, která by umožňovala spolehlivé stanovení šířky nekovové vrstvy v korozním důlku. Metoda by měla být dostatečně citlivá i pro detekci dalších nečistostí, které komunikují s povrchem lopatky. Ověření je provedeno pomocí metalografie. Na obr. 1 jsou uvedeny výsledky testování flexibilní sondy vířivých proudů a jejich porovnání s 3D skenerem.

### Zpřesnění stanovení parametrů korozních důlků

Tato etapa byla zaměřena zejména na vypracování postupu pro přesnější stanovení parametrů reálných rozměrů korozních důlků. Zabývala se zejména metalografickým proměřením korozních důlků u provozovaných lopatek z různých elektráren, Snažou bylo získat dostatečně reprezentativní soubor o výplních korozních důlků oxidy, který byl statisticky zpracován s cílem nalezení co nejlepšího regresního vztahu pro korekci naměřených rozměrů důlků.

### Zlepšení procesu čištění lopatek

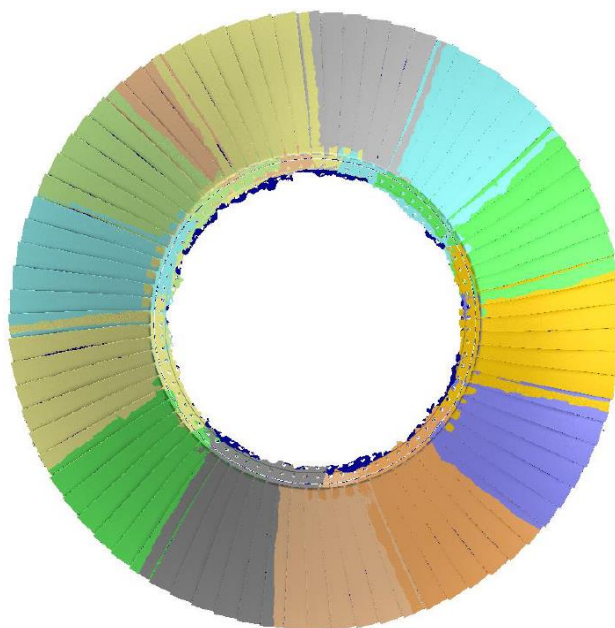
Cílem bylo nalezení reálně použitelného postupu čištění lopatek, po jehož aplikaci by v korozních důlcích zůstávaly co nejmenší zbytky oxidů a rozměry důlků zjištěné laserovým skenováním by se blížily skutečným rozměrům. V rámci této etapy bylo provedeno testování čištění suchým ledem. Toto čištění bylo otestováno na 3 kusech – vyřezaných lopatek. Dvě z těchto lopatek byly před aplikací suchého ledu již opískovány a jedna byla bez očištění. Výsledky ukázaly, že po očištění suchým ledem byla, jak zvětšena hloubka již detekovaných korozních důlků, tak i odkryty nové důlky. Na obr. 2 je ukázán rozdíl v hloubce korozního důlku před a po očištění suchým ledem.



Obr. 2: Srovnání před a po čištění suchým ledem

### Ověření v provozních podmínkách

V rámci tohoto projektu bylo provedeno ověření aktualizované verze metodiky v provozních podmínkách. Toto měření bylo realizováno na 110 MW rotoru z elektrárny Ledvice, kdy byly kompletně změřeny obě řady L-0 (viz obr. 3) a část jedné řady L-1. Výsledky z tohoto měření byly zhodnoceny z hlediska potenciálního nebezpečí iniciace korozně-únavových trhlin v lopatkách. Měření a výpočty ukázaly, že detekované hloubky korozních důlků jsou vesměs hluboko pod kritickým rozměrem [1].

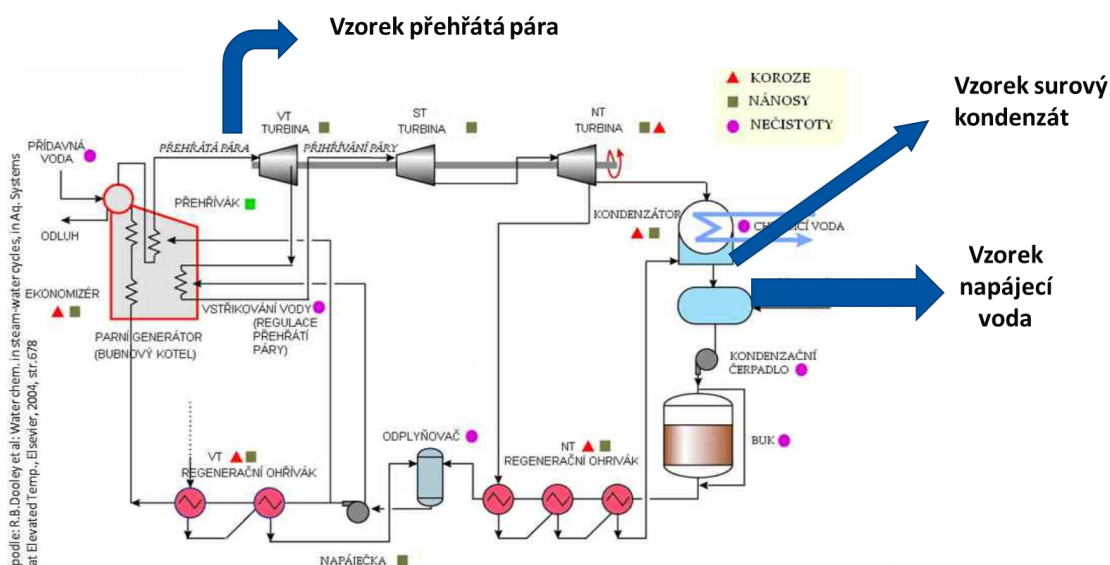


Obr. 3: 3D měření řady L-0 rotoru 110 MW ELE

### Zpřesnění a doplnění výpočtových parametrů

K aplikaci metodiky je nezbytné znát dva parametry, a to mez únavy hladkých vzorků a prahovou hodnotu součinitele intenzity napětí pro prostředí vzduch, 90 °C, a to pro libovolnou hodnotu parametru asymetrie cyklu R. V rámci této aktivity byly stanoveny tyto parametry pro ocel X22CrMoV121 (1.4923). Klíčovým problémem celé metody je výpočet napětí metodou MKP (zejména jeho dynamické složky), která působí během provozu na lopatce. Chybí totiž dostatečné znalosti o skutečném buzení lopatek a jejich reálném chování nejen během ustáleného provozu na nominálním výkonu, ale zejména během přechodových stavů (vypínání, nabíhání) a provozu na nižším výkonu a dalších provozních typech, které jsou pro iniciaci a šíření trhlin rozhodující. Z tohoto důvodu bylo provedeno zpřesňování výpočetní metody napětí a provádění výpočtů v těch režimech, které jsou významné pro šíření trhliny. Rovněž byl zpracován výpočetní postup pro nový model lopatky L-1, 110 MW z oceli X22CrMoV121 (1.4923).

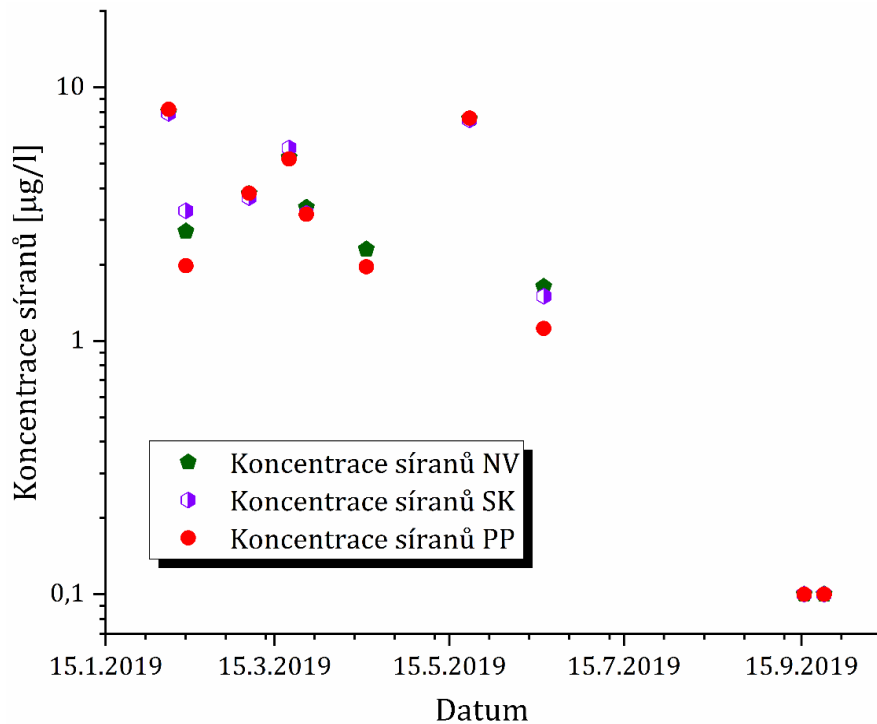
### Sledování a vedení chemického režimu



Obr. 4: Odběrová místa

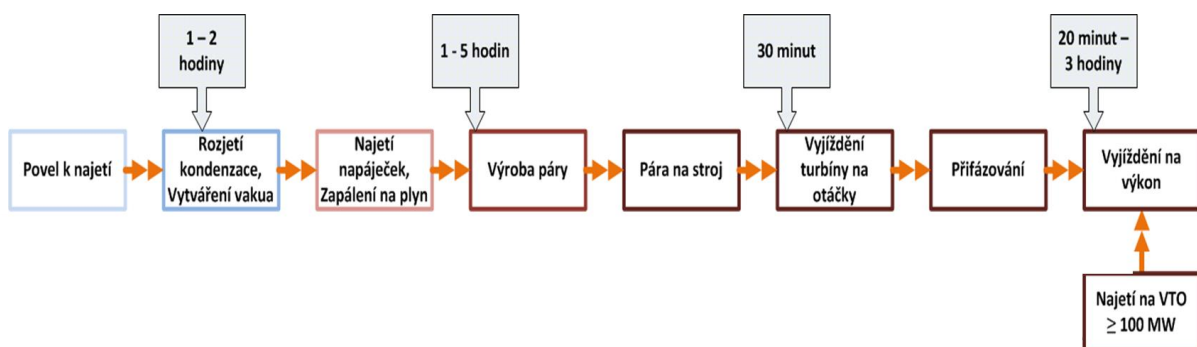
V rámci projektu byly měřeny analyty, které způsobují korozi materiálů, jedná se zejména o měření chloridů, síranů a hodnotu celkového organického uhlíku (v našem případě NPOC). Měření bylo prováděno při dvou stavech režimu bloků, při výkonovém stavu, kdy blok byl na 100 % výkonu a v nevýkonovém stavu (přechodovém), kdy blok najížděl nebo sjížděl ze 100 % do studeného stavu – 0 % výkonu. Měření bylo prováděno ze tří odběrových míst – napájecí voda, přehřátá pára a surový kondenzát.

Při výkonovém stavu ve většině případech nedošlo k překročení stanovených limitů (< 10 $\mu$ g/l) pro analyt síranů. Ukázka výsledků je na obr. 5.



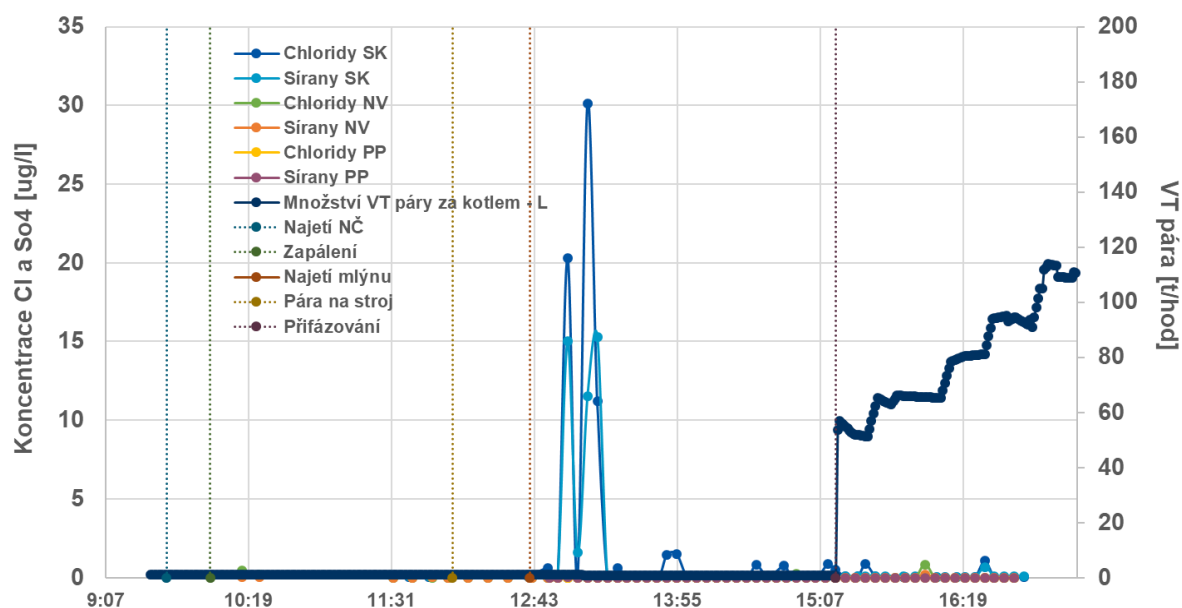
Obr. 5: Koncentrace síranů

V rámci měření při najíždění (nevýkonový stav) bylo měření zaměřeno na vzorkování, aby pokrylo celý časový úsek během najíždění. Struktura najíždění je zobrazena na obr. 6.



Obr. 6: Struktura najíždění

Obr. 7 ukazuje výsledky z najíždění.



Obr. 7: Koncentrace chloridů a síranů během najíždění

Z měření vyplývá k překročení 10 µg/l chloridů a síranů v surovém kondenzátu. Ostatní proudy (napájecí voda a přehřátá pára) byly pod mezí stanovitelnosti (< 1 µg/l). Příčina překročení daných parametrů bude dále studována.

## Závěr

Nově získané výstupy a poznatky budou zakomponovány do stávající verze metodiky hodnocení kritické velikosti korozních důlků. Pozornost bude rovněž zaměřena na zpřesnění geometrického faktoru Y používaného ve výpočtech, jehož co nejpřesnější hodnota je podstatná pro správnost výpočtu kritické velikosti důlku. Metodika bude součástí PŘS Parní turbíny. Metodika je již nyní používána na elektrárnách pro sledování korozního napadení lopatek při odstávkách turbosoustrojí.

## Poděkování

Presentované 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 a CZ.02.1.01/0.0/0.0/15\_008/0000293.

## Literatura

- [1] Kasl, J., Lazar, J. (2019): *Hodnocení vlivu korozních důlků na rozvoj únavového porušování oběžných lopatek NT dílů parních turbín*. Výzkumná zpráva, VYZ-VZ-58/19/081, Výzkumný a zkušební ústav Plzeň s.r.o., Plzeň.
- [2] Patera, J., Zahrádka, P. (2019): *Měření rotoru č. v. 2633 – Elektrárna Ledvice*. Odborná zpráva, PL č. 3292, Centrum výzkumu Řež s.r.o., Plzeň.
- [3] Kůs, P., Halodová, P. (2019): *Vyhodnocení odběrů vzorků z TG6 ELE*. Odborná zpráva, PL č. 3216, Centrum výzkumu Řež s.r.o., Plzeň.

