

PROBLEMATIKA MĚŘENÍ TEČENÍ PAROVODŮ

CREEP MEASUREMENT OF STEAM PIPING

Jan Patera, Pavel Zahrádka, Jan Matějček a Pavel Mareš
Centrum výzkumu Řež s.r.o.

Abstrakt

Vysokotlaké parovody za provozu podléhají degradaci vlivem tečení. Jedná se o trvalou deformaci způsobenou dlouhodobým zatěžováním vysokou teplotou a tlakem, která se v čase zvětšuje až do následného vzniku trhliny a havárie. Za účelem zlepšení současné metodiky pro kontrolu vytipovaných namáhaných úseků vysokotlakých parovodů byly testovány pokročilé měřicí metody – 3D skenování a fotogrammetrie. Hlavními cíli je přechod z lokálního hodnocení tečení na plošné, stanovení velikosti deformace v po sobě jdoucích časových intervalech a identifikace lokálních deformací povrchu.

Abstract

High-pressure steam pipelines are subject to creep degradation during operation. It is a permanent deformation caused by long-term load of high temperature and pressure, which increases in time until a subsequent crack and accident occurs. In order to improve the current methodology for the control of selected stressed sections of high-pressure steam pipelines, advanced measuring methods – 3D scanning and photogrammetry – were tested. The main objectives are transition from local evaluation to surface evaluation, determination of deformation in successive time intervals and identification of local surface deformations.

Úvod

V současné době se průběh tečení se při odstávkách monitoruje pomocí mikrometru v několika místech parovodu. Měření mikrometry je ovšem omezeno pouze na několik měřicích míst, zúžené na 2 až 4 osy v jednom měřicím místě, prováděno za studena, kdy především u ohybů může docházet k deformaci vlivem teplotní dilatace. Toto měření tak nemusí identifikovat místní natečení v místě, které je nejvíce lokálně namáhané. Povolena deformace je 1 %.

Za účelem zlepšení současné metodiky pro kontrolu vysokotlakých parovodů byly testovány nové měřicí metody – 3D skenování a fotogrammetrie. Tyto metody jsou schopny zachytit kompletní povrch parovodu mimo návarky, při přesnosti řádově odpovídající stávající praxi. Výhodou těchto přístupů je možnost uchovat naskenovaná data pro průběžné meziroční sledování a porovnání s následujícími měřeními. Nové metody rovněž umožňují rozšířit stávající metodiku měření a vyhodnocování o další informace, např. absolutní pozici všech návarek vůči definovanému souřadnému systému, informaci o celkové deformaci potrubí ve všech osách (především u ohybů), sledování okolních ploch kvůli výskytu místních natečení.

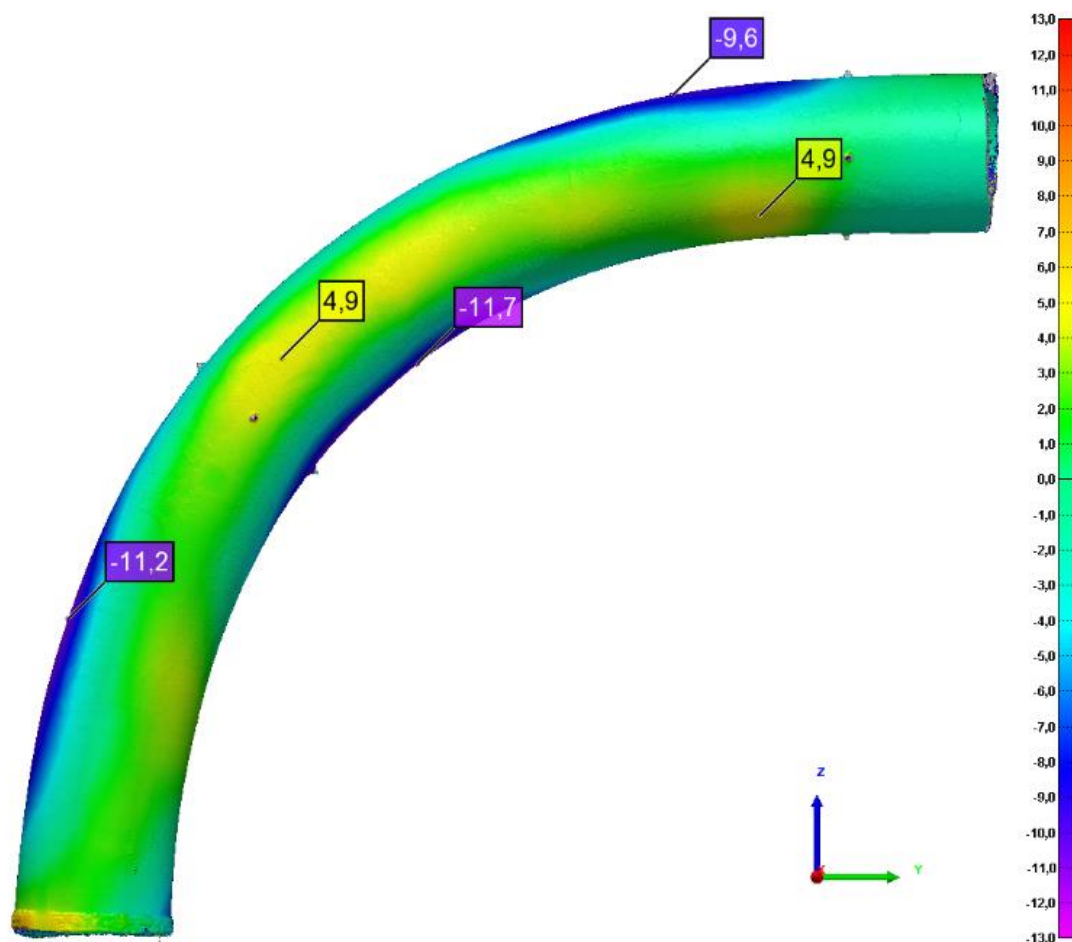
Testování nových metod se provádí za účelem zlepšení současné metodiky pro kontroly nejvíce namáhaných úseků vysokotlakých parovodů. Dílčím cílem je přechod z lokálního hodnocení tečení na plošné, stanovení velikosti deformace v po sobě jdoucích časových intervalech a identifikace lokálních deformací povrchu. Hlavním cílem zavedení diagnostického postupu, který umožní zpřesnění měření tečení, vnesení nové kvality vyhodnocení (rozměry, odchylky geometrie plochy a celkové i bodové deformace), zlepšení kvality opakovaných měření a identifikaci nejvíce namáhaných lokalit. Dosud není v provozní praxi známa metoda na identifikaci tohoto místa. Tímto způsobem bude možno vypracovat predikční model vyhodnocování tečení po celém obvodu.

3D skenování

Při všech měřeních bylo použito měřicí rameno s laserovým skenerem. Laserové skenery využívají pro určení své polohy v prostoru víceosá ramena se snímači natočenými v každé ose pohybu. Laserový snímač rozmítá na snímáný povrch laserovou čáru, která je snímána kamerou a reliéf povrchu je zjišťován trigonometricky. Hlavními výhodami tohoto zařízení je absolutní polohování vztahované k měřicí základně ramene a dobrý poměr rychlosti snímání k přesnosti a hustotě bodů.

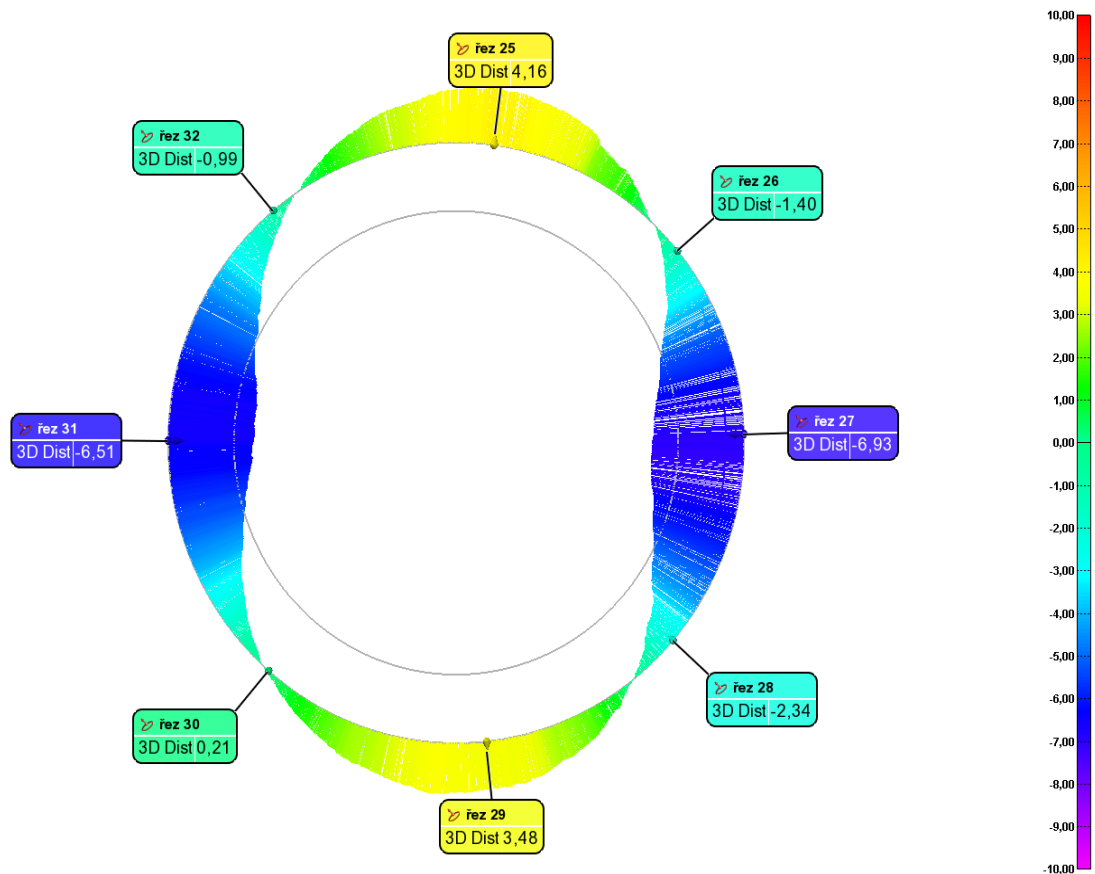
3D skenování bylo realizováno na celkem 9 ohybech parovodů elektráren Dětmárovice, Poříčí, Tušimice, Počeradý a teplárny Trmice [1-5, 7, 8, 10]. Z naskenovaných dat byl nejprve vytvářen reverzní model, jehož vnější průměr byl určen na základě srovnání naskenovaného průměru s tabulkovými hodnotami. Tento reverzní model je čistě idealizovaný stav bez deformací z výroby a provozu. Všechny naměřené odchylky jsou vztahovány k tomuto idealizovanému modelu. V případě, že jsou k dispozici data z předešlého měření, je možné je použít jako referenci a měřit odchylky i vůči nim [10].

Pomocí 3D skenování se ve všech případech analyzovala celková geometrie ohybu kolene ke zjištění lokálních deformací. Celková geometrie se zobrazuje pomocí barevné mapy (obr. 1).

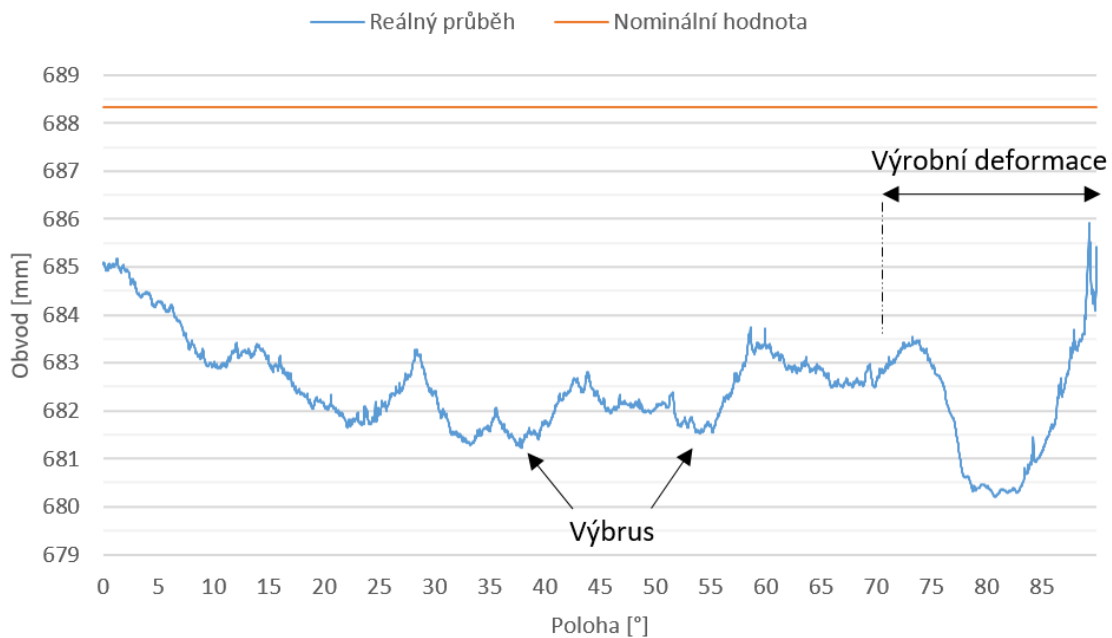


Obr. 1: Celková geometrie ohybu kolene, TTR B5, ohyb č. 6

Celkové odchylky na obr. 1 se skládají z odchylky vedení ohybu kolene a z odchylky v řezu. Kvůli oddělení těchto dvou složek je výhodné hodnotit geometrii v jednotlivých řezech, kde lze zkoumat pouze odchylky od ideální kružnice (obr. 2). Bylo zjištěno, že odchylky v řezech prokazují silnou korelaci s nálezy replik [6].



Obr. 2: Odchytky v řezu od ideální kružnice – pozice 45°, TTR B5, ohyb č. 6



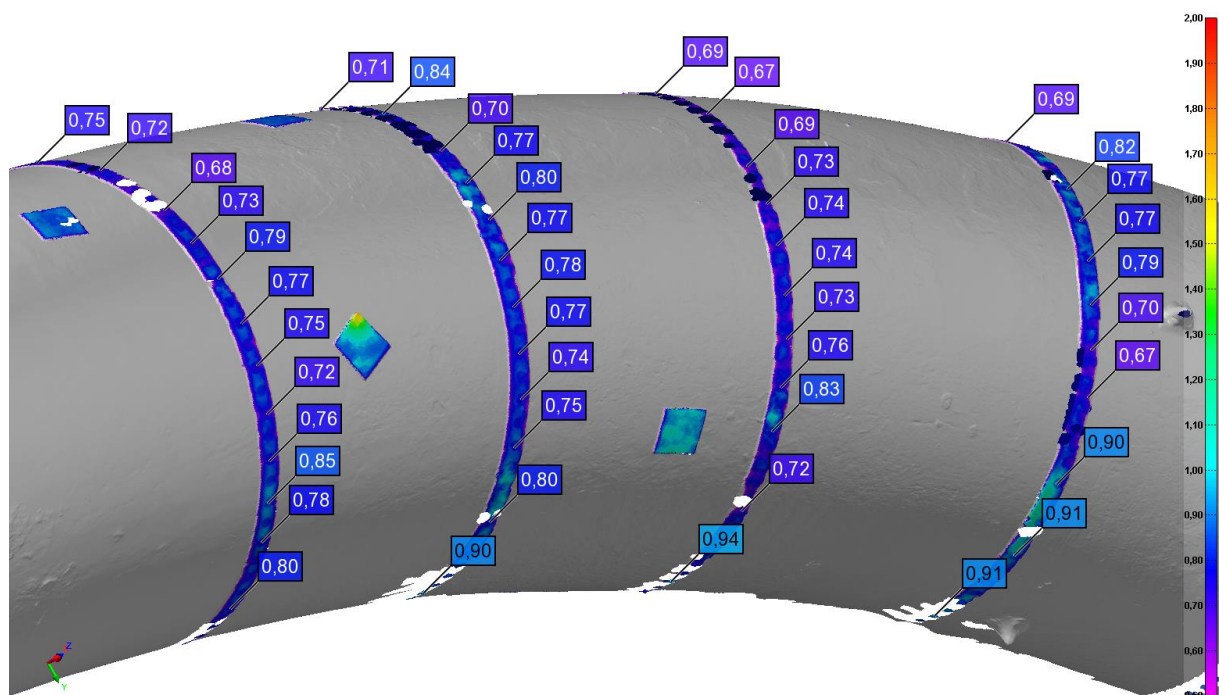
Obr. 3: Variace obvodu podél ohybu parovodu, TTR B5, ohyb č. 6

Mezi další vlastnosti, které byly hodnoceny v řezu, patří obvod [1, 2, 4, 5, 7-9] a ovalita [9]. Pomocí obvodu se integrálně stanovoval celkový povrch ohybu potrubí [11]. Z průběhu obvodu potrubí bylo možné spolehlivě identifikovat výrobní deformace, které mají sinusoidní průběh. Další odchytky obvodu podél ohybu parovodu mohou označovat deformace vzniklé tečením

materiálu. Nejlépe je natečení pozorovatelné na začátku ohybu parovodu, v místě vniku páry o teplotě 500 °C (obr. 3).

Fotogrammetrie

Fotogrammetrie je měřicí metoda, která se zabývá rekonstrukcí tvaru, velikosti a polohy předmětů z jejich fotografických snímků. Používaným fotoaparátem pro provedení fotogrammetrická měření byla digitální zrcadlovka určená pro prostředí průmyslové výroby. Pro účely polohování byly vyrobeny magnetické pásky s referenčními značkami. Při jejich aplikování na povrch parovodu byly zjištěny odchylky od 3D skenování v rozmezí 0,65–0,95 mm, způsobené tloušťkou pásků (viz obr. 4). Maximální odchylky se nacházejí v místech se slabou přilnavostí poblíž okrajů pásku. Přesnost měření (2σ) za použití referenčních magnetických pásků činí 0,2 mm [3].

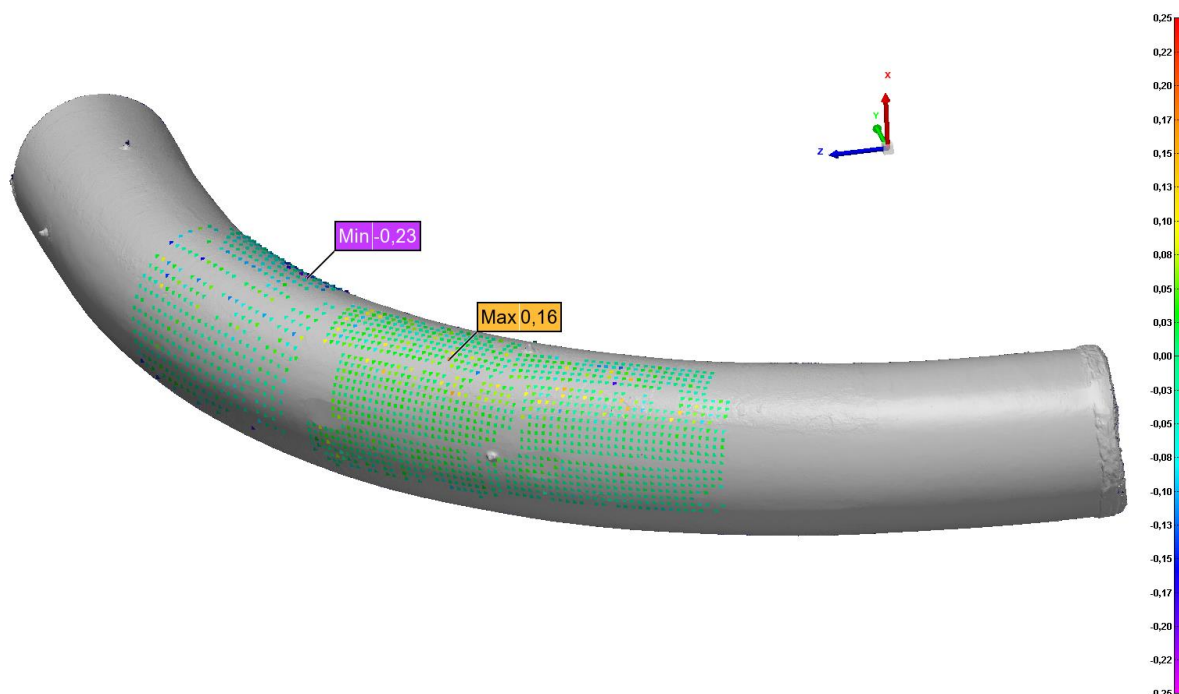


Obr. 4: Odchylky referenčních značek za použití magnetických pásků, TTR B5, ohyb č. 6

Pro snížení odchylek způsobených fyzickou tloušťkou magnetických pásků byly naneseny referenční značky pomocí spreje přímo na povrch ohybu parovodu. Testována byla dvojitá velikost značek – průměr 5 mm a 10 mm (viz obr. 5 a obr. 6).



Obr. 5: Fotogrammetrické měření TTR B5, ohyb č. 6



Obr. 6: Odchytky nanesených referenčních značek od 3D skenu, TTR B5, ohyb č. 6

Z výsledků fotogrammetrického měření lze konstatovat, že referenční značky na rovných plochách měly odchytky do $\pm 0,05$ mm. Největší odchytky $\pm 0,25$ mm se objevují zejména v oblastech složitější topografie povrchu, kde dochází k optickému zkreslení tvaru referenční značky. Pro referenční značky o průměru 5 mm se projevují negativní vlivy zakřivení trubky a povrchových nerovností méně než pro značky o průměru 10 mm. Celková chyba (2σ) za použití nanesených referenčních značek o průměru 5 mm činila 0,09 mm [3].

Závěr

Po srovnání fotogrammetrie s 3D skenováním lze konstatovat, že u obou použitých metod lze dosáhnout řádově podobné přesnosti odpovídající desítkám μm . Zásadním rozdílem mezi oběma metodami je hustota sítě bodů neboli rozlišení.

3D skenování umožňuje vytvářet sítě o vzdálenosti měřicích bodů řádově v desítkách μm , což umožňuje detailní hodnocení v řezu – měření odchylek od ideální kružnice, ovality, obvodu a obsahu. Integrací obvodu lze měřit povrch ohybu parovodu. Kvůli malé vzdálenosti od měřeného povrchu ale 3D skenování neumožňuje měření horkého parovodu přímo za provozu; měřit lze pouze při odstávce.

Fotogrammetrie má oproti 3D skenování velmi velkou vzdálenost měřicích bodů řádově v jednotkách mm a hodnocení v řezu je proto nepřesné. Možnou výhodou fotogrammetrie je možnost měřit parovody za provozu; měření za vysokých teplot je omezeno pouze tepelnou odolností použitých referenčních značek. Měření parovodu za provozu bude testováno v budoucnu.

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.

Literatura

- [1] Patera, J., Zahrádka, P., Matějčíček, J. (červen 2018): *Analýza technického stavu VT převáděcího parovodu TG3 LS horní z elektrárny Dětmárovice*. Technická zpráva, PL2019, Centrum výzkumu Řež s.r.o., Plzeň.
- [2] Patera, J., Matějčíček, J., Zahrádka, P. (červenec 2018): *Analýza technického stavu parovodu elektrárny Poříčí*. Technická zpráva, PL2047, Centrum výzkumu Řež s.r.o., Plzeň.
- [3] Patera, J., Zahrádka, P., Matějčíček, J. (srpen 2018): *Testování nových technologií pro měření tečení na vyříznutém parovodu z K5 – ohyb č. 6 elektrárny Trmice*. Technická zpráva, PL2054, Centrum výzkumu Řež s.r.o., Plzeň.
- [4] Matějčíček, J., Zahrádka, P., Patera, J. (srpen 2018): *Analýza technického stavu parovodu elektrárny Tušimice*. Technická zpráva, PL2062, Centrum výzkumu Řež s.r.o., Plzeň.
- [5] Patera, J., Matějčíček, J., Zahrádka, P. (září 2018): *Analýza technického stavu výstupního parovodu z K6 – 4. ohybu od kotle elektrárny Trmice*. Technická zpráva, PL2040, Centrum výzkumu Řež s.r.o., Plzeň.
- [6] Štastná, K. (prosinec 2018): *Statistické porovnání dat z 3D scanu a diagnostik*. Výzkumná zpráva, 6718, Ústav aplikované mechaniky Brno, s.r.o., Brno.
- [7] Patera, J., Zahrádka, P., Matějčíček, J. (leden 2019): *Analýza technického stavu parovodu PK 11-2a/PL 12-2a z elektrárny Počerady*. Technická zpráva, PL2288, Centrum výzkumu Řež s.r.o., Plzeň.
- [8] Zahrádka, P., Patera, J. (leden 2019): *Analýza technického stavu VT parovodu Počerady (náhyb 30°)*. Technická zpráva, PL2293, Centrum výzkumu Řež s.r.o., Plzeň.
- [9] Patera, J., Zahrádka, P. (duben 2019): *Měření ovality na ohybu č. 6 parovodu TTR B5*. Technická zpráva, PL3059, Centrum výzkumu Řež s.r.o., Plzeň.
- [10] Zahrádka, P., Patera, J. (červenec 2019): *3D sken ohybu č. 6 TTR B5 při zatížení*. Technická zpráva, PL3146, Centrum výzkumu Řež s.r.o., Plzeň.
- [11] Patera, J. (červenec 2019): *Analýza plochy ohybu parovodů z 3D měření 2018-2019*. Technická zpráva, PL3165, Centrum výzkumu Řež s.r.o., Plzeň.