

# KOMPLEXNÍ POSOUZENÍ ZBYTKOVÉ ŽIVOTNOSTI TURBÍNOVÉHO TĚLESA NA ZÁKLADĚ AKTUÁLNÍCH MATERIÁLOVÝCH DAT ZÍSKANÝCH METODOU MALÝCH VZORKŮ

## COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF THE RESIDUAL LIFE OF THE TURBINE BODY BASED ON CURRENT MATERIAL DATA OBTAINED USING SUB-SIZED SPECIMENS

Eva Chvostová, Jaroslav Koc, Pavel Konopík a Jindřich Vokáč

COMTES FHT a.s., Dobřany

### Abstrakt

V průběhu provozování dochází vlivem dlouhodobého působení provozních podmínek (namáhání, teplota, tlak, prostředí) k degradaci vlastností materiálů stěžejních komponent energetických zařízení, což může vést ke snížení až ztrátě spolehlivosti a bezpečnosti při jejich dalším provozu. Znalost aktuálních materiálových vlastností je pro predikci zbytkové životnosti daného zařízení klíčová. Semidestruktivní odběr polotovaru na výrobu miniaturizovaných zkušebních těles a jejich zkoušení širokým portfoliem zkušebních metod je cestou, jak tyto aktuální vlastnosti zjistit a změřit. V článku je popsána použitelnost těchto zkušebních metod pro konkrétní případ turbínového tělesa.

### Abstract

During operation, due to the long-term effect of operating conditions (stress, temperature, pressure, environment), the properties of the materials of the core components of energy equipment degrade, which can lead to a reduction or loss of reliability and safety during their continued operation. Knowledge of the current material properties is crucial for predicting the residual life of a given device. A semi-destructive sampling of the semi-finished product for producing miniaturized test specimens and their testing with a broad portfolio of test methods is the way to find out and measure these current properties. The article describes the applicability of these test methods for the specific case of a turbine body.

### Úvod

Degradace mechanických vlastností kovových materiálů může vést ke ztrátě spolehlivosti a bezpečnosti strojů a kovových konstrukcí v elektrárnách při jejich provozu. Pro stanovení aktuálních materiálových vlastností je možné použít nedestruktivní techniky odběru vzorku a s pomocí miniaturizovaných standardních zkušebních těles (např. mikro-tahová zkouška, únava miniaturních těles, zkoušky mini-Charpy pro určení přechodové teploty FATT) predikovat zbytkovou životnost komponent. Tento příspěvek představuje potenciál aplikace těchto miniaturizovaných vzorků pro určení aktuálních mechanických vlastností materiálů na konkrétním případě turbínového tělesa.

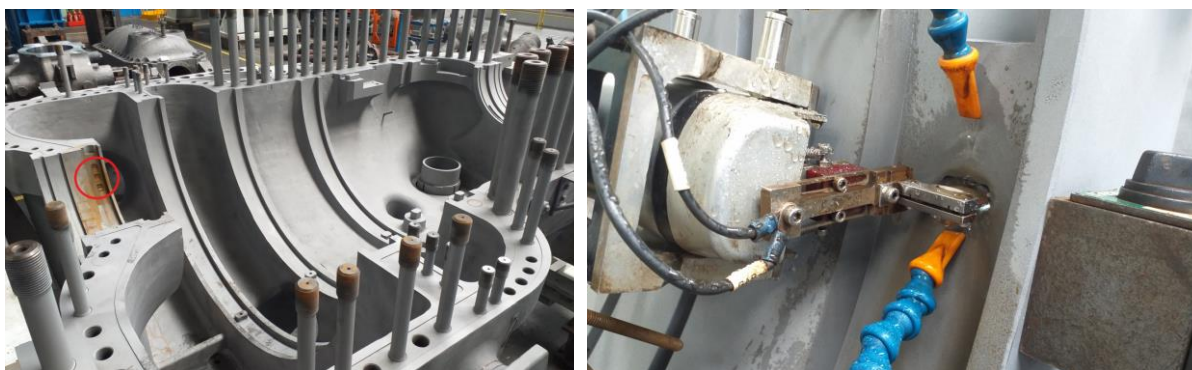
### Experimentální materiál

Pro stanovení aktuálních mechanických vlastností tělesa jako podkladů pro vyhodnocení provozuschopnosti spodku vnějšího ST tělesa vyrobeného z materiálu G17CrMoV5-10 bylo semidestruktivně odebráno malé množství zkušebního materiálu jak ze studené, tak z teplé části. Těleso při odstávce mělo aktuálně najeto cca 80 tisíc provozních hodin.

Jeho fotografie je na obr. 1, na obr. 2 je znázorněno místo a průběh odběru. Pro stanovení aktuálního stavu mechanických vlastností degradovaného materiálu byly provedeny zkoušky tahem, vyhodnocena přechodová teploty FATT50 (označení dle příslušné normy je Tt50 %SFA) a vyhodnocená mikrostruktura. [1]



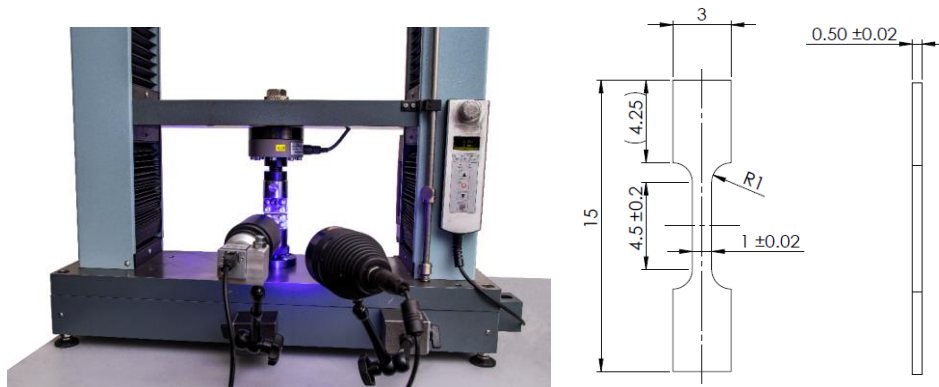
Obr. 1: Fotografie spodní části vnějšího ST tělesa



Obr. 2: Místo odběru a průběh odběru pomocí odběrového zařízení EDSE

### Provedení zkoušek tahem pomocí mikro tahových vzorků

Z odebraných vzorků byla vyrobena zkušební tělesa typu M-TT, jejich geometrie je uvedena na obr. 3 vpravo a tělesa byla testována na zkušebním stroji TiraTest se silovou kapacitou 10 kN. Deformace byla měřena pomocí jednokamerového optického snímače deformace MERCURY RT založeného na bázi digitální obrazové korelace (DIC). Zkušební sestava je vyobrazena na obr. 3 vlevo.



Obr. 3: Zkušební sestava pro zkoušku tahem (vlevo) a geometrie vzorku (vpravo)

Výsledky zkoušek tahem jsou uvedeny v tab. 1, kde jsou zároveň porovnány se vstupními údaji a předpisem pro daný materiál.

Tab. 1: Porovnání výchozích a aktuálních hodnot

Teplá část	R <sub>p0.2</sub>	R <sub>m</sub>	A	Studená část	R <sub>p0.2</sub>	R <sub>m</sub>	A
	MPa	MPa	%		MPa	MPa	%
Výchozí hodnoty	495	636	23	Výchozí hodnoty	495	636	23
Aktuální hodnoty	459	597	18	Aktuální hodnoty	461	592	20
Rozdíl hodnot	-36	-39	-4	Rozdíl hodnot	-34	-44	-2
Pokles [%]	7	6	19	Pokles [%]	7	7	11
Předpis	min. 440	590-780	min. 15	Předpis	min. 440	590-780	min. 15

### Zkoušky rázem v ohybu, Tt50 %SFA

Zkoušky rázem v ohybu metodou Charpy byly provedeny dle ČSN ISO 148-1 a dle ČSN EN ISO 14556 (Instrumentovaná zkušební metoda) na zkušebních tělesech nimi Charpy. Tělesa byla přeražena na kladivu Charpy o kapacitě 15 J. Z výsledků zkoušek byla stanovena přechodová teplota pro tělesa Mini Charpy se známým korelačním přepočtem +cca 65 °C. [2,3] a odhad nárazové práce KV. Výsledky jsou uvedeny v tab. 2.

Tab. 2: Výsledky přechodové teploty Tt50 %SFA (FATT) určené ze zkoušky rázem v ohybu mini-Charpy vzorků s průřezem 3 x 4 x 27 mm vs. porovnání odhadnutých hodnot platných pro tělesa 10 x 10 x 55 mm a přepočet nárazové práce (KV) z mini-Charpy těles na standardní zkušební tělesa

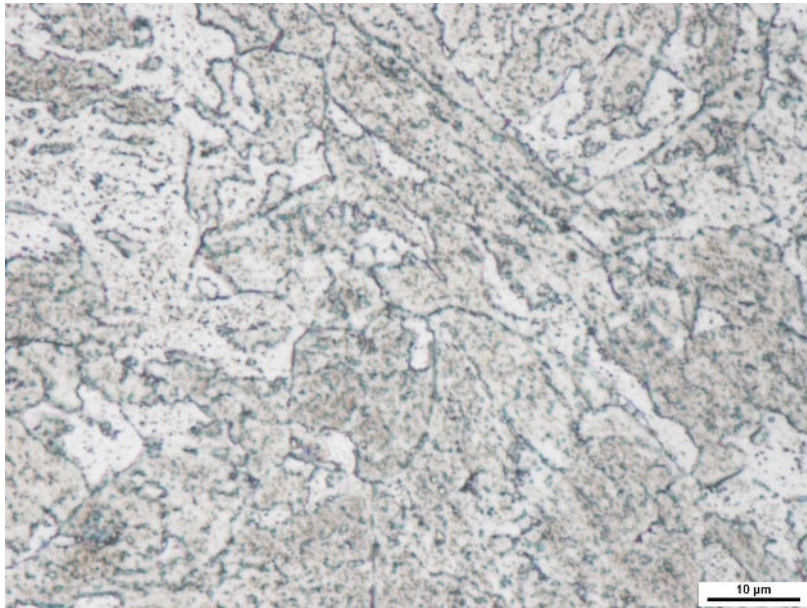
Odběrné místo	Tt50%SFA	Tt50%SFA odhad	Studená část	KV	KV odhad
	°C	°C		J	J
	3x4x27	10x10x55		3x4x27	10x10x55
Teplá část	16	81	Teplá část	3,9	24±12
Studená část	-37	28	Studená část	7,0	70±19

Pro porovnání výsledků nebyla dodána min. předepsaná hodnota přechodové teploty Tt50 %SFA. Minimální předepsaná hodnota nárazové práce KV při pokojové teplotě je 27 J. Hodnoty přepočtu KV z mini-Charpy vzorků na standardní zkušební tělesa jsou v případě studené části vyhovující. V případě teplé části se hodnota přepočtu může s největší pravděpodobností pohybovat pod spodní hranicí přípustnosti. Poměrně výrazný pokles vrubové houževnatosti po několika desítkách tisíc provozních hodin je však u odlitků turbínových těles jevem obvyklým a na další provozní životnost tělesa by podle našich zkušeností neměl mít prozatím významnější vliv. Nicméně je třeba sledovat trend případného dalšího poklesu KV.

### Mikrostruktura

Mikrostruktura vnějšího ST tělesa v obou kontrolovaných místech odpovídá použitému materiálu a způsobu aplikovaného tepelného zpracování. Ve struktuře nebyla zjištěna přítomnost zvýšeného množství nekovových vměstků ani výskyt žádných nepříznivých fází a defektů. Z pohledu degradace materiálu vlivem dlouhodobého působení vysokých provozních teplot lze stav mikrostruktury tělesa v obou kontrolních místech hodnotit jako plně vyhovující bez výskytu projevů kavitačního poškození. Co se týče přeměn mikrostruktury a jejího difúzního rozpadu, tak ve vnějším ST tělese došlo vlivem difúzních procesů k přerozdělení karbidické fáze a k jejímu mírnému zhrubnutí. Hrubší karbidy jsou vyloučeny přednostně na hranicích původního austenitického zrna a zejména v teplé části vykazují počátky řetězení, viz obr. 4. Tyto strukturní změny souvisí s difúzními pochody a jsou zapříčiněny dlouhodobým působením vysokých provozních teplot. Lze je tedy považovat za určité zárodečné projevy počínající degradace materiálu vlivem provozu. I přesto je stav mikrostruktury v obou kontrolovaných lokalitách prozatím vyhovující pro další provoz bez jakýchkoliv omezení. Tyto strukturní změny souvisí s difúzními pochody a jsou zapříčiněny dlouhodobým působením vysokých provozních

teplot. Lze je tedy považovat za určité zárodečné projevy počínající degradace materiálu vlivem provozu. I přesto je stav mikrostruktury v obou kontrolovaných lokalitách prozatím vyhovující pro další provoz bez jakýchkoliv omezení. Pro zjištění trendu degradace doporučujeme provést stejnou kontrolu po absolvování další cca 35–40 tisíc provozních hodin (tj. cca 5 let).



Obr. 4: Mikrostruktura vnějšího ST tělesa, teplá část, 1000x

### Závěr

Ze zjištěných skutečností vyplývá, že vlivem dlouhodobého provozu za náročných provozních podmínek dochází k degradaci materiálu. To se projevuje změnami v mikrostrukturuře a poklesem sledovaných mechanických vlastností. Jistý pokles je samozřejmý a očekávatelný, důležité je však vysledovat trendy a progres těchto procesů. Metoda zkoušení malých vzorků získaných téměř neinvazivním odběrem zkušebního materiálu je tudíž velmi smysluplným a užitečným nástrojem, jak tyto degradační projevy monitorovat.

Portfolio zkušebních metod je možné rozšířit i o zkoušky vysoko, nízko cyklové únavy, lomové houževnatosti, zkoušek tečení (creepu), šíření trhliny a získat tím co nejkomplexnější přehled o stavu materiálu kritických komponent energetických zařízení za účelem predikce jejich zbytkové životnosti. To pak přináší profit ve spolehlivosti a bezpečnosti provozu a efektivitě údržby.

Relevantnost výše uvedené metodiky zkoušení malých vzorků je akceptována i největším provozovatelem energetických zařízení v ČR, o čemž svědčí začlenění této metodiky do legislativních procesů provozování a údržby zařízení společnosti ČEZ, a to formou volné přílohy k dokumentu PŘS ČEZ\_ME\_0990 Materiálová diagnostika parních turbín, jejímž vypracováním byla pověřena právě naše společnost COMTES FHT a.s.

### Literatura

- [1] VOKÁČ, Jindřich. *Hodnocení aktuálních mechanických vlastností vnějšího ST tělesa*. Dobruška, červenec 2022, technická zpráva, PZP 220707.
- [2] WALIN K., *Fracture Toughness of Engineering Materials*. ISBN: 978 0 9552994 6 9.
- [3] CHVOSTOVÁ, Eva. Application of Metallographic Investigation in Development of Sub-Sized Specimen Testing Techniques. *Defect and Diffusion Forum*, July 2022, no. 6, pp. 111-116, <https://doi.org/10.4028/p-xfxoh7>