

KOROZNĚ ÚNAVOVÉ VLASTNOSTI OCELI 13%CR4%NI PRO KOMPONENTY VODNÍCH TURBÍN

CORROSION-FATIGUE PROPERTIES OF 13%CR4%NI STEEL FOR HYDROTURBINE COMPONENTS

Josef Strejcius, Zbyněk Špirit a Zdeněk Fulín

Centrum výzkumu Řež s.r.o.

Abstrakt

Příspěvek se zabývá korozní únavou oceli 13%Cr4% Ni vyrobené VOD procesem. Byly provedeny únavové testy na hladkých zkušebních tyčích při frekvenci zatěžování cca 123 Hz, při asymetrii kmitu $R=-1$, ve vodě s přídavkem NaCl 500 mg/l, při definované teplotě 15 °C, při rovnovážném obsahu rozpuštěného kyslíku, kontrolovaném pH, s měřením elektrodového potenciálu a elektrochemického šumu. Pro srovnání byla stanovena Wöhlerova křivka na vzorcích stejné geometrie při zatěžování 76 Hz na vzduchu při 20 °C. S-N křivky budou použity v diagnostice umožňující vyhodnocovat vliv povrchových vad a změny tvaru geometrie oběžných kol vodních turbín na riziko únavového poškození vyvíjené v rámci podprogramu NCK DP2S1 PB1.18 „Diagnostika oběžných kol vodních turbín a posouzení přípustnosti zjištěných indikací“.

Abstract

The paper deals with the corrosion fatigue of the VOD manufactured 13%Cr4%Ni steel. Several corrosion fatigue tests were performed on round specimens in water solution of 500 mg/l NaCl and equilibrium oxygen content at temperature 15 °C. Tests were performed at load frequency 123 Hz and stress ratio $R=-1$. Corrosion potential and electrochemical noise were recorded during the test. For further comparison, Wohler curve was measured on similar specimens on air at 90 Hz and 20 °C. S-N curves will be used for diagnostic of water turbine runners, especially to determine the influence of surface defects on fatigue life. The work is part of the project NCK DP2S1 PB1.18 “The diagnostic of water turbine runners and evaluating the admissibility of detected indications”.

Úvod

Vodní elektrárny jsou důležitým zdrojem elektrické energie. V roce 2009 byl celosvětový instalovaný výkon vodních elektráren 926-980 GW, v roce 2011 se dodávky elektriny z vodních elektráren podílely 17 % na celosvětové spotřebě elektrické energie [1]. Nároky na vodní turbíny v současnosti rostou. Rozvoj dalších obnovitelných zdrojů závislých na počasí – především fotovoltaiky a větrných elektráren – znamená velké zatížení pro přenosové a distribuční sítě a „voda“ – zvláště v přečerpávacích elektrárnách stále více přebírá roli akumulárního prvku celé přenosové soustavy. Od vodních turbín se očekává, že svůj výkon dokáží flexibilně přizpůsobovat momentálním požadavkům sítě a to ideálně v celém spektru, od nuly až po maximální výkon. Rychlé a časté změny provozních režimů turbín, spojené s vibracemi, mají za následek iniciaci a šíření korozně únavových trhlin a v konečném důsledku závažné havárie turbín [2].

Centrum výzkumu Řež s.r.o. v rámci dílčího projektu TN01000007 Národní centrum pro energetiku řeší úkol, jehož cílem je získání diagnostického postupu, který umožní monitorovat a vyhodnocovat vliv povrchových vad a změny tvaru geometrie oběžných kol vodních turbín na riziko únavového poškození, predikovat čas poruchy a povede ke zvýšení disponibility a spolehlivosti provozu vodních turbín. Hlavním řešitelem projektu je Vysoké učení technické v Brně a průmyslovým partnerem ČEZ, a. s. Centrum výzkumu Řež s.r.o. je v projektu zodpo-

vědné za ověření základních materiálových, křehkolomových a únavových vlastností oceli 13%Cr 4%Ni v litém stavu, vyrobené VOD procesem. V průběhu let 2019–20 budou provedeny materiálové analýzy:

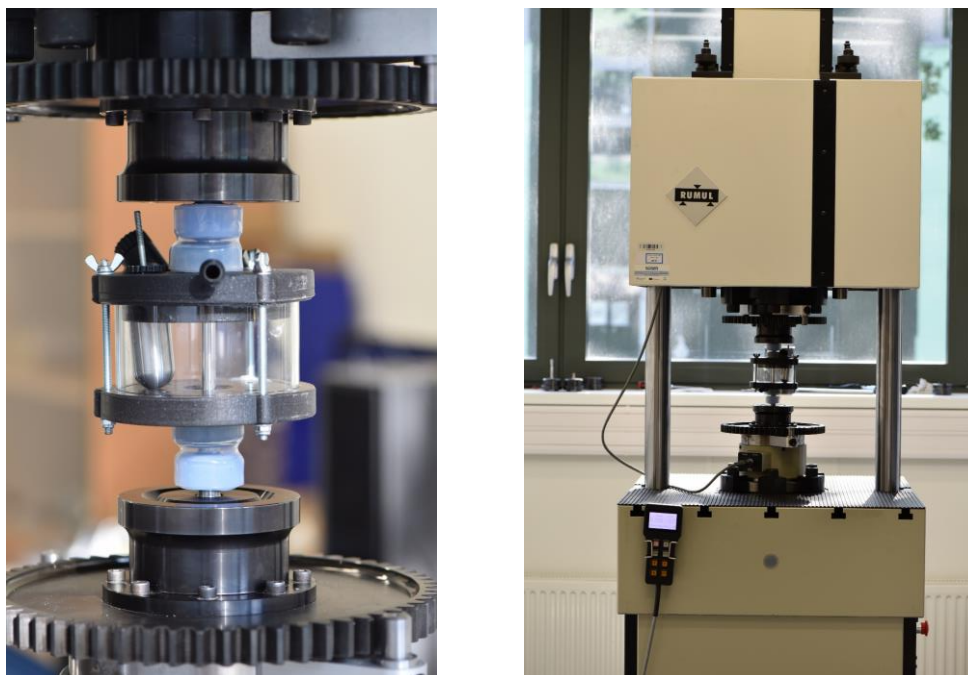
- ověření základních pevnostních vlastností experimentálního materiálu, stanovení meze únavy na vzduchu na hladkých a vrubovaných válcových tyčích při asymetrii kmitu $R = 0, -1$ a při středním předpětí $\sigma_m = 330$ MPa, určení dynamická lomové houževnatosti a stanovení přechodové křivky;
- metalografická analýza experimentálního materiálu a ověření chemického složení;
- zkoušky korozní vysokocyklové únavy: stanovení S-N křivek na hladkých a vrubovaných válcových tyčích při asymetriích kmitu $R = 0, -1$ a středním předpětí $\sigma_m = 330$ MPa, v proudící vodě s obsahem chloridu sodného 500 mg/l, při definované teplotě v intervalu 15 ± 1 °C, při rovnovážném obsahu rozpuštěného kyslíku, kontrolovaném pH, s měřením elektrochemického elektroodového potenciálu a proudového šumu;
- zkoušky rychlosti šíření únavových trhlin v proudící vodě s obsahem chloridu sodného 500 mg/l, při definované teplotě v intervalu $15–20$ °C, při rovnovážném obsahu rozpuštěného kyslíku, kontrolovaném pH, s měřením elektroodového potenciálu při asymetrii kmitu $R = 0$ a při středním předpětí $\sigma_m = 330$ MPa;
- fraktografická analýza lomových ploch.

Experimentální práce na projektu byly zahájeny v 2. čtvrtletí roku 2019, příspěvek shrnuje dosažené výsledky k 31. 8. 2019.

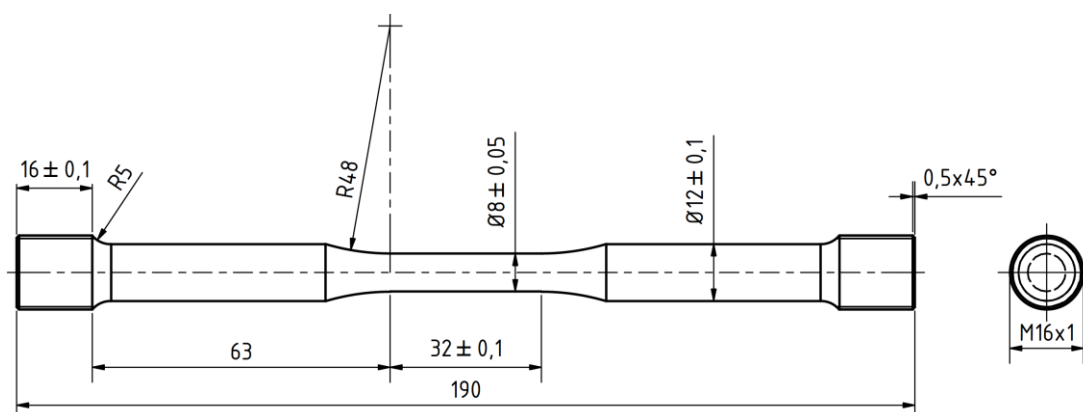
Metodika zkoušek vysokocyklové korozní únavy

Zkoušky vysokocyklové únavy na hladkých a vrubovaných tělesech byly/budou prováděny na elektromagnetickém pulzátoru se silovou kapacitou ± 250 kN. Při zkouškách korozní únavy je pracovní část zkušebních těles umístěna v průtočné měřicí cele – viz obr. 1, kterou protéká voda chlazená na 15 ± 1 °C. Voda obsahuje chlorid sodný v koncentraci 500 mg/l podobně jako v práci M. Varnera [3], obsah kyslíku není regulován. Objem korozní cely je 300 ml, cely je silikonovými hadicemi propojena se zásobníkem na zkušební roztok o objemu 1 l. Zásobník je plášťovaná skleněná nádoba, chlazení je termostatem s kompresorem. Cirkulace roztoku mezi celou a zásobníkem je zajištěna membránovým čerpadlem s průtokem 1 l/min. Kromě testovaného vzorku do měřicí cely zasahují přes porty v horním víku stříbrochloridová elektroda pro měření oscilací elektroodového potenciálu zkušební vzorku a pomocná elektroda z materiálu stejného chemického složení jako má zkušební vzorek pro registraci elektrochemického proudového šumu. Signály z elektrod a zkušební vzorku jsou zaznamenávány a vyhodnocovány elektrochemickým potenciostatem v ZRA režimu.

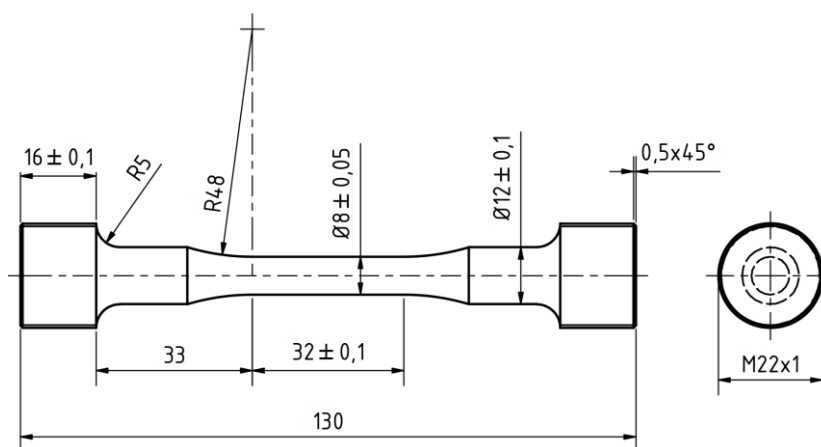
Pro únavové testy byly navrženy a vyrobeny vzorky dle obr. 2 až obr. 5. Vzorky pro zkoušky na vzduchu i ve vodě mají stejný tvar pracovní části: $\varnothing = 8$ mm, a délku = 32 mm. Vzorky používané pro měření ve vodě jsou delší – 190 mm, vzorky pro zkoušky na vzduchu jsou dlouhé 130 mm. Vrubované tyče jsou opatřeny uprostřed pracovní části obvodovým V-vrubem s hloubkou 0,5 mm. Konce zkušebních tyčí jsou zakončeny závitem M16 pro uchycení do upínačů zkušebního stroje, v případě tyčí pro zkoušku únavy na vzduchu na hladkých tyčích jsou závity M22. Zkoušky vysokocyklové únavy ve vodě jsou prováděny při frekvenci 123 Hz, zkoušky únavy na vzduchu při frekvenci 76 Hz. Nižší frekvence zatěžování při zkouškách na vzduchu při použití hladkých vzorků byla vynucena zahříváním vzorku během testu.



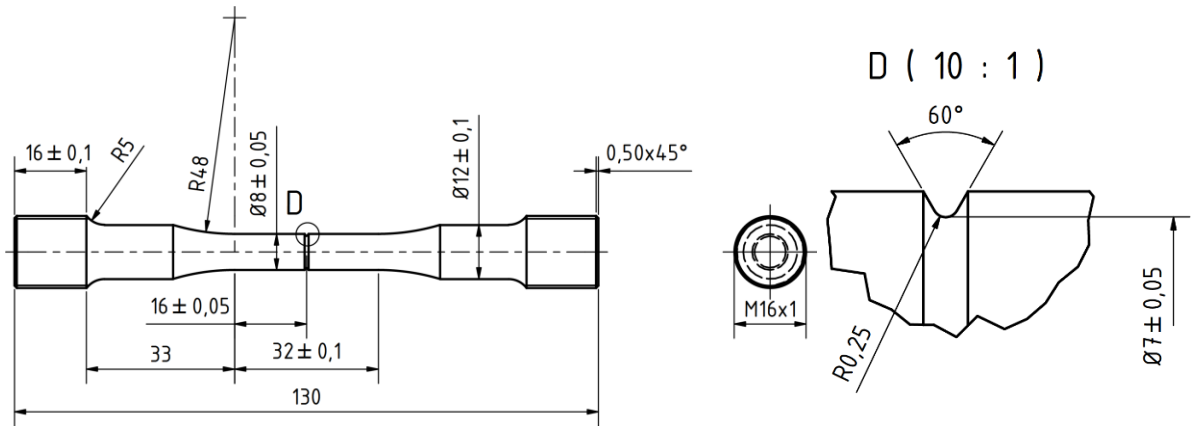
Obr. 1: Měřící cela pro zkoušky korozní vysokocyklové únavy



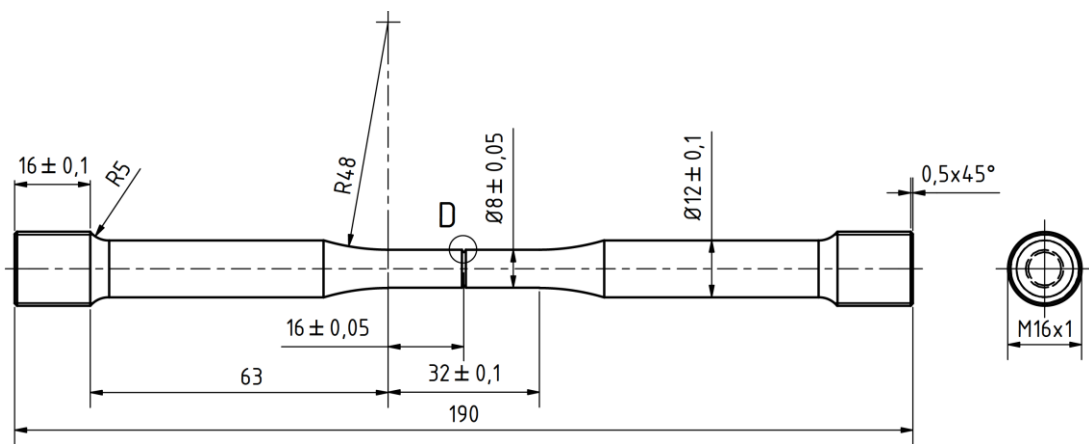
Obr. 2: Vzorek pro zkoušky korozní vysokocyklové únavy



Obr. 3: Vzorek pro zkoušky vysokocyklové únavy

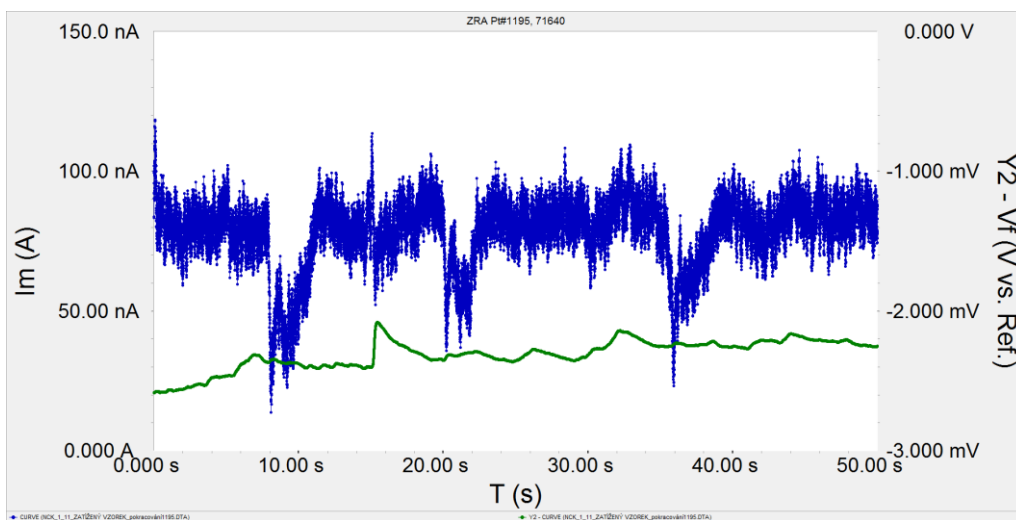


Obr. 4: Vzorek pro zkoušky vysokocyklové únavy



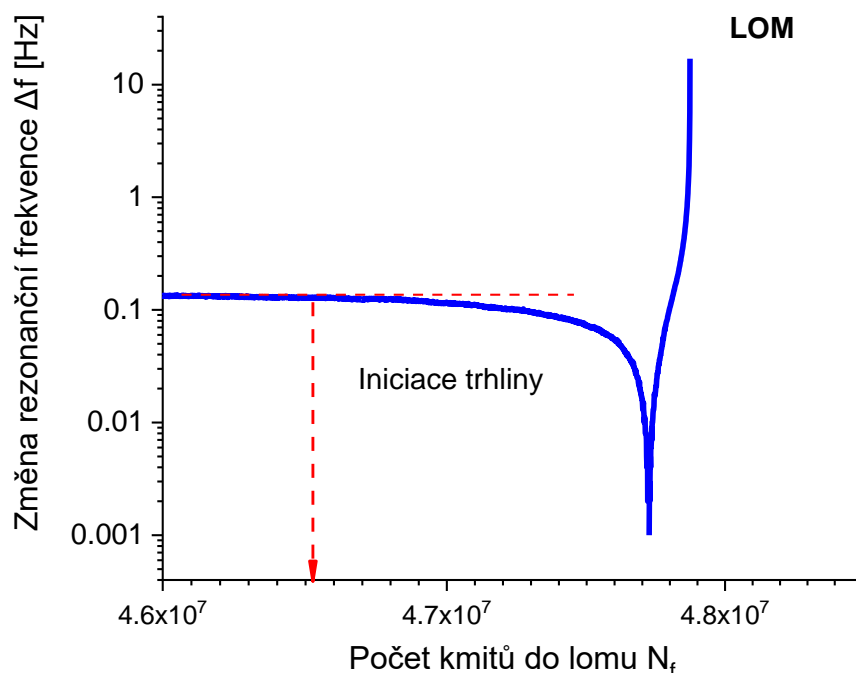
Obr. 5: Vzorek pro zkoušky korozní vysokocyklové únavy

Při korozně-únavových zkouškách je monitorován elektrochemický potenciálový a proudový šum se vzorkovací frekvencí 500 Hz měřený v blocích po 50 s, viz obr. 5.



Obr. 6: Navzorkovaný signál elektrochemického šumu

Iniciace trhlin a šíření při testech vysokocyklové únavy je odhadována ze změny rezonanční frekvence – příklad na obr. 7 a z frekvenčních spekter signálu elektrochemického šumu.



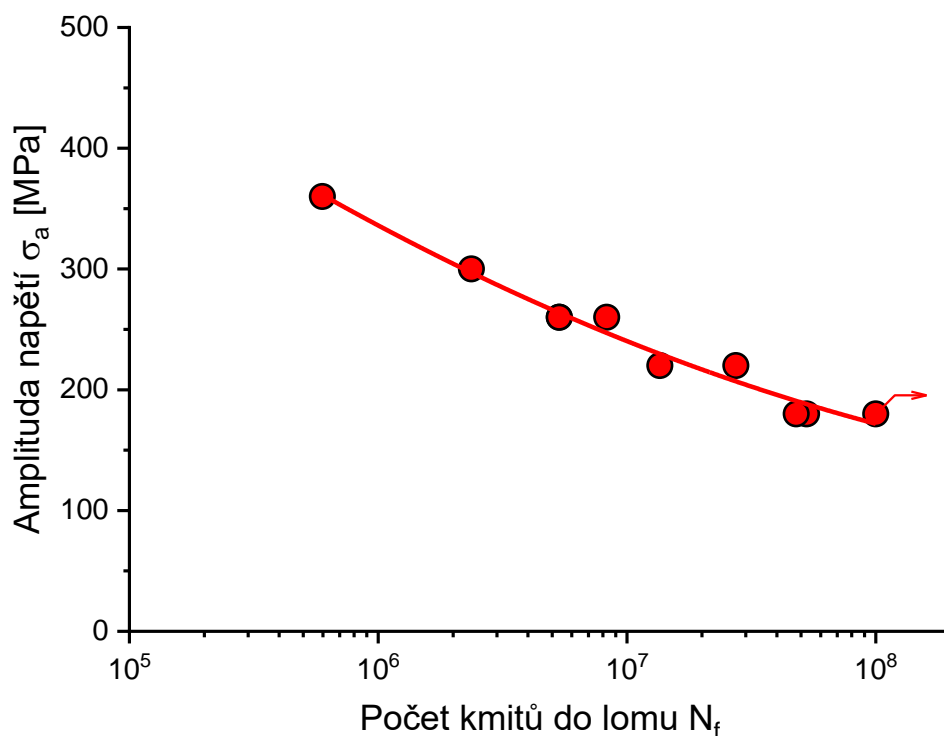
Obr. 7: Závislost absolutní hodnoty změny rezonanční frekvence na počtu cyklů do lomu (zkouška při $\sigma_a = 180$ MPa, $R = -1$, $N_f = 47\,872\,743$ cyklů)

Experimentální materiál

Experimentální materiál pro materiálové testy je martenziticko austenitická korozivzdorná ocel na odlitky GX4CrNi13-4 (1.4317EN 10027-2) v zušlechtném stavu QT1, vyrobená technologií VOD (oxidační vakuování v uzavřeném kesonu), od výrobce Litostroj Engineering, a.s. Jako subdodávka ČEZu, a. s. byly dodány přilité zkušební bloky z výroby rozváděcích lopatek o rozměrech 100x110x250 mm a 100x110x350 mm z taveb 1860, 1722, 34812/2 a 34818/3.

Výsledky zkoušek vysokocyklové únavy

Ke dni odevzdání příspěvku k tisku byly provedeny zkoušky vysokocyklové únavy oceli GX4CrNi13-4 měřené na hladkých vzorcích ve vodě s přídavkem chloridu sodného, temperované na 15 °C, při střídavém namáhání v tahu/tlaku při frekvenci 123 Hz a zahájeno měření pro stanovení meze únavy na vzduchu. Naměřená data jsou v grafu na obr. 8. Mez únavy na vzduchu při daném způsobu namáhání je na základě předběžných výsledků odhadována na 300 MPa, časovaná únavová pevnost pro 10⁸ kmitů a frekvenci zatěžování 123 Hz ve vodě 180 MPa.



Obr. 8: S-N křivka oceli GX4CrNi13-4 + QT1 při zatěžování ve vodě temperované na 15 °C a obsahující chlorid sodný v koncentraci 500 mg/l, při jednoosém střídavém zatěžování tah/tlak a frekvenci zatěžování 123 Hz

Závěr

Byla navržena metodika zkoušek korozní únavy za účelem stanovení podmínek iniciace korozních trhlin materiálu pro vodní turbíny ve vodě.

Byla získána první experimentální data.

Poděkování

Předložená práce vznikla díky projektu podporovaného TA ČR č. TN01000007 Národní centrum pro energetiku.

Literatura

- [1] Xin, L., Yongyao, L., Zhengwei, W. (2016): *A review on fatigue damage mechanism in hydroturbines*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 54, pp. 1-14.
- [2] Trudel, A. (2017): Recent trends in the design of hydropower components subjected to cycling and fatigue; towards improved technical design specifications. *Conference: Hydrovision International 2017*, At Denver, USA.
- [3] Varner, M.: *Vliv asymetrie kmitu na korozní únavu oceli 13%Cr,1%Ni*. http://www.davar.cz/corfat/pdf/Vliv_asymetrie_kmitu.pdf