

EXPERTNÍ TÝM PŘS PG – DEGRADACE TEPLOSMĚNNÉ PLOCHY PG EDU

EXPERT TEAM AMP SG – DEGRADATION OF SG HEAT EXCHANGE TUBES IN DUKOVANY NPP

Jakub Ertl

ČEZ, a. s., Řízení techniky JE

Abstrakt

Parogenerátory (PG) se ukazují jako jedna z hlavních strojních komponent, která může v budoucnu představovat určitá omezení z pohledu dlouhodobého provozu jaderné elektrárny Dukovany (EDU). Důvodem je zvýšený trend zalepování teplosměnných trubiček, který se v posledních letech projevil u některých PG EDU. Za účelem stanovení příčin zvyšujícího se trendu degradace teplosměnné plochy PG EDU byl jmenován expertní tým PŘS (programu řízení stárnutí) PG, jehož některé výsledky získané v roce 2019 ve vazbě na řízení chemického režimu jsou popsány v tomto příspěvku.

Abstract

Steam generators (SG) are one of the main components, which may represent certain limitations from the point of view of Dukovany NPP long term operation. The reason is the increasing trend of plugging of heat exchange tubes which has been observed in recent years concerned with some SGs. In order to determine the causes of the increasing trend of heat exchange tubes degradation, an expert team of the AMP (ageing management program) SG was appointed. Some results concerned with chemical regime obtained in 2019 are described in this paper.

Úvod

Expertní tým PŘS PG pod vedením útvaru Příprava dlouhodobého provozu JE (garant ČEZ pro proces řízení stárnutí) byl jmenován na základě opakovaně zjištěné meziokruhové netěsnosti PG26, která se projevila v červnu a červenci roku 2019 při náběhu 2. bloku EDU z plánované odstávky. Cílem expertního týmu PŘS PG je nalézt a řešit příčinu degradace teplosměnné plochy PG EDU. Jako jedna z možných příčin degradace teplosměnné plochy byla identifikována přítomnost tzv. okludovaných objemů pod nánosy na teplosměnné ploše PG. Zde dochází k zahušťování sekundárního média solemi, které jsou podporujícím prostředím pro vznik korozního praskání pod napětím. Jedním z parametrů, které lze v těchto objemech sledovat je tzv. vysokoteplotní šterbinové pH(t), které je aktuálně počítáno pro PG EDU z koncentrací složek jednotlivých iontů analyzovaných na vzorcích odebíraných z odluhů jednou za kampaň, a to právě při odstávování, kdy dochází k vymývání těchto šterbin.

Expertní tým PŘS PG popsal aktuální stav hodnocení vysokoteplotního šterbinového pH(t) pro PG EDU, dal jej do souvislostí s degradací teplosměnné plochy a definoval nápravná opatření pro další provoz PG ve vazbě na zajištění optimálního chemického režimu PG.

Mechanismus poškozování teplosměnných trubiček PG EDU

Hlavní degradační mechanismus působící na teplosměnné trubičky PG EDU vyrobené z austenitické oceli 08CH18N10T je SCC (korozní praskání pod napětím), jehož důsledkem je vznik a růst trhlin ve stěnách teplosměnných trubiček PG. Příklad takové trhliny je zachycen na obr. 1. Pro vznik a růst trhlin vlivem SCC musí být splněny současně tři podmínky:

- Materiál náchylný na SCC v daném korozním prostředí a při působení daného napětí – splněno, dle zprávy [1] může docházet k nukleaci mikrotrhlin v materiálu

08CH18N10T při pracovní teplotě PG z mechanicky porušeného rozhraní vměstek/matrice nebo mechanicky porušeného vměstku již při mechanickém namáhání odpovídajícímu tahovému napětí 50 MPa.

- Napětí – splněno, ve zprávě [2] je uvedeno, že redukované napětí vyvolané ve stěně teplosměnné trubičky za nominálního provozu vlivem rozdílu tlaku a teplot mezi primární a sekundární stranou PG je 97,4 MPa.
- Korozní prostředí – splněno ve štěrbinách (okludovaných objemech) PG EDU.



Obr. 1: Ilustrativní obrázek trhliny na povrchu teplosměnné trubky způsobené SCC

Okludované objemy PG EDU

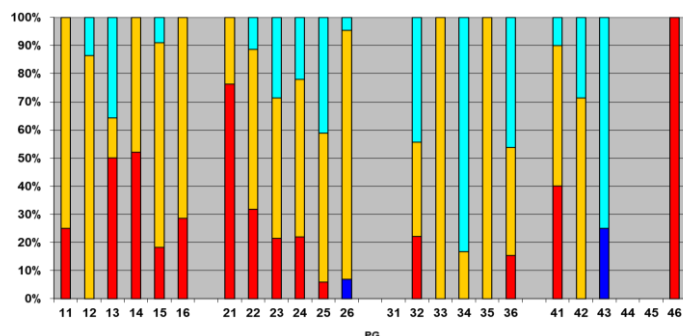
K iniciaci poškození oceli 08Ch18N10T dochází v roztocích, jež se svým složením odlišují od hlavního objemu média (např. kotlové vody), v tzv. okludovaných objemech. V parogenerátorech JE Dukovany může ve spojitosti s poškozováním teplosměnných trubiček dojít ke vzniku okludovaných roztoků v konstrukčních, technologických či „provozních“ štěrbinách. Jedná se o tyto typy okludovaných objemů (štěrbín):

- spoj trubka – trubkovnice,
- uzel trubka / kolektor – záslepka,
- štěrbina trubka – distanční mříž (podpěra),
- tuhé fáze oxidů železa (úsady, inkrustace) stínící teplosměnný povrch.

Primární příčinou agresivity okludovaných roztoků je zvýšení koncentrace složek z hlavního objemu kotlové vody (Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-}), což způsobí odklon vysokoteplotního pH od neutrálního vysokoteplotního pH v okludovaném objemu (tj. posun hodnoty pH okludovaného roztoku do kyselé nebo alkalické oblasti).

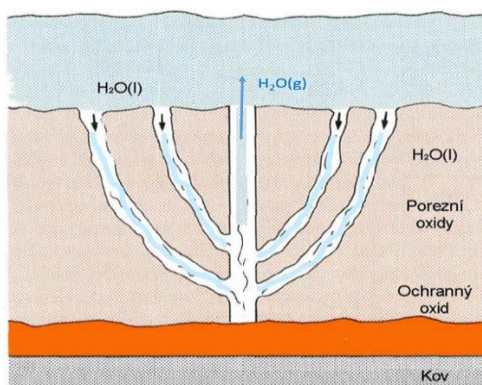
Ve vazbě na zmíněné typy okludovaných objemů byla provedena analýza výskytu indikací poškození teplosměnných trubiček PG EDU. Na obr. 2. jsou zachyceny čtyři různé oblasti výskytu indikací identifikované na základě výsledků kontrol vířivými proudy: horká větev pod upínkou (červená barva), horká větev na volném povrchu (oranžová barva), studená větev pod upínkou (tmavě modrá barva), studená větev na volném povrchu (tyrkysová barva). Z obrázku je patrné že většina indikací nalezených u PG26 byla nalezena na volné ploše u horkého kolektoru, kde je na základě výsledků kontrol teplosměnné plochy PG26 prostřednictvím vířivých proudů předpokládán zvýšený výskyt nánosů na trubičkách.

Ke zvýšení koncentrace složek kotlové vody dochází při přestupu tepla a poté zejména zahušťováním kotlové vody odparem. Zahušťují se ty složky roztoku, které netěkají s parou, což je možný případ poškozování nezáslepené trubičky, na které je porézní vrstva nánosů.



Obr. 2: Oblasti výskytu indikací na PG EDU

Nečistoty se dostávají z kotlové vody do štěrbině mezi trubičkou a nánosem, kde vznikne pára, která poté odchází a nečistoty zůstanou ve štěrbině. Vrstva na povrchu TS trubky, tvořená oxidy Fe, může zvýšit oxidačně redukční potenciál prostředí a být příčinou lokální depasivace ochranné vrstvy. Tento děj je zachycen na obr. 3.



Obr. 3: Zahušťování štěrbině mezi trubičkou a nánosem

Výpočet vysokoteplotního štěrbinového pH(t) z HOR

Predikce hodnoty vysokoteplotního pH(t) ve štěrbinách PG EDU je v současné době prováděna na základě modelového výpočtu navrženého EPRI [3], který vychází z integrálního množství nečistot určených na základě složení vzorků odluhu odebraných během odstavení (HOR), kdy jsou soli vymývány ze štěrbin. Následně je pomocí programu MULTEQ vypočtena hodnota vysokoteplotního pH(t) ve štěrbinách jednotlivých PG EDU.

Stanovení bezpečného rozhraní vysokoteplotního štěrbinového pH(t)

Za účelem posouzení iniciace a průběhu korozního praskání oceli 08Ch18N10T ve štěrbinovém prostředí PG bylo provedeno v historii několik experimentů. ve Vítkovicích a v ÚJV Řež. V [4] byla nyní provedena rešerše všech dostupných výsledků těchto experiment s následujícími závěry:

Souhrn závěrů experimentálního testování, které probíhalo ve Vítkovicích:

- Laboratorní zkoušky provedené do roku 2010 prokázaly, že výskyt mikrotrhlin nebyl pozorován u trubek vyrobených z oceli 08Ch18N10T při pH(t) 5,5 až 9. [5], [6], [7].
- V roce 2011 byly realizovány zkoušky oceli 10GN2MFA a 08Ch18N10T. Zatímco v prostředí o pH 2,0 došlo k uplatnění mechanismu SCC, v případě roztoků o pH 4,0 a pH 9,5 nebyla náchylnost materiálu k SCC prokázána [7].

Souhrn závěrů experimentálního testování, které probíhalo v ÚJV Řež, a.s.:

- Dosažené výsledky prokázaly, že titanem stabilizovaná ocel má dostatečnou odolnost k SCC ve štěrbinovém prostředí s pH(t) přibližně 6,5 až 9,7. Při posunu hodnot do kyselé oblasti (< 3) a do silně alkalické oblasti (> 10,6) docházelo k iniciaci SCC [8].

Na základě výše uvedených výsledků provedených experimentálních prací doporučil expertní tým PŘS PG EDU udržovat hodnoty vysokoteplotního štěrbinového pH(t) v intervalu od 5,5 do 8,5. Pro horní hranici vysokoteplotního štěrbinového pH(t) je akceptovatelná hodnota 9,5 za podmínek, že není dávkováno žádné alkalizační činidlo.

Závěr

Značnou nevýhodou vysokoteplotního štěrbinového pH(t) je fakt, že lze určit pouze jednu za kampaň na základě odběrů odluhů při odstavování bloku. Významnou možností, jak lze reálné vysokoteplotní štěrbinové pH(t) odhadovat během kampaň, je použití standu na napájecí vodě PG. Jedná se o zařízení s uměle vytvořenou štěrbinou typu trubka/trubkovnice, ze které jsou po najetí bloku odebírány vzorky pro odhad hodnot pH(t) ve štěrbinách.

Další možností, jak korigovat chemický režim PG tak, aby hodnoty pH(t) ve štěrbinách na konci kampaň vycházely v intervalu od 5,5 do 8,5, je vyhodnocovat během kampaň hodnoty molárního poměru iontů (MRI). Expertní tým PŘS PG definoval předpoklad, že pokud bude MRI během kampaň udržováno v intervalu od 2 do 5, je větší pravděpodobnost, že štěrbinové pH(t) na konci kampaň vyjde v intervalu od 5,5 do 8,5. Množství dávkovaného alkalizačního činidla a hodnot MRI je nutné jednou za rok konfrontovat s vysokoteplotním štěrbinovým pH(t) a jeho bezpečným intervalem. Pokud bude pH(t) mimo bezpečný interval, je třeba pravidla pro řízení chemického režimu prostřednictvím hodnocení MRI revidovat.

Literatura

- [1] Matocha, K. (2004): *Stanovení minimální úrovně tahového napětí potřebného pro nukleaci mikrotrhlin v tělese kolektoru a v teplosměnných trubkách PG z mechanicky porušeného rozhraní vměstek/matrice nebo mechanicky porušeného vměstku při pracovní teplotě PG*. Zpráva, DZ-1/2004, 942 – Ústav materiálového inženýrství Ostrava, Ostrava.
- [2] Matocha, K. (2008): *Stanovení podmínek pro iniciaci korozního praskání na teplosměnných trubkách. Provedení zkoušek zkušebních vzorků v autoklávu, na jejichž základě bude upřesněn popis iniciace korozního praskání*. Zpráva, D-5/2008, 944 – Energetický výzkum Ostrava, Ostrava.
- [3] EPRI (2015): *Chem Works Tools Software User's Manual*. Report 3002004917, EPRI, Palo Alto (CA).
- [4] Němcová, J. (2020): *Interní technická zpráva pro UKO 46/290*. Technická zpráva, ČEZ, a. s., Správa projektové báze JE.
- [5] Matocha, K. (2010): *Materiály PG VVER 1000 v různých prostředích: STUDIE*. Zpráva, T-79 /2010, MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM s.r.o., Ostrava.
- [6] Matocha, K., Wozniak, J., Vodárek, V., Rožnovská, G. (2004): *Kvantitativní popis iniciace korozního praskání v oceli 08Ch18Ni10T v závislosti na pH270 odvzdušněného vodního prostředí se zvýšenými koncentracemi SO4²⁻, Cl⁻ a Na⁺ o teplotě 270 °C*. Závěrečná zpráva úkolu, Z-19/2004, Výzkum a vývoj, spol. s r.o., Ostrava – Vítkovice.
- [7] Matocha, K., Čížek, P., Rožnovská, G., Pavlíček, J. (2011): *Ověření náchylnosti oceli 10GN2MFA, materiálu kolektorů PG, a TS trubek ke koroznímu praskání v prostředí štěrbin zjištěných na standu ETE*. Technická zpráva, T-65/2011, MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM s.r.o., Ostrava – Vítkovice.
- [8] Brožová, A., Šplíchal, K. (2001): *Doba do iniciace korozního praskání PG trubek za odchylky od standardního štěrbinového prostředí*. Zpráva, DITI 302/213, Ústav jaderného výzkumu Řež a. s., Řež.