

# EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ SOUČINITELE OTĚRU MEZI PEREM A DRÁŽKOU VE SPODNÍ ČÁSTI TLAKOVÉ NÁDOBY REAKTORU VVER 440/213 A VVER 1000/320

## EXPERIMENTAL VERIFICATION OF THE FRETTING WEAR COEFFICIENT BETWEEN THE KEY AND THE GROOVE IN THE LOWER PART OF THE VVER 440/213 AND VVER 1000/320 REACTOR PRESSURE VESSEL

Ladislav Pečínka<sup>a)</sup>, Svoboda J.<sup>b)</sup> a Miroslav Žamboch<sup>a)</sup>

<sup>a)</sup>NRI Řež, Hlavní 130, 250 68 Husinec – Řež

<sup>b)</sup>Centrum Výzkumu Řež s.r.o., Morseova 1245 / 6, 301 00 Plzeň

### Vymezení problematiky

Na tlakových nádobách reaktorů VVER 440/213 a VVER 1000/320 provozované v EDU a ETE jsou prováděny provozní kontroly s periodou 96 měsíců EDU a 72 měsíců na ETE, kdy střídavě jsou prováděny kontroly z vnitřního a vnějšího povrchu v rozmezí 4, resp. 3 let. V rámci kontrol je z reaktorů vyvezeno palivo a šachta reaktoru vtažena do stínícího válce. Při jejím vytahování se vždy zjistilo, že potřebná síla je vždy větší než tíha šachty. Vzhledem k tomu, že ve spodní části je šachta vůči stěně tlakové nádoby vymezena osmi opěrami dle obr. 1 lze vyslovit domněnku, že ve spojení pero – drážka dochází v průběhu kampaně k otěru a k pravděpodobnému zadření. Modelové experimentální ověření je diskutováno v dalším Zkušební přípravek je uveden na obr. 2.

### Program zkoušek

Zkoušky byly prováděny při třech různých hodnotách svislého zatížení, a to při velikostech  $P_m = 1, 2$  a  $3$  kN. Zároveň bylo nutné získat výsledky pro parametry kmitání odpovídající amplitudám a frekvencím, které byly vypočteny pro oba druhy reaktorů VVER 440/213 a VVER 1000/320. Pro první byla zjištěna frekvence  $16$  Hz, pro druhý  $25$  Hz. Aby byly získány výsledky pro oba druhy frekvencí a zároveň pro 3 výše uvedené hodnoty svislého zatížení, byl zvolen následující program zkoušek:

**Zkouška č. 1:** svislá síla  $P_m = 1$  kN,  $A = \pm 4,7$  mm,  $f_r = 16$  Hz, délka skluzu  $5$  km

**Zkouška č. 2:** svislá síla  $P_m = 2$  kN,  $A = \pm 4,7$  mm,  $f_r = 16$  Hz, délka skluzu  $5$  km

**Zkouška č. 3:** svislá síla  $P_m = 3$  kN,  $A = \pm 4,7$  mm,  $f_r = 16$  Hz, délka skluzu  $5$  km.

Po ukončení těchto zkoušek byly postupně přebroušeny dosedací plochy všech 6 vzorků a následovaly zkoušky při frekvenci  $f_r = 25$  Hz.

**Zkouška č. 4:** svislá síla  $P_m = 1$  kN,  $A = \pm 3$  mm,  $f_r = 25$  Hz, délka skluzu  $5$  km

**Zkouška č. 5:** svislá síla  $P_m = 2$  kN,  $A = \pm 3$  mm,  $f_r = 25$  Hz, délka skluzu  $5$  km

**Zkouška č. 6:** svislá síla  $P_m = 3$  kN,  $A = \pm 3$  mm,  $f_r = 25$  Hz, délka skluzu  $5$  km.

Všechny zkoušky byly provedeny při stejné rychlosti kmitání  $v = 0,471$  m/sec.

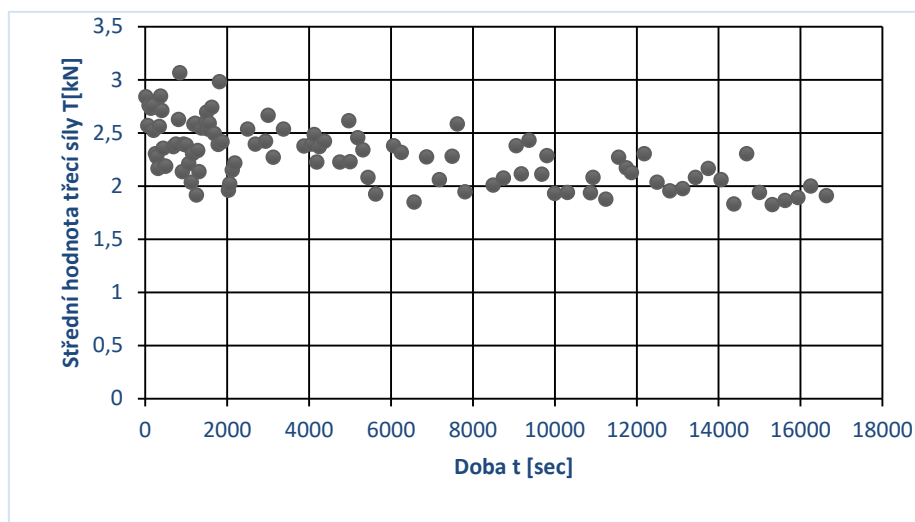
U všech zkušebních vzorků byla před zkouškami změřena tvrdost dosedacích ploch a v pěti paralelních řezech stanoveny hodnoty jakosti povrchu měřením na profiloměru. Tyto hodnoty pak byly porovnány s hodnotami po ukončení zkoušek.

### Výsledky zkoušek

Zkoušky probíhaly ve výše zmíněném pořadí. V průběhu každé zkoušky byly odečítány maximální a minimální hodnoty třecí síly v závislosti na počtu odkmitaných cyklů. Tyto naměřené hodnoty byly zkorigovány o účinek setrvačných sil hmot připojených k siloměru podélného válce. Hodnoty třecích sil  $T$  uváděné dále jsou proto již skutečné hodnoty

odpovídající středním hodnotám tření mezi perem a drážkou závislé pouze na velikosti aplikovaných přitlačných sil  $P_m$ .

Třecí síla  $T$  se v průběhu zkoušky neustále měnila. Větších hodnot dosahovala v případě vytahování pera, menších hodnot při jeho zasouvání. Jak se měnila střední hodnota třecí síly  $T$  v závislosti na době kmitání  $t$  v případě zkoušky č. 1, ukazuje obr. 3.



Obr. 3 Průběh střední hodnoty třecí síly  $T$  v závislosti na čase  $t$

Vypočítáme-li průměrnou hodnotu z těchto bodů, lze této hodnoty použít pro výpočet součinitele tření ze vztahu  $f = T_{\text{prům.}} / P_m$ . Zkorigujeme-li tuto hodnotu ještě o hodnotu čepového tření 0,16 v táhlech zatěžovacího přípravku, obdržíme výslednou hodnotu pro součinitel tření  $f$ . Stejným způsobem bylo postupováno u všech dalších zkoušek č. 2 ÷ 6.

Výsledky ze všech šesti provedených zkoušek jsou shrnuty v následující tabulce.

Svislá síla $P_m$ [kN]	Třecí síla $T_{\text{prům.}}$ [kN] při frekvenci		Součinitel tření $f$ při frekvenci		Velikost otěru $G$ [g] při frekvenci			
	16 Hz	25Hz	16Hz	25Hz	16Hz		25Hz	
					pero	drážka	pero	drážka
1	2,29	1,68	2,13	1,516	0,765	6,229	1,17	4,41
2	3,8	3,06	1,74	1,37	2,3	10,2	3,38	16,38
3	5,81	3,98	1,78	1,17	1,9	13,05	13,93	4,05

Z tabulky vyplývá, že s velikostí přitlačné síly  $P_m$  třecí síla  $T_{\text{prům.}}$  narůstá při nižší frekvenci rychleji, než při frekvenci vyšší. Nárůst třecí síly není lineární. Proto součinitel tření  $f$  s růstem přitlačné síly mírně klesá, přičemž jeho hodnoty při nižší frekvenci jsou vyšší, při vyšší frekvenci nižší.

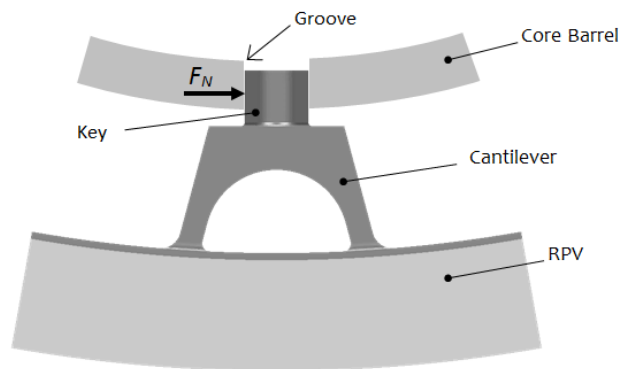
Podstatně větším problémem je vysledovat závislost v případě otěru. Při frekvenci 16 Hz otěr s růstem přitlačné síly  $P_m$  a tím i třecí síly  $T_{\text{prům.}}$  narůstá. U pera s tvrdokovem je tento otěr menší, u drážky, která je z měkčího austenitického materiálu, je otěr větší. Závislost ovšem není lineární, protože při přitlačné síle  $P_m = 3$  kN již docházelo k místnímu zadírání a k vydírání částecek z měkčího materiálu drážky a v důsledku vyšší teploty mezi třenými plochami k tzv. kovářskému navařování těchto částecek na plochu pera, jak je zřejmé z obr. 4.

Zajímavé výsledky byly získány při frekvenci 25 Hz. Při přitlačné síle 1kN je otěr bez zadírání zhruba 4x větší u drážky než u pera s povrchem z tvrdokovu. Při přitlačné síle 2 kN

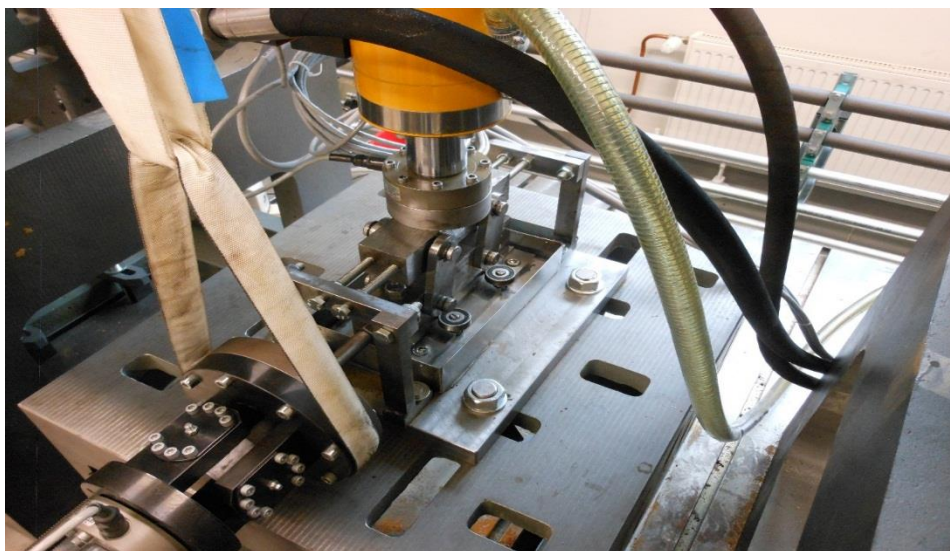
se v důsledku mírného zadírání zvýšil otěr u drážky. K překvapení však došlo při přítláčné síle 3 kN, kdy v důsledku velkého zadírání došlo k vytrhávání materiálu z povrchu pera a k jeho navařování na povrch drážky, jejíž otěr se tím snížil. Třené plochy po ukončení zkoušky jsou zřejmé z obr. 5. Opět se ukázalo, že přítláčná síla  $P_m = 3$  kN mezi perem a drážkou je mezní síla, při které již dochází k zadírání pera v drážce. Kde a jak bude toto zadírání probíhat lze předem velmi obtížně předpovědět. Jedinou možnou příčinou může být pouze otřený materiál, který se nahromadí mezi otíranými plochami a v důsledku vysoké teploty třených ploch se navaří náhodně na některou z těchto ploch. Zřejmě potom nezávisí na tom, je-li jedna z ploch vyrobená z tvrdokovu, nebo základního austenitického materiálu.

### Závěr

V příspěvku jsou shrnuty výsledky zkoušek otěru, které byly provedeny na vzorcích z austenitických materiálů odpovídajících materiálům per konzol tlakové nádoby a drážek ve stěně nosného válce reaktorů VVER 440/213 a VVER 1000/320. Ze všech zkoušek vyplynulo, že velikost třecí síly, součinitele tření i velikost otěru závisí významně na velikosti přítláčné síly. Při síle  $P_m = 3$  kN již dochází k zadírání třených ploch. Pro možnost aplikace výpočtu otěru byly získány potřebné experimentální podklady.



Obrázek 1. Dvojice pero - drážka 1



Obr. 2 Úprava zkušebního přípravku s vodní nádržkou



Obr. 4 Třecí plocha zkušebních vzorků po ukončení zkoušky č. 3



Obr. 5 Třecí plochy zkušebních vzorků po ukončení zkoušky č. 6