



Akademie věd České republiky  
Ústav teorie informace a automatizace

The Czech Academy of Sciences  
Institute of Information Theory and Automation

## RESEARCH REPORT

Ing. Petr TICHAVSKÝ, CSc., DSc.

Sledování creepových změn na tepelně a mechanicky  
namáhaném vzorku oceli pomocí akustické emise II

No. 2366

Říjen 2017

UTIA AV ČR, P. O. Box 18, 182 08 Prague, Czech Republic

E-mail: [utia@utia.cas.cz](mailto:utia@utia.cas.cz)

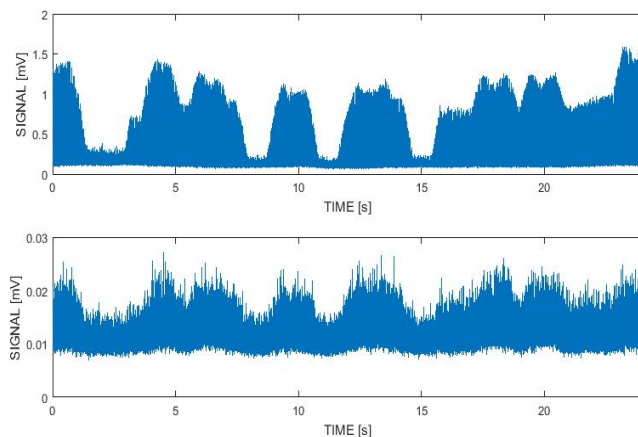
## Úvod

Tato výzkumná zpráva volně navazuje na zprávu č. 2365. Popisuje obdobný experiment při simulaci creepového poškození dalšího vzorku materiálu, v uspořádání které je popsáno ve výše uvedené zprávě. V době psaní této zprávy experiment ještě neskončil, tj. doposud nedošlo k přetržení vzorku. Rozdíl od předchozího experimentu je ten, že na zkoumaný vzorek byly před započítím experimentu navařeny dva vlnovody, jeden na začátku a druhý na konci. Druhý (dolní) vlnovod byl o 1 cm delší než horní. Další rozdíl v experimentu byl ten, že signál akustické emise byl snímán současně z obou vlnovodů, a to při vyšší vzorkovací frekvenci než u předchozího pokusu, konkrétně 5 MHz.

## Rozbor měření

Zabývali jsme se vzorkem dat akustické emise o délce 24 s.

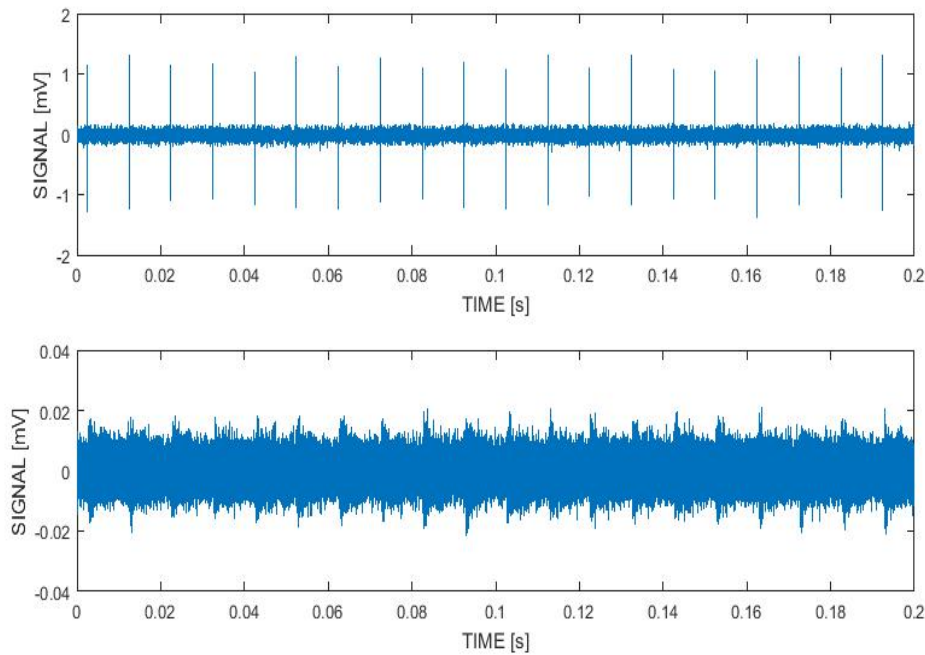
Na obrázku 1 jsou data akustické emise zobrazena způsobem použitým již ve zprávě 2365. Signál je rozdělen na bloky o délce 1000 vzorků a na každém bloku je odečtena střední hodnota dat. V grafu je zobrazena maximální absolutní hodnota signálu na jednotlivých blocích. Celkem je zde 120000 bloků.



Obr. 1: Signál akustické emise o délce 24 s, maximální absolutní hodnota dat na blocích o délce 1000 vzorků.

Během těchto 24 sekund signálu vidíme pět úseků, kdy je aktivita zvýšená, střídaných se čtyřmi úseky, kde je aktivita nižší. Můžeme si též povšimnout, že na horním vlnovodu je aktivita signálu podstatně vyšší než na spodním vlnovodu.

Na obrázku 2 vidíme výsek téhož signálu o délce milionu vzorků, časově je to 0.2 s.

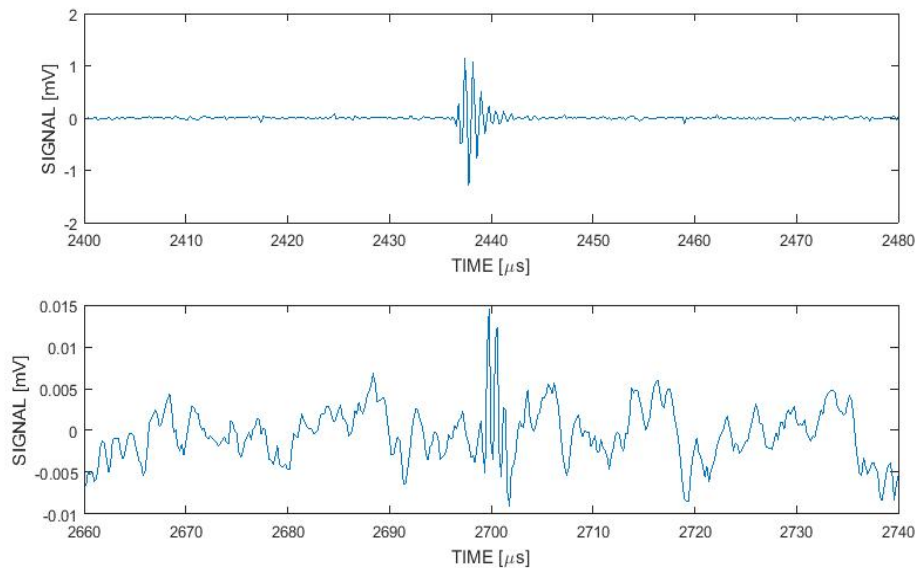


Obr. 2: Signál akustické emise: 1/5 sekundové úseky dat

V těchto signálech můžeme pozorovat pravidelnou strukturu, píky, které se vyskytují s frekvencí přibližně 100 Hz, a to zejména u signálu z horního vlnovodu.

Bylo zjištěno a potvrzeno pracovníky UJP a firmy DAKEL, že zmíněné píky nesouvisí s creepovou aktivitou ve vzorku, ale jde o parazitní signál pocházející ze spínaného zdroje, který napájí ohřev vzorku na požadovanou teplotu cca 540° C. Ačkoliv jde vlastně o nežádoucí signál nesouvisící se zkoumanými jevy, pomůže nám porozumět uspořádání experimentu a šíření akustických vln v soustavě.

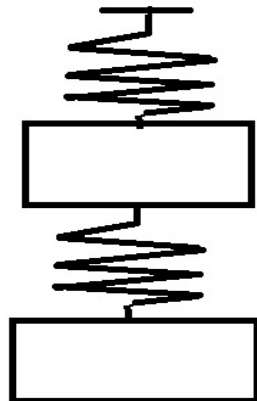
Domníváme se, že po dobu nabrání zkoumaného signálu byl ohřev zapnutý, ale regulátor jej čtyřikrát vypnul a zase zapnul. U samotného ohřevu střídavým proudem dochází k sepnutí a vypnutí proudu padesátkrát za sekundu, čímž se dostáváme k frekvenci 100 Hz. Při každém sepnutí nebo vypnutí se indukuje magnetické pole, vodiče se navzájem přitahují nebo odpuzují a vzniká tak akustická vlna, působící v horní části zařízení. Tato vlna, (kterou nazveme primární, přímá) se šíří zařízením a vzorkem směrem shora dolů. Tato vlna má krátké trvání cca 10 mikrosekund a vysokou amplitudu. Má tvar tlumené sinusoidy a vidíme ji na obrázku 3 na horním diagramu. Za dobu cca 260 mikrosekund (1300 vzorků) doběhne tato vlna od jednoho vlnovodu ke druhému, a vidíme ji mírně zdeformovanou a zeslabenou, ale přesto zřetelnou na dolním diagramu téhož obrázku.



Obr. 3. Primární akustická vlna buzená ohřevem vzorku.

Tento průběh šíření akustické vlny od jednoho vlnovodu ke druhému je pravidlem, ke každému píku v signálu z horního snímače můžeme najít příslušnou odezvu v signálu z dolního snímače. Časová prodleva 260 mikrosekund mezi snímači při šíření zvuku rychlostí 5620 m/s by odpovídala vzdálenosti 14,6 cm. Skutečná vzdálenost vlnovodů je cca 5 cm a rozdíl délek obou vlnovodů je 1 cm. Odtud plyne, že skutečná prodleva je téměř třikrát větší než bychom očekávali, nicméně výsledky jsou stabilní. Možná je rychlost šíření signálu poloviční až třetinová? To nevíme a bude třeba to prověřit. Pokud by tomu tak skutečně bylo, pak rychlost šíření zvuku v materiálu by mohla být dobrým ukazatelem pro jeho degradaci.

Kromě primárních akustických vln generovaných spínáním zdrojem pro topení můžeme v signálu pozorovat ještě sekundární vlny. Ty jsou způsobeny primárními vlnami, které rozkmitávají soustavu, ve které se provádí měření, za základě jejich vlastních charakteristických frekvencí. Zjednodušený mechanický model soustavy je načrtnut na obr. 4.

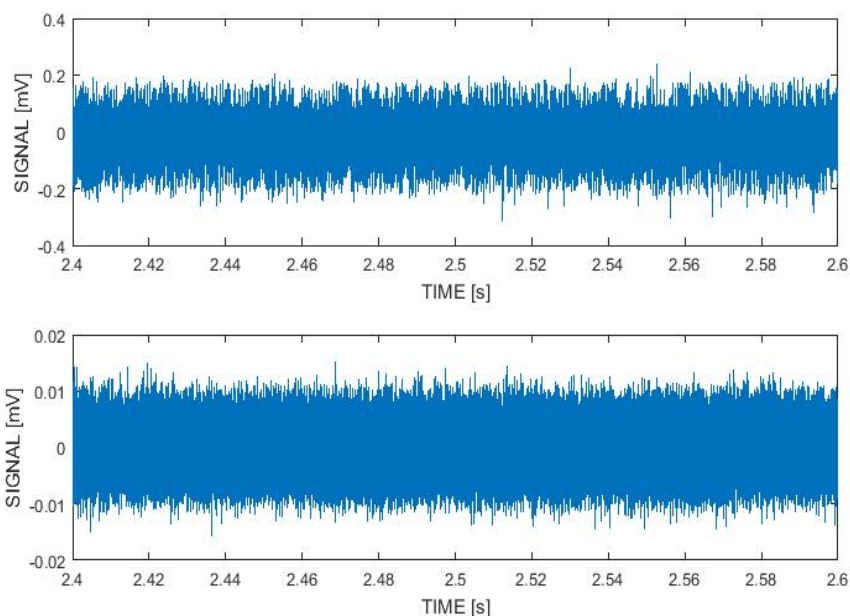


Obr. 4. Schema přístroje pro creepové zkoušky. Horní box představuje přístroj, kde je vzorek upevněn. Dolní pružina představuje zkoumaný vzorek materiálu. Dolní box představuje závaží, které napíná vzorek.

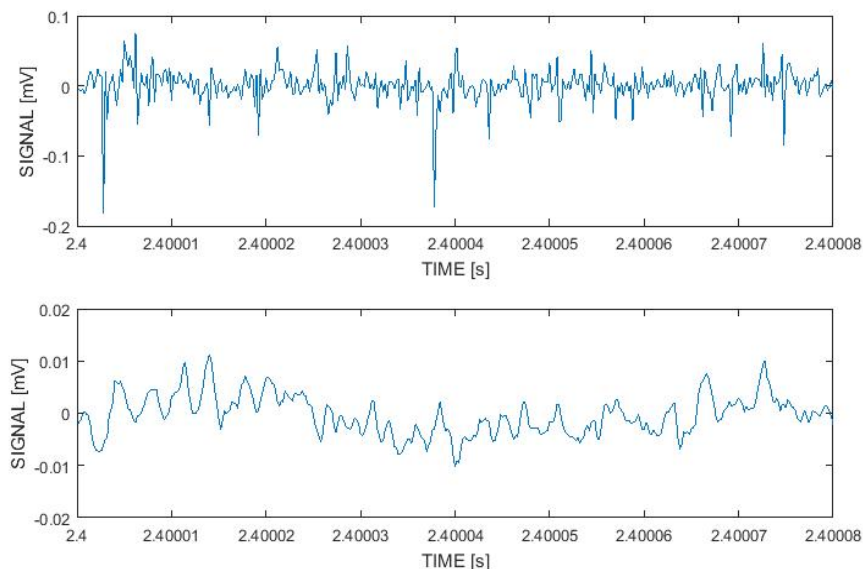
Dolní i horní box mají svoje typické charakteristické frekvence. Jak plyne z porovnání digramů v obrázku 3, charakteristické frekvence u horního boxu jsou vyšší než ty u dolního boxu, ikdyž opomineme píky pocházející z primární vlny. Píky z primární vlny rozkmitávají soustavu, vytvoří sekundární vlny které běhají přes vzorek oběma směry

a nedají se už tak přesně lokalizovat. Že tomu tak je můžeme snadno zjistit poslechem zpomalených akustických záznamů. Pokud vymažeme ze signálu primární vlnu, a to z obou vlnovodů, stále můžeme při jejich poslechu slyšet zvuky podobné jako když se udeří do zvonu. Frekvence těchto úderů je stejná jako u primární vlny, 100 Hz. Je zajímavé, že i během období kdy je topení jakoby vypnuté, jsou tyto údery slyšet také, ikdyž slabě. Vzhledem k její frekvenci je však nemůžeme považovat za creepovou aktivitu.

Typický průběh signálu v periodách kdy je ohřev jakoby vypnutý, je vykreslen v obrázku 5 a 6.



Obr. 5: Akustický signál na vlnovodech v období kdy je ohřev vypnutý (0.2 s, tj. milion vzorků).



Obr. 6: Akustický signál na vlnovodech v období kdy je ohřev vypnutý (400 vzorků).

Vidíme zde, že akustická aktivita na horním vlnovodu je nejméně desetkrát větší než na dolním vlnovodu, a dolní signál je mnohem hladší průběh (méně ostrých píků). Horní vlnovod je mechanicky spojen s okolím a prostřednictvím zkoumaného vzorku přenáší vnější rušení do dolní části soustavy, která je více oddělena od okolí, odpružena vzorkem, a akustická emise je zde nižší. Pokud by nějaká akustická emise vznikala uprostřed vzorku, pak by se musela projevit na obou vlnovodech. Její signál by byl nutně slabší než to co detekujeme na dolním vlnovodu, protože ten současně přejímá i signál přicházející shora.

## Závěr

Prozatím se nám nepodařilo prokázat projevy creepové aktivity v signálech akustické emise. Existují zde dvě možnosti, a jejich prověření bude předmětem dalšího výzkumu.

1) creepová aktivita je kontinuální, ale v akustické oblasti projevuje hodně slabě, při současném uspořádání experimentu se nedá detekovat kvůli vysoké úrovni šumu. Šum pochází vesměs z okolí, a i když je kupříkladu ohřev vzorku vypnutý, jeho hladina je stále příliš vysoká. Pokus by se musel konat za jiných podmínek, podobných seismickým měřením někde podzemí, ve sklepě, zařízení by muselo být ukotveno k nějaké velké hmotě, např. ke skále nebo k velkému kusu betonu nebo oceli, aby nebyla citlivá na rušení z okolí.

Pak je ale otázka, k čemu by takové měření bylo, protože je-li cílem zachytit creepovou aktivitu na potrubí v reálném provozu, tak tam nelze potrubí nikdy akusticky oddělit od okolního prostředí. Platí-li tato hypotéza č. 1, že creepová aktivita je kontinuální a slabá, pak je použití akustické emise k její detekci prakticky nemožné.

2) Creepová aktivita není kontinuální, vznik mikrotrhlinek je náhodný proces který má dlouhé periody kdy se neděje nic, a tu a tam se projeví výronem aktivity. Pro tento případ jsme vyvinuli metodiku jak odlišit takové projevy od rušení pocházející zvenku. Pokud pík akustické emise bude mít odezvu na obou vlnovodech s odstupem 260 mikrosekund, pak pochází zvenku. Jenom ty výrony akustické emise, které budou mít odezvu zpožděnou o nula až dejme tomu do 200 mikrosekund mohou pocházet ze samotného zkoumaného vzorku. Velikost tohoto zpoždění pak indikuje polohu zdroje onoho praskání.

Konečně, bude třeba prověřit rychlost šíření zvuku v neopotřebovaném a opotřebovaném materiálu. Pokud se prokáže, že opotřebováním materiálu kvůli creepovým jevům zřetelně klesá (na polovinu, nebo až třetinu), byl by to výborný indikátor poškození.