

# Eksperimentalno spremljanje utrujenostnih lastnosti vibrirajočih mehanskih sistemov

Filippo Cianetti

Univerza v Perugii, Italija

Opazovanje in vrednotenje utrujenostnih poškodb in v splošnem utrujenostnih lastnosti mehanskih sistemov (v vozilih, letalih, plovilih, vetrnih turbinah ipd.) med življenjsko dobo ni preprosta naloga. Za to obstajajo različne teoretične in numerične metode v časovni ali frekvenčni domeni na osnovi privzetih obremenitvenih pogojev (tj. sil in pospeškov). Do izhodnih napetostnih stanj pridejo z numeričnimi modeli mehanskega sistema (npr. sistem več teles – MBS, končni elementi – MKE, sistem več teles z gibkimi elementi – Flex/MBS) ali z neposrednimi meritvami napetostnih/deformacijskih stanj na osnovi hipotez o trajni dinamični trdnosti (tj. Wöhlerjeve krivulje ali Basquinove krivulje S-N).

V literaturi je opisanih več inštrumentov oz. merilnih verig za vrednotenje v časovni domeni (snemalnik rainflow) ali v frekvenčni domeni, pri nobeni od metod pa ni zagotovljeno celovito opazovanje dinamičnega vedenja sistema (tj. pospeškov, notranjih obremenitev, deformacij) in napovedovanje dejanskih poškodb za ocenjevanje preostale življenjske dobe sistema.

V članku je predstavljena preprosta metoda v časovni domeni za spremljanje trenutnih utrujenostnih lastnosti z opredelitvijo trenutnih in kumulativnih potencialnih poškodb oz. amplitude ekvivalentnega poškodbenega signala na osnovi metode štetja Rainflow (RFC), zakona linearne akumulacije poškodb (Palmgren-Minerjevo pravilo) in signalov, ki izhajajo iz dinamike sistema. Metoda precenjuje realne poškodbe, da je upravitelj sistema opozorjen še pred nastankom razpok, poleg tega pa jo je mogoče preprosto pretvoriti v elektronsko vezje, ki se pritrudi na mehanski sistem in poveže z enim od običajnih senzorjev za nadzor funkcionalnosti sistema. V članku je predstavljena realizacija metode v računalniškem okolju za dinamično večdomensko simulacijo mehanskih sistemov ter projektiranje in verifikacijo regulacijskih sistemov. Na ta način je bilo mogoče preveriti uporabnost analitičnega orodja s fizikalnimi meritvami na sami turbini in z numeričnimi analizami na osnovi bolj ali manj kompleksnih dinamičnih modelov generatorja.

Osnovna hipoteza tega dela je, da obstajajo različni parametri, ki se že merijo na strojih zaradi različnih razlogov (npr. hitrost, pospeški, momenti) in katerih vrednosti je mogoče takoj uporabiti za nadzor stanja, ne glede na ocene v zvezi s trajnostjo, utrujenostjo ali poškodbami sistema.

Na osnovi domneve o linearnem vedenju stroja in mehanskega sistema je vedno mogoče določiti odvisnosti med merjenimi parametri in splošnim napetostnim stanjem v poljubni komponenti in tako vrednotiti utrujanje na osnovi teh generičnih signalov s klasičnimi orodji za analizo časovne zgodovine napetostnih stanj. Če se vrednotenje utrujenostnih lastnosti izvaja na generičnem signalu, ki ne omogoča neposredne uporabe vseh hipotez in orodij, ki so bila razvita za vrednotenje poškodb iz napetostnih stanj, je upravičena opredelitev potencialnih utrujenostnih poškodb in s tem predlagane metode.

Znanstvena in tehnična skupnost na področju avtomatskega vodenja bo tako lahko vključila utrujanje med tiste procese v poljubnem mehanskem sistemu (vozila, letala, vlaki, ladje, vetrne turbine), ki jih je mogoče upravljati s povratno zanko ter upoštevati njegove minimalne ali maksimalne vrednosti in potencial za poškodbe.

**Ključne besede:** utrujanje, poškodbe, vibracije, metoda štetja rainflow, naključne obremenitve, regulacijski sistemi