

Stabilitní analýza vodicích trubek palivového souboru

Ing. Štěpán Dyk¹, Prof. Ing. Vladimír Zeman, DrSc.²

1 Úvod

Důležitou součástí palivových souborů (PS) jsou tzv. *vodicí trubky* (VT). Jde o tenké a dlouhé trubky (délka větší než 4 m při průměru cca 12 mm u TVSA-T) vyrobené ze zirkonia. Jejich funkcí je zejména zajistit v případě nutnosti hladké propadnutí regulačních orgánů (klastřů), které brzdí štěpnou reakci v aktivní zóně reaktoru. V každém palivovém souboru TVSA-T je 18 VT, rozmístěných pravidelně mezi 312 palivových proutků (PP) a oboustranně vetknutých v dolní a horní upínací desce. VT prochází osmi tzv. distančními mřížemi (DM), které zajišťují šestiúhelníkové rozložení PP a VT na průřezu PS a celou konstrukci PS vyztužují (společně s úhelníky a centrální trubkou tvoří tzv. nosný skelet PS). VT prochází skrze DM s malou radiální vůlí. Palivové soubory jsou v aktivní zóně reaktoru umístěny vertikálně a hlavice PS působí na jednotlivé VT tlakovou axiální silou. Po překročení kritické hodnoty této axiální síly dochází ke ztrátě stability, k ohybové deformaci VT a vymezení příslušné radiální vůle v DM a jejímu opření o buňky DM. Axiálně zatížená VT tedy představuje z mechanického hlediska komplexní systém zahrnující problémy stability, popis vazeb mezi axiálními a příčnými deformacemi a nelineární jevy dané kontaktem mezi VT a buňkami DM v případě opření VT. Tato práce ukazuje závěry stabilitní analýzy provedené na základě nekonzervativní modální analýzy.

2 Matematický model VT sestavený metodou konečných prvků

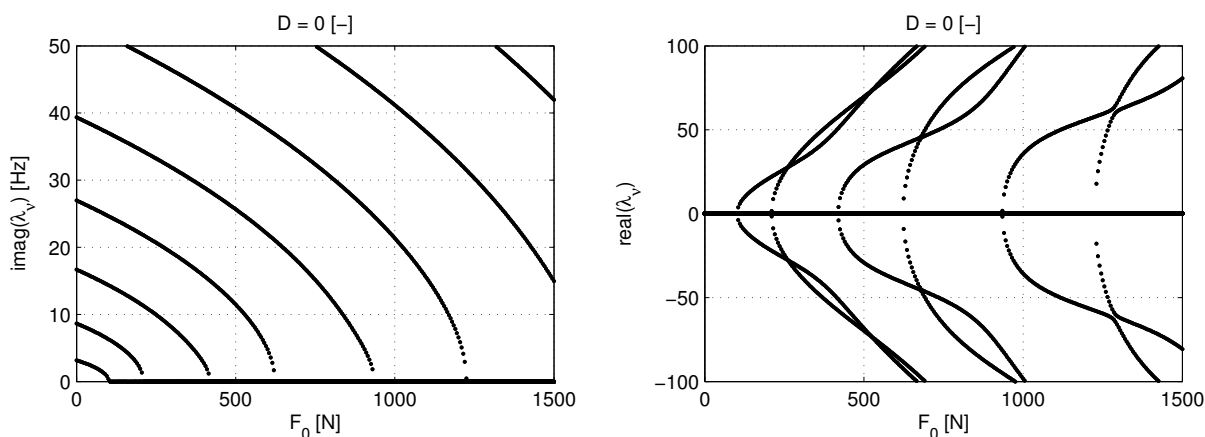
Matematický model VT byl sestaven metodou konečných prvků (MKP) pro jednorozměrná příčně nestlačitelná Eulerova-Bernoulliho kontinua, viz [Byrtus et al. (2010)]. Vodicí trubka byla diskretizována na 18 konečných prvků, přičemž sudé uzly odpovídají úrovním distančních mříží DM, liché uzly jsou mezi DM, resp. mezi DM a horní či dolní upínací deskou). Matematický model VT lze při uvážení nulových budících sil formulovat ve tvaru

$$M\ddot{\mathbf{q}}(t) + B\dot{\mathbf{q}}(t) + \mathbf{K}(F_0)\mathbf{q}(t) = \mathbf{0}, \quad M, B, \mathbf{K} \in \mathbb{R}^{n,n}, \quad \mathbf{q}(t) \in \mathbb{R}^n, \quad F_0 \in \mathbb{R} \quad (1)$$

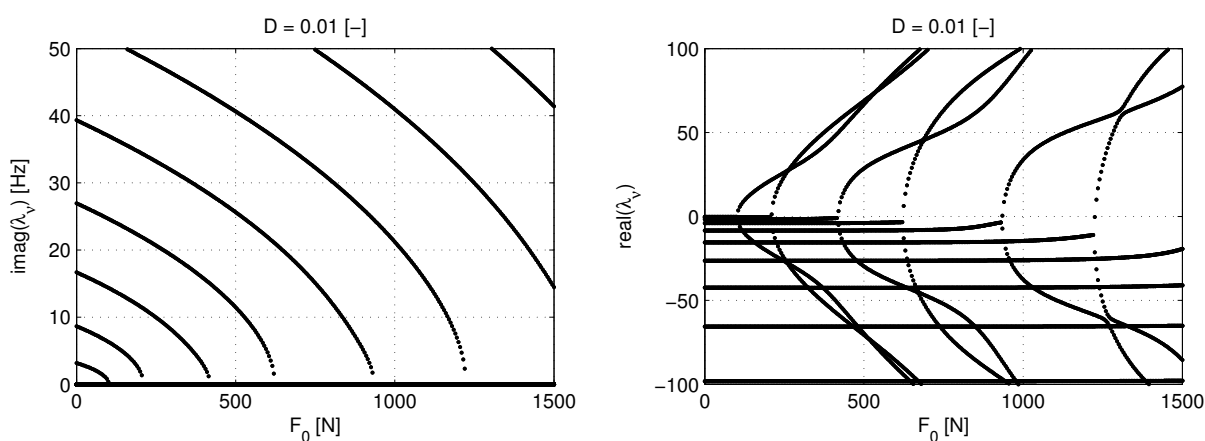
kde M , B , \mathbf{K} jsou matice hmotnosti, tlumení a tuhosti, $\mathbf{q}(t)$ je vektor zobecněných souřadnic a F_0 osová síla. Pro uvedenou diskretizaci je $n = 102$ a tlumení je uvažováno jako proporcionální. Modální analýza nekonzervativního systému představuje řešení problému vlastních hodnot tzv. *systémové matice*, viz [Zeman & Hlaváč (2004)], a je závislá na osově síle F_0 . Imaginární část vlastních čísel reprezentuje vlastní frekvence a reálná část vypovídá o stabilitě (oblast, kde reálná část alespoň jednoho vlastního čísla je kladná, je systém nestabilní). Jak ukazují obr. 1 - 2, při zvyšování tlakové osově síly dochází k poklesu vlastních frekvencí VT. Při poklesu některé z vlastních frekvencí na nulovou hodnotu zůstává tato větev již při dalším přitěžování nulovou, přičemž příslušná větev reálných částí vlastních čísel se stává kladnou a systém se destabilizuje.

¹ student doktorského studijního programu Aplikované vědy a informatika, obor Mechanika, specializace Aplikovaná mechanika, e-mail: sdyk@ntis.zcu.cz

² Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta aplikovaných věd, Katedra mechaniky, e-mail: zemanv@kme.zcu.cz



Obrázek 1: Závislost reálných a imaginárních částí vlastních čísel soustavy (1) na osové síle F_0 při uvažování netlumeného modelu (poměrný útlum $D = 0$)



Obrázek 2: Závislost reálných a imaginárních částí vlastních čísel soustavy (1) na osové síle F_0 při uvažování proporčního tlumení s poměrným útlumem $D = 0, 1$

3 Závěr

Uvedená studie ukazuje podstatný vliv osové síly na stabilitu VT. Tlumení má vliv na symetrii systému, ale prakticky neovlivňuje hodnotu kritické síly, a to ani pro relativně vyšší hodnoty poměrného útlumu.

Poděkování

Tento příspěvek byl podpořen grantem SGS-2013-036.

Literatura

Byrtus, M. – Hajžman, M. – Zeman, V.: *Dynamika rotujících soustav*. Západočeská univerzita v Plzni, 2010, ISBN 978-80-7043-953-1.

Zeman, V. – Hlaváč, Z.: *Kmitání mechanických soustav*. Západočeská univerzita v Plzni, 2004, ISBN 80-7043-337-X.