

Využití akustické energie pro zvýšení účinnosti energetických zařízení

Účinnost energetických zařízení založených na principu přestupu tepla zproudících spalin do trubkovnic výměníku je negativně ovlivněna množstvím polévatých nečistot ve spalinách. Tyto nečistoty se usazují či natavují na tělesa trubkovnic a účinně zabraňují přestupu tepla do ohřívajícího média. Jedno z možných technických řešení daného problému spočívá v aplikaci akustického měniče produkujícího akustickou energii. Princip využití akustické energie pro odstraňování nečistot byl zkoumán od počátku minulého století [1]. Úvahu byly vzaty různé ovlivňující faktory (např. proudění vzduchu z akustických měničů, zvukové vlny vysoké frekvence, využití současného spalování chemických látek atd.). V příspěvku je naznačen postup alternativního návrhu řešení odstraňování usazenin z trubkovnic energetických zařízení pomocí akustické energie, který byl úspěšně realizován v průmyslové praxi. Postup je založen na návrhu akustického měniče, jehož budicí frekvence je laděna v souladu s vybranou frekvencí strukturální části řešeného systému, která je v souladu s frekvencí akustické kavity.

Strukturální část

Nezbytným předpokladem úspěšného použití akustické energie pro odstraňování nečistot z trubkovnic výměníku definovaného prostoru je zjištění vlastností analyzované strukturálně-akustické soustavy. Strukturální část bývá složena z řady měkce uložených trubek, kterými proudí ohřívající médium. Pro zjištění základních vibračních charakteristik výměníku lze využít buď experimentálního, či analytického přístupu.



Obr. 1 – EMA – modální kladívko

Experimentální přístup

Pro zjištění základních dynamických vlastností analyzované soustavy lze použít metodu experimentální modální analýzy, která na základě vybudovaných kmitů vyhodnotí nejen vlastní frekvence systému, ale i jeho útlumové charakteristiky.

Z pořízených experimentálních dat lze vyhodnotit vhodné frekvenční intervaly, na které by akustický měnič měl být laděn. S ohledem na charakter deformací by měly být vybírány vyšší frekvenční intervaly, kde v důsledku vyššího tlumení nehrozí vybudování nepřijatelných hodnot napjatosti.

Analytický přístup

Nelze-li provést experimentální měření na analyzované soustavě, lze v prvotním přiblížení vyšetřit potřebné charakteristiky simulačně, např. pomocí metody MKP.

Tento přístup není schop predikovat korektní útlumové charakteristiky a při výpočtu panuje jistá míra nejistoty v definici okrajových podmínek. Pro vyšší vlastní tvary však neznanost korektních okrajových podmínek nehraje podstatnou roli, jak je patrné z následujícího.

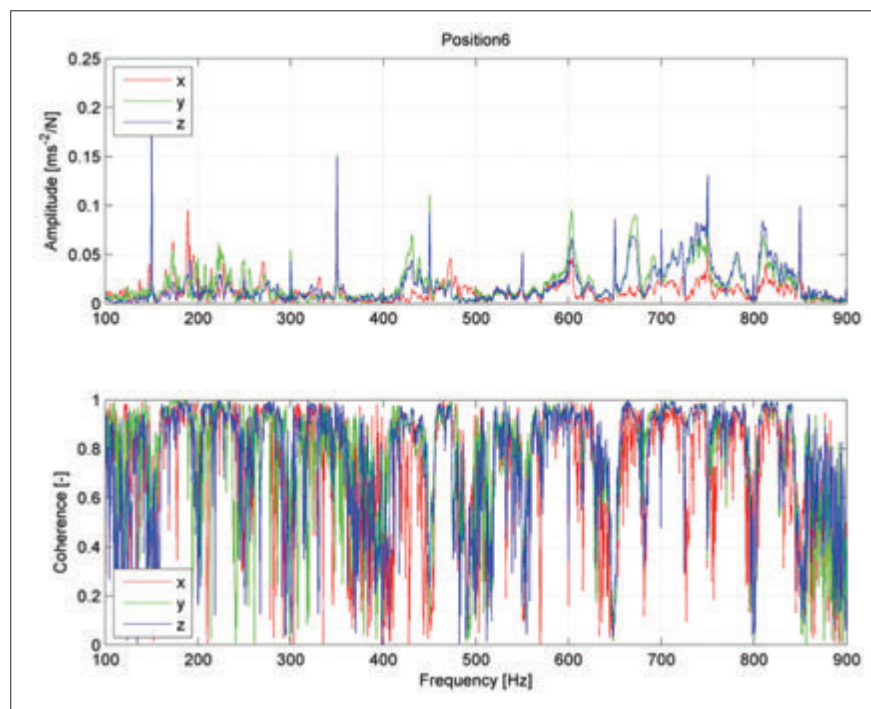
Vliv okrajových podmínek strukturální části

Pro vyšetření vlivu okrajových podmínek na hodnoty vlastních frekvencí budeme trubkovnici výměníku modelovat v prvním přiblížení jako 1D kontinuum, pro něž lze předpokládat, že akustická vlna vybudí jeho ohybové kmity.

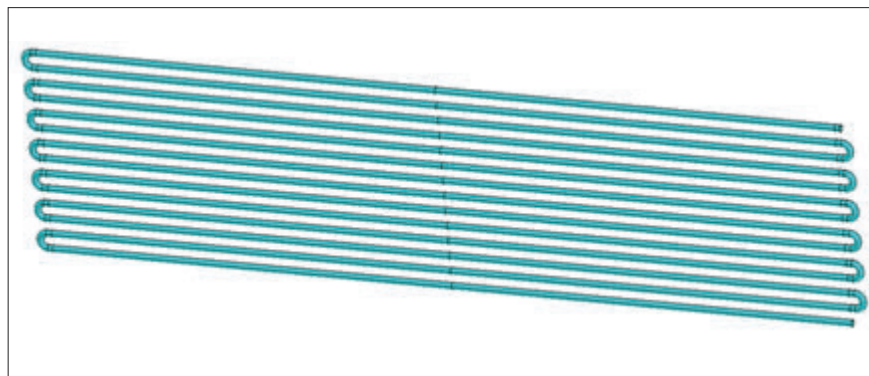
Za předpokladu zanedbání tlumení, rotační setrvačnosti a vnějšího zatížení lze dynamické chování nosníků podle obr. 4 popsat 1D vlnovou rovnicí popisující jeho ohybové kmity.

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + \frac{EJ}{\rho A} \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} = 0 \quad (1)$$

Pro ustálený stav ohybových kmitů lze rovnici (1) řešit metodou separace proměnných, kdy ře-



Obr. 2 – Typický průběh přenosové funkce a její koherence



Obr. 3 – Objemový model trubkovnice



**FLASH STEEL
POWER**

Vás zve na

pátý ročník odborné konference zaměřené na
„Progresivní materiály a technologie v energetice“

PROMATTEN 2013

14. – 15. 11. 2013

Hlavní téma konference:

Materiálové problémy při výstavbě nových energetických zdrojů.

www.promatten.cz

Tradiční témata konference:

Materiály pro energetiku a jejich vlastnosti.

Výrobní technologie v energetice (výroba ocelí, tepelné zpracování, svařování, obrábění, kování, válcování, ohýbání, odlévání atd.).

Životnost a spolehlivost komponent, creep.

Budoucnost v energetice - zdroje energie, přenosové soustavy.

Místo konání: HORSKÝ HOTEL VIDLY****

Osada Vidly u Karlovy Studánky

www.vidly.cz



all-for **power**



**VARNSDORF
TOS**

VODOROVNÉ VYVRTÁVACÍ A FRÉZOVACÍ STROJE VODOROVNÁ OBRÁBĚCÍ CENTRA

2013
LÍDÉ
A JEJICH STROJE
**VARNSDORF
TOS**



WRD 130

WHN(Q) 13 CNC

WHtec 130

TOS VARNSDORF a.s., Říční 1774, 407 47 Varnsdorf
Česká republika

Tel: +420 412 351 203, Fax: +420 412 351 269

E-mail: info@tosvarnsdorf.cz

www.tosvarnsdorf.cz



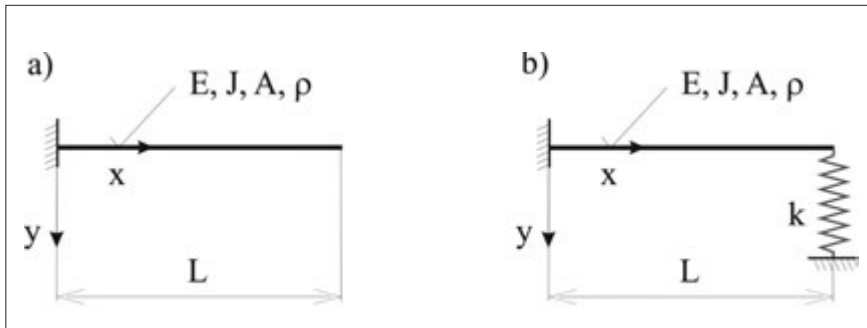
Největší český výrobce obráběcích strojů slaví 110 let. Nejen tradice, ale především dovednost a nápaditost svých lidí, to je základ, na kterém společnost staví.

Vodorovné vyvrtávačky stolové a deskové, obráběcí centra, speciální stroje - to vše umocněno pestrou nabídkou služeb.

Více na

www.tosvarnsdorf.cz

**MSV 2013 Brno, 7. - 11. 10. 2013,
pavilon P, stánek P104**



Obr. 4 – Zjednodušený výpočtový model
a) vetknutý nosník, b) vetknutý nosník pružně podepřený

šení předpokládáme ve tvaru součinu dvou nezávislých funkcí

$$y(x, t) = Y(x) T(t). \quad (2)$$

Dosažením předpokladu (2) do (1) lze odvodit funkci deformace $Y(x)$ ve tvaru

$$Y(x) = C_1 \cosh(\alpha x) + C_2 \sinh(\alpha x) + C_3 \cos(\alpha x) + C_4 \sin(\alpha x). \quad (3)$$

Kde

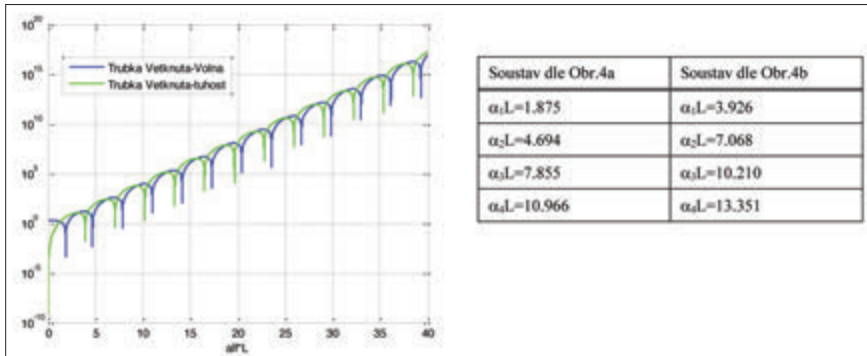
$$\alpha = \sqrt[4]{\frac{\Omega^2 \rho A}{EJ}}.$$

konstanty hustoty materiálu ρ , průřezu A , modulu pružnosti E a kvadratického momentu plochy J jsou poplatně průměru uvažované trubky a jejího materiálu. L je délka uvažovaného nosníku. Dosažením okrajových podmínek do (1) lze odvodit nelineární frekvenční rovnici pro model dle obr. 4a ve tvaru

$$\cos(\alpha L) \cosh(\alpha L) + 1 = 0. \quad (4)$$

Pro obecnější případ uložení soustavy dle obr. 4b dostáváme frekvenční rovnici ve tvaru

$$\sinh(\alpha L) \cos(\alpha L) - \cosh(\alpha L) \sin(\alpha L) = EJ(kL^3)^{-1} [1 + \cosh(\alpha L) \cos(\alpha L)]. \quad (5)$$



Obr. 5 – Kořeny frekvenčních rovnic

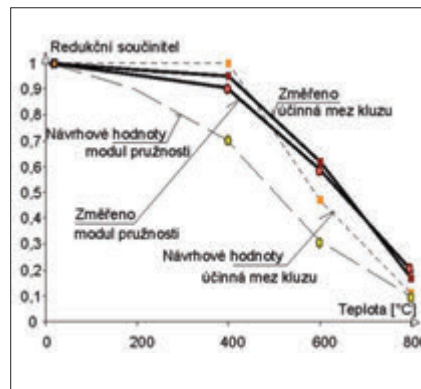
Kořeny frekvenčních rovnic (4 a 5) jsou uvedeny na obr. 5.

Z hodnot kořenů frekvenčních rovnic lze vyjádřit vlastní frekvence systému ve tvaru

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \frac{\alpha_n^2}{L^2} \sqrt{\frac{EJ}{\rho A}}, n=1, \dots, \infty. \quad (6)$$

Z analýzy netlumeného jedno-dimenzionálního kontinua lze odvodit, že pro zvyšující se vlastní frekvence vliv okrajových podmínek klesá. Tohoto závěru lze využít i při simulačním zjišťování modálních charakteristik výměníku, který byl modelován metodou MKP.

Ze vztahu (6) je zřejmé, že modální charakteristiky strukturální části modelu jsou funkcí materiálových parametrů analyzované soustavy. V případě použití akustického měniče při vyšších teplotách je nezbytné zavést korekční součinitel modulu pružnosti podle obr. 6, který začíná být významný pro teplotní rozsah

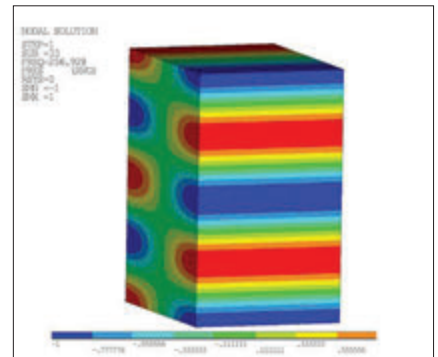
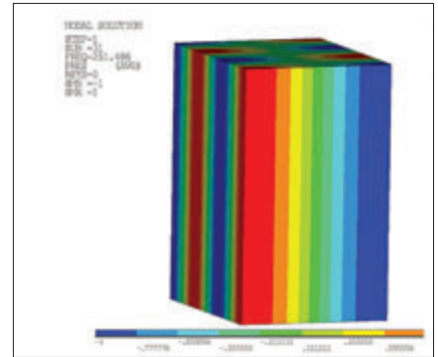


Obr. 6 – Změna modulu pružnosti v závislosti na teplotě [4]

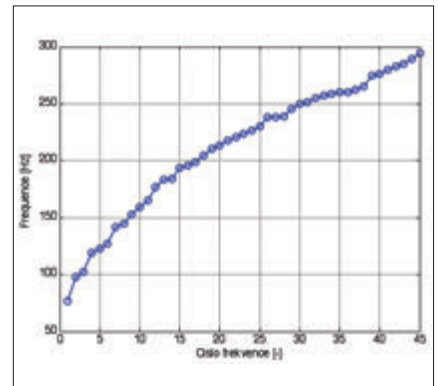
Ze vztahu (8) je patrné, že pro systém buzený harmonickou silou bude ve výsledné odezvě systému zastoupena celá řada vlastních tvarů kmitů. Pro tlumený systém dojde ke snížení jednotlivých amplitud a mírnému přeladění vlastních frekvencí.

Akustická kavita

Vyšetření základních modálních charakteristik akustické kavity bylo provedeno pomocí metody MKP. Ve výpočtu nebyla uvažována odrazivost hraničních ploch analyzovaného systému a ani útlumový mechanismus v samotné tekutině. Změna rychlosti zvuku a hustoty byla uvažována teplotně závislá.



Obr. 7 – Vlastní tvary kmitu akustické kavity $F = 251$ a 256 Hz



Obr. 8 – Hustota vlastních tvarů kmitu akustické kavity

S ohledem na hustotu vlastních tvarů kmitů je patrné, že i když budeme budít akustický prostor harmonickou funkcí o definované frekvenci, dojde k vybuzení celé řady vlastních tvarů kmitů.

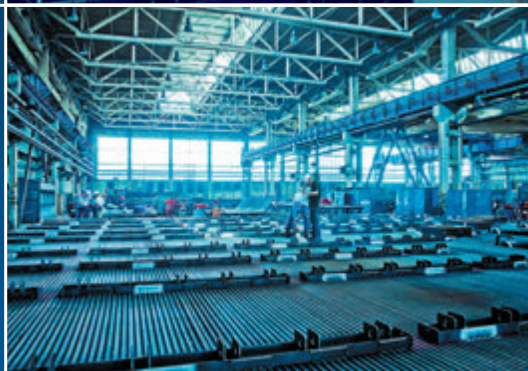
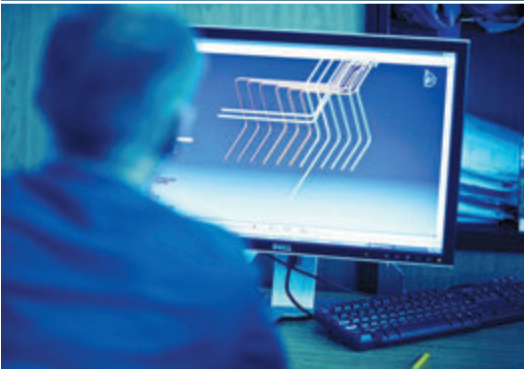
nad 400°C. Řešení vynucených kmitů strukturální části analyzované soustavy lze hledat ve tvaru lineární kombinace vlastních tvarů kmitů

$$y(x, t) = \sum_{n=1}^{\infty} \phi_n(x) q_n(t). \quad (7)$$

Za předpokladu, že budící účinek je funkcí i vyšších harmonických složek, lze výsledné řešení nalézt ve tvaru superpozice jednotlivých budících účinků

$$y(x, t) = \sum_{m=1}^{\infty} \left[\sum_{n=1}^{\infty} \frac{\phi_n^*(x)}{\Omega_{0n}^2 - (m \cdot \omega)^2} \frac{1}{\rho A} \int_{x=0}^L \phi_n^*(x) f(x, t) dx \right] \sin(m \omega t). \quad (8)$$

ses tImače



Riešenia, technológie a dodávky pre klasickú a jadrovú energetiku

- Projekty kotlov a kotelní pre elektrárne, teplárne a spaľovne.
- Rekonštrukcie, modernizácie, ekologizácie kotlov a kotelní.
- Kondenzátory, tepelné výmenníky a potrubia.
- Zariadenia pre jadrovú energetiku.
- Zariadenia pre chemický, petrochemický, plynárenský a hutnícky priemysel.
- Zariadenia pre vodnú energetiku.

Inžiniering, výroba, montáž, uvádzanie do prevádzky
Viac ako 60 rokov v energetike
Referencie v 55 štátoch

SLOVENSKÉ ENERGETICKÉ STROJÁRNE a.s.
Továrenská 210, 935 28 TImače, Slovensko

www.ses.sk

Akustický měnič

Na základě vypočtených frekvenčních charakteristik akustické a strukturní části analyzované soustavy lze vybrat vhodné frekvenční rozsahy, na které by měl být akustický měnič laděn. Zařízení se skládá z tělesa měniče, kde je ustáleným proudem vzduchu rozkmitávána tenká titanová membrána generující zvukové vlny, které se pomocí zvukovodu šíří do dané technologie.



Obr. 9 - Akustický měnič - kónický zvukovod

Vlnovou rovnicí umožňující řešit tlaková pole ve zvukovodech lze v prvním přiblížení odvodit pro 1D model, který v dostatečné přesnosti vystihuje chování akustických soustav pro nižší hodnoty budících frekvencí. Vlnovou rovnici pro 1D kontinuum lze odvodit z rovnice kontinuity a Eulerovy rovnice ve tvaru

$$\frac{\partial^2 p_a}{\partial x^2} \left[1 - \frac{v_0^2}{c_0^2} \right] = \frac{1}{c_0^2} \frac{\partial^2 p_a}{\partial t^2} + 2 \frac{v}{c_0^2} \frac{\partial^2 p_a}{\partial x \partial t}. \quad (9)$$

Za předpokladu, že Machovo číslo

$$M^2 = v_0^2 c_0^{-2} \ll 1,$$

lze zanedbat vliv ustáleného toku akustického média. Hodnotu rychlosti zvuku ve vzduchu lze přibližně uvažovat ve tvaru

$$c_0 = (331.8 + 0.61T)_{[m/s]}, \quad (10)$$

kde T je teplota prostředí v [°C]. Pro uvažovaný akustický měnič je objemový tok proudícího vzduchu

$$\dot{Q} \approx \langle 20 \approx 40 \rangle.$$

Nejnepříznivější hodnota kvadrátu Machova čísla vychází cca

$$M^2 \approx 0.012,$$

proto v následujících analýzách nebyl uvažován vliv rychlosti proudícího akustického média.

Analytické řešení vlnové rovnice pro kónický zvukovod

Vlnovou rovnicí kónického 1D zvukovodu lze odvodit ve tvaru

$$\frac{\partial^2 p(x,t)}{\partial x^2} + \frac{1}{S(x)} \frac{\partial S(x)}{\partial x} \frac{\partial p(x,t)}{\partial x} = \frac{1}{c_0^2} \frac{\partial^2 p(x,t)}{\partial t^2}. \quad (11)$$

Řešením rovnice (11) je

$$p(x,t) = \frac{1}{X} (\hat{C}_1 e^{-j\vartheta x} + \hat{C}_2 e^{j\vartheta x}) e^{j\omega t}, \quad (12)$$

kde

$$\vartheta = \sqrt{k^2 - j\beta k}, \quad (13)$$

je komplexní vlnové číslo a β je bezrozměrový číselník vyjadřující vliv tlumení v akustické tekutině. Jeho hodnoty se mění v intervalu 0 až 1. Neznámé komplexní integrační konstanty \hat{C}_1, \hat{C}_2 lze vyjádřit z okrajových podmínek řešené soustavy, ω je

budící kruhová frekvence systému a je $k = \omega c_0^{-1}$ vlnové číslo. Jediný mechanismus disipace akustické energie, který je nutný uvažovat při analýze akustických zvukovodů, je vyzařovací akustická impedance. Vyzařování akustické energie ze zvukovodu do volného prostoru lze modelovat reakcí prostředí nad pístově kmitající kruhovou deskou v nekonečné stěně. Pro tento model disipace akustické energie lze odvodit výraz pro akustickou vyzařovací impedanci ve tvaru

$$Z_a = \frac{c_0 \rho_0}{S} (A + iB), \quad A = 1 - \frac{J_1(2kR)}{kR}, \quad B = \frac{H_1(2kR)}{kR}, \quad (14)$$

kde funkce J_1 a H_1 lze vyjádřit pomocí řad

$$J_1(2kR) = \left(\frac{2kR}{2} \right) \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(-1)^m}{m!(m+1)!} \left(\frac{2kR}{2} \right)^{2m},$$

$$H_1(2kR) = \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(-1)^m}{\Gamma(m+3/2)\Gamma(m+3/2+1)} \left(\frac{2kR}{2} \right)^{2m+2}. \quad (15)$$

Ve vztahu (14) odpovídá reálná část vyzařovacímu odporu a část imaginární připadá na fiktivní hmotu spolu-kmitající se zvukovodem. Uvážíme-li platnost vztahu mezi akustickou a mechanickou impedancí $Z_m = S^2 Z_a$, lze vyjádřit hodnoty koeficientu externího tlumení a spolu-kmitající hmoty, které musejí být přidány do modelu akustického zvukovodu

$$b_m(\Omega, R) = S c_0 \rho_0 \left(1 - \frac{J_1(2kR)}{kR} \right), \quad m_m(\Omega, R) = S c_0 \rho_0 \frac{H_1(2kR)}{kR}. \quad (16)$$

Závislost normované akustické vyzařovací impedance je patrná z obr. 10.

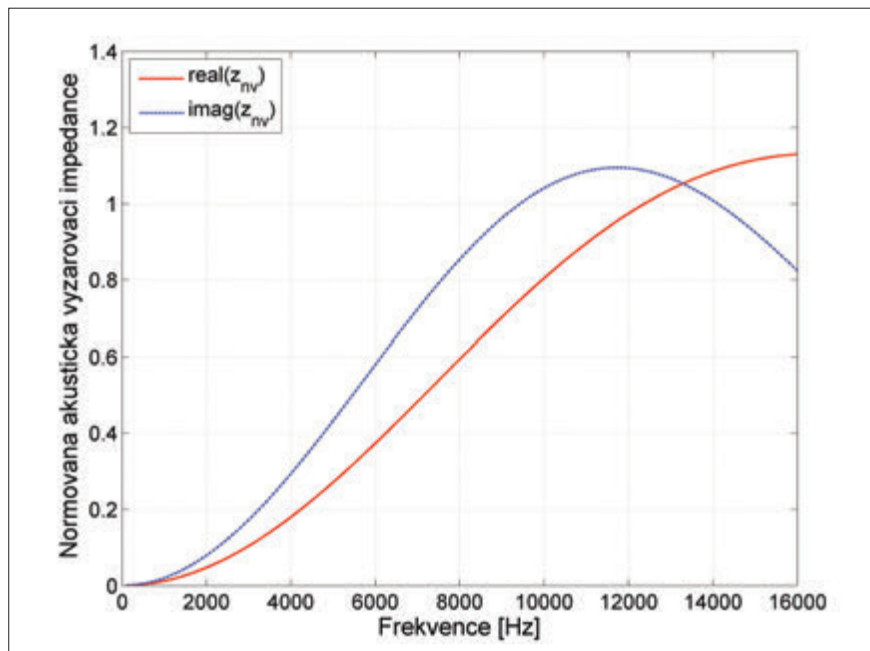
vliv disipace energie vyzařováním do okolního prostředí (rovnice 16).

Volba polohy akustického měniče

Pro nalezení vhodné polohy akustického měniče v akustické kavitě vyjdeme z předpokladu bodového zdroje akustické energie šířící se do neomezeného prostředí. Tento předpoklad je v reálné konstrukci zachován pouze při vývinu tlakových polí, kdy nedochází ke zpětnému odrazu

akustických vln, nicméně s ohledem na pracovní režim akustického měniče lze pro prvotní výpočet tento předpoklad akceptovat.

K popisu šíření akustické energie v neomezeném prostředí vyjdeme z 3D vlnové rovnice transformované do sférických souřadnic. Pro úhlově symetrickou úlohu pro rozbíhavou vlnu, postupující od zdroje (neuvažujeme zpětnou vlnu po odrazu)

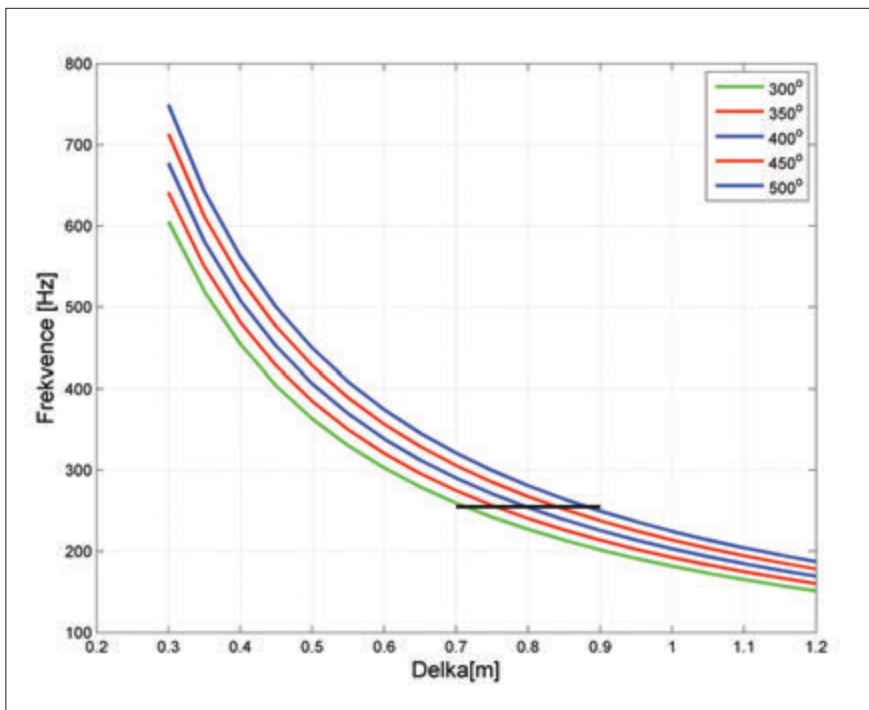


Obr. 10 - Normovaná akustická vyzařovací impedance $D = 98$ mm

Změnou délky zvukovodu, lze provést jeho na-ladění na požadovanou frekvenci. Proto byl prošetřen vliv délky zvukovodu a teploty okolního prostředí na vlastní kruhové frekvence zvukovodu. Pro vyšetření závislostí byla využita rovnice (12). Tato rovnice formou okrajových podmínek zohledňuje

$$p(r,t) = \frac{\hat{C}_1}{r} e^{-jkr} T(t). \quad (17)$$

Za předpokladu harmonické časové funkce a s využitím pohybové rovnice psané pro 1D kontinuum lze rychlostní pole odvodit ve tvaru



Obr. 11 - Závislost frekvence zvukovodu na délce a teplotě

$$v(r, t) = \frac{\hat{C}_1}{j\omega r} e^{-jkr} \left(\frac{jk}{r} + \frac{1}{r^2} \right) T(t). \quad (18)$$

Pro popis toku akustické energie definovanou akustickou kavitou použijeme bez ztráty obecnosti 1D kontinuum. Časová derivace výsledné energie akumulované v jednotce objemu je tedy pro konzervativní systém

$$\frac{de}{dt} = \frac{d}{dt}(e_k + e_p) = \frac{1}{2} \rho 2v\dot{v} + \frac{1}{2} \frac{1}{\rho c_0^2} 2p\dot{p}. \quad (19)$$

Po dosažení pohybové rovnice a rovnice kontinuity do vztahu (19) dostáváme

$$\frac{de}{dt} = -\frac{\partial}{\partial x}(pv). \quad (20)$$

Z toho je patrné, že časová změna energie je rovna gradientu součinu tlaku a rychlosti => že součin okamžitých hodnot tlaku a rychlosti lze použít k popisu toku energie v systému.

Zavedeme-li tzv. komplexní intenzitu

$$\hat{I}_c = \frac{1}{2} \hat{P} \text{conj}(\hat{V}), \quad (21)$$

pak tato hodnota vyjadřuje průměrnou (stacionární) hodnotu toku energie (průměrný směr a průměrná amplituda) vztaženou k době jedné periody. Z definičního vztahu (23) lze odvodit tzv. vektor aktivní složky komplexní intenzity

$$\vec{I}_{aktivni} = \text{Re}\left(\frac{1}{2} \hat{P} \text{conj}(\hat{V})\right), \quad (22)$$

který je kolmý na plochy konstantní fáze (je kolmý na vlnplochy). Vektor reaktivní složky komplexní intenzity

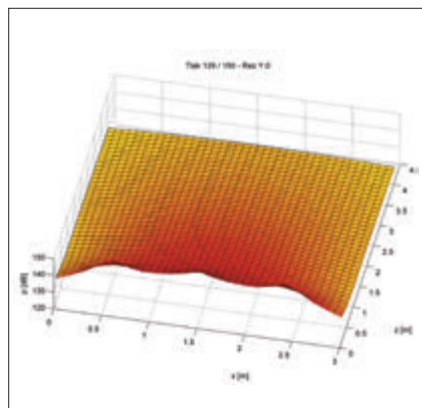
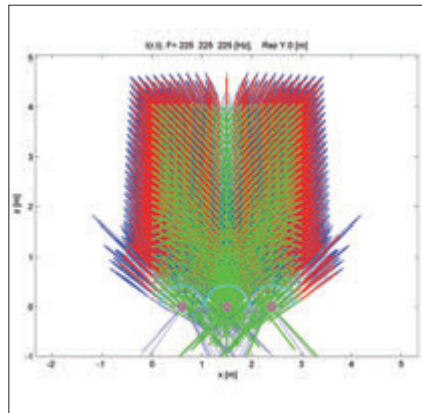
$$\vec{Q}_{reaktivni} = \text{Im}\left(\frac{1}{2} \hat{P} \text{conj}(\hat{V})\right) \quad (23)$$

popisuje průměrovaný tok energie z míst maximální

energie do míst minimální energie. Proměnnou (nestacionární) intenzitu lze definovat ve tvaru

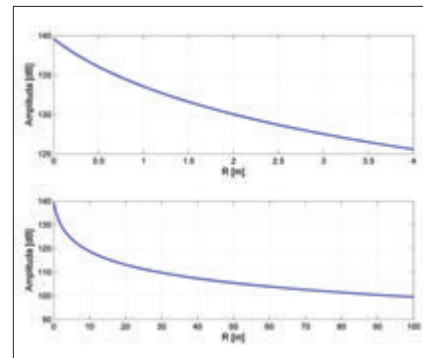
$$\vec{I}(r, t) = \text{Re}(\hat{p}) \text{Re}(\hat{v}). \quad (24)$$

Definičních vztahů (22 až 24) lze použít pro nalezení vhodné konfigurace polohy akustických měničů. Pro zesílení účinků akustických měničů lze využít princip pozitivní interference vlnění.



Obr. 12 - Akustická intenzita a tlakové pole

Na obr. 12 je uvedena akustická intenzity (součin tlaku a rychlosti) pro 3 zdroje akustické energie a výkon tlakového pole. Křivky zobrazují tok energie systémem. Červené křivky zobrazují aktivní složku komplexní akustické impedance (rovnice 22), zelené křivky zobrazují reaktivní složku komplexní akustické impedance (rovnice 23) a modré křivky zobrazují okamžitou intenzitu zvukového pole (rovnice 24). Fialové kružnice zobrazují polohu zdrojů a půlkružnice zobrazují definici blízkého akustického pole.



Obr. 13 - Pokles amplitudy tlakového pole

S ohledem na pokles amplitudy tlakového pole se vzdáleností od zdroje akustické energie je vhodné využít akustických měničů na protilehlé stěně akustické kavitě. S ohledem na problematickou synchronizaci zdrojů je vhodné, aby akustické měniče na protilehlých stěnách pracovaly postupně.

Aplikace

Na základě uvedených postupů bylo úspěšně navrženo technické řešení problému odstraňování nečistot z trubkovnic výměníku ve společnosti Tepláren Košice, a. s. ve výstupní části vstupního přehříváče kotle PK3 a PK4 pro teplotní interval 690 až 800 °C s maximální teplotou spalin 850 °C, dále pak ve Zvolenské teplárenské, a.s. na výhřevných plochách kotle K 02 (v prostoru 2. tahu) pro teplotní interval 370 až 900 °C a ve společnosti Pražské služby a.s. - závod spalovna Malešice v prostoru 3. tahu pro teplotní interval 240 až 450 °C.



Obr. 14 - Zástavba akustického měniče na kotli PK4

Na obr. 14 je ukázka zástavby akustického měniče na kotli PK4 v společnosti Tepláren Košice, a. s.



Obr. 15 – Trubkovnice přehříváku Zvolenské teplárenské, a. s. po 8 týdnech provozu

Závěry plynoucí ze zkušeností provozovatelů akustických měničů

Teplárň Košice a. s.:

Aplikací akustických měničů (AM) se výrazně snížila poruchovost a s tím související počet nucených odstávek kotle z důvodu zanesení, respektive netěsnosti trubkového svazku výstupní části vstupního přehříváku. Trvalé odstavení čištění zmíněných ploch výsuvnými párami ofukovači má přímý vliv na snížení poruchovosti v oblasti spodních částí trubkovnic, kde při ofukování docházelo k poškozování ocelových chrániček a následně k abrazi a perforaci přehřívákové trubky. V neposlední řadě odstavení technologie výsuvných parních ofukovačů snížilo náklady na vlastní spotřebu páry, náklady na údržbu redukční stanice, náklady na vlastní režii oddělení MaR a Elektro. Náklady na materiálovou diagnostiku jednotlivých komponentů akustických měničů a profylaktickou kontrolu RS AM při plánování běžné opravy kotle jsou

zanedbatelné vůči nákladům, které souvisejí s provozem technologie výsuvných parních ofukovačů. Nastavení účinnosti zařízení (AM) bylo dosaženo postupným laděním režimu frekvence činnosti AM a doby provozu podle sledování teplot páry na jednotlivých stupních přehřátí, provozu zástříku páry, teploty spalin a vizuální kontrolou zhařevání v okolí aplikace AM. Pozitivní zkušenosti z provozu AM vedou k dalším úvahám o použití AM při čištění rotačních a trubkových ohříváčů vzduchu, trubkovnic EKA v II. tahu kotle.

Zvolenská teplárenská, a. s.:

Aplikací AM došlo ke snížení spalin před ohřevem vzduchu o 64 °C a po 8 týdnech provozu bylo zanesení trubkovnic minimální. (Obr. 15)

ZEVO Malešice:

Aplikací AM došlo k plné náhradě parních ofukovačů, což se příznivě odrazilo na spotřebě páry. V závislosti na zkušenostech z testovacího provozu AM bylo rozhodnuto o instalaci AM na zbývajících kotle provozu.

Závěr

Řešení problému interakce akusticko-strukturní soustavy za zvýšené teploty je značně komplexní problém, který je ovlivňován řadou faktorů obtížně zahrnutelných do matematického modelu. V příspěvku byl naznačen jeden z možných způsobů řešení tohoto problému na základě zjednodušených předpokladů. Sestavený matematický aparát byl úspěšně aplikován na řešení problémů technické praxe. Zkušenosti provozovatelů akustických měničů potvrzují, že lze využít akustickou

energie pro čištění trubkovnic výměníků a tato technologie přináší znatelný ekonomický efekt provozovatelům energetických zařízení.

Poděkování

Příspěvek byl vypracován na základě výzkumného projektu „Application of the acoustic energy for cleaning of the technologies” podporovaného společností MOSA Solution s.r.o.

LITERATURA

- [1] Thomas, W.P., Boiler Cleaner, U.S. Patent 2,351,163, Detroit
- [2] Forster, M. A.: Process for clearing surfaces fouled by deposits resulting from combustion of carbon-bearing substances, US Patent No. 4396434, 1983
- [3] Jiming He, Zhi-Fang Fu, Modal Analysis, Butterworth-Heinemann, 2001, Oxford
- [4] Wald F. a kol.: Výpočet požární odolnosti stavebních konstrukcí, ČVUT v Praze, Praha 2005, 336 s., ISBN 80-0103157-8

Doc. Dr. Ing. Tomáš Vampola,
Fakulta strojní, ČVUT Praha,
tomas.vampola@fs.cvut.cz

Ing. Jan Moša,
MOSA Solution s.r.o.,
info@mosasolution.com

Ing. Pavel Beran,
vedoucí odboru provozu
ZEVO Malešice

Use of acoustic energy for increasing efficiency of power generation equipment

Efficiency of power generation equipment founded upon the principle of heat transfer from flowing flue gases into tube sheets of heat exchangers is negatively influenced by the quantity of flying contamination in flue gas. These contaminants settle or melt onto bodies of tube sheets, effectively preventing heat transfer to the heated medium. One of the possible technical solutions of the given problem is found in applying an acoustic transducer producing acoustic energy. The principle of using acoustic energy for removing contaminants has been explored since the start of last century [1]. Various influencing factors were considered (ex. flowing air from acoustic transducers, high-frequency sound waves, use of simultaneous combustion of chemicals, etc.). The article lays out the procedure for an alternative proposal for resolving the removal of deposits from tube sheets of power generation equipment using acoustic energy, which has seen successful implementation in industrial practice. The procedure is founded upon the proposal of an acoustic transducer, whose excitation frequency is tuned to the selected frequency of the structural part of the designed system, which is in tune with the frequency of the acoustic cavity.

Использование акустической энергии для повышения эффективности энергетического оборудования

Эффективность энергетического оборудования, основанного на принципе передачи тепла потока продуктов сгорания в трубопроводы теплообменника, зависит от негативного влияния множества летучих примесей продуктов сгорания. Эти примеси оседают на внутренних частях трубопроводов, и тем самым очень серьезно препятствуют продвижению тепла в обогревательное оборудование. Одно из возможных технических решений данной проблемы заключается в применении акустического преобразователя, вырабатывающего акустическую энергию. Принцип использования акустических преобразователей для отстранения загрязнений испытывался с начала прошлого века (1). Во внимание были приняты различные влияющие факторы (например, движение потока воздуха из акустических преобразователей, звуковые волны высокой частоты, использование современных технологий сжигания химических материалов и т.д.) В статье описывается порядок альтернативного решения отстранения налета в трубопроводах энергетического оборудования при помощи акустической энергии, который был успешно реализован в промышленной практике. Метод основан на применении акустического преобразователя, частота которого настраивается в соответствии с выбранной частотой структурной части данной системы, которая в свою очередь соответствует частоте акустической кавитации.