

EXPERIMENTS VERSUS NUMERICAL ANALYSIS
VZTAH MEZI EXPERIMENTEM A NUMERICKOU ANALYZOU

M. PIRNER

The diminishing of the difference between experimental results and theoretical solution is our main problem. The quantitative differences give the points position M, N, T on the "line of errors". The qualitative differences give the point position M or T out from the "line of errors". There are given three examples: 1) the natural frequencies of the guyed mast (Fig.3), 2) natural modes and frequencies of a bridge (Fig.4) after five different theoretical models and after measurements in situ, 3) natural modes and frequencies of a bridge (Fig. 5 and 6) after two theoretical models.

Úvod

Hlavním motivem této konference je konfrontace experimentálního řešení napětí a deformací s řešením pomocí numerické analýzy; konfrontace v těch vědních oborech, kde obě strany nejsou výjimečné, ale v těch, kde jsou vzájemně nahraditelné a v těch, kde řešení problému je nutnou podmínkou jejich součinnosti.

1. Kvantitativní a kvalitativní rozdíly mezi teorií a experimentem

Prvním našim úkolem je snaha o zmenšování absolutní hodnoty rozdílu výsledků řešení. Jestliže znázorníme rozdíl na t. zv. přímce chyb (obr. 1), pak vzájemná poloha tří bodů N (skutečnost), M (experiment), T (teorie), může mít šest variant. Je třeba zdůraznit, že polohu bodu N (skutečnost) v obecném případě neurčíme.*)

V této první úloze je buď numerická analýza primární a usměrňuje experiment nebo experiment je primární a určuje rozsah numerické analýzy.

*) Dále je třeba poznamenat, že experimentem rozumíme buď zkoušku na skutečném díle nebo fyzikálním modelu.

Druhým naším úkolem je řešení problému, kdy body N , M , T neleží na "přímce chyb" (obráz. 2). To je tehdy, kdy teorie a experiment dávají výsledky kvalitativně rozdílné. Je třeba opět poznamenat, že poloha bodu N na přímce chyb v obecném případě je jen naší představou.

2. Míra neshody mezi teorií a experimentem

Kvantitativní rozdíl mezi teoretickým výsledkem a experimentem označujeme chybou, jejímž rozbořem se zabývá speciální vědní obor - teorie chyb. Složkou této chyby je chyba měřicí soustavy (od čidla, jeho umístění až po vyhodnocovací stupeň) při experimentu, chyba volby výpočtového modelu při numerické analýze.^{*)} Dnes používané měřicí soustavy pracují s čidly s velmi malými prahovými citlivostmi a se stabilními vyhodnocovacími stupni, takže způsobují nejmenší složku chyby.

Výskyty kvalitativních rozdílů mezi teoretickým výsledkem a experimentem nejsou neobvyklé jak v úlohách rovinné a prostorové napjatosti při klidovém zatížení, tak (a hlavně) v úlohách s proměnným zatížením.

Odstraňování těchto rozdílů je závislé na skutečnosti, zda experimentátor při modelování fyzikálního modelu všechny zákony daný jev ovlivňující použil^{**)} - to je případ, kdy nápravu je nutné hledat pomocí zásad dimenzionální analýzy nebo druhý případ, zda teoretické řešení nemá chybné předpoklady (okrajové podmínky, předpoklad symetričnosti úlohy apod).

V prvním případě zásady dimenzionální analýzy usnadňují experimentátorovi hledání "chybějícího zákona", ale v obecném případě (kdybychom zkoumali jev zcela dosud nepoznaný) toto hledání je velmi pracné [1].

V druhém případě hledání správných předpokladů je možné na přímce chyb pomocí pomocného bodu T_p , jehož polohu sledujeme v závislosti na změnách vstupních předpokladů.

^{*)} Odstranění chyby (rozdíl mezi teorií a experimentem) v obecném případě neznamená, že na "přímce chyb" se body N , M , T ztotožní, nicméně ztotožnění bodů M a T , případně jejich přiblížení na hodnotu přijatelnou podle zkušenosti experimentátora, popř. podle předpisu, považujeme za řešení úspěšné.

^{**)} Nebo v případě skutečné konstrukce zde volil správné zatížení.

3. Aplikace kvantitativního rozdílu mezi výsledkem teoretickým a experimentálním

Kvantitativní rozdíl mezi teorií a experimentem je v mnohých disciplínách kritériem určujícím kvalitu díla (konstrukce). To je např. při zatěžovacích zkouškách statických i při zatěžovacích zkouškách dynamických. I v těchto dvou případech může dojít, při volbě chybného výpočtového modelu konstrukce případně zatížení, ke kvalitativnímu rozdílu a k mylnému použití kritéria a tedy k mylnému posouzení kvality díla.

Zmíněný kvantitativní rozdíl může být nástrojem k diagnostice konstrukce (je-li znám její panenský stav) nebo při monitorizaci statické nebo dynamické její odezvy.*)

4. Co požadujeme od experimentu a numerické analýzy k dalšímu rozvoji

V numerické analýze požadujeme rychlé programy, které poskytují např. variace matice tuhosti a matice hmotnosti, které umožňují splnění rovnováhy pro danou odezvu, což je úloha diagnostiky složitých rovinných a prostorových soustav. Požadujeme větší kapacitu počítačů tak, aby výpočtové modely mohly být kompletní.

Pro experimenty vyžadujeme čidla s větší prahovou citlivostí, bez parazitních vlivů a v případě snímačů amplitudovou charakteristiku nezávislou na frekvenci i v oblasti velmi nízkých frekvencí.

5. Příklady

Uvedu nejprve příklad, kdy body M a T leží na "přímce chyb". První příklad: ještě před dvaceti lety neexistoval dnešní způsob výpočtu kotvených stožárů [2]. Použití tehdejších výpočtových modelů vedlo k výsledkům značně odlišným od experimentu. Na obr. 3 jsou frekvence odezvy kotveného stožáru podle výpočtu v 1977, 1974, podle měření (PI) a podle definitivního výpočtu (FI-NA). Shoda mezi teorií (1974) a experimentem je z dnešního hlediska nedostačující.

Dále uvedu příklad, kdy body M a T neleží na "přímce chyb". Silniční most podle obr. 4 byl pro účely diagnostiky vybuzen ve tvaru vlastního kmitání, jehož energie ve spektru získaném okolním neklidem dominovala a který byl prvním (podle výše frekvence) [3]. Vybuzený tvar je antisymetrický a má vlastní frekvenci 2,400 Hz. Žádný z výpočtových modelů původně použitých nevyhovoval; viz obr.4. Zavedením jisté tuhosti ve směru

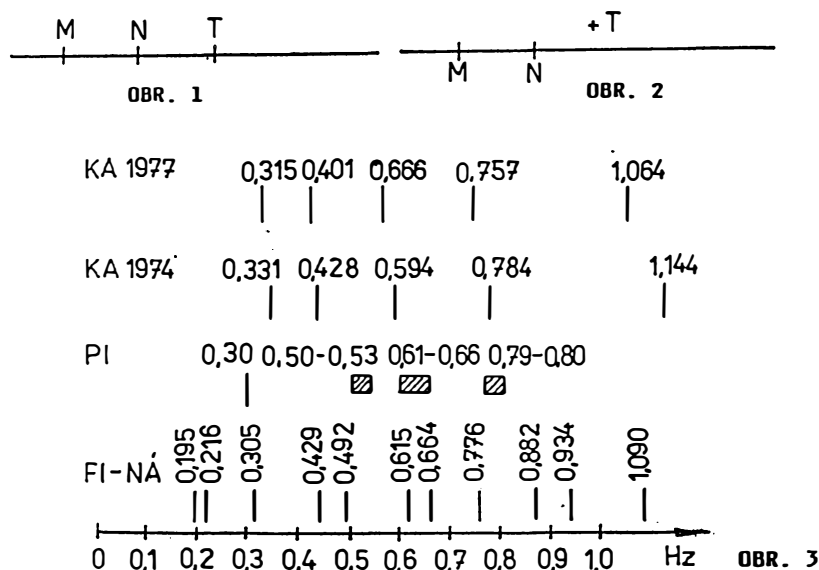
*) Diagnostika i monitorizace může být založena na sledu hodnot měřených veličin, bez jejich konfrontace s hodnotami teoretickými.

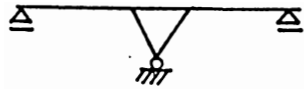
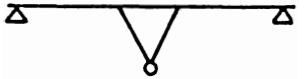
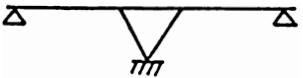
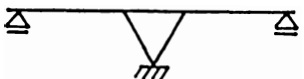
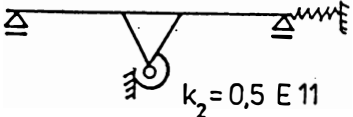
vodorovném a jisté tuhosti v místě vetknutí střední podpory se dosáhlo dobré shody ve vlastní frekvenci teoretické i experimentem zjištěné i v pořadí tvarů [3].

Třetí příklad ilustruje výskyt polohy bodu T mimo "osu chyb". Na obr. 5 je silniční most, jehož teoretického řešení pomocí rovinného výpočtového modelu stanovilo vlastní frekvence a příslušné vlastní tvary kmitání (obr. 5). Experimentální řešení stanovilo vlastní frekvence a vlastní tvary kmitání, které jsou v dobré shodě s teoretickými hodnotami. Výjimku tvoří vlastní tvar prostorového kmitání, který nemůže být stanoven rovinným výpočtovým modelem. Teprve prostorový výpočtový model napravit původní stav a bod T se posunul na "osu chyb" [4].

Literatura

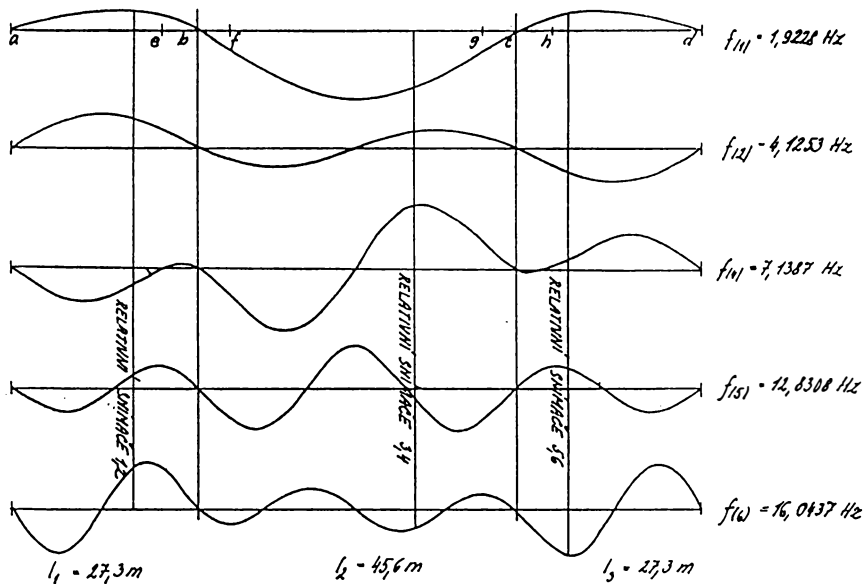
- [1] Kropáč, O.: Náhodné jevy v mechanických soustavách, SNTI 1987, Praha.
- [2] Fischer, O., Pirner, M.: Dynamika kotvených stožárů, Studie 2/1987, Academia.
- [3] Pirner, M.: Diagnostika silničního železobetonového mostu v Karlových Varech, TZÚS, zpráva 1985.
- [4] Pirner, M: Zpráva o dynamické zatěžovací zkoušce mostu v Rájově, TZÚS,



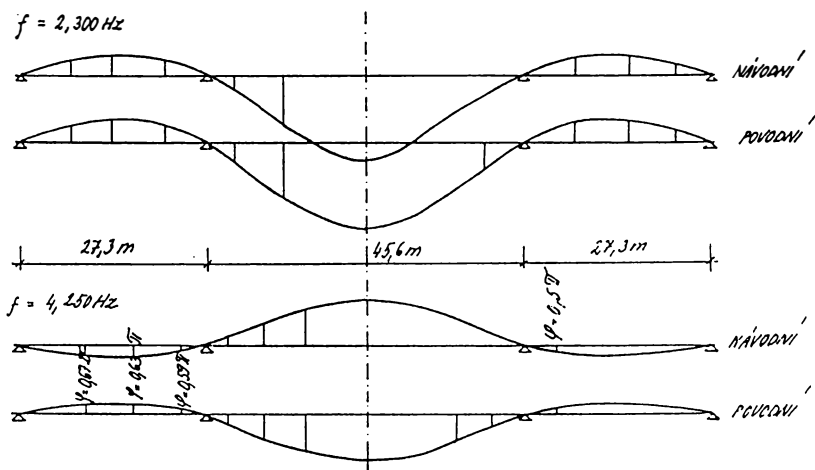
VÝPOČTOVÝ MODEL	NEJNIŽŠÍ FREKVENCE $f_{(1)}$	TVAR KMITÁNÍ MOSTOVKY
	0,72 Hz	ANTI
	2,29 Hz	SYM
	2,30 Hz	SYM
	1,38 Hz	ANTI
 $k_1 = 0,5 \text{ E } 10 \text{ Nm}^{-1}$ $k_2 = 0,5 \text{ E } 11$	2,392 Hz	ANTI
EXPERIMENT	$f_{(1)} = 2,400 \text{ Hz}$	ANTI

OBR. 4

KONSTANTNÍ PRŮŘEZ I HMOTNOST - VLASTNÍ TVARY KMITÁNÍ



OBR. 5



OBR. 6

Miroš Pirner, Prof. Ing. DrSc.

Ústav teoretické a aplikované mechaniky AV ČR, Vyšehradská 49, Praha 2

Telefon 297291/Fax 295903