

## ZVIDITELŇOVÁNÍ VIBRACÍ STROJNÍCH ZAŘÍZENÍ

Pavel NĚMEČEK  
Josef LAURIN

### Úvod

Diagnostika strojních zařízení je proces, při kterém jsou zpracovávány a hodnoceny signály, které dané strojní zařízení vysílá do svého okolí. Nejčastěji hodnoceným signálem jsou vibrace, neboť tento signál je u strojů s periodickým principem činnosti bohatý na informace, k dispozici je kvalitní měřicí technika a propracované metody hodnocení. Hlavním nástrojem vibrační diagnostiky je trend, který odhalí poškození strojního zařízení a pomáhá odhadnout zbytkovou životnost. V případě, kdy trend odhalí rostoucí poškození, je nutné přistoupit k metodám, které blíže lokalizují místo poškození, přinesou další informace o strojním zařízení a upřesní prognózu o zbytkové životnosti.

Diagnostické metody se však v poslední době stávají i pomůckou konstruktéra, nástrojem prodejce nebo reklamního poradce, pomáhají určit spolehlivost simulačních metod a určují nebo upřesňují pro ně okrajové podmínky.

### Metoda zviditelnění vibrací

Nevýhodou diagnostických metod je jejich relativní složitost, srozumitelnost úzkému okruhu operátorů a omezená možnost oslovit laickou veřejnost. Tuto nevýhodu odstraňuje vibrační metoda, která se nazývá „zviditelnění vibrací“ nebo též „provozní tvary kmitů“. Uvedená metoda je v principu jednoduchá, spočívá (pro konkrétní budicí frekvenci) ve stanovení amplitud vibrací v jednotlivých charakteristických bodech a vzájemných fází (obvykle k jednomu referenčnímu signálu). Tato experimentálně určená data slouží k animaci vibračního pohybu na obrazovce počítače. Při animaci je skutečný pohyb zesílen do výchylek vnímatelných lidským okem a zpomalen na nízkou frekvenci. Jedná se tedy o metodu, která spojuje měření a softwarové zpracování spekter vibrací.

Mezi hlavní vlastnosti metody zviditelnění vibrací patří :

- metoda neposkytuje úplnou identifikaci dynamických vlastností strojního zařízení (chybí údaj o budicí síle),

- metoda obecně nevyžaduje linearitu mezi budicími silami a odezvou ve formě mechanického pohybu,
- metoda je především zviditelněním skutečného, lidskými smysly neidentifikovatelného pohybu.

Mezi hlavní výhody patří:

1. srozumitelnost všem osobám, které mají nějaký vztah ke strojnímu zařízení (konstruktér, prodejce, majitel, obsluha, údržba atd.),
2. relativní jednoduchost při aplikaci,
3. velké množství sdělených informací,
4. aplikace do mnoha oblastí strojírenské výroby a provozu strojů,
5. běžný nárok na přístrojové vybavení a parametry počítače,
6. krátký čas mezi zadáním úlohy a stanovením výsledku,
7. aplikace v diagnostice.

Mezi nevýhody lze zařadit:

1. prozatím malé rozšíření v praxi,
2. nároky na znalosti, praxi a zkušenosti operátorů,
3. základní aplikovatelnost především pro stroje s periodickým principem činnosti (hlavně rotační stroje), po dobu měření musí být měřený signál stabilní.

Výstupem metody je především:

- animace vibračního pohybu na určité budicí frekvenci
- možnost multifrekvenční animace na více budicích frekvencích současně
- znázornění uzlů a kmiten
- znázornění trajektorií vibračního pohybu

Metoda má následující jednoduchý postup :

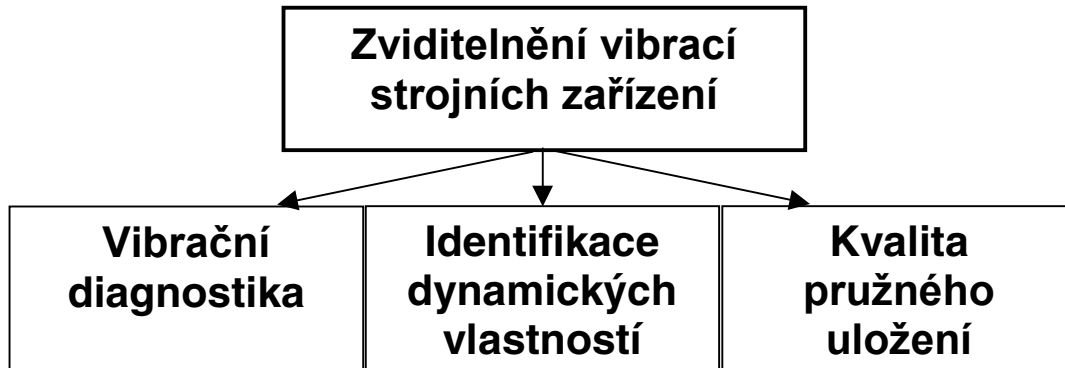
1. Provede se rozbor strojního zařízení s cílem určit důležité body, které tvoří drátový model.
2. Jeden z bodů se určí jako referenční (bod s bohatým signálem, ke kterému se vztahuje fáze).
3. Provede se měření křížových spekter (minimálně dvoukanálovým frekvenčním FFT analyzátozem), přičemž jeden kanál snímá trvale signál z referenčního bodu. Cílem je stanovení spekter amplitud a fází.
4. Data se softwarově zpracují.
5. Na obrazovce počítače se animuje pohyb strojního zařízení.

### **Základní oblasti aplikace v oblasti provozu strojů**

Metoda provozních tvarů kmitů nalézá v technické praxi uplatnění především ve oblastech znázorněných na schématu viz obr. 1. V případě aplikace ve vibrační diagnostice lze identifikovat :

- nesprávnou funkci (zvláště u strojů s vibrační technologií),

- uvolnění spojů,
- nesouosost hřídelí,
- změny tuhosti,
- rezonance.



Obr. 1 Uplatnění metody provozních tvarů kmitů

V případě identifikace dynamických vlastností lze určit :

- chování stroje v zástavbě,
- relativní pohyby částí soustrojí,
- způsob namáhání,
- hlavní budicí frekvence,
- přenos vibračního pohybu soustrojím.

V případě posouzení kvality pružného uložení lze určit :

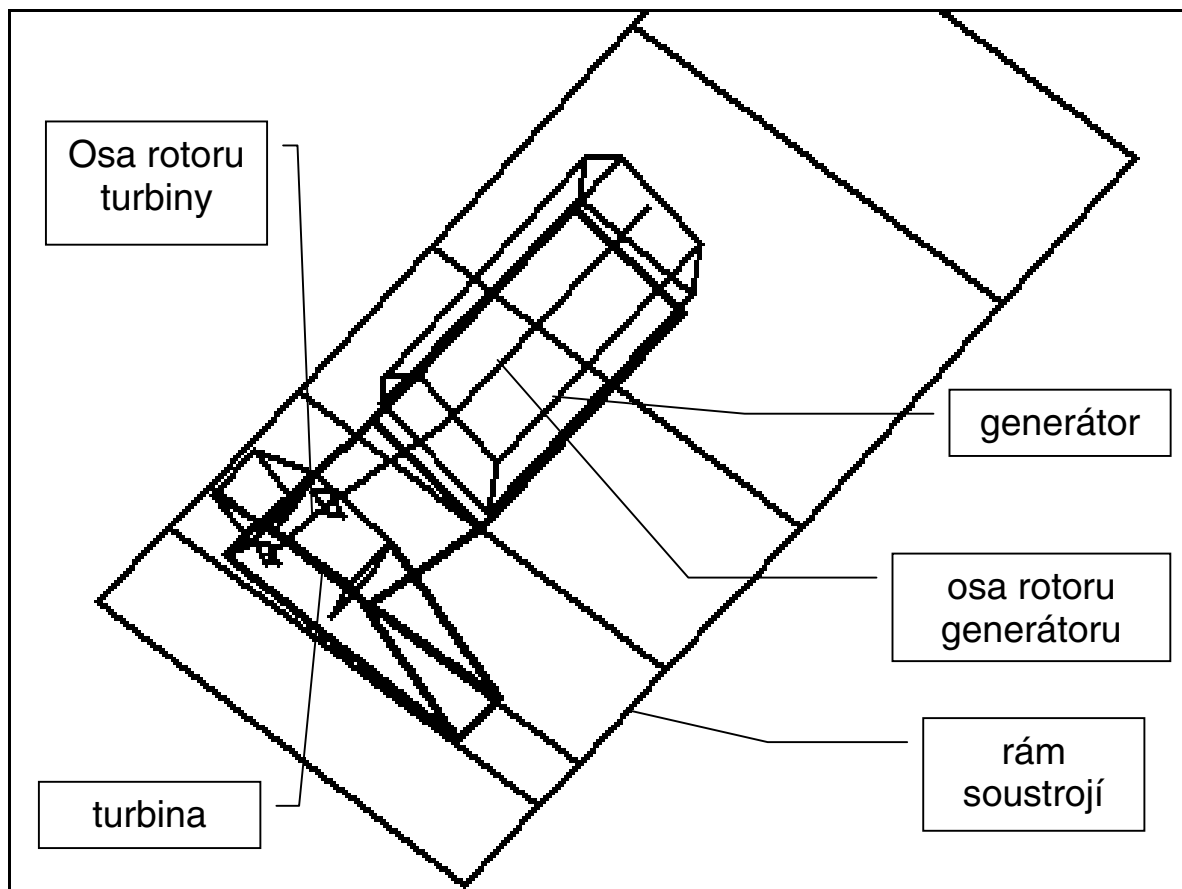
- přenos vibrací ze stroje na podložku přes pružný člen,
- způsob namáhání pružně uloženého stroje,
- rezonanční oblast,
- místa pro aplikaci pružných prvků,
- porovnání mezi pružně a nepružně uloženým strojem.

### **Aplikace v oblasti vibrační diagnostiky – malá vodní elektrárna**

Na následujícím příkladu je ukázána aplikace provozních tvarů kmitů na soustrojí malé vodní elektrárny, které vykazovalo zvýšené vibrace a vyzařování hluku do strojovny. Na obr. 2 je znázorněna krajní poloha drátového modelu na frekvenci 17 Hz.

Ze situace na obr. 2 je patrné, že osy rotorů generátoru a turbíny nejsou při pohybu totožné, což je způsobeno malou tuhostí rámu soustrojí, to je z tvaru též zřejmé. Po animaci před pracovníky, kteří soustrojí instalovali, bylo provedeno vyztužení rámu a změna hmotnosti (pro přeladění vlastní frekvence). Takto složitý drátový model byl zvolen na začátku řešení problému, při opakovaných měřeních se počet měřicích bodů redukoval na základny turbíny a generátoru, které dostatečně popisovaly pohyb obou hlavních částí soustrojí. Tato aplikace

je též typická pro identifikaci uvolnění spojů. Bylo zjištěno, že pomocný rám, který spojuje generátor a turbínu, měl uvolněné svarové spoje s hlavním rámem.



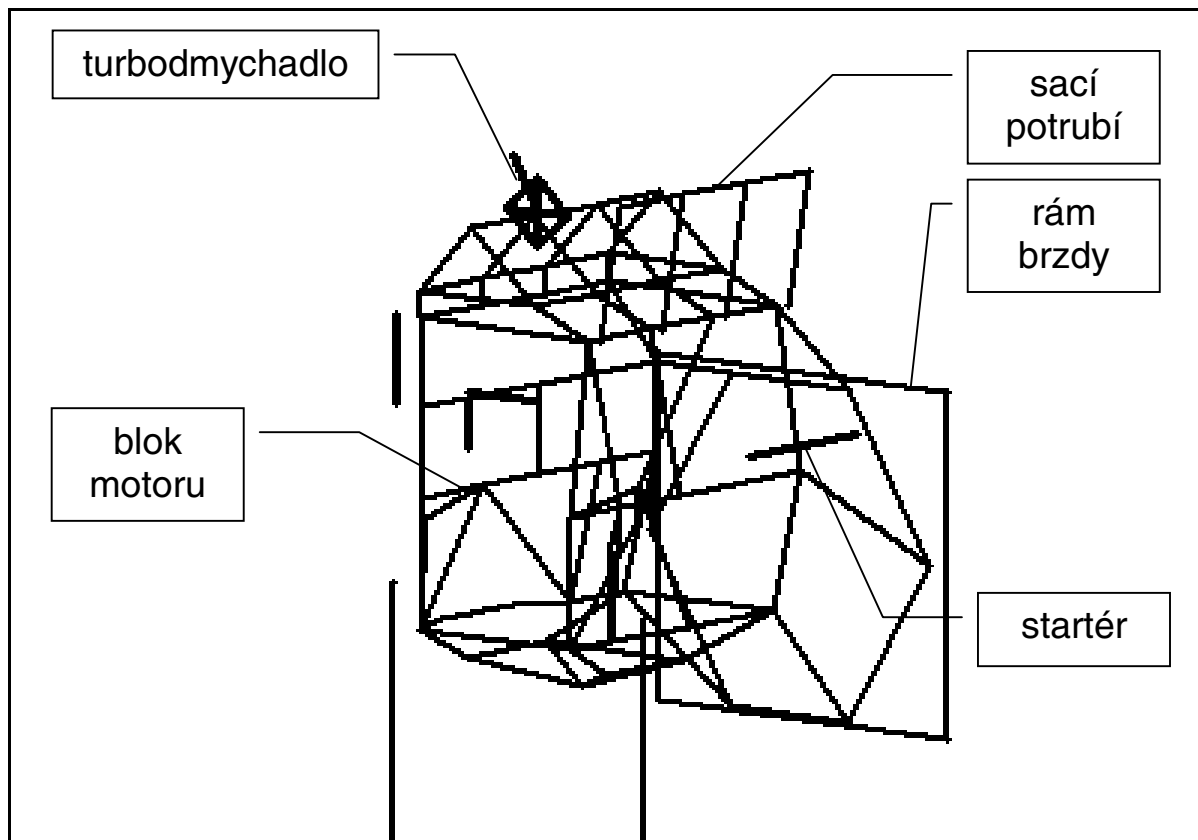
Obr. 2. Tvar kmitu soustrojí malé vodní elektrárny

### **Aplikace v oblasti identifikace dynamických vlastností – spalovací motor**

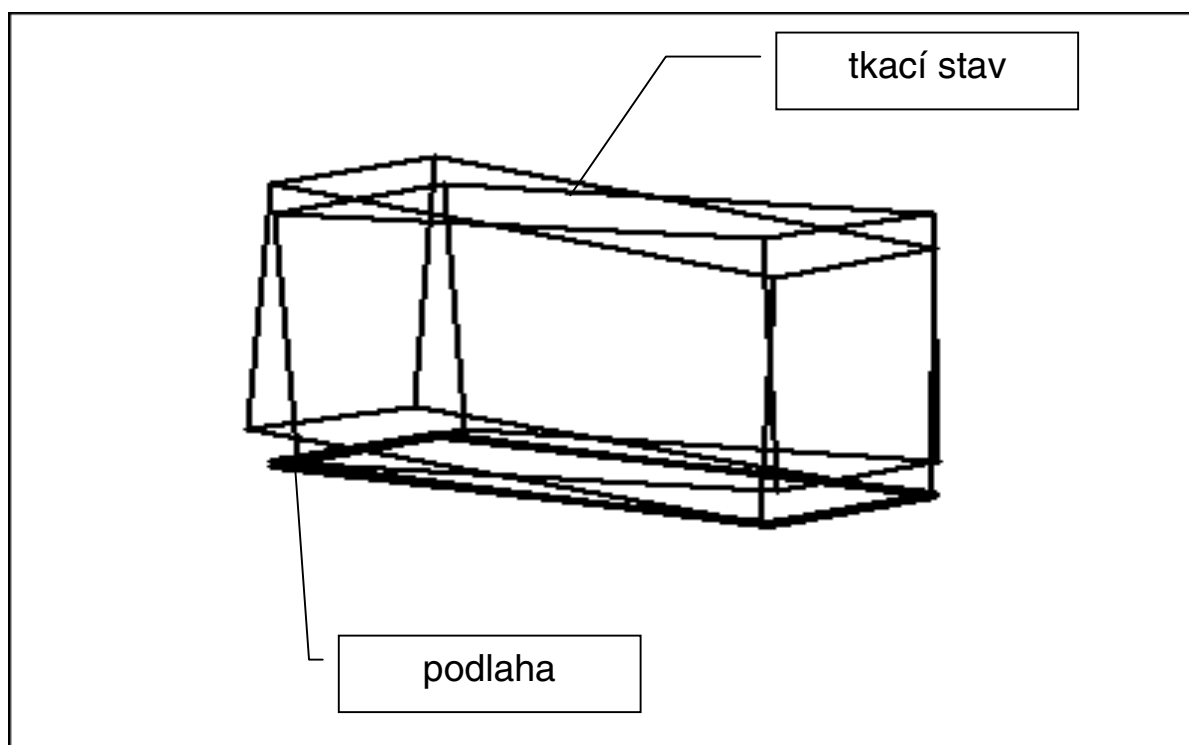
Na obr. 3 je uveden drátový model pro měření tvarů kmitů plynového čtyřválcového motoru při provozu na válcové brzdě, který byl stanoven za účel odhadu dynamického chování ve skutečné zástavbě. Složitý model obsahuje blok motoru, hlavní příslušenství a rám, ve kterém je motor na brzdě umístěn. Měření bylo provedeno při otáčkách maximálního točivého momentu v rámci výuky v předmětu „Experimentální metody“.

Po změření, vyhodnocení a animaci bylo zjištěno :

- vibrace motoru jsou výrazné na dvojnásobku otáčkové frekvence klikového hřídele (souvisí s nevyvážením), na otáčkové frekvenci jsou vibrace vyhovující,
- motor kývá ve svislé rovině rovnoběžné s osou klikového hřídele, tomuto pohybu musí být přizpůsobeno uložení v rámu vozidla,
- příslušenství nevibruje jako celek s blokem motoru.



Obr. 3 Drátový model plynového motoru na brzdě



Obr. 4 Krajní polohy vibrací pružně uloženého tkacího stavu

## **Aplikace při posouzení kvality pružného uložení – tkací stav**

Pro snížení namáhání haly s tkacími stavy bylo provedeno jejich uložení na pneumatických pružinách. Provozovatel vznesl požadavek na objektivní posouzení kvality vibroizolace a vlivu na deformace tkacího stavu (nesmí dojít k jeho zkrucování). Metoda stanovení provozních tvarů kmitů odpověděla na obě otázky současně. Na obr. 4 jsou uvedeny krajní polohy při vibraci stavu a podlahy na frekvenci tkaní.

Měřeními bylo zjištěno, že přenos do podlahy je minimální a stroj se na pneumatických pružinách pohybuje jako tuhý celek (kvádr drátového modelu). Z provozních tvarů lze též stanovit kinematický přenos stroj – podlaha jako podklad pro případné modelování uložení strojů v hale.

*Příspěvek byl zpracován s podporou projektů MŠMT ČR LN 00B07 a MŠMT ČR 242100001.*

### **Literatura :**

- [1] NĚMEČEK , P. : Zviditelnění vibračního pohybu malé vodní elektrárny. In. : Diagnostika '97 Vojenská akademie Brno 1997.
- [2] PEŠÍK, L. - NĚMEČEK, P. : Identifikace kmitavého pohybu pružně uloženého stroje. In. : XXXVII konferencia katedier částí a mechanizmov strojov Bratislava 1997. STU Bratislava 1997.

**Autoři :** doc. Dr. Ing. Pavel Němeček  
doc. Ing. Josef Laurin, CSc.  
Fakulta strojní / katedra strojů průmyslové dopravy  
Technická univerzita v Liberci, Hálkova 6, 461 17 Liberec, ČR

### **Resumé :**

V příspěvku je stručně popsána metoda zviditelnění kmitů strojních zařízení a na třech příkladech je uvedena její aplikace v oblasti energetiky, spalovacích motorů a v textilní výrobě.

## **ANIMATION DER SCHWINGUNGSBEWEGUNG VON DEN MASCHINEN**

### **Zusammenfassung :**

Im Beitrag wird kurzgefasst die Methode für die Animation der Schwingungsbewegung von den Maschinen und Anlagen beschrieben. Drei Beispiele zeigen ihre Ausnutzung im Bereich der Energieversorgung, der Verbrennungsmotoren und der Textilherstellung.