

# VÝZVY PRO INOVATIVNÍ METODY MĚŘENÍ A DIAGNOSTIKY

www.mmspektrum.com/130751

Ústav výrobních strojů a zařízení, VCSVT, FS ČVUT v Praze

*Když se na začátku milénia utvářela ve Výzkumném centru pro strojírenskou výrobní techniku a technologii (VCSVT) při ČVUT v Praze, Fakultě strojní, skupina měření a diagnostiky, netušili jsme, že naším chlebem nebudou jen obráběcí stroje, jejichž konstrukci jsme na Strojní fakultě studovali, ale že nás čas zavede i do odvětví na hony vzdálených našemu oboru.*

Samotná vibrodiagnostika se stala dobrodružstvím, ve kterém bylo získávání poznatků doprovázeno nadšením z objevování neprobádaných zákoutí tohoto oboru, jehož kolébkou jsou především energetické

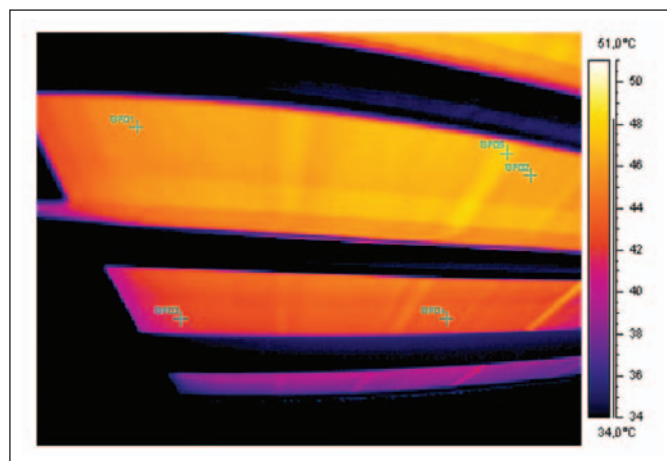
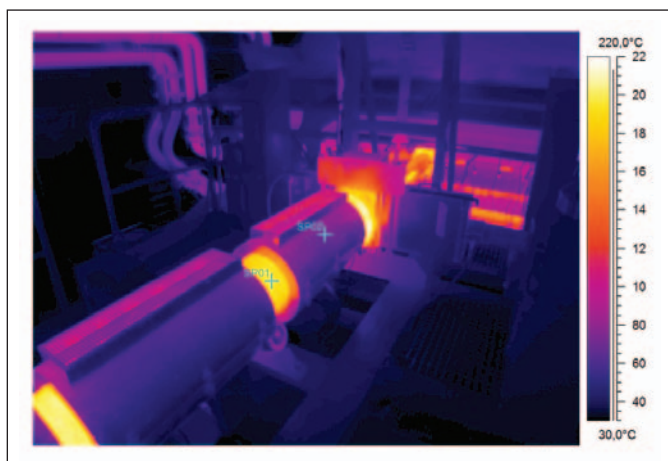
## Měření vibrací na rotoru turbíny

Začneme tedy od zmíněné kolébky vibrodiagnostiky – měření vibrací na rotoru oběžného kola Francisovy turbíny vodní elektrárny. Měření relativních vibrací na hřídeli, případ-

pro monitoring procesu výroby polyetylenové hydroizolační fólie. Technologicky složitý proces výroby fólie ve specializované lince, kde na jedné straně je horoucí lázeň PE taveniny a na druhé vychází finální fólie navinutá na obrovském kotouči, byl monitorován termokamerou operace po operaci. Účelem měření bylo posoudit osové souměrnosti teplotního pole na nekonečném pásu fólie a eliminovat vlivy nerovnoměrného chlazení fólie v průběhu procesu výroby.

## Diagnostika kmitání struny

Stroje na výrobu nanovláken sice patří do kategorie výrobních strojů, ale jejich konstrukce, příslušné technologické procesy a charakter dynamického namáhání jsou natolik unikátní, že přenesení jakýchkoli zkušeností z oblasti měření obráběcích strojů je velmi obtížné. Rám zkoušeného stroje pro výrobu filtračního papíru je svařen z polyetylenových desek a veškeré kovové části konstrukce musejí být vzájemně izolovány. Tvorba nanovláknové struktury probíhá uvnitř stroje současně s mnoha chemickými procesy



Měření teplotního pole termokamerou, vlevo extrudér, vpravo sledovaný pás fólie

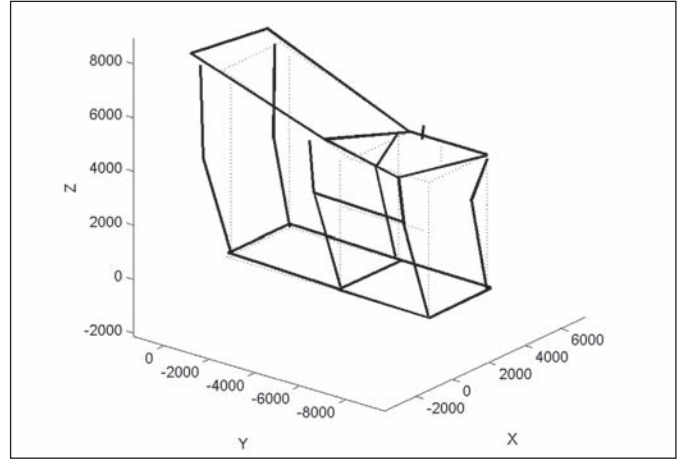
stroje (turbogenerátory, kompresory, vzduchotechnika atp.). Postupem času, jak jsme profesně rostli, se ona nepoznaná zákoutí objevovala již méně často, a jak tomu často bývá, práce rutinní povahy již tolik neinspiroje. Přesto se nám občas do cesty připlety případy ne tak zcela související s naším oborem nebo vyžadující netradiční přístup ke stanovení diagnózy. A opět se objevilo to nadšení z objevování nového, a poté finální uspokojení z vyřešení zapeklitého problému. Tento článek nemá být oslavou těchto malých vítězství, ale spíše nabádá k zamyšlení, jak se náš obor diagnostiky rozšířil, a to díky neskutečně rychlému rozvoji a zlevňování elektroniky a sensoriky. Ta se pak snáze dostane do oborů, kde jí dříve kvůli vysoké ceně nebylo možné uplatnit. Následující odstavce shrnují některé zajímavé případy realizovaných měření v širokém spektru strojírenských odvětví.

ně absolutních vibrací na statoru, nepřinášela přesvědčivé informace potvrzující domněnku o nadměrném kmitání rotoru, ani vysvětlení příčiny tohoto chování. Ve finále bylo nutné měřit kmitu rotoru přímo, za všech režimů provozu, při plném natlakování. Měření bylo realizováno pomocí laserového vibrometru (na principu Dopplerova efektu), jehož paprsek cílil na rotor skrz speciálně vyrobený průhledný tlakový uzávěr. Teprve tato metoda odhalila charakter a pravou příčinu vibrací turbíny. Na základě těchto poznatků byla vyslovena doporučení pro servisní práce v rámci plánované odstávky soustrojí.

## Sledování technologického procesu termokamerou

Dalším zajímavým příkladem měření (spíše s ohledem na exotické prostředí než na způsob realizace měření) je využití termokamery

sy mezi dvěma elektrickými potenciály s rozdílem napětí 80 kV. Jednou elektrodou jsou tenké ocelové struny, na něž je nanášen polymer, druhou elektrodou tvoří ocelová deska. Mezi těmito elektrodami probíhá nosný papír, na němž ulpívá vrstva nanovláken vzniknuvší v silném elektrickém poli z kapiček polymeru. Nepatřičné rozkmitávání struny zřejmě způsobuje nehomogenitu nanovláknové struktury. Změřit kmitání struny za plného provozu je velmi obtížné – uvnitř nefunguje žádná elektronika a ze stroje nesmí vést žádné vodivé části (kabely atp.). Pro prvotní náhled na problematiku bylo provedeno měření bez zapnutých elektrických obvodů. Na strunu o průměru 0,2 mm cílilo triangulační laserové čidlo výchylky. Byly zjištěny vlastní frekvence kmitání struny a jejich změna v závislosti na poloze pojezdu plniče polymeru. V tuto chvíli pracujeme na ryze optické variantě měření za provozu s využitím optických vláken.



Měření provozních tvarů kmitů - měřený objekt a vizualizace tvaru kmitu

### Měření vibrací za extrémních teplot

Čas od času je třeba hledat a případně i posunout hranice použitelnosti přístrojové techniky v různě extrémních prostředích. Do této kategorie patří i měření vibrací na plášti jímkových teploměrů u vysokotlakého parního potrubí. Tyto platínové teploměry vykazují problémy s dlouhodobou životností, kdy vlivem vibrací na potrubí je tenká spirálka platiny uvnitř teploměru narušována pohybem velmi jemného výplňového písku. Přesnost teploměru časem klesá, až dojde k jeho úplnému zničení. Vznikl tedy projekt na optimalizaci konstrukčního uspořádání teploměrů a naším úkolem bylo změřit spektrum přítomných vibrací tak, aby mohly být poté tyto vibrace simulovány při dlouhodobých životnostních zkouškách. Použití běžných akcelerometrů je limitováno teplotami do cca 100 až 150 °C a vzhledem k charakteru prostředí, kde bylo měření realizováno (skutečný provoz teplárny a elektrárny, měření ve výšce, v prachu, za extrémních teplot), nepřipadalo v úvahu použití laserového vibrometru či jiných bezkontaktních čidel. Zvolením vhodné metodiky a za použití jednoduchého přípravku se podařilo tato data změřit třísým nábojovým akcelerometrem.

### Provozní tvary kmitů a modální analýza velkých konstrukcí

Měření vlastních tvarů kmitání nebo provozních tvarů kmitů patří mezi účinné metody pro odhalení slabých míst konstrukce. V celkové vizualizaci je názorně vidět, jak se konstrukce deformuje na vybrané frekvenci či za provozu stroje. Tato technika se samozřejmě uplatňuje nejen u obráběcích strojů, ale také obecně u jakéhokoliv typu konstrukce. Měli jsme takto možnost měřit a vizualizovat vlastní tvary kmitání skříně vozu metra nebo měřit provozní tvary kmitů rámu třídiče písku. Na základě jednoduché analýzy těchto výsledků měření je poté možné navrhnout a realizovat nápravná opatření ke snížení hladiny kmitání měřené konstrukce.

### Tenzometrický kroužek pro měření axiálních sil

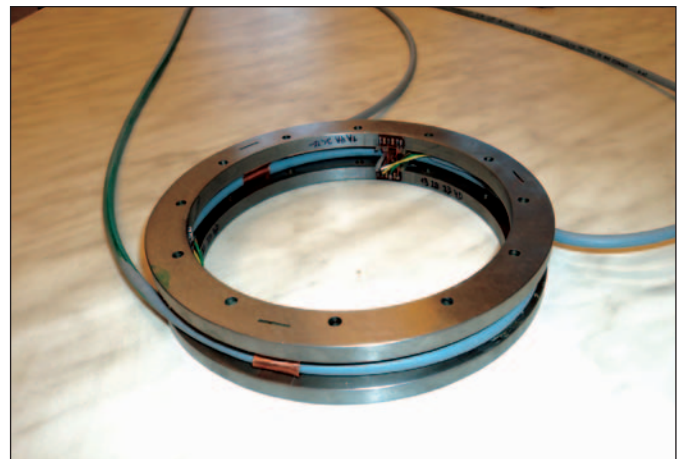
Ne vždy je však výsledek experimentu či měření tak jednoznačný. Před časem jsme byli osloveni nejmenovanou firmou, abychom navrhli speciální tenzometrický kroužek, vkládaný mezi ložiska uložení hřídele pro měření příslušných axiálních sil. S ohledem na minimální prostor mezi ložisky nebylo

možné použít standardně dodávané prvky – snímače síly – a bylo nutné navrhnout specifickou konstrukci měřicího kroužku a osadit jej tenzometrickými můstkami. S takovýmito měřicími kroužky máme již zkušenosti a s úspěchem je využíváme na našich měřicích stolicích. Zde byly ovšem navíc předepsány relativně nepříznivé provozní podmínky. Výroba kroužku a prvotní experimenty v laboratoři proběhly úspěšně, ovšem v provozu se ukázalo, že měření vykazuje značnou hysterezi a bude tedy nutné konstrukci kroužku mírně upravit. Tato zkušenost však byla zřejmě nutná, neboť i slepé uličky pomáhají nalézt cestu, kudy se ve finále ubírat. Zároveň tento případ znovu ukázal, jak ošidné může být „prosté“ přenesení zkušeností z laboratorní praxe do provozu.



V závěru je třeba říci, že zkušební laboratoř VCSVT se zabývá především měřením obráběcích strojů (zejména zkouškami přesnosti, tepelného chování, dynamického chování, stability obrábění atp.) a výše uvedené případy patří do naší oblíbené sbírky „kuriózit“.

ING. PETR CHVOJKA, PH.D.



Měření kmitání struny a tenzometrický měřicí kroužek