



## Technická diagnostika – metódy a trendy

Technická diagnostika je definovaná ako proces, pri ktorom sa zisťuje aktuálny technický stav objektov na základe objektívneho vyhodnotenia príznakov zistených prostriedkami meracej techniky. Technickú diagnostiku možno členíť podľa rôznych kritérií. Napríklad z hľadiska potreby demontáže na demontážnu a bezdemontážnu, z hľadiska spôsobu vykonávania analýz na subjektívnu a objektívnu, podľa druhu analyzovaných parametrov, príp. meraných veličín, na vibrodiagnostiku, akustickú diagnostiku, termodiagnostiku, elektrodiagnostiku, tribodiagnostiku a pod.

### Vibroakustická diagnostika

Medzi moderné metódy technickej diagnostiky stále patrí najmä vibroakustická diagnostika (obr. 1). Vibrácie strojných zariadení poskytujú množstvo informácií o ich technickom stave a funkcii. Na meraní vibrácií je založené i monitorovanie stavu strojov a ich diagnostika. Pri najjednoduchšom spôsobe sa meria celková úroveň vibrácií v určitom frekvenčnom rozsahu, tzv. mohutnosť kmitania. Uvedeným spôsobom však nie je možné identifikovať príčiny alebo stupeň poškodenia komponentov zariadení. Tieto informácie možno získať napr. využitím metód frekvenčnej analýzy, keď sa analyzujú úzkopásmové spektrá vibrácií z vhodne zvolených meracích bodov. Pri diagnostike porúch sa vychádza z charakteristických frekvencií chvenia pre rôzne druhy porúch (nevyváženosť, nesúosovosť, rôzne poškodenia ložísk, ozubených kolies a pod.). Takto sa analyzujú jednotlivé, najmä dominantné frekvenčné zložky spektier vibrácií strojov. Analýza signálov vo frekvenčnej oblasti umožňuje na základe porovnania s referenčným spektrom vibrácií identifikovať zmeny technického stavu zariadení, ako napr. poškodenie či opotrebenie ložísk, nevyváženosť, uvoľnenie. Spracovaním časového priebehu

amplitúd určitých frekvenčných zložiek typických pre určité poškodenie možno hodnotiť tiež trendy postupného zhoršovania technického stavu a pod. V určitých prípadoch sa využívajú i analýzy signálu v časovej doméne, ale i ďalšie nástroje ako napr. analýza obálky, cepstrum či wavelet transformácia.

Vibrodiagnostika v oblasti elektrických zariadení umožňuje okrem identifikovania mechanických porúch analyzovať napr. aj príčiny vzniku vibrácií elektromagnetického pôvodu. V oblasti elektromotorov (v závislosti od ich typu a konštrukcie) môžu tieto príčiny spočívať napr. v premenlivej vzduchovej medzere, skrate vinutia, uvoľnených magnetoch a cievkach, prasknutých rotorových tyčiach, skratovaných rotorových alebo statorových plechoch.

Pri diagnostike strojov sa dnes často využíva ultrazvuk. Krátkovlnný charakter ultrazvukového signálu poskytuje z hľadiska diagnostiky rôzne výhody, ako je včasné zachytenie už malých zmien v kontrolovanom systéme, rýchla lokalizácia problematických miest uľahčená smerovosťou a nízkou energiou takéhoto vyžarovania a pod. Ultrazvuk sa šíri v tuhých látkach, kvapalnom i plynnom prostredí. Pri meraní ultrazvuku vo vzduchu sa používa ultrazvukový mikrofón.





Obr. 1 Prenosný analyzátor SKF Microlog

Možno ho použiť napr. na detekciu netesností (v tlakových a vákuových systémoch) či elektrického iskrenia. V oblasti štruktúrálnej detekcie miest spojených s generovaním ultrazvuku sa používajú piezoelektrické alebo MEMS senzory. Z tejto oblasti je známe využitie ultrazvukových metód pri problémoch s mazaním, resp. trením, včasnej detekcii poškodení valivých ložísk, chýb pohonov, prevodov a pod. Čo sa týka dostupnej meracej techniky, na pochôdzkové meranie sa využíva napr. SKF Inspector 400 (obr. 2), na automatizované meranie to môže byť merací systém vybavený napr. ultrazvukovým senzorom UCA 586.



Obr. 2 SKF Inspector 400

V oblasti monitorovania chodu strojných zariadení umožňuje zavedenie ultrazvukových meraní významné rozšírenie prediktívnych schopností systému. Pri identifikácii problémov s mazaním (rôzne trecie uzly) a poškodením valivých ložísk možno využiť trendové charakteristiky alebo analyzovať časové priebehy a spektrá. V počiatočnom štádiu chýb možno zachytiť zmeny najmä v časovej oblasti. Z tohto dôvodu sa pri ultrazvukových analýzach uprednostňuje pred spektrálnou analýzou najmä analýza v čase.

Ďalšou oblasťou využitia ultrazvukových meraní môžu byť tzv. systémy EoLT (z angl. End-of-Line Test System), ak bežné vibrodiagnostické metódy neumožňujú spoľahlivú identifikáciu určitého problému (napr. výskyt rušivých zvukov v súvislosti s trením), a teda odlišenie výrobku OK a NOK. Ide o významnú oblasť technickej diagnostiky, čo potvrdzuje i tvorba technických noriem v oblasti ultrazvukových meraní. Problematike ultrazvukového monitorovania stavu strojov sa venuje napr. medzinárodná norma ISO 29821.

### Termodiagnostika

Vďaka rozvoju bezdotykových metód merania teploty povrchu telies sa čoraz viac uplatňuje v rôznych oblastiach priemyslu termodiagnostika. Táto metóda spočíva vo využití merania teploty povrchu telies na odlišenie miest s rôznou teplotou. Výstupom je obyčajne



Obr. 3 Rádiometrický infračervený kamerový modul InfraTec PIR uc 605

termografická snímka. Ďalšou analýzou sa potom hľadajú príčiny zvýšenej teploty (nadmerné trenie, poruchy mazania, zvýšený elektrický odpor a pod.). Medzi najrozšírenejšie priemyselné aplikácie termovízie patrí napr. kontrola dosiek plošných spojov (obr. 3), analýza stavu elektromotorov (skruty vo vinutiach, nedokonalé spoje, problém s mazaním valivých ložísk) a pod.

### Elektrodiagnostika

Druhy testov závisia od typu testovaného zariadenia. V prípade elektromotorov to môžu byť skúšky vinutia (odpor, indukčnosť), momentové charakteristiky, parametre riadiacej jednotky motora, testy konektorov a pod. Niektoré problémy indukčných elektromotorov možno diagnostikovať na základe analýzy napájacieho prúdu (analýza prúdových spektrier). Meranie je nutné vykonávať pri zaťaženom motore, pri meraní bez zaťaženia sa poruchy v spektre neprejavujú. Hlavnou výhodou tejto metódy je možnosť merania počas bežnej prevádzky zariadenia.

### Tribodiagnostika

V prevádzke strojného zariadenia sa v dôsledku opotrebenia uvoľňujú častice kovov alebo ich zlúčeniny. Tieto produkty opotrebenia vyplavuje mazací olej z trecích uzlov a spolu s olejom cirkulujú v mazacom systéme zariadenia. S narastajúcim opotrebením rastie i koncentrácia týchto častíc v oleji. Tribodiagnostika patrí medzi bezdemontážne metódy technickej diagnostiky, ktorá využíva na získanie informácií o rôznych dedoch a zmenách v mechanických systémoch použité mazivo.

Sledovanie stavu opotrebenia jednotlivých trecích uzlov zariadenia sa vykonáva na základe určenia obsahu cudzích látok v mazive (produktov opotrebenia), pričom dôležitý je najmä trend nameraných hodnôt. Analýzou množstva, veľkosti a tvaru týchto častíc možno nielen včas upozorniť na príznaky blížiacej sa poruchy (príp. prognózovať zvyškovú životnosť), ale často i lokalizovať miesto vzniku určitej mechanickej poruchy. Sledovanie zmien kvality vlastného maziva sa vykonáva meraním a analýzou jeho rôznych parametrov, ako sú viskozita, kyslosť, bod vzplanutia, obsah nečistôt a pod. Takto možno určiť napr. životnosť maziva. Zvýšené množstvo nečistôt v mazive znamená nielen väčšie opotrebenie mazaných častí, ale môže spôsobiť i poruchy funkcie mazacej sústavy. Na základe určenia životnosti mazív možno definovať i optimálne intervaly ich výmeny.

### Nasadenie moderných metód technickej diagnostiky v oblasti priemyselnej výroby

Uvedené metódy technickej diagnostiky sa v minulosti využívali pri vývoji nových strojov, v oblasti prediktívnej údržby strojov a zariadení a pod. Niektoré z týchto metód dnes nachádzajú uplatnenie aj v oblasti výstupnej (EoLT) alebo medzioperačnej kontroly rôznych produktov na montážnych linkách (obr. 4). V súčasnosti sa napr.





Obr. 4 Modulárny merací systém spoločnosti National Instruments na báze LabVIEW, využiteľný aj v oblasti automatizovaných meraní na EoLT

metódy založené na meraní vibrácií používajú v oblasti kontroly a triedenia valivých ložísk, finálnej kontroly elektromotorov, prevodoviek a pod.

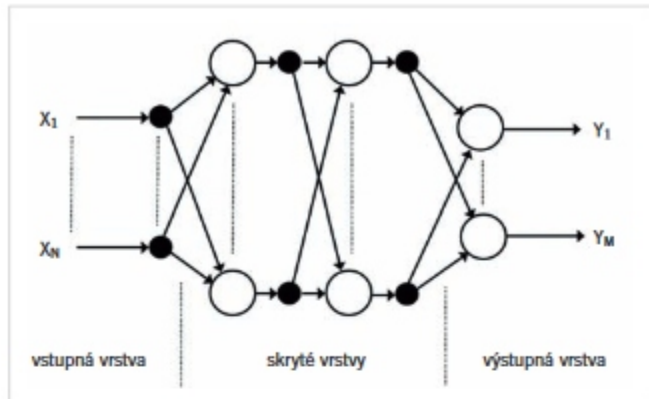
Okrem uvedených metód technickej diagnostiky tu dochádza aj k širokému nasadeniu strojového videnia. Použitím digitálnych obrázkov kombinovaných s modelmi hlbokého učenia sú stroje schopné napr. presne identifikovať a klasifikovať objekty a následne zodpovedajúco reagovať. Pre priemernú prax v oblasti technickej diagnostiky je momentálne charakteristická požiadavka na spracovanie veľkého množstva dát v krátkom čase. Táto úloha sa zvyčajne rieši využitím metód umelej inteligencie. Stroje a zariadenia v moderných priemyselných prevádzkach sú vybavené riadiacimi jednotkami, zvyšuje sa využitie autodiagnostických systémov, dochádza k sieťovaniu informačných a výrobných technológií, a to až na úroveň jednotlivých elektronických a mechanických komponentov strojov (internet vecí). Ďalším trendom je čoraz širšie využívanie bezdrôtových technológií ako GSM, Bluetooth, WiFi a pod.

### Expertné systémy v oblasti technickej diagnostiky

Expertné systémy sú obvyčajne počítačové programy, ktoré simulujú rozhodovacie činnosti skutočného odborníka. Tieto systémy využívajú vhodne reprezentované špecializované znalosti s cieľom dosiahnuť kvalitu rozhodovania v určitej oblasti na úrovni experta (pri rovnakých vstupných dátach by mal systém rozhodovať rovnako). V oblasti technickej diagnostiky to môže byť napr. pri automatizovaných meraniach na EoLT rozhodnutie, či je kontrolovaný produkt OK alebo NOK, pri monitorovaní nejakého systému pod tlakom to môže znamenať spustenie alarmu, ak dôjde k narušeniu jeho tesnosti a pod.

Základom expertných systémov v oblasti technickej diagnostiky je dnes často vhodne zvolená a natrénovaná neurónová sieť (napr. typu CNN, RNN a pod.). Neurónová sieť je obvyčajne sieť určitým spôsobom prepojených neurónov. Historicky najstarší model neurónu je zložený zo sčítacieho člena, na ktorý sa privádzajú vstupy neurónu  $X_1$  až  $X_N$  násobené reálnym číslom  $w$ , tzv. váhou. Počty neurónov a počty vrstiev sú parametrami siete a ich voľba závisí od riešenej úlohy. V praxi sa odhadujú pomocou heuristických (orientačných) pravidiel alebo experimentálne – natrénovaním niekoľkých sietí s rôznymi parametrami a výberom najlepšej. Činnosť neurónovej siete je určená váhami aplikovanými v skrytých a výstupných uzloch. Hodnoty váh sa obvyčajne upravujú využitím učiaceho algoritmu tak, aby bol minimálny rozdiel medzi skutočným a požadovaným výstupom. Tento postup vyžaduje dostatočne veľkú tréningovú množinu, v prípade EoLT sú to kusy OK a NOK. Najrozšírenejšou neurónovou sieťou je viacvrstvová sieť s dopredným šírením (obr. 5). Uzly vo vstupnej vrstve nevykonávajú žiadnu funkciu, slúžia len na rozdeľovanie vstupných signálov. Vstupná vrstva sa z tohto dôvodu obvyčajne nezapočítava do celkového počtu vrstiev siete. Výstup neurónu určitej vrstvy je vedený do vstupov všetkých neurónov nasledujúcej vrstvy. Vrstvy neurónov, ktoré sa nachádzajú pred výstupnou vrstvou, sa nazývajú skryté.

Využitie strojového učenia je zaujímavé napr. pri klasifikácii obrazových dát. V oblasti technickej diagnostiky tomu zodpovedajú napr.



Obr. 5 Schéma viacvrstvej neurónovej siete

aplikácie spočívajúce v meraní teploty povrchu telies (termodiagnostika) či akustického tlaku prostredníctvom poľa mikrofónov (monitorovanie využitím akustickej kamery – počuteľný aj ultrazvukový frekvenčný rozsah). Základom tu je využitie neurónovej siete pracujúcej s termosníkmi a hologramami s tým, že vstupná vrstva má toľko vstupov, koľko má obrázok pixelov (informácie o farbe predstavujú teplotu, akustický tlak) a výstupná vrstva má toľko výstupov, koľko tried porúch treba klasifikovať.

Dnes je k dispozícii množstvo softvérových balíkov obsahujúcich rôzne algoritmy strojového učenia (napr. RapidMiner, Weka, KNIME, Shogun toolbox, Scikit-learn, Apache Mahout), tiež on-line platformy, ako sú Microsoft Azure Machine Learning, TensorFlow a pod. Spolu s rastúcou úrovňou automatizácie tak môže k ďalšiemu zvyšovaniu efektívnosti výrobných procesov prispieť aj implementovanie rôznych inteligentných riešení z oblasti moderných metód technickej diagnostiky.

### Ing. Ján Haško, PhD.

má dlhoročné skúsenosti z praxe so zameraním najmä na NVH experimentálne metódy, ale aj iné technické merania a analýzy používané pri vývoji vozidiel. Absolvoval inžinierske štúdium v odbore konštrukcia dopravnej techniky a doktorské štúdium so zameraním na optimalizáciu dynamických vlastností hnacieho ústrojenstva vozidiel na Strojníckej fakulte STU v Bratislave. Pracoval na rôznych pozíciách vo vývojových oddeleniach viacerých renomovaných výrobcov automobilov a ich dodávateľov na Slovensku, v Českej republike a Nemecku. Venoval sa najmä riešeniu problematiky hluku a vibrácií hnacieho ústrojenstva vozidiel a podvozkových systémov (brzdy a elektromechanické systémy riadenia), ako aj návrhu koncových testerov na základe vibrodiagnostiky. Okrem rozsiahleho množstva meraní a analýz realizovaných v rámci riešenia rôznych projektov je autorom viac ako 70 výskumných a vývojových prác, štúdií, recenzií, školiacich materiálov a odborných článkov najmä z oblasti vibroakustiky. V súčasnosti sa špecializuje predovšetkým na štruktúrne analýzy, konštrukčné riešenia rôznych zariadení z hľadiska optimalizácie ich vibroakustických vlastností (kvalita zvuku) a tiež na technickú diagnostiku strojov a zariadení.

### Literatúra

- [1] Firemné materiály SKF, UE SYSTEMS INC., InfraTec, Emerson Electric (National Instruments)
- [2] Chollet, F.: Deep learning v jazyku Python. Praha: GRADA 2019.
- [3] Kreidl, M. – Šmíd, R.: Technická diagnostika. Sensory – Metody – Analýza signálu. Praha: BEN 2006.

### Ing. Ján Haško, PhD.

jan.hasko@jhengineering.sk