



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

# Výukové texty

pro předmět

*Automatické řízení výrobní techniky*

(KKS/ARVT)

na téma

## Podklady k automatizaci testování a diagnostiky výrobních strojů (dálková zpráva, zabudované zařízení)

Autor: Doc. Ing. Josef Formánek, Ph.D.



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

# Podklady k automatizaci testování a diagnostiky výrobních strojů (dálková zpráva, zabudované zařízení)

## Porucha, vada, provozuschopnost, funkčnost

Objekt je provozuschopný jestliže je schopen vykonávat stanovené funkce dle technických podmínek.

**Porucha** (*failure*) je pak jev způsobující ukončení provozuschopnosti objektu.

**Funkčnost** objektu je schopnost objektu vykonávat specifickou funkci dle technických podmínek.

Technický systém může být ve stavu funkčním, ale pokud není schopen vykonávat všechny funkce dle technických podmínek, není provozuschopný. V praxi zřídka dochází k tzv. náhlé poruše (někdy až ke katastrofické poruše se závažnými následky) vlivem skokové změny jednoho nebo více parametrů, ale k postupné změně hodnot parametrů. Tento jev je označován jako vada.

**Vada** (*fault*), což je stav, při němž dochází k odchylce hodnoty měřeného parametru bez příčinné souvislosti (např. v chování objektu) přičemž nejsou překročeny meze předepsané v technických podmínkách.

Technický stav se zhoršuje postupně. U materiálů strojních objektů způsobuje zhoršení např. adhezni, abrazivní, erozivní, kavitační, únavové a vibrační opotřebení, koroze, deformace, šířící se trhliny, nebo degradační změny v integrovaném obvodu apod. Všechny poruchy jsou vadami, ale ne všechny vady jsou poruchami. Kromě postupných a náhlých poruch jsou velmi nebezpečné poruchy občasně, které trvají po omezenou dobu. Po určité době výrobek opět dosáhne bezporuchového stavu bez vnějšího zásahu. Občasně poruchy se mohou opakovat.

## Technický stav objektu

Obecně se technický systém považuje za danou množinu elementárních prvků, množinu vzájemných vazeb (relací) mezi těmito prvky a množinu vazeb (relací) mezi prvky a prvky okolního (vnějšího) prostředí. Takto definovaný systém označujeme jako relační strukturu objektu. Elementární prvky jsou reálné části objektu a vazby mezi prvky jsou dány např. silovým působením, sdílením energie, předáváním informace apod. Ve vztahu s okolím lze vyčlenit dvě podstatné podmnožiny prvků, a to vstupní a výstupní prvky s relací vůči prvkům



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

okolí. V systému nejsou jen reálně existující hmotné prvky, ale také atributy těchto prvků, tj. vlastnosti prvků nebo parametry charakterizující tyto vlastnosti, tj. numerické nebo nenumerické proměnné. Podobně vazby systému lze nahradit jejich atributy, tj. jejich vlastnostmi.

Technický stav objektu je dán množinou vybraných vlastností prvků objektu (prvky jsou zvoleny dle požadovaného diagnostického rozlišení) a odpovídajících relací v daném časovém okamžiku.

Vlastnosti technického systému se časem mění (zvětšuje se vůle v uložení mechanických dílů, klidový proud operačního zesilovače, proudové zesílení tranzistoru uvnitř integrovaného obvodu apod.) až do okamžiku, kdy elementární prvek svým chováním způsobí poruchu části nebo celého objektu. Lze tedy také technický stav objektu specifikovat jako schopnost objektu vykonávat požadované funkce za stanovených technických podmínek pro jeho užívání.

Parametry lze dělit na strukturní a procesní. Strukturní parametr charakterizuje kvantitativně nebo kvalitativně fyzikální, chemické nebo geometrické vlastnosti prvků zvoleného subsystému, tj. elementárních, dále již nedělitelných prvků nebo skupin prvků. Strukturní parametry se tedy mohou např. týkat komponentů elektrického motoru, tj. jeho elektrického vinutí (např. izolace), ložisek (např. zadření, trhлина), hřídele (ohyb, nevyváženost) apod. Strukturní parametry nesouvisí přímo s chováním objektu, ale jsou podstatné pro bezporuchový stav objektu, neboť při překročení určitých mezí dochází k narušení chování objektu. Procesní parametry charakterizují procesní vlastnosti prvků,

### Diagnostické prostředky

Diagnostické prostředky tvoří soubor technických zařízení a pracovních postupů pro analýzu a vyhodnocení stavu diagnostikovaného objektu. Pracovní postup je diagnostický algoritmus (tj. sled elementárních úkonů diagnostikování) včetně programového vybavení pro vyhodnocování dat, aplikace pokročilých metod zpracování signálů, metod výběru vhodných diagnostických parametrů, sestavení matematických modelů aj. Diagnostické algoritmy mohou být závislé nebo nezávislé dle toho, jestli v časovém postupu vycházíme z předcházející diagnózy nebo ne. Diagnostické prostředky mohou být realizovány buď jako pevně zabudovaná součást objektu (tzv. vnitřní prostředky jsou např. mikroelektronické senzory vybavené obvody pro zpracování, analýzu a unifikaci signálu) nebo samostatně (tzv. vnější prostředky jsou např. frekvenční analyzátoři, číselné osciloskopy aj.). Při volbě diagnostického prostředku je nutné respektovat předem požadovanou rozlišovací schopnost signálu v čase i v amplitudě.

Diagnostické prostředky se dělí na ON-LINE a OFF-LINE. ON-LINE prostředky umožňují diagnostikovat objekt při provozu. Pokud je měřicí systém trvale nebo periodicky připojen k diagnostikovanému objektu, hovoříme o monitorování, tj. průběžném nebo pravidelném



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

sledování technického stavu objektu a vyhodnocování trendu vad nebo mezních bezpečnostních stavů, při kterých je nutno objekt z provozu odstavit. Měřicí systém ON-LINE může být součástí zpětné vazby řídicího systému.

Tzv. CAT -*Computer Aided Testing* umožňuje automatickou lokalizaci poruchy nebo interaktivní vedení obsluhy při lokalizaci poruchy a v případě redundantních (tj. záložních) funkčních bloků řešit poruchovou situaci bez lidské obsluhy. Diagnostické prostředky OFF-LINE mají strategii odlišnou u různých firem. Obvykle se pod pojmem OFF-LINE rozumí diagnostikování objektu, který je mimo provoz. Některé firmy pod pojmem OFF-LINE používají tzv. kolektory dat, tj. malé přenosné přístroje. Sběr dat se pak provádí za provozu a kromě okamžitého základního vyhodnocení se podrobná analýza naměřených dat provádí s časovým odstupem na externím pracovišti.

### Diagnostické expertní systémy

Expertní systémy jsou obvykle počítačové programy simulující rozhodovací činnost skutečného experta - člověka - při řešení složitých úloh. Expertní systémy využívají vhodně reprezentované specializované znalosti získané od lidského experta s cílem dosáhnout ve zvolené problémové oblasti kvality rozhodování na úrovni experta. Podle typu řešené úlohy lze expertní systémy rozdělit do následujících oblastí:

- diagnostické expertní systémy -jejich cílem je:
  - diagnóza, nejčastěji detekce případně lokalizace vady objektu
  - interpretace dat, obvykle pomocí určení hypotézy, která nejlépe souhlasí s reálnými daty
  - monitorování, průběžné vyhodnocování dat s cílem určit okamžik vhodné intervence
- generativní expertní systémy - cílem může být:
  - plánování, tj. mají zadán počáteční stav a cíl úlohy, jejich práce spočívá v nalezení posloupnosti kroků, kterými lze cíle dosáhnout
  - navrhování - nalézání konfigurace objektů vyhovující zadaným podmínkám
  - predikce - nalézání vývoje událostí na základě modelu současnosti a minulosti
- hybridní

Expertní systémy jsou k dispozici ve dvou formách:

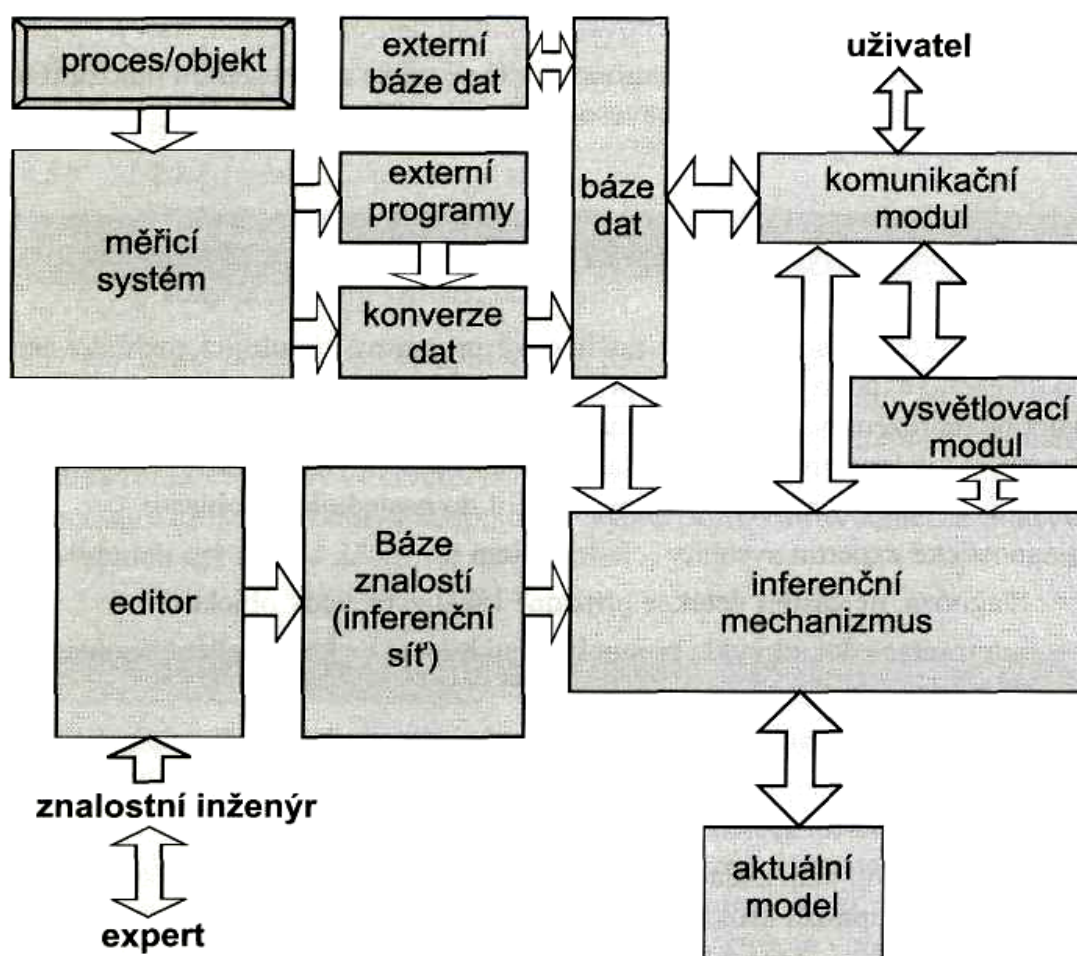
- univerzální expertní systémy, které nejsou aplikačně specifické,
- dedikované expertní systémy, které jsou zaměřeny na konkrétní aplikaci.

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Takzvané prázdné expertní systémy se dodávají s prázdnou bází znalostí.

Mezi charakteristické rysy expertních systémů na rozdíl od jiných metod z oblasti umělé inteligence patří oddělení znalostí a mechanismu pro jejich využívání, schopnost postihnout neurčitost v bází znalostí a v datech, modularita a transparentnost báze znalostí. Z hlediska provozu je typický dialogový režim práce (dotaz expertního systému, odpověď uživatele) a vysvětlovači činnost (odpověď expertního systému, proč našel určité řešení).

Expertní systémy umožňují radikálně zvýšit dostupnost expertízy, neboť expertní systém využívající znalosti například jednoho experta lze provozovat na mnoha počítačích ve více místech současně apod. Oproti lidskému vzoru mají expertní systémy obvykle mnohem rychlejší odezvu. Dovolují snížit náklady na provedení expertízy — cena práce počítače je mnohem nižší než cena práce experta.



Obr. 1. Blokové uspořádání typického diagnostického expertního systému založeného na pravidlech [7]

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

### Diagnostické úlohy

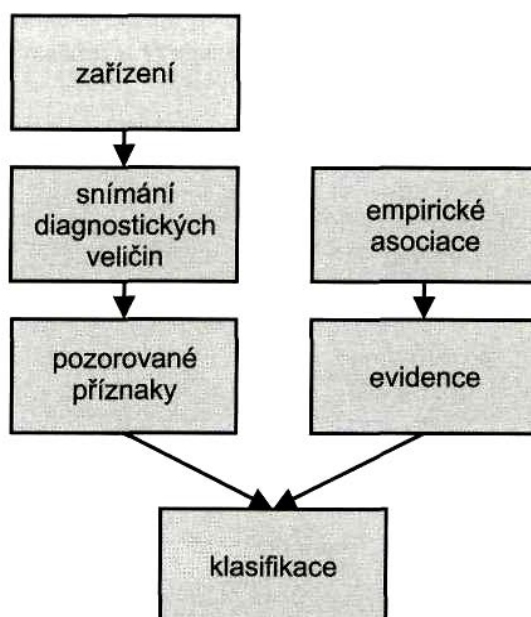
Znalosti v diagnostických úlohách mohou mít charakter:

- popisu normálního chování systému,
- popisu abnormálního chování systému,
- seznamu příznaků pro normální chování systému
- seznamu příznaků pro každou závadu bez explicitních znalostí o chování systému.

V konkrétních aplikacích se obvykle využívá více výše uvedených skupin. Z konceptuálního pohledu je možné úlohy diagnostiky rozdělit na:

- diagnostikování klasifikováním abnormality,
- diagnostikování odchylky od normálu,
- diagnostikování porovnáním abnormálního chování.

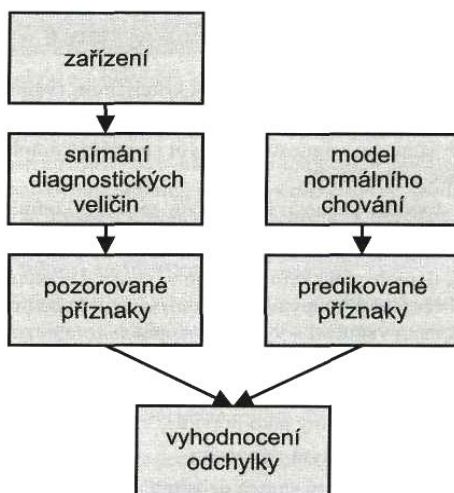
Přístup diagnostikování klasifikováním abnormality se vyznačuje využitím typických příznaků, které doprovázejí jednotlivé poruchy (viz obr. 1.1). Tyto příznaky mohou mít různou vypovídací schopnost a používané znalosti jsou často označovány jako mělké (shallow knowledge). Při tomto přístupu není využíván model chování diagnostikovaného zařízení. Při vyhodnocení, nazývaném heuristická klasifikace, se zjišťuje, zda jsou pozorované příznaky asociovány s některými poruchami reprezentovanými v expertním systému. Proces se sestává z opakovaného formulování hypotéz pro příčiny abnormality a testování jejich souladu s pozorovanými příznaky.



Obr. 1.1. Blokové uspořádání diagnostikování pomocí klasifikování „abnormality“ [7]

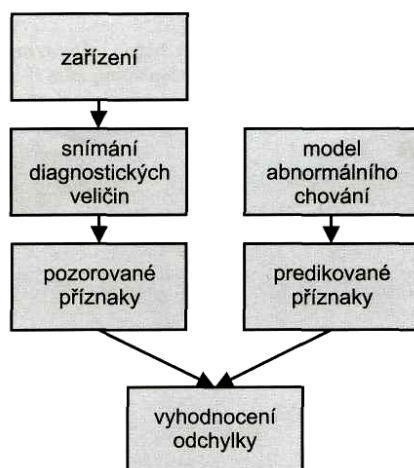
## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Při diagnostikování odchylky od normálu se na rozdíl od předchozího přístupu používá model normálního chování zařízení a vyhodnocuje se případná odchylka pozorovaných příznaků a příznaků normálního chování zařízení (obr. 1.2). Popisovaný přístup je vhodný zejména v případech, kdy není dostatek informací o abnormálním chování.



**Obr. 1.2. Blokové uspořádání diagnostikování pomocí odchylky od normálu [7]**

Diagnostikování porovnáním abnormálního chování je opět založeno na využití modelu, tentokrát však na modelu poruch (obr. 4.44). Při expertize se nejprve na základě předpokladu výskytu poruchy predikují příslušné abnormální příznaky, které se porovnávají s pozorovanými příznaky, a tento pochod se opakuje pro další možné poruchy. Použité znalosti většinou tvoří kauzální vazby, proces usouzení na možné příčiny z důsledků je nazýván abdukcí.



**Obr. 1.3. Blokové uspořádání diagnostikování pomocí abnormálního chování [7]**



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

### Fuzzy systémy v diagnostice

Fuzzy přístup bývá v technické diagnostice využíván zejména v aplikacích vyžadujících klasifikaci signálů s cílem vyhodnocení technického stavu objektu resp. určení diagnózy [6, 7]. Fuzzy systémy umožňují:

- modelovat lidské usuzování, obvykle uvažování experta (expert své diagnostické zkušenosti může vyjádřit přirozeným jazykem, přičemž použitá slova jsou nositeli pojmové neurčitosti a tu lze formalizovat pomocí fuzzy přístupu),
- provádět přibližné usuzování, když není znám nebo je obtížné získat přesný model systému,
- usuzování pomocí přibližných, odhadnutých dat.

Naopak fuzzy přístup je nevhodný v případech, kdy existuje přesný model úlohy a data jsou získávána měřením a nikoliv odhadem.

### Technickou diagnostikou se zabezpečuje:

- velmi vysoká jistota a spolehlivost s výhledem prodloužení cyklů údržby a omezení následných škod
- objektivní technický stav je určován bez demontáže a bez přerušení provozu
- vyhodnocení je provedeno na základě spolehlivosti celého strojního systému

### VIBRO-DIAGNOSTIKA

- periodické měření výrobních strojů a zařízení, monitorování stavu ložisek a detekci dynamických stavů jako nevyváha, nesouosost apod.
- nepriodické měření problémových výrobních zařízení
- implementaci vibrační diagnostiky do systému údržby

### Nejčastější detekovatelné závady zvyšující vibrace jsou:

- Nevyváženost rotorů
- Nesouosost spojek, ložisek a převodů
- Mechanické uvolnění
- Poškození valivých ložisek
- Opotřebením převodů
- Zadírání
- Hydraulické a aerodynamické problémy
- Elektrické závady
- Rezonance
- Deformace





evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



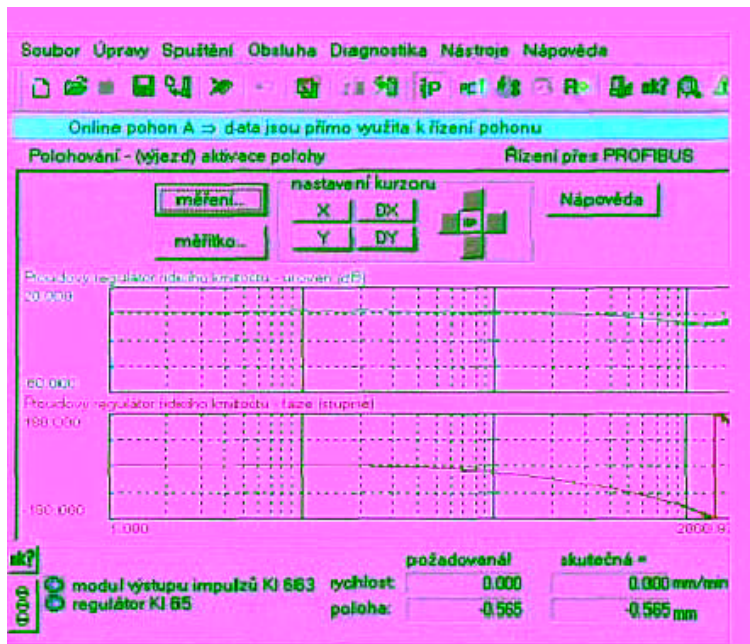
OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

### Pokročilá diagnostika obráběcích strojů

Vyšší nároky na diagnostiku strojů vedou k návrhu rozsáhlejších diagnostických nástrojů. Mezi hlavní fyzikální ukazatele charakterizující stav obráběcího stroje patří teploty, vibrace, příp. mechanické napětí, průtoky a tlaky fluidních médií. Při uplatnění pokročilé diagnostiky lze sledovat větší počet signálů více fyzikálních veličin, provádět jejich monitoring v delších časových intervalech, mapovat velmi rychlé signály (vibrace apod.) a zaznamenat jejich krátkodobé i dlouhodobé trendy (časové průběhy). Pokročilá diagnostika je realizovatelná prostřednictvím externího diagnostického systému, který obsahuje průmyslový počítač, externí moduly pro zpracování signálů z čidel, sensoriku, elektrické rozvody a další příslušenství. Významnými faktory pokročilého diagnostického systému jsou:

- komunikace se systémem PLC stroje pro zajištění akčního zásahu v případě poruchy,
- vhodné uživatelské rozhraní (monitor, www nebo server WAP, zprávy SMS) umožňující sledovat stav stroje a probíhající trendy.



Obr. 1.3. Ukázka z výpisu interní diagnostiky stroje



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE

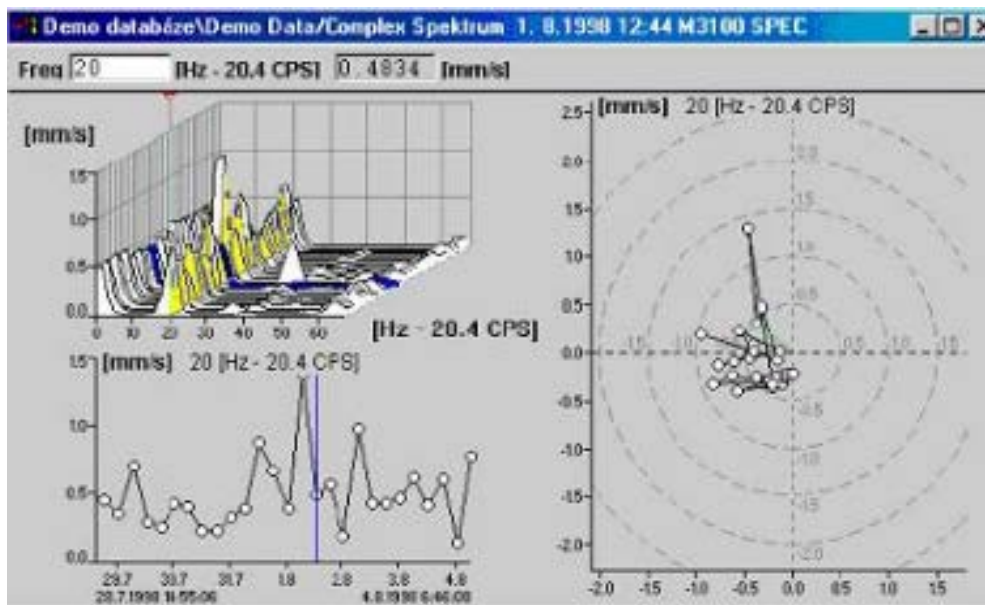


MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



Obr. 1.4. Ukázka sw pro diagnostikování stavu stroje [14]

Pro měření a diagnostikování parametrů jsou k dispozici technická zařízení renovovaných firem, např. pomocí kalibračního systému (jednotka RENISHAW QC10) a vyhodnocovacího software např. Ballbar 5, lze analyzovat přesnost stroje v souladu s normami ISO, JIS a ASME.



Obr. 1.5. Ukázka měření a diagnostikování stavu stroje [15]



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Poděkování

Investice do rozvoje vzdělávání.

Tento výukový text je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky v rámci projektu č. CZ.1.07/2.2.00/28.0206 „Inovace výuky podpořená praxí“.

## Literatura

- [1] Häberle, H.: *Průmyslová elektronika a informační technologie*, Europa-Sobotáles, Praha, 2003, ISBN 80-86706-04-4
- [2] Kreidl, M., Šmíd, R.: *Technická diagnostika - senzory, metody, analýza signálu*, BEN, Praha, 2006, ISBN 80-7300-158-6
- [3] Martinek: *Senzory v průmyslové praxi*, BEN, Praha, 2004, ISBN 80-7300-114-4
- [4] Schmidt, D.: *Řízení a regulace pro strojírenství a mechatroniku*, Europa-Sobotáles, Praha, 2005, ISBN 80-86706-10-9
- [5] Hellier, CH. J.: Introduction to Nondestructive Testing. In: *Handbook of Nondestructive Evaluation*. New York: McGraw-Hill, 2001, p. 1.1-1.27., ISBN 0-07-028121-1.
- [6] *Introduction to Nondestructive Testing. Download Introduction to NDT Presentation*. NDT Resource Center. <http://www.ndt-ed.org/GeneralResources/IntroToNDT/GenIntroNDT.htm>
- [7] Kreidl, M., et al.: *Diagnostické systémy*. Praha: Nakladatelství ČVUT, s. 11-32., ISBN 80-01-02349-4.
- [8] Cargill, J. S., et al.: Industrial Application of Special Nondestructive Testing Methods, In: *Nondestructive Testing Handbook: Special Nondestructive Testing Methods*. Stanley, R. K. (ed.), 2nd ed. Columbus: ASNT, 1995, Vol. 9, p. 7-13. ISBN 1-57117-004-9.
- [9] ČSN ISO 13379. Monitorování stavu a diagnostika strojů - Obecné směrnice pro interpretaci dat a diagnostické metody. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [10] ČSN ISO 13372. Monitorování stavu a diagnostika strojů - Slovník. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [11] Failure Modes, Effects and Criticality Analysis. In: *Quarter 3*. Tucson: ReliaSoft. 2002, Vol. 3, Issue 2. <http://www.reliasoft.com/newsletter/3q2002/fmea.htm>
- [12] Meeker, W. Q., et al.: A Methodology for Predicting Probability of Detectiones for Ultrasonic Testing. In: *27<sup>th</sup> Annual Review of Progress in QNDE*. Iowa: 2000. [www.public.iastate.edu/~wqmeeker/slide\\_psnups/qnde2000\\_slides.pdf](http://www.public.iastate.edu/~wqmeeker/slide_psnups/qnde2000_slides.pdf)
- [13] Mohr, R. R.: Failure Modes and Effects Analysis. In: *Jacobs Sverdrup's System Safety web site*. 8th ed. 2002. <[www.sverdrup.com/safety/fmea.pdf](http://www.sverdrup.com/safety/fmea.pdf)>
- [14] Diagnostický sw, [www.lammb.cz](http://www.lammb.cz)
- [15] Měřicí přístroje RENISHAW, [www.alsymon.cz](http://www.alsymon.cz)

Tento výukový text je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.