

# Vážení zákazníci,

dovolujeme si Vás upozornit, že na tuto ukázkou knihy se vztahují autorská práva, tzv. copyright.

To znamená, že ukáзка má sloužit výhradně pro osobní potřebu potenciálního kupujícího (aby čtenář viděl, jakým způsobem je titul zpracován a mohl se také podle tohoto, jako jednoho z parametrů, rozhodnout, zda titul koupí či ne).

Z toho vyplývá, že není dovoleno tuto ukázkou jakýmkoliv způsobem dále šířit, veřejně či neveřejně např. umístováním na datová média, na jiné internetové stránky (ani prostřednictvím odkazů) apod.

*redakce nakladatelství BEN – technická literatura*  
[redakce@ben.cz](mailto:redakce@ben.cz)



# kapitola **2**

## **TECHNICKÁ DIAGNOSTIKA: ZÁKLADNÍ POJMY**

*DIA-GNOSIS* je v řečtině „skrze poznání“. Pojem diagnóza byl původně převzat z řečtiny jen pro lékařské vyšetření pacienta a teprve mnohem později byl využit i pro technické aplikace. Technická diagnostika je vědní obor, který se zabývá metodami, postupy a prostředky bezdemontážního a nedestruktivního zjišťování technického stavu objektu.

- **Diagnóza** je vyhodnocení okamžitého technického stavu objektu. Z hlediska terminologie spolehlivosti se jedná o vyhodnocení provozuschopnosti objektu za daných technických podmínek. Základními úkoly diagnostiky jsou:
  - a) **detekce vady nebo poruchy**, tj. identifikace vady nebo identifikace úplné nebo částečné poruchy objektu,
  - b) **lokalizace vady nebo poruchy**, tj. určení místa vady nebo poruchy v objektu.
- **Prognóza** (z řeckého „prognosis“) je extrapolace vývoje technického stavu do budoucnosti. Cílem prognózy je např. stanovení na základě statistických vyhodnocení pravděpodobnost bezporuchového stavu v následujícím období nebo na základě vad stanovení termínů dílčích a generálních oprav nebo výměn komponentů objektu.
- **Geneze** (z řeckého „genesis“) je analýza možných a pravděpodobných příčin vzniku poruchy nebo vady, a tím předčasného zhoršení technického stavu objektu.

## 2.1 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 analyzáto-ry, 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 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 případech 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.

## 2.2 Technický stav objektu

Obecně objekt považujeme za systém daný množinou elementárních prvků, množinou vzájemných vazeb (relací) mezi těmito prvky a množinou 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 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. Diagnostickou relační strukturu  $DS$  definujeme dle vztahu

$$DS = \{A; R\}, \quad (2.1)$$

kde  $A = \{a_i\}$  je množina vybraných atributů, tj. vlastností nebo parametrů určujících technický stav hmotných prvků objektu,

$R = \{r_j\}$  je množina relací nebo jejich atributů mezi vlastnostmi (parametry) prvků množiny  $A$ .

Vlastnosti objektu 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, trhlinka), 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,

tj. vlastnosti podstatné pro cílové chování objektu. Pojem chování systému je časově proměnná reakce systému na vstupní podněty a je tedy projevem specifických funkcí systému. Procesní parametry lze dále členit na vstupní, výstupní, vnitřní a u dynamických systémů na stavové. Procesním parametrem je tedy i každý provozní parametr.

Převážnou část vnitřních strukturních a procesních parametrů nelze měřit přímo, protože měřicí body jsou bez nežádoucí a občas i destruktivní demontáže nepřístupné. Nezbyvá tedy nic jiného, než se spokojit s přístupnými výstupními prvky systému (ať se už jedná o základní funkční výstupy nebo pomocné diagnostické výstupy) a vnitřní parametry z naměřených hodnot prostřednictvím algoritmů více nebo méně přesně odhadnout. Pokud vyhodnocujeme strukturní parametr nepřímou, pak kauzalita (tj. příčina → následek) má za následek, že jedné příčině může odpovídat více různých následků, případně jeden následek je vyvolán různými příčinami a navíc má signál často stochastický charakter.

Pro vyhodnocení technického stavu jednotlivých prvků jsou často používány deskriptory, tj. diagnostické ukazatele, které jsou odvozeny z jednoho nebo více měřených parametrů jako jsou např. různé statistické charakteristiky, efektivní hodnota nebo střední hodnota signálu, časová konstanta přechodové charakteristiky, složka frekvenčního spektra apod. Deskriptorem lze označit i jakýkoliv parametr včetně parametrů provozních. Deskriptor může mít i nenumerické vyjádření na základě pozorování. Z deskriptorů lze vyhodnotit příznaky (symptomy) vady prvku, tj. s jistotou pravděpodobností nepřímou měřitelné projevy změn jeho vlastností. Obecně lze pro příznakovou analýzu použít teorii rozpoznávání obrazů, shlukovou analýzu, faktorovou analýzu aj.

## 2.3 Porucha, vada, provozuschopnost, funkčnost

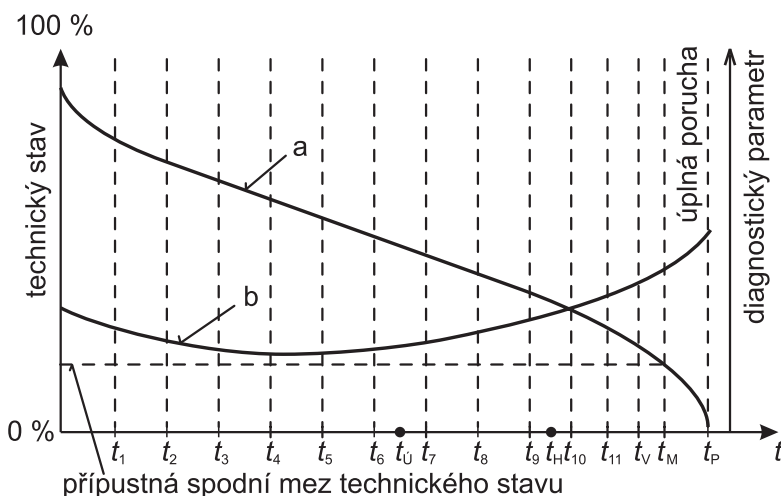
Objekt je provozuschopný jestliže je schopen vykonávat stanovené funkce dle technických podmínek. **Porucha** (*failure*) je pak jev způsobující ukončení provozuschopnosti objektu. **Funkčnost** objektu je schopnost objektu vykonávat specifickou funkci dle technických podmínek. Objekt může být ve stavu funkčním, ale pokud není schopen vykonávat všechny funkce dle technických podmínek, není provozuschopný. V praxi zřídkakdy 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** (*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. adhezní, abrazivní, erozivní, kavitační, únavové a vibrační opotřebení, koroze, deformace, šířící se trhlinka, 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 občasné, které trvají po omezenou dobu. Po určité době výrobek opět dosáhne bezporuchového stavu bez vnějšího zásahu. Občasné poruchy se mohou opakovat.

## 2.4 Údržba objektu

Údržba objektu úzce souvisí s diagnostikou a lze ji realizovat třemi způsoby:

- údržbou dle skutečného stavu objektu,
- údržbou dle časového plánu,
- údržbou po poruše objektu.

Nejméně vhodným způsobem je údržba po poruše objektu. Úplná porucha chování objektu má za následek výpadek technologického procesu, možnost následného porušení dalších objektů, narušení bezpečnosti provozu. Údržba dle časového plánu je vykonávána dle statistických podkladů oprav jednotlivých komponentů objektu v předem pevně stanovených časových úsecích. Tento způsob je nevýhodný, neboť k údržbě objektu dochází buď příliš brzy nebo příliš pozdě, přičemž je známo, že parametry zařízení se velmi často zhorší vlastní demontáží a zpětnou montáží. Optimální metodou je údržba založená na monitorování technického stavu objektu (obr. 2.1).



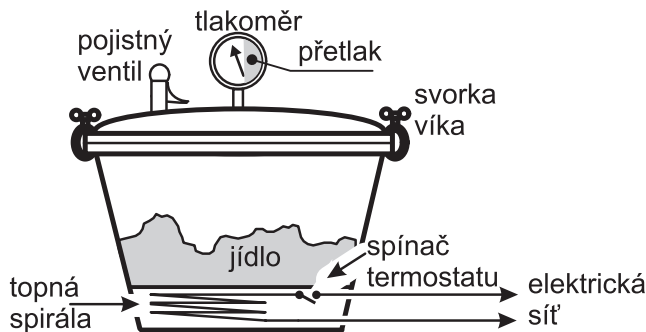
Obr. 2.1 Diagnostikování strojního objektu na základě trendu zhoršování technického stavu: a) technický stav, b) diagnostický parametr ( $t_1, t_2, \dots$  časové termíny měření,  $t_U$  – termín údržby dle časového plánu,  $t_H$  – okamžik hlášení o zhoršování technického stavu objektu s prognózou o nutné opravě a stanovením zhuštěných intervalů diagnostických měření,  $t_V$  – vhodný okamžik pro opravu nebo výměnu objektu nebo jeho komponenty,  $t_M$  okamžik dosažení mezního stavu objektu,  $t_P$  – okamžik poruchy a výpadku z provozu).

Pro zvýšení spolehlivosti systému a optimalizaci údržby může být již ve fázi projektu systému nebo na již existujícím systému aplikován výkonný analytický postup FMEA (Failure Modes and Effects Analysis), popřípadě FMECA (Failure Mode Effects and

*Criticality Analysis*) [4]. Postupy metod (procedury) jsou popsány v IEC 608 12. FMEA lze volně přeložit jako účinek a důsledek poruchy (dle ČSN ISO 13372 „*failure mode*“ je přeložen jako „*způsob poruchy*“, tj. účinek, podle kterého je porucha pozorována) a FMECA je rozšíření o analýzu kritičnosti poruchy. Jinými slovy jde o postup, při kterém je analyzována každá možná porucha z hlediska změn v chování systému, příčin vzniku těchto změn a vzniklých důsledků včetně klasifikace závažnosti poruchy na provozuschopnost systému. Z hlediska údržby lze uvedené postupy doplnit o způsoby odstranění poruchy.

Modifikací postupu FMECA se zaměřením na příznaky je FMSA (*Failure Mode Symptom Analysis*). Cílem procesu FMSA je vybrat metody a strategie monitorování, které maximalizují věrohodnost (nebo na základě statistiky konfidenční úroveň) diagnózy a prognózy libovolného způsobu poruchy. Se souhlasem ČNI je v Příloze I uveden způsob hodnocení v procesu FMSA dle normy ČSN ISO 13379.

Příklad aplikace FMEA u tlakového hrnce [9] je na obr. 2.2 a v tab. 2.1.



Obr. 2.2 Diagnostika procesních komponentů

Tab. 2.1 Protokol FMEA u tlakového hrnce

komponenta	způsob poruchy	příčiny poruchy	důsledky poruchy
pojistný ventil	trvale otevřen	péro zlomené, roztažené	opaření, nárůst doby vaření
	trvale zavřen	korozí, nečistoty, výrobní vada	přetlaku (explozi) zamezí už jen spínač termostatu
	únik páry	korozí, výrobní vada	opaření, nárůst doby vaření
spínač termostatu	trvale rozepnut	znečištěné kontakty	ohřev není funkční
	trvale sepnut	spečené kontakty	rozvařené jídlo, opaření, při selhání ventilu exploze
tlakoměr	vyšší hodnota	náraz	nedovařené jídlo, bakterie
	nižší hodnota	náraz	rozvařené jídlo, opaření
svorka víka	zlomená, stržený závit	únava materiálu, obsluha	opaření, únik obsahu

## 2.5 Diagnostický model

### 2.5.1 Definice a členění diagnostických modelů

Modelování je účelově zjednodušení zobrazení originálu (tj. systému definovanému nad daným modelovaným objektem nebo jevem) jiným systémem tzv. modelem. Pokud je zobrazení vzájemně jednoznačné, označujeme ho jako izomorfní, pokud v zobrazení není zachována vzájemnost, jedná se o zobrazení homomorfní. Model se využívá jednak ke studiu relační struktury a chování originálu a jednak k simulaci, tj. k řízenému sledování vlastností originálu volbou hodnot vstupních veličin na modelu. Simulace často nahrazuje nákladný nebo dokonce nerealizovatelný experiment na originále a umožňuje provádět nejen analýzu daného originálu, ale i syntézu nových originálů. Bude-li model vhodný pro studium vlivů vad a poruch na technický stav a chování objektu, hovoříme o diagnostickém modelu. Složitě originály se snaže modelují hierarchicky, tj. nejprve se vytvářejí submodely odpovídající subsystémům daného objektu – systému. Toto víceúrovňové modelování se používá v diagnostice nejen ke členění složitých objektů, ale také k rozdělení na diagnostický model objektu bez vad a poruch a na model objektu s vadami a poruchami. Diagnostické modely jsou využitelné pro simulaci vad a poruch objektu a následnou analýzu důsledku těchto vad a poruch na relační strukturu a chování objektu, návrh a ověření diagnostických metod a algoritmů a analýzu trendu technického stavu objektu.

Diagnostické modely se stejně jako v kybernetice člení na fyzikální a matematické. Fyzikální model je hmotný a reálný objekt zhotovený buď na stejném fyzikálním principu jako diagnostikovaný objekt (např. osazená deska elektronického zařízení, zmenšený model strojního zařízení apod.) nebo na odlišném, ale analogickém principu (např. elektrický model tepelného nebo hydraulického objektu). Matematický model je soustava hypotéz o vztazích mezi diagnostickými parametry nejčastěji vyjádřených formou soustavy rovnic a nerovností. Matematické modely lze dělit na modely:

- analytické,
- logické,
- topologické.

### 2.5.2 Analytický model

Analytický model popisuje systém algebraických rovnic (model statický) nebo diferenciálních a diferencních rovnic (model dynamický). Analytické modely lze dále členit na modely procesního chování a modely struktury, na modely statické a dynamické, lineární a nelineární, deterministické a stacionárně nebo nestacionárně stochastické, na modely spojité a diskrétní procesů a na modely parametrické a neparametrické. Podtřídou těchto modelů jsou modely simulační, využívající simulační programovací jazyky usnadňující efektivní popis relační struktury systému nebo chování a propojení