

# Technická diagnostika v systémech údržby

František Vdoleček

Lidé musí o veškerá zařízení, která potřebují ke svému životu, pečovat. Udržují je a popř. opravují, přičemž cílem je zachovat je v provozuschopném stavu. V současné době se k tomu používají relativně dokonalé systémy prediktivní, popř. proaktivní údržby. V uvedených systémech zaujímají velmi významné místo nejrůznější metody technické diagnostiky nedělitelně svázané s údržbovými zásahy v praxi a s teoretickou spolehlivostí.

## 1. Úvod

Člověk již od dávné doby určitým způsobem pečoval o své pracovní pomůcky a nejrůznější zařízení, které mu pomáhaly v životě a při práci. Toto jeho snažení nabylo zcela nových rozměrů s nástupem průmyslové výroby. Zde se již objevila i jakási základní úroveň údržby v dnešním slova smyslu. Strojním zařízením a jejich prvkům bylo třeba věnovat pozornost s jistou systematickostí, i když v počátcích často ve vazbě na ryze subjektivní přístupy.

S dalším rozvojem vše postupovalo až k současné situaci, kdy se v technické praxi lze stále častěji setkat s problematikou údržby, ale také spolehlivosti a diagnostiky v jejich každodenních souvislostech. Již několik desetiletí je kvalita a spolehlivost systémů všeho druhu středem pozornosti, což se zákonitě odráží i ve výši požadavků na samotnou údržbu. Péči o kvalitu, spolehlivost a volbu optimálních způsobů údržby si v současné době již nelze představit bez správně fungující technické diagnostiky. Díky jejímu používání se samotná údržba dostává na novou úroveň, kterou lze v jistém pojetí označit za zcela nový, generačně odlišný systém údržby.

## 2. Údržba

V odborné literatuře lze nalézt mnoho definic pojmu „údržba“, více či méně poplatných svým autorům, popř. působnosti normy, z níž pocházejí. Pro potřeby tohoto článku lze údržbu definovat velmi jednoduše jako jistý proces realizovaný s cílem udržovat zařízení v provozuschopném stavu, tj. odstraňovat důsledky opotřebení a všech dalších provozních vlivů, stejně jako veškerého negativního působení prostředí a předvídaných i nepředvídaných poruch.

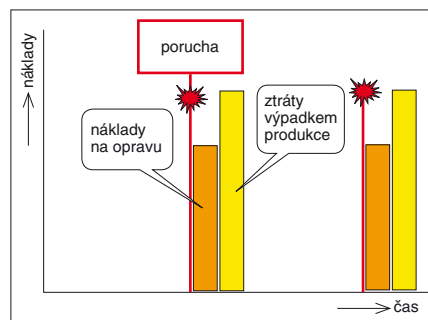
Z historického hlediska a s uvážením příčin a jejich důsledků lze rovněž definovat mnoho kritérií, podle nichž se údržba různě člení. Všeobecně panuje v podstatě shoda v členění údržby do tří, popř. čtyř základních vývojových stupňů (generací, systémů) označovaných jako *údržba*:

- *po poruše*,
- *preventivní* (podle časového plánu),
- *prediktivní a proaktivní* (podle skutečného stavu).

V současné době, kdy se využívají moderní zařízení s vysokou úrovní elektronizace a často i s jistým stupněm vlastní inteligence, se již rozhodně nelze spokojit s intuitivním přístupem k jejich údržbě. Při sledování nejrůznějších druhů opotřebení, poškození a blížících se závad či poruch je třeba postupovat v těsné součinnosti s dalšími obory. Na poli údržby se tak nejen stále častěji pracuje s teoretickou spolehlivostí, ale systémy péče o provozovaná zařízení se také stále častěji rozšiřují především o diagnostické metody a postupy.

## 3. Základní charakteristika systémů údržby

*Údržba po poruše* vyžaduje ve své podstatě velmi malé náklady během samotného provozu zařízení. Vše se odvíjí od skutečnosti, že k poruše při tomto způsobu provozu zákonitě dochází a údržba pak řeší následky. Ovšem následky, které se projeví nejen bezprostředně v podobě požadavku na opravu systému (výměnu částí zničených a poškozených poruchou apod.), ale také jako dopady poruchy



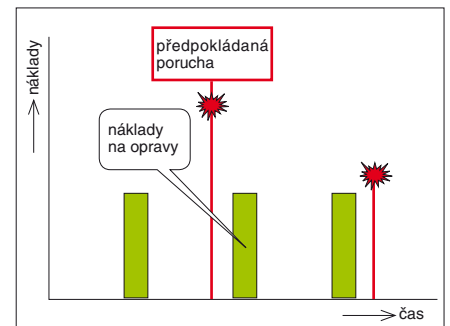
Obr. 1. Schéma systému údržby po poruše

v podobě často dlouhodobé odstávky zařízení a následného výpadku produkce. Výsledkem v současnosti již zcela výjimečně používaného systému údržby po poruše jsou jak časové ztráty, tak i velmi vysoké náklady, dané součtem nákladů na obnovu zničeného zařízení a ztrát z výpadku produkce, když naposled uvedené ztráty jsou nezhledná a několiknásobkem vlastních nákladů na opravu. Jak ukazuje časově-ekonomický pohled na obr. 1,

jsou zde veškeré náklady na údržbu vynaloženy až po poruše.

*Údržba preventivní*, v praxi stále ještě používaná, je ve své podstatě poplatná obecné teorii spolehlivosti. Díky teoretické spolehlivosti a předpokládaným časovým průběhům významných parametrů spolehlivosti jednotlivých uzlů systému jsou stanoveny intervaly oprav a výměny těchto uzlů nebo jejich vybraných klíčových prvků. Často se tedy v praxi hovoří o „údržbě podle časového plánu“.

Výhodou preventivní údržby je, že se při ní v naprosté většině případů předejde poruše. Jestliže se porucha přece jen vyskytne, jsou její dopady a také náklady na její odstranění nesrovnatelně nižší až zanedbatelné oproti předchozí variantě. Je však třeba počít



Obr. 2. Schéma systému preventivní údržby

tat se značnými náklady na plánované opravy (výměnu prvků a celých uzlů) podle předem stanoveného časového plánu. Tyto zásahy mnohdy navíc představují zcela zbytečnou výměnu, když jsou v předstihu z důvodu prevence měněny ještě zcela funkční části systému za nové. V součtu náklady klesají jen mírně, protože zde zůstávají relativně vysoké náklady na pravidelný cyklus oprav a náhradní díly. Náklady jsou ale rovnoměrněji rozloženy v čase (obr. 2).

*Údržba prediktivní* se začala dostávat do popředí zájmu v posledních desetiletích právě ve spojení s rozmachem technické diagnostiky. Předpokládá spojení všech dosažitelných výhod systému údržby v pravém slova smyslu. Při generačním chápání jednotlivých úrovní by představovala současnou třetí generaci systémů údržby. Jejím hlavním přínosem je důsledné odstranění poruch. Jednotlivé opotřebované a poruchou ohrožené součásti či celé uzly se opravují a vyměňují v optimálním předstihu. Znamená to v době, která je nezbytná z hlediska fungování systému, tj. s dostatečnou rezervou před samotnou poru-

chou nebo mezním stavem, ale v okamžiku, kdy je příslušná součást již patřičně „opotrebovaná“.

Důsledkem pro systém údržby a cyklus oprav je pokles nákladů na minimum. Náklady na samotnou údržbu se oproti předchozím variantám několikanásobně snižují. Protože se včas předchází poruše, jsou rovněž minimální druhotné ztráty způsobené výpadkem výroby. Délka odstávky zařízení na dobu potřebnou k nutné preventivní opravě je v porovnání s údržbou po poruše zpravidla zcela zanedbatelná. Tento případ lze již označit za variantu údržby podle skutečného stavu (obr. 3).

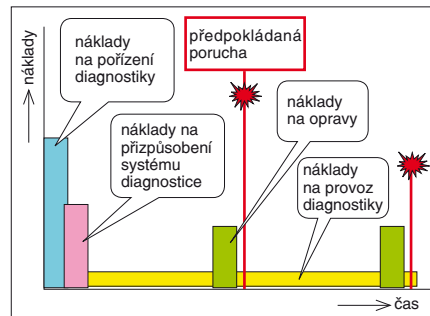
Je však třeba přiznat, že narůstají počáteční náklady, dané především poměrně vysokou pořizovací cenou diagnostických systémů. Další průběžné náklady jsou v porovnání s počátečními náklady již velmi nízké. Aby bylo možné správně stanovit správný okamžik pro údržbu, je třeba zařízení trvale, popř. alespoň periodicky sledovat a podle zjištěných hodnot určitých provozních parametrů tento optimální okamžik určit. Přestože diagnostické systémy nepatří k nejlevnějším a zvyšují celkové náklady (náklady na ně se přičítají k nákladům na samotnou údržbu), většinou se ještě několikanásobně vrátí v podobě úspor nákladů na odstranění následků poruchy či havárie.

Proaktivní údržba může být v daném schématu vývoje metod údržby považována za další vyšší úroveň, ale je otázkou, zda si zaslouží ocenění jako nová, tj. čtvrtá generace údržby. Zřejmě lze střízlivěji hodnotit tento typ údržby jen jako vylepšení předchozí třetí generace, popř. jako generaci „třiapůltou“. V podstatě jde o současnou vrcholnou podobu prediktivní údržby, při níž se také vychází ze skutečného stavu provozovaného objektu.

Proaktivní varianta údržby vychází zcela z předchozí prediktivní verze, kterou dále zdokonaluje, takže jejím základem je opět využití diagnostiky, zpravidla ovšem mnohem komplexnější. V moderních diagnostických systémech odpovídajících potřebám proaktivní údržby se kombinují mnohé dosud relativně samostatné obory diagnostiky tak, aby bylo optimálně pokryto celé sledované zařízení. Proaktivnost se mj. projevuje také tím, že nová zařízení, zejména ta „životně důležitá“, se již navrhuje s ohledem na snadný přístup při zavádění diagnostiky třeba v budoucnu. Již při konstruování stroje či zařízení akčního řešení by tedy mělo být pamatováno na možnost připojení diagnostických systémů, počítá se s umístěním snímačů a měřicích míst pro sledování vibrací, teplot, s odběrem vzorků maziv a zjišťováním dalších parametrů. Rozložení nákladů při použití proaktivní údržby je naznačeno na obr. 4.

Při použití proaktivní údržby se především výrazně snižují náklady na zavedení diagnostických systémů pro periodické či trvalé sledování provozovaného zařízení. Zavést dodatečně diagnostiku na hotovém stroji není vždy jednoduché a nezdědka jsou přítomné určité úpravy, které se odrazí ve vedlejších nákladech. Potřeba dodatečných úprav může vést i k jiným průvodním problémům, těžkostem a ústupkům, např. k použití kompromisní, suboptimální koncepce řešení diagnostické-

tečně diagnostiku na hotovém stroji není vždy jednoduché a nezdědka jsou přítomné určité úpravy, které se odrazí ve vedlejších nákladech. Potřeba dodatečných úprav může vést i k jiným průvodním problémům, těžkostem a ústupkům, např. k použití kompromisní, suboptimální koncepce řešení diagnostické-

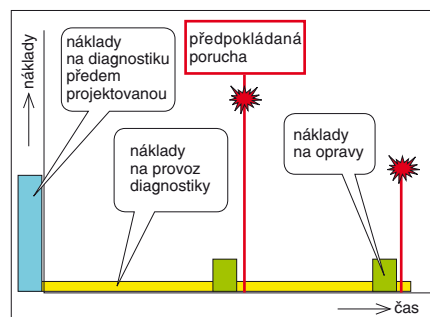


Obr. 3. Schéma systému prediktivní údržby

ho systému atd. Proaktivní přístupy tomuto zabráňují a umožňují použít předem zvolené optimální způsoby diagnostiky při minimálním nárůstu nákladů.

#### 4. Technická diagnostika a její místo v systému údržby

Technická diagnostika je v současné době velmi obsáhlý obor. Název je odvozen z řečtiny a lze ho překládat jako „(určení) skrze poznání“. Při použití technické diagnostiky skutečně jde o poznání určitého stavu sledovaného objektu. V podobě odpovídající současným představám se technická diagnostika vyprofilovala zhruba v polovině minulě-



Obr. 4. Schéma systému proaktivní údržby

ho století jako obor zabývající se metodami a prostředky ke zjišťování stavu technických zařízení. Její vývoj je úzce spjat s rozvojem elektrotechniky, automatizace, elektroniky a v posledních desetiletích také výpočetní techniky. Bylo by jistě možné hovořit o technické diagnostice již v období průmyslové revoluce v devatenáctém století, kdy ale její počátky byly spojeny výhradně s využitím subjektivních metod.

V současnosti jsou to naopak v naprosté většině případů objektivní, navíc bezdemonštrážní a nedestruktivní metody, které získávají informace o zkoumaném objektu prostřed-

nictvím jeho vnějších projevů, takže většinou jde o nepřímou diagnostiku. Úspěšný diagnostický systém musí z podstaty věci vedle samotné diagnostiky pracovat také s prognózou a genezí, když:

- *diagnóza* je vyhodnocení provozuschopnosti objektu (jeho okamžitého stavu) za daných podmínek; vede k řešení dvou základních úloh, kterými jsou detekce a lokalizace poruchy,
- *prognóza* představuje určení budoucího vývoje technického stavu objektu na základě statistických vyhodnocení pravděpodobnosti bezporuchového stavu,
- *geneze* je analýza příčin poruch nebo předčasného zhoršení technického stavu objektu a předpokládá dostatečnou znalost jeho „historie“.

Patřičných výsledků při zjišťování příčin poruch a odstranění jejich následků lze docílit jen při vzájemné součinnosti uvedených tří složek. Aktuální stav lze určit na základě dokonalé znalosti předchozího, ale také ještě očekávaného technického života (zbytkové životnosti). To se promítá i do příslušného plánu oprav a údržby na straně jedné a zvýšené spolehlivosti a bezpečnosti provozu na straně druhé.

Konkrétní vazby mezi diagnostikou a údržbou naznačil již předchozí text. Bez účasti technické diagnostiky jako oboru není vůbec možná především existence moderních systémů prediktivní i proaktivní údržby, které vynikají svou efektivností a účinností, ale přitom jsou zcela závislé na kvalitě diagnostiky. Bez trvalé přítomnosti diagnostiky lze dosáhnout pouze nižších úrovní systému údržby s menší účinností a s vyššími náklady. Současně lze rovněž konstatovat, že při použití diagnostických metod je možné určit skutečný okamžitý stav sledovaného stroje či zařízení, tj. jeho okamžitou spolehlivost.

#### 5. Diagnostické metody používané v moderní údržbě

Shrnuto, na úspěších moderních systémů údržby se výraznou měrou podílí především technická diagnostika, která se stává neodmyslitelnou součástí systému údržby a vlastně hraje rozhodující úlohu při rozpoznávání vhodného a potřebného okamžiku k provedení příslušného zásahu. Připomeňme si, že v současné době jsou svým způsobem jako její zcela samostatné obory diagnostiky vyprofilovány:

- vibrační diagnostika,
- akustická diagnostika,
- termodiagnostika,
- tribodiagnostika,
- elektrodiagnostika,
- defektoskopie a další úzce specializované obory.

Pominou-li se naposled uvedené, poměrně velmi specializované obory (přestože do technické diagnostiky rozhodně patří) a zůstane pouze prvních pět oborů a metod s relativně

obecnou působností, každý z nich je schopen postihnout jiné ze skutečností podstatných pro provoz a údržbu sledovaného systému. Na rozdíl od historických počátků diagnostiky s jejich subjektivním hodnocením technického stavu zařízení mohou v současnosti jednotlivé diagnostické obory poskytnout velmi dokonalý obraz o okamžitém stavu objektu. Dnešní „proaktivnost“ údržby spočívá mj. také v tom, že se celý systém opírá o co nejobektivnější posouzení stavu, kdy jsou jednotlivé uzly sledovány odpovídajícími diagnostickými systémy, takovými, které mohou nejlépe zachytit nebezpečnou změnu parametru. Citlivost diagnostického systému na vhodný parametr, který v sobě nese informaci o zhoršení stavu, umožní zcela předejít poruše a případné havárii i u moderních složitých výrobních a zpracovatelských komplexů. Stručně shrnuto, od již uvedených oborů (metod) technické diagnostiky lze očekávat následující.

**Vibrační diagnostika** (vibrodiagnostika) je velmi vhodná zejména pro klasická strojní zařízení, stroje a přístroje. Měření mechanického chvění, rázů nebo frekvenční analýza patří v současnosti k základním diagnostickým metodám, které se s výhodou používají všude tam, kde se jednotlivé části oproti sobě vzájemně pohybují, rotují apod. Velmi často jsou si metody vibrační diagnostiky podobné s *diagnostikou akustickou*, zejména využívají-li se stejné postupy frekvenční analýzy, pouze posunuté do jiných frekvenčních oblastí. Obě metody se tak v současné praxi nezdá vzájemně doplňují a prolínají, takže se o nich také velmi často hovoří jako o *vibroakustické diagnostice*. Z akustických metod se částečně vyčleňují metody pracující v oblastech ultrazvukové emise, nejčastěji používané v defektoskopii, a hlukové analýzy, které se využívají především v oblasti hygieny a sledování pracovního a životního prostředí.

**Termodiagnostika** se v posledních několika letech velmi dynamicky rozvíjí. Využívá se jak u klasických strojních zařízení, tak v energetice, u elektrických strojů a všeobecně všude, kde v souvislosti se změnou provozních parametrů současně dochází k uvolňování tepelné energie a změně teploty některých uzlů sledovaného objektu. Vedle již klasických dotykových měření, kterým asi dominuje použití termočlánků, je to především široký obor bezdotykových měření v infračervené části spektra, který v posled-

ních letech umožnil obrovský rozmach tohoto diagnostického oboru. Díky moderním infračerveným teploměřům a termokamerám se termodiagnostické metody šíří téměř do všech oblastí techniky.

**Tribodiagnostika** se orientuje na problémy tření, mazání a analýzy olejů a technických kapalin obecně. Určuje závislosti mezi parametry technických kapalin a maziv a jistých příznaků poruchových stavů sledovaného objektu. Na základě výsledků sledování parametrů a chemické analýzy kapaliny (nejen olejů) lze velmi přesně určit blízkost se poruchou celého systému. Dnes se postupně tento relativně mladý obor technické diagnostiky stává velmi životaschopným a svými výsledky se plně vyrovnává klasické vibroakustické diagnostice či termodiagnostice. Použití nachází u všech mechanických systémů obsahujících okruh s technickou kapalinou.

**Elektrodiagnostika** se v současné době člení do užších specializací diagnostiky silové elektrotechniky a řídicí elektroniky. V silových (energetických) oblastech jde především o sledování stavu izolace a odporů v instalaci a o ochranu strojů a jejich částí před poškozením nežádoucím zkratem, výbojem apod. Neustávající rozvoj zaznamenává elektrodiagnostika v oborech komunikační, výpočetní a řídicí techniky, tj. počítačů, procesorů a jiné specializované elektroniky, s tím, jak roste jejich význam pro každodenní život.

Jednotlivé obory diagnostiky se uplatňují nejen samostatně, ale také v nejrůznějších účelových kombinacích, přičemž cílem je po všech stránkách optimalizovat systémy údržby. Současným trendem jsou především bezdemontážní a provozní diagnostické metody umožňující sledovat systém bez odstavení, pod plným provozním zatížením. Zpravidla jde o nepřímé metody, kdy se zprostředkovává, na základě známých souvislostí volí vhodné a dobře měřitelné parametry s dobrou vypovídací schopností o celkovém stavu strojů a zařízení nebo jejich zásadních skupin. Takové parametry se sledují s potřebnou periodicitou, popř. nepřetržitě, jak to vyžaduje konkrétní diagnostická úloha.

Jsou to právě systémy nepřetržitého sledování (monitorovací), které jsou základem nejmodernějších proaktivních, popř. prediktivních systémů údržby. Nejčastěji se v těchto moderních systémech údržby lze setkat

s vibrační diagnostikou a termodiagnostikou a tam, kde je součástí stroje hydraulický či mazací okruh, často i s tribodiagnostikou.

## 6. Závěr

S rostoucí složitostí veškerých strojů a zařízení okolo nás se odpovídajícím způsobem rovněž mění přístup k péči o ně – k jejich údržbě. Systémy údržby na úrovni doby by měly obsahovat jistou úroveň predikce a proaktivity. Veškerá současná technika je úzce svázána s moderní elektronikou, jejíž údržba je nemyslitelná bez využívání technické diagnostiky na patřičné úrovni.

Prostředky a metody technické diagnostiky se stávají neodmyslitelnou součástí veškeré používané techniky, kterou by bez nich nebylo možné udržet v provozuschopném stavu. Technická diagnostika se tak stává neodělitelnou součástí současných systémů údržby v nedělitelném komplexu s údržbovými zásahy v praxi a s teoretickou spolehlivostí. Jen toto komplexní pojetí umožňuje zvládat stále složitější požadavky na údržbu jako podmínku samotné prosperity technického rozvoje.

## Literatura:

- [1] KREIDL, M. a kol.: *Diagnostické systémy*. Vydavatelství ČVUT v Praze, 2001, ISBN 80-01-02349-4.
- [2] MYKISKA, A.: *Spolehlivost technických systémů*. Vydavatelství ČVUT v Praze, 2000, ISBN 80-01-02079-7.
- [3] VDOLEČEK, F.: *Když se řekne spolehlivost a diagnostika*. Automatizace, 2003, roč. 46, č. 4, s. 276–280.
- [4] VDOLEČEK, F.: *Spolehlivost v diagnostice*. In: Sborník konference TD 2001 – Diagon 2001, UTB Zlín, Zlín 2001, s. 161–166, ISBN 80-7318-005-7.
- [5] VDOLEČEK, F.: *Maintenance system and acceptable diagnostics*. In: Sborník konference TD 2007 – Diagon 2007, UTB Zlín, Zlín 2007, s. 97–102, ISBN 978-80-7318-570-1.
- [6] VOŠTOVÁ, V. – HELEBRANT, F. – JEŘÁBEK, K.: *Provoz a údržba strojů – II. část Údržba strojů*. Vydavatelství ČVUT v Praze, 2002, ISBN 80-01-02531-4.

Ing. František Vdoleček, CSc.,  
FSI VUT v Brně  
(vdolecek@fme.vutbr.cz)

Na adrese [www.automa.cz](http://www.automa.cz) naleznete nové webové stránky s vylepšeným vyhledávačem a možností stahovat články ve formátu PDF.

