

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMATIZACE A INFORMATIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMATION AND COMPUTER SCIENCE

NOVÉ SMĚRY V ÚDRŽBĚ AUTOMATICKÝCH SOUSTAV

NEW TRENDS IN AUTOMATIC SYSTEMS MAINTENANCE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

RADEK CÍSAŘ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. BRANISLAV LACKO, CSc.

BRNO 2009

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automatizace a informatiky

Akademický rok: 2008/09

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Císař Radek

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Aplikovaná informatika a řízení (3902R001)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Nové směry v údržbě automatických soustav

v anglickém jazyce:

New trends in automatic systems maintenance

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Popsat možnosti využití inteligentní automatizace pro podporu údržby složitých automatizačních soustav, které by umožnily jejich snadné a spolehlivé provozování.

Cíle bakalářské práce:

Sestavit přehled problémů, které způsobují problémy při provozování automatizovaných soustav

Analyzovat možné způsoby řešení provozních problémů z hlediska údržby automatizovaných soustav

Seznam odborné literatury:

Lacko,B. a kol. Systémové pojetí automatizace. Computer Press 2000 Praha

Balátě,J.: Automatické řízení. BEN 2003 Praha

Kreidl,M.-Šmíd,R.:Technická diagnostika. BEN 2006 Praha

Vedoucí bakalářské práce:doc. Ing. Branislav Lacko, CSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2008/09.

V Brně, dne 27. 11. 2008

L.S.



doc. RNDr. Ing. Miloš Šeda, Ph.D.
Ředitel ústavu



doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

LICENČNÍ SMLOUVA

(na místo tohoto listu vložte vyplněný a podepsaný list formuláře licenčního ujednání)

ABSTRAKT

Bakalářská práce je rešeršního typu. Cílem této práce je sestavit přehled problémů, které se objevují při provozování automatizovaných soustav. Analyzovat je a navrhnou některá řešení, která by tyto problémy, buď úplně, nebo alespoň částečně odstranila.

ABSTRACT

Bachelor's thesis is the type of searching. The aim of this work is to list the problems that occur in the operation of automated systems. Analyze and propose some solutions to these problems, either completely or at least partially removed.

KLÍČOVÁ SLOVA

údržba, porucha, diagnostika

KEYWORDS

maintenance, breakdown, diagnostics

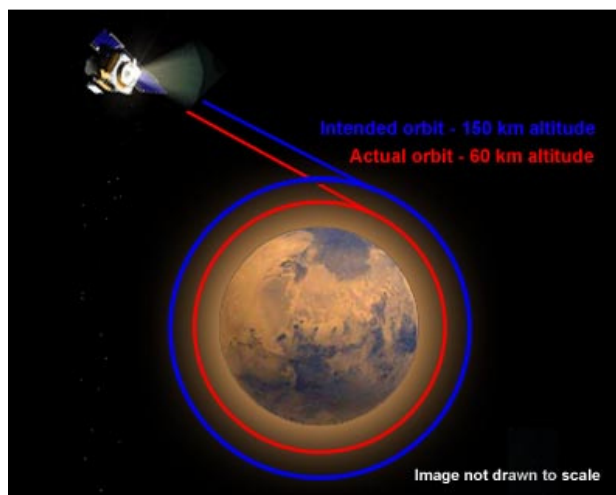
Na tomto místě bych rád poděkoval doc. Ing. Branislavu Lackovi, CSc., vedoucímu mé bakalářské práce za cenné rady, připomínky a pomoc při tvorbě této práce.

Obsah

Abstrakt	7
1. Úvod	13
2. Cíle	15
3. Problematika úplného životního cyklu produktu	17
3.1. Problematika užívání	18
3.2. Opravy	20
4. Problémy	21
4.1. Nalezení chyby	21
4.2. Profylaxe.....	23
4.3. Odstranění chyby	27
5. Návrhy možných řešení.....	31
6. Závěr.....	37
Seznam použité literatury.....	39

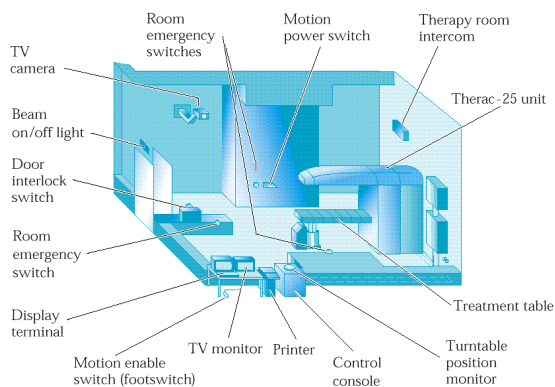
1 ÚVOD

V roce 1999 byl ztracen satelit Mars Climate Orbiter. Příčinou bylo, že tým satelitu v Coloradu a navigační tým mise v Kalifornii používali rozdílné měrové jednotky. Jedni anglické (palce, stopy, ...) a druzí metrické. Touto nepochopitelnou chybou se satelit dostal na jinou oběžnou dráhu. [6]



Obr. 3 Dráha satelitu – modrá předpokládaná, červená skutečná. [7]

Mezi lety 1985-1987 zahynulo šest pacientů při léčbě ozařovacím zařízením Therac-25. Již předešlý model vykazoval softwarovou chybu, ale u předešlého modelu byly případné kritické chybové stavy ošetřeny hardwarově. U jeho nástupce Therac-25, byla větší váha dána programu řídicího počítače. Bohužel softwarová chyba v programu zůstala. V důsledku této chyby nebo spíše v důsledku toho, že ošetření krizových chybových stavů vykazovalo chybu, zařízení používající dva druhy paprsků (rentgenové a elektronové) použilo paprsky jednoho a nastavení druhého modulu. [8]



Obr. 4 Schéma pracoviště se zařízením Therac-25. [9]

Na těchto případech je vidět, že následky drobných opomenutí mohou být katastrofické. A také že i ty nejabsurdnější chyby se prostě objevují. Tyto příklady jsou okrajové pouze ve svých následcích ne však ve svých příčinách. Stejná příčina může vést k tomu, že dostaneme kávu s mlékem místo s dvěma cukry, stejně jako že zahyne člověk. Záleží na tom, o jaké zařízení se jedná. Kontrolní mechanismy by však měly být u tak rozdílných úrovní, také na zcela jiných úrovních.

Podle údajů za minulý rok (2008), zveřejněných německým autoklubem ADAC je nejčastější příčinou poruch vybitá baterie nebo nefungující elektronika. Tento trend je rok od roku výraznější, loni problémy s elektronikou činily 40 % všech poruch, což je o 4 % více než v předchozím roce. ADAC to přičítá i rostoucímu množství elektrospotřebičů, které jsou montovány do aut a stávají se jejich běžnou výbavou. [10]

Nejen tato zpráva upozorňuje na to, že problémů bude stále přibývat. Automatizované systémy již nejsou doménou pouze průmyslu, dopravy nebo výpočetní techniky. Začínají se objevovat v domácnostech. Už to dávno není pouze PC v pracovně. Problematika se dotýká automobilů, mobilů, elektroniky, ale stále více i běžných elektrospotřebičů. Zvláště u těchto kategorií je přístup výrobců k možnostem oprav velmi špatný. Příklad, kdy závadu zapříčiněnou vadnou součástí v ceně několika set korun je možno opravit pouze výměnou celého zařízení v ceně několika desítek tisíc korun, není ojedinělý. Je jasné, že důvody tohoto stavu leží v oblasti obchodní a ne technické. Tomuto stavu také napomáhá fakt, že už jsme si tak trochu zvykli na situace, že počítač občas „zamrzne“ nebo zařízení nějak „blbne“ a je ho nutno vypnout a znovu zapnout.

Řadový uživatel však nemá potřebné znalosti na to, aby diagnostikoval poruchu a provedl nezbytné kroky pro odstranění chyby.

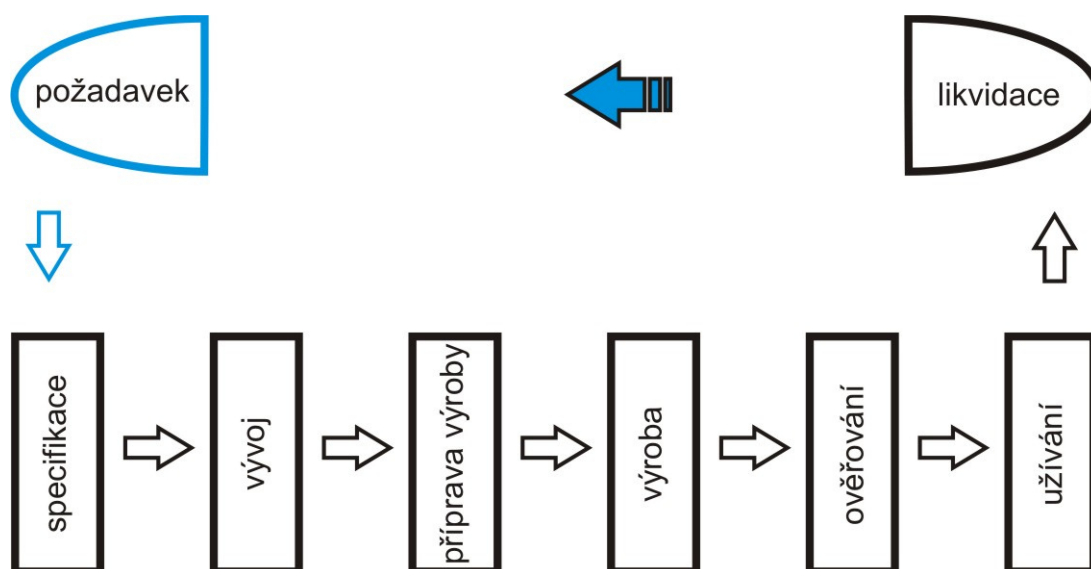
2 CÍLE

Cíle mé práce, vyplývající ze zadání, jsou dva. Prvním je sestavit přehled problémů, které se objevují při provozování automatizovaných soustav, ať už vznikly v kterékoli etapě vzniku produktu. Druhým pak analyzovat je a navrhnout některá řešení, která by tyto problémy, buď úplně, nebo alespoň částečně odstranila.

Především při sestavování přehledu problémů se budu snažit využít svých profesních zkušeností, ať už z výpočetní techniky nebo z prostředí strojírenské firmy (některé problémy budu demonstrovat na bruskách BE-38 ČZ Strakonice).

3 PROBLEMATIKA ÚPLNÉHO ŽIVOTNÍHO CYKLU PRODUKTU

U každého produktu lze vysledovat několik stádií. Na začátku je nějaká potřeba a následný požadavek na zhotovení výrobku. Na konci pak ukončením používání a následná likvidace výrobku. Nyní se podíváme na jednotlivá stadia trochu podrobněji z hlediska údržby automatizovaných soustav. Vyšel jsem z ČSN ISO/IEC 12207 (Informační technologie – Procesy v životním cyklu softwaru) a modifikoval jsem její schéma pro hmotné produkty. [3]

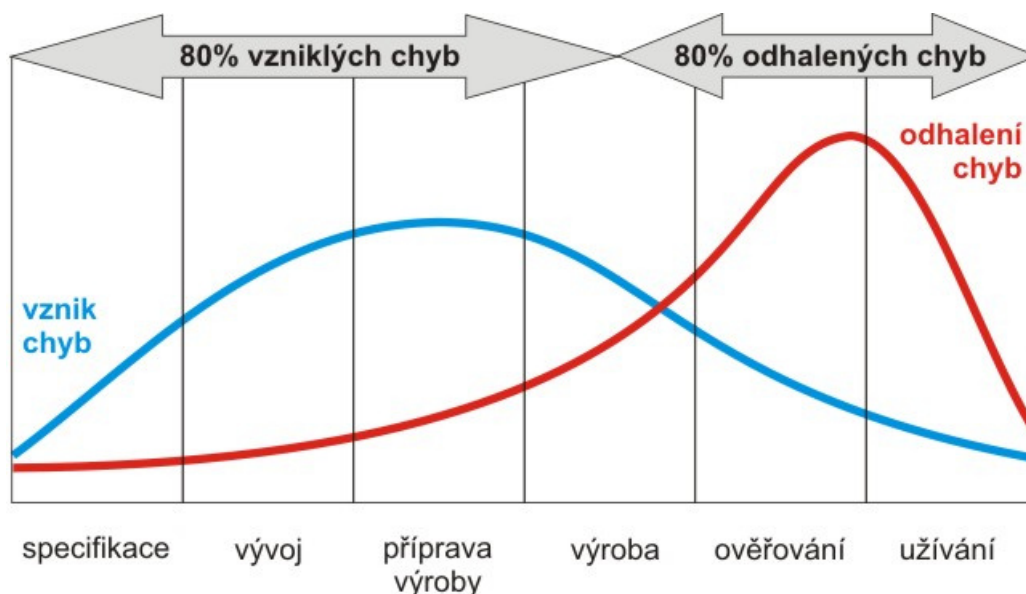


Obr. 1 Úplný životní cyklus produktu.

Požadavek	– je jediným stádiem, které nelze za běžných podmínek ovlivnit. Přichází z vnějšku a jako k neovlivnitelnému k němu tedy budu přistupovat.
Specifikace	– je stádiem, které nejvíce ovlivní veškeré budoucí dění. Je dobré pokud se podaří nastavit jednotlivé parametry výrobku tak, aby si co možná nejméně odporovaly. Rozporné nároky vznikají samozřejmě vždy, ale při jejich nadměrném nárůstu vyžaduje řešení nové myšlenky nebo nové peníze.
Vývoj	– stádium, na jehož konci je hotový výrobek. Konstrukční i technologický vývoj nesmí zapomínat na diagnostická a kontrolní systémy, která budou součástí výrobku nebo by se v budoucnu mohly jeho součástí stát.
Příprava výroby	– zahrnuje technickou a technologickou přípravu, tvorbu výrobní dokumentace, kusovníků a další náležitosti potřebné k zahájení výroby.
Výroba	– samotné zhotovení výrobku.
Ověřování	– velice důležité stádium, které je u složitých automatizovaných soustav značně nákladnou záležitostí. Bohužel právě z důvodů finančních, ale i časových je velmi často zkracováno. Následkem těchto úspor bývají poruchy a bohužel někdy i havárie.

- Užívání** – stádium, které je zhodnocením předešlých stádií. Čistě z hlediska provozovatele by mělo jít o zdaleka nejdelší stádium. Je třeba ale říct, že reálně tomu tak ve většině případů není. A to hlavně z obchodních důvodů. Tímto stádiem se budu dále zabírat podrobněji, neboť obsahuje problematiku provozování a údržby, která je tématem této práce.
- Likvidace** – je posledním a v dnešní době, zvýšených nároků na ekologii, také velmi důležitým stádiem. O výši nákladů na tuto činnost se však rozhoduje již při specifikaci a hlavně vývoji výrobku. Pokud se zde něco podcení, může potom být likvidace velmi problematickou a nákladnou záležitostí.

Dnes je všeobecně přijímán názor, že asi z 80% se o konečné kvalitě výrobku rozhoduje v předvýrobních etapách. Odhalení problémů už v předvýrobních etapách může mnohonásobně snížit následné náklady. Realita je však jiná, jak ukazuje obr. 2. Z 80% dochází ke vzniku problémů, právě v předvýrobním stádiu, ale z 80% se tyto chyby odhalují až v následujících fázích životního cyklu výrobku (výroba, užívání). To samozřejmě vede k zvyšování nákladů, protože výrobek je v tu chvíli už dokončený. [5]



Obr. 2 Graf vzniku a odhalování neshod v různých etapách životního cyklu výrobku. [5]

3.1 Problematika užívání

Nejdůležitějším kritériem, které musí produkt splňovat, aby jeho používání bylo pro provozovatele přínosem, je správně navržená funkce. Pokud se toto nepodaří, stává se užívání pouze řetězcem kompenzací. Pokud problém zjednodušíme, potom můžeme vztah produkt – uživatel rozdělit do čtyř skupin.

- Přátelský k uživateli

– funkčnost je zde jednou z priorit. O produktu je třeba něco vědět a přiměřeně se o něj starat. Některé jeho funkce je možné přizpůsobit, ale tato činnost není rozhodně automatická. Jako příklad je možno uvést např. OS Linux.

- Nepřátelský k neuživateli

– jde o mocný nástroj, u jehož uživatele se předpokládají odborné znalosti. Produkt plní pokyny až na hranici sebezničení, přičemž se předpokládá, že uživatel ví, co dělá. Funkčnost je tu na prvním místě. Jako příklad je možno uvést např. OS UNIX.

- Přátelský k neuživateli

– tento produkt je postaven na doplňkových funkcích, které v mnoha případech zcela zakrývají jeho původní účel. Funkčnost, která se za obvyklých okolností u produktu předpokládá, je značně omezená. Obchodně přitom může jít o velice zdařilý produkt. Jako příklad je možno uvést např. OS Windows 3.0.

- Nepřátelský k uživateli

– fungování produktu je omezeno a provoz vyžaduje splnit podmínky, které se u produktu tohoto druhu nepředpokládají. Výběr takového produktu je obvykle ovlivněn situací na trhu (např. monopolní postavení výrobce). Jako příklad tohoto typu produktu je možno uvést např. OS MS-DOS4.0.

Nyní podrobněji popíšeme problematiku samotného užívání výrobku z hlediska zajištění jeho provozuschopnosti.

Náklady na provoz	– jsou velice důležitým parametrem. U výrobků u nichž se předpokládá dlouhá doba provozování (v řádu roků) jde o jeden z nejdůležitějších parametrů. Nízké náklady na provoz jsou však většinou vykoupeny vyššími pořizovacími náklady.
Údržba	– tento bod skrývá všechny úkony předepsané výrobcem. Jde především o výměny provozních kapalin, jednotlivých dílů a celých bloků. Kontrolu a měření parametrů. Tato činnost by měla vést k co možná největšímu oddálení vzniku poruchy.
Oprava	– jde o činnost spojenou se znovuvvedením systému do bezvadného stavu. Jde na první pohled o samozřejmou věc, která ale u složitých automatizovaných soustav začíná už specifikací při navrhování výrobku. Výrobek dokonce může být navržen jako neopravitelný nebo se tato skutečnost ukáže provozem, případně se tato možnost ukáže jako nejschůdnější (z finančního či časového hlediska).

3.2 Opravy

Oprava je činností řešící stav, kterému se snažíme vyhnout. Zachování bezporuchového stavu je, ale z dlouhodobého hlediska nemožné. To vyplývá ze základní teorie spolehlivosti vycházející z exponenciálního rozdělení pro bezporuchový chod:

$$R_{(t)} = e^{-\lambda t} \quad (2.1)$$

Je však možné pravděpodobnost bezporuchového chodu zvětšit. Metod, pomocí kterých toho můžeme dosáhnout, je několik. [4]

Extrémní spolehlivost – tato cesta, jakkoli se zdá nejsnazším a nejlogičtější řešením je v praxi používána ve velmi omezené míře. Zahrnuje téměř výhradně systémy, jejichž poruchou by došlo k havárii (kritické části výrobních technologií, leteckou, lékařskou a vojenskou techniku, atd.). Hlavním problémem, který neumožňuje její širší použití u ostatních systémů je vysoká cena. Ať už se jedná o použití kvalitních nebo dokonce nových materiálů, či o využití posledních poznatků, tak u systémů běžně provozovaných nachází velmi malé uplatnění. Výše ztrát vyvolaných odstávkou systému během opravy nebo opravou samotnou, by totiž nedokázala opodstatnit vysokou pořizovací cenu.

Diagnostika – je vyhodnocení provozuschopnosti objektu za daných podmínek (okamžitý stav objektu). [4] Předvídání poruch umožňuje zlevnit provoz systému, jednak zkrácením času odstávky, která se omezí pouze na výměnu vadné součástky, ale také tím, že se předejde poruše, která v mnoha případech způsobí poškození i dalších součástí. U automatizovaných soustav, se však diagnostika stává velice složitým problémem, kdy je mnohdy výroba samotné soustavy jednodušší záležitostí než po té implementace její diagnostiky.

4 PROBLÉMY

Údržba a provozování automatizovaných soustav přináší mnohá úskalí, která u systémů s menší složitostí nenajdeme. K problémům s funkčností holého zařízení (mechanické nebo elektrické části) přistupují problémy s diagnostikou (senzory, sběrnice, přenos, ...) a řídicí jednotkou (hardware, software). Potom při špatném navržení celé soustavy, se provoz stává sérií poruch, které navíc není možno jednoduše odhalit.

4.1 Nalezení chyby

Tento na první pohled triviální problém, se u automatizovaných soustav stává problémem zásadním. Pomineme-li poruchy, při nichž dochází u zařízení k viditelným mechanickým nebo tepelným změnám a případy kdy diagnostický systém nahlásí překročení nějaké mezní hodnoty, tu zbývá ještě poměrně velká skupina problémů, která nejde okamžitě vyhodnotit. Chyby se totiž většinou vyskytují náhodně a souvislost s čímkoli tedy není zprvu zcela jasná, protože do procesu vstupuje mnoho zjevných i skrytých vlivů. Dále se tedy budu zabývat tímto typem chyb.

Příklady, které zde uvedu, byly pozorovány u brusek řady BE-38 ČZ Strakonice (obr. 5), vyrobených na začátku osmdesátých let.



Obr. 5 Bruska řady BE-38 (foto autora).

- Chyby 1. druhu
(Diagnostika hlásí chybu, ale vše se zdá být v pořádku)

– tedy až na to, že se zařízení zastavilo. Systémem nahlášená část zařízení, ale při kontrole nevykazuje žádnou chybu a ani výměna dílu nevede ke změně. Většinou je problém v citlivosti senzoru, jehož nastavení je na hraně a při jakémkoli vnějším podnětu (změna teploty, zvětšující se vůle, opotřebení, znečištění, změna viditelnosti, ...) sepne. Další častou příčinou je špatně napsaný software, kdy se nevzali v úvahu všechny možnosti nebo naopak je reakce na chybu definována tak obecně, že optická signalizace, či zobrazovaný text ohlašující chybu je až zavádějící.

Např. polohování pracovního vřeteníku je u brusek BE-38 zajišťováno diskem s vybroušenými šterbinami, přes které je snímán tlak vzduchu profukovaný přes tyto šterbiny. Pokud při výměně senzoru nebo disku je senzor nastaven příliš citlivě, vede to později k hlášení špatné polohy pracovního vřetene, i když mechanicky je vše v pořádku. Chyba nastává buď hned po zapnutí, při prvních pracovních cyklech stroje, když je řezná kapalina studená, tudíž má vyšší viskozitu a polohovací šterbina se snáze částečně zanele a nebo po nějakém době provozu, kdy se otěrem snímače o disk srazí hrany šterbiny a vzduch má tendenci pronikat i mimo šterbinu. Odstranění tohoto problému je samozřejmě banální záležitostí, ale když se objevil poprvé, určitě se tak údržbě nejevil.

- Chyby 2. druhu
(Zařízení se zastavilo bez zjevné příčiny)

– diagnostika nezareagovala. Vypnutí zařízení většinou vyvolají bezpečnostní ochrany. Zde je situace o něco složitější, protože není výjimkou, že jediným vodičkem je okamžik, v kterém k výpadku došlo. Příčinou může být vadný senzor. Dost často je však chyba opět v softwaru. Zvláště v případech kdy se zařízení dodatečně osazuje automatikou. Už tak nákladná akce je pak zlevňována např. zadávání obecných předpokladů o podmínkách provozování zařízení místo zjištěním skutečností na místě samém. V průběhu provozu se zařízení následně dostane do takových provozních podmínek, z jejichž nároky se nedokáže řídicí systém vyrovnat.

Jako příklad uvedu přestavbu dvou brusek BE-38. První z nich (V24) byla osazena programovatelným automatem na začátku devadesátých let (Tesla, assembler). Druhá (V28) byla osazena programovatelným automatem na konci devadesátých let (Siemens Simatic7). První stroj (V24) přestavěl technik, který dříve na této brusce pracoval, druhý (V28) výrobce brusky. První (V24) kontroluje velikost najetí nástroje a po té i skutečnou polohu nástroje. Druhý (V28) kontroluje pouze velikost najetí a předpokládá, že obě tyto polohy jsou totožné. Tento předpoklad ovšem přestane platit v okamžiku, kdy se saně posunu nástrojů opotřebí nad určitou mez. Pokud zjištění tohoto stavu padne do období rozhodujícího pro dokončení objednávky, vedení firmy rozhodně nedovolí odstávku stroje na jednu směnu, nutnou pro výměnu saní. Za určitých okolností potom dojde k tomu, že hotový kus se liší od tolerance 10 krát a v krajním případě už nástroj ani není schopen najet do výchozí nulové polohy a řídicí systém brusku zastaví.

- Ostatní případy

– jde o situace, které nelze jednoznačně přiřadit ani k jedné zmiňované skupině. Chyby se objevují nahodile, proti všem zvyklostem a jejich odhalení většinou končí nezdarem. Jde často také o události, které se již více neopakují nebo se opakují s velmi dlouhým horizontem a jejich následné nasimulování je pak reálně nemožné nebo přinejmenším velmi nesnadné.

Jako chybu, která spadá do této skupiny je možno uvést událost pozorovanou u brusky BE-38. V jeden okamžik se začali provádět tyto operace. Pracovní vřeteno najelo do pracovní polohy a začalo brousit. Buben pracovního vřetena se začal otáčet a orovnač začal orovnávat pracovní nástroj. Následkem bylo zničení opracovávaného kusu, brusného nástroje, zničení diamantového orovnače a ohnutí jeho hřídele. Diagnostika přitom hlásila chybu na jiné části stroje. V záznamech bylo zjištěno, že tato událost se již asi před šesti lety udála na jiné brusce téže řady (BE-38). Aby tato situace nastala, muselo dojít k neseptnutí několika čidel a obejití několika mechanických pojistek. Příčina chyby nebyla zjištěna.

4.2 Profylaxe

Jedná se o soubor činností (čištění, kontroly a testování) majících za cíl předejít poruchám a co možná nejvíce prodloužit bezporuchový stav. [4]

Nejdůležitější moment a moment, který rozhodne o možnostech nasazení diagnostiky i o jejích celkových přínosech, je již návrh výrobku. Již v tomto momentě je třeba myslet na zabudování diagnostiky do výrobku nebo na její možném budoucím použití.

Prostorové uspořádání – diagnostika se do výrobku musí hlavně vůbec vejít. Její umístění by nemělo omezovat možnost oprav nebo dokonce činnost výrobku. Musí být počítáno s plochami nebo s přímo úchyty pro čidla. Také je potřeba myslet na to, že čidla bude nutno spojit, případně tyto spoje vyvést mimo výrobek.

Variabilita – celý diagnostický systém by měl být pokud možno modulární, aby opravy, výměny nebo případný přechod na novější či jiné moduly probíhal co možná nejsnáze.

Metod, kterých můžeme použít při diagnostice je mnoho a závisí na konkrétním výrobku, prostředí či finančních možnostech.

- **Smyslová diagnostika**

– jedná se o nejstarší metodu, která je dnes již překonaná. Její závěry byly velmi nepřesné, a pokud se vyskytl jedinec s abnormálními schopnostmi (např. s hudebním sluchem v případě diagnostiky ložisek) byl nezastupitelný a jeho zkušenosti nepřenosné.

- **Vibroakustická diagnostika**

– používá se především u zařízení s pohyblivými díly. Dokáže podávat informace nejen o vnitřních stavech dílů, ale i o místě a příčině poruchy. [4]

- **Termo-diagnostika**

– metoda založená na měření teploty problematických míst. Vychází s předpokladu, že problematické místo se zahřívá víc. K samotnému měření se pak používají, jak kontaktní a bezkontaktní teploměry, tak v dnešní době především termovize. Potom při prolnutí obrazu snímaného termovizí, ve viditelném a v IR záření dokážeme problematické místo velice dobře lokalizovat. [4]



Obr. 6 Termokamera umožňující prolínání a vyhodnocování digi a termo snímků. [11]

- Tribo-diagnostika

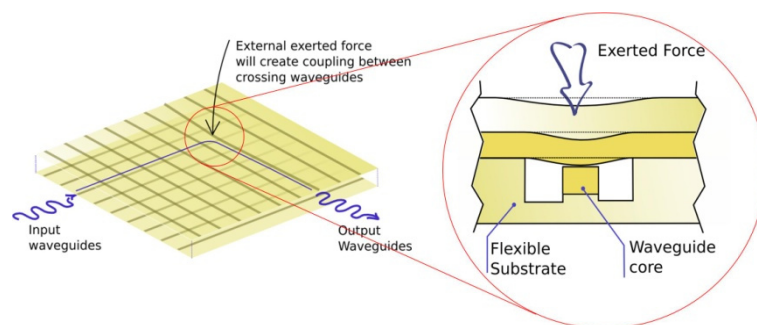
– je užívána u mechanických systémů s kapalinovým okruhem (mazacím, hydraulickým, chladícím, ...). Metoda se zakládá na analýze některých parametrů těchto kapalin (viskozita, pH, obsah vody, karbonizačních prvků, zbytkových prvků, ...). S výhodou se používá u mechanických strojů složených z více pohyblivých uzlů. [4]

- Elektro-diagnostika

– je to soubor metod, které se zabývají elektrickými stroji a zařízeními. Jednak silovým elektrickým vedením a izolacemi (zde se používají i některé metody z jiných oborů např. termovize), dále pak elektronikou a procesory (zde již většinou nastupuje funkční diagnostika). [4]

- Ostatní metody diagnostiky

– z mnoha dalších metod se jako velice slibnou metodou jeví pružné senzorové fólie. Ve výzkumném středisku IMEC na universitě v Gentu vyvinuli pružnou fólii složenou ze dvou světlovodných vrstev reagujících na tlak v místě jeho působení (podařilo se jim zredukovat tloušťku fotodetektorů a laserových diod na 30 μm). Její využití by mohlo být při kontrole stability a pevnosti stavebních a strojních konstrukcí. [12]



Obr. 7 Struktura optické senzorové fólie a princip reakce na tlakový podnět. [12]

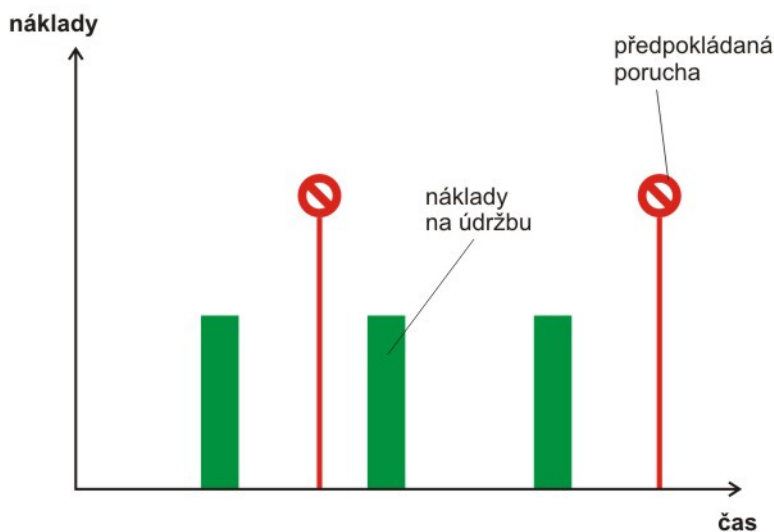
Klasické náklady na údržbu vzrostly v USA mezi lety 1981 až 2000 na dvojnásobek, z 600 miliard \$ v roce 1981 na 1200 miliard \$ v roce 2000. Podle dostupné zahraniční literatury se náklady na údržbu v průmyslových podnicích pohybují mezi 6-10 % ročního obrátu firmy. Pokud k tomu připočteme náklady na provoz skladování náhradních dílů a úroky z prostředků, které jsou v nich vázány, tak se dostaneme na 25 %. Vzhledem k zvyšující se automatizaci provozů lze očekávat další nárůst.

Převažujícím důvodem tohoto stavu je nedostatek faktů o číslech ukazujících druh, množství a časové využití údržby na jednotlivé typy činností (údržba, opravy, výměnu). Mnohdy i pokrokové metody diagnostiky jsou používány zcela nahodile a tím se ztrácí možnost získat důležité údaje, které by mohli vést k prediktivní údržbě. [13] [14]

Pro naše potřeby bude nejúčelnější rozdělit údržbu podle okamžiku zásahu. Zcela pomineme první metodu – údržba po poruše, která je spíše historickou metodou a její nedostatky, jako velké náklady na samotnou opravu a výpadek provozu ji vyčleňují z množiny dnes používaných metod.

- Preventivní údržba

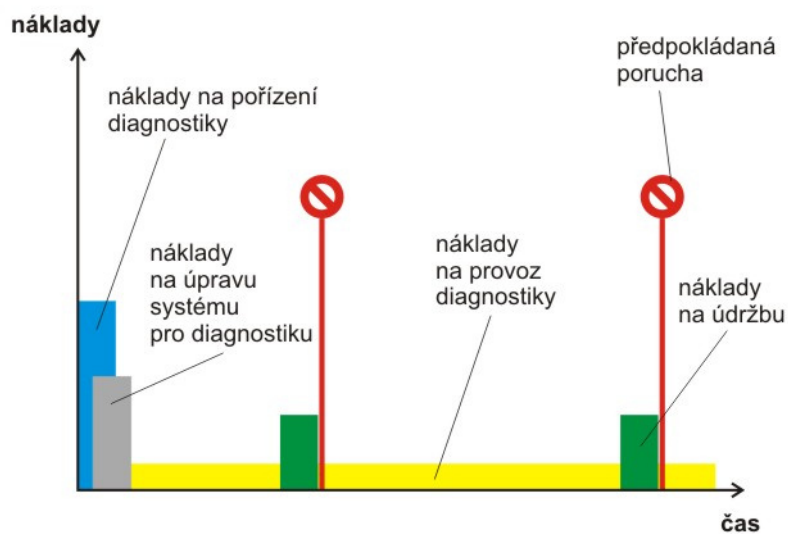
– typ údržby založený na plánu údržby, kde jsou v časových posloupnostech předepsány jednotlivé úkony údržby. Tyto okamžiky jsou odvozeny od provozních hodin nebo uplynuté doby a stanovují se na základě statistických či historických údajů pro jednotlivé typy zařízení. Jelikož se vychází ze statistických čísel, nepodaří se vždy předejít poruše. Hlavní nevýhodou této metody však jsou vysoké náklady na náhradní díly a jejich skladování. Často se také podaří vyhodit funkční díl. [13]



Obr. 8 Rozložení nákladů u preventivní údržby. [15]

- Prediktivní údržba

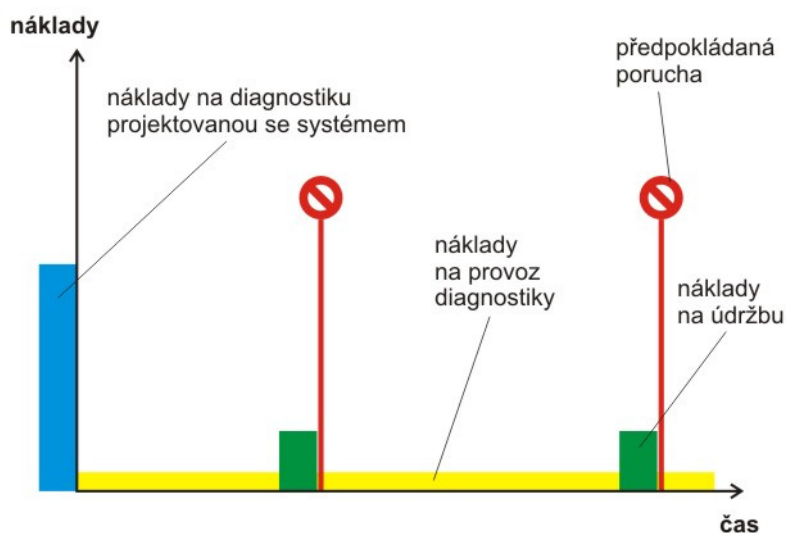
– spočívá v přímém sledování provozních podmínek, tedy začlenění diagnostiky (údržba dle skutečného stavu). Úspěšnost v předcházení poruchám je při správné funkci diagnostiky stoprocentní. Zde největší část nákladů odčerpají startovací náklady na diagnostiku a na úpravu samotného systému pro tuto diagnostiku. Tyto poměrně vysoké vstupní náklady jsou však více než vyváženy úsporami spojenými s odstraněním poruch a výpadků. [15]



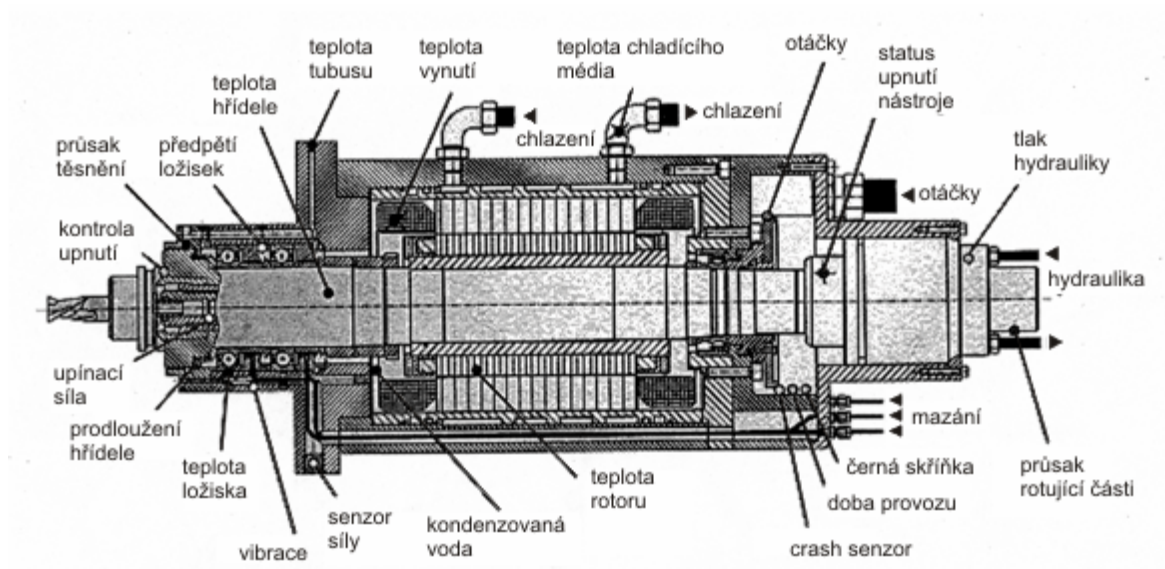
Obr. 9 Rozložení nákladů u prediktivní údržby. [15]

- Proaktivní údržba

– jedná se vlastně o dokonalejší variantu prediktivní metody. Hlavním rozdílem je, že vše se připravuje již ve stádiu návrhu a tím odpadají náklady spojené s přestavbou systému. Zde je startovací investice ještě větší, především díky projekční činnosti, než u prediktivní metody. Výhody v podobě nižších provozních nákladů a vypuštění nutnosti přestavby systému, však tyto zvýšené vstupní náklady zdaleka převyšují. [15]



Obr. 10 Rozložení nákladů u proaktivní údržby. [15]



Obr. 11 Ukázka posledních poznatků v diagnostice a jejich technického zhodnocení. Ideálně diagnostikované vřeteno dle firmy SKF Group. [16]

4.3 Odstranění chyby

Je to završením všech výše uvedených snah o zachování provozuschopnosti systému. Je to také poslední možnost. Odstranění chyby (oprava) systému se děje v zásadě dvěma způsoby, které se v dnešní době již z velké části překrývají.

- Oprava

– tento způsob spočívající v náhradě nebo v zprovoznění nejmenší vadné funkční jednotky je v dnešní době, z několika příčin na ústupu. Nahrazuje ho výměna celých modulů nebo dokonce bloků. Vysoký stupeň integrace, který u automatizovaných soustav a nejenom u nich, v poslední době pozorujeme, jinou možnost většinou ani neskýtá. Lze předpokládat, že výrobci budou v tomto trendu pokračovat.

Někteří z nich se snaží při výměně dílu nabídnout inovaci v podobě novějšího dílu či dílu z novější verze, což je zajímavé řešení pro obě strany. Výrobce nemusí vyrábět díly do zásoby pro potřeby servisu, ale pouze díly aktuální verze. Zákazník dostane přidanou hodnotu. I toto řešení má své problémy. Je třeba na tento způsob servisu myslet již při návrhu výrobku. A je jasné, že komptabilita dílů nemůže trvat do nekonečna. Zákonitě přijde okamžik, kdy původní konfigurace (interface, rychlost komunikace, sběrnice, protokol, ...) přestane stačit novým nárokům kladeným na tento typ výrobku.

Důvody pro prohlubující se integraci jsou v zásadě dva.

První důvod je finanční. Integrace více součástí do jednoho celku vede k zlevnění výroby. Další finanční úspory jsou u následného servisu. Sortiment skladovaných dílů se zmenší. Nároky na servisní personál se u běžných elektronických zařízení (elektrospotřebiče, mobily, PC, ...) sníží na úroveň vyměňovačů dílů (buď je to deska A nebo B nebo to nelze opravit). Je třeba, ale také říci, že na opačném konci spektra (automaticky řízené provozy, letecká a lékařská technika, atd.) tyto nároky stoupají na úroveň konstruktérů těchto systémů.

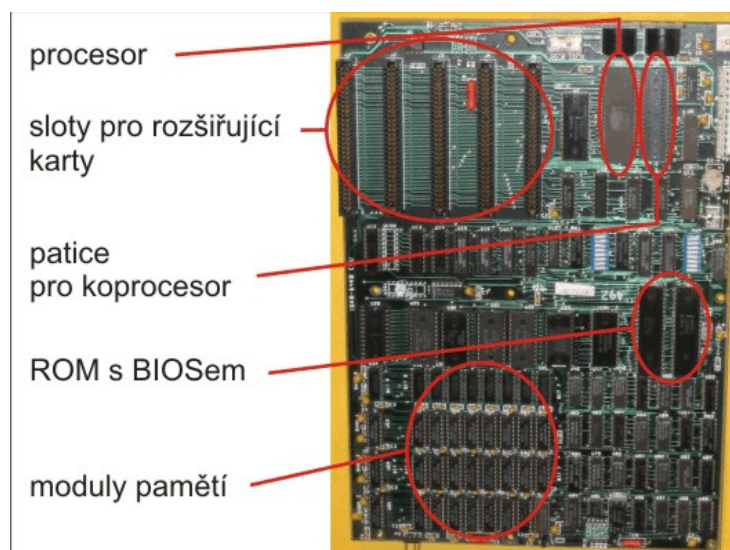
Druhý důvod je technický. Integrací součástek dojde k celkovému zmenšení rozměrů i váhy modulu, což může skýtat nové možnosti. Modul má více prostoru a lze ho potencionálně umístit na více pozic, lze ho lépe ochránit nebo odstínit a apod. Dalším přínosem je zkrácení komunikačních spojů, což u často používaných částí může vést k řádovému zrychlení (např. integrované obvody).

Na příkladu základní desky počítače si můžeme ukázat, kam až obě tyto tendence posunuly strukturu modulů na tomto komponentu za posledních skoro třicet let. Ukážeme si strukturu základní desky počítače s procesorem Intel 8086 ze začátku osmdesátých let a o více jak čtvrt století mladší snahu firmy VIA o integraci z roku 2006.

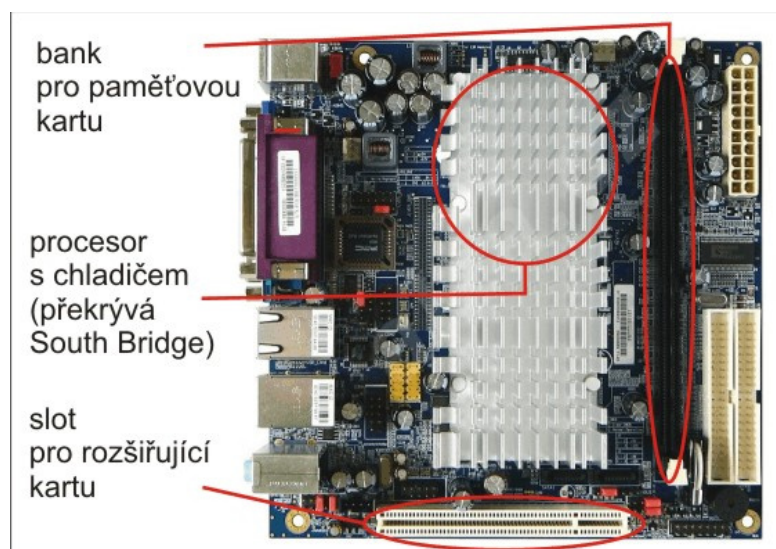
První věcí, které si všimneme, je integrace matematického koprocesoru do procesoru. Tento počín přináší výhody oběma stranám. Výrobce zlevní výrobu, zákazník dostane rychlejší zařízení. To je ideální případ.

Další věcí je změna osazování pamětí. Původní způsob osazování, kdy je základní deska osazována přímo výměnnými (původně dokonce pevnými) paměťovými moduly, je změněn na osazování speciálních paměťových karet (SIMM, DIM, ...) paměťovými moduly. Až těmito kartami je pak osazována přes paměťové sběrnice (banky) základní deska. Důvodů pro tuto změnu bylo několik. Prvním byl prostor, který by na desce při zvyšujících se nárocích, musely paměti zabírat. Další je délka komunikačních spojů, která by bez použití paměťových banků enormně rostla. Vzhledem k frekvenci používání paměti by i enormně klesl výkon počítače. Poslední důvod, který uvedu je čistě provozní. Výměna paměťového modulu (samotného čipu) byla dosti problematická a docházelo k ohýbání nebo dokonce ulomení nožek čipu.

Poslední změnou, na kterou se podíváme, je struktura připojení periférií. U původního návrhu byly všechny periférie (monitor, tiskárna, síťové připojení, myš, ...) připojeny pomocí speciálních karet, které byly zasunovány do slotů. To kladlo vysoké nároky na propustnost sběrnice. Obrovskou výhodou tohoto řešení, ale bylo, že jednotlivé karty periférií byly vyměnitelné. Výměna za totožnou nebo výkonnější nebyl problém. Při integraci, kterou použila firma VIA (vše je integrováno – procesor, grafika, audio, síť, ...), je řešením jakákoli porucha, pouze výměna celé základní desky. Důvody pro toto řešení jsou jak rozměrové (snahy zmenšit základní desku) tak finanční (snížení ceny).



Obr. 12 Základní deska počítače s procesorem Intel 8086. [17]



Obr. 13 Základní deska VIA EPIA EK8000EG Mini ITX. [18]

- **Výměna**

– předcházející příklad naznačuje, kam se nejspíše budou ubírat metody odstraňování chyb. Nelze předpokládat, že by se tento trend zastavil nebo dokonce otočil. Zvláště u spotřební elektroniky, ale zřejmě i u složitějších automatizovaných soustav (např. automobily), bude jednoznačně dominantním jako způsobem odstraňování chyb výměna. Na samotné metodě výměny celých bloků není nic závadného. Jde však o míru. Pokud se celý automatizovaný systém skládá z jednoho bloku a přitom se jedná o poměrně složitý výrobek, je cena odstranění chyby v řádech desítek procent nebo se v krajním případě může téměř rovnat ceně výrobku samotného.

5 NÁVRHY MOŽNÝCH ŘEŠENÍ

Všechny problémy, které jsem uvedl v předešlých kapitolách, jsou více či méně řešitelné. Některé lze odstranit úplně, ale většina z nich je takové povahy, že můžeme jejich působení pouze omezit nebo kompenzovat. Také možnosti a ochota výrobců tyto opatření zavést je velmi rozmanitá. Následující návrhy sahají od myšlenek, které jsou již v nejnovějších systémech zahrnuty, až po myšlenky k jejichž zavedení nebo jen ke konstrukčnímu řešení, je zřejmě ještě dlouhá cesta.

- Modularita

Stále větším problémem při provozování automatizovaných soustav je integrace, která pokročila již tak daleko, že u jednodušších zařízení, je porucha rovna zničení výrobku, protože jedinou formou opravy je výměna systémové desky, na které je integrováno téměř vše a jejíž cena je řádově stejná s cenou výrobku.

Rozdělení systému do několika logických bloků by identifikaci chyb nijak výrazně neztížilo a přitom by výrazně přispělo k zlevnění provozu. Nemuselo by jít ani o samostatné moduly připojené přes nějakou sběrnici. Již pouhá mechanická oddělitelnost těchto bloků a vzájemné propojení přes konektory, by bylo přínosem. Je jasné, že výrobní náklady na takové řešení se zvýší a to se jeví jako největší problém.

- Dálkové monitorování

Tento způsob získávání informací a řízení různých typů automatizovaných soustav se v posledních letech se stává standardním. Využívání dobře dostupných sítí internetu nebo GSM (zprávy SMS, datová služba GPRS), se jeví jako zvláště výhodné a to nejen z finančního hlediska. Zvláště u těžko dostupných nebo vzdálených lokalit (vzhledem k umístění střediska) je to efektivní způsob, jak získávat informace, stahovat data, ale i aktivně zasahovat do chodu těchto zařízení. Ať už se jedná o prosté zapnutí a vypnutí různých pohonů, zadávání parametrů, nouzové převzetí řízení nebo jen oznámení poruchy servisnímu technikovi. U moderních systémů k tomu postačuje pouhé odeslání zprávy SMS s příslušným klíčovým slovem. Oblasti využití se neomezuje pouze na energetické sítě a produktovody. Stále více se využívají v dopravě, v rozsáhlých výrobních závodech ke komunikaci s obráběcími stroji, ale třeba i v domácnostech k nastavování různých spotřebičů.



Obr. 14 Řídicí jednotka M4016-RV FIEDLER-MÁGR se zabudovaným GSM modulem. [19]

Výhodami těchto řešení jsou nesporně nízké provozní náklady a možnost chybu, kterou systém nahlásí na dálku odstranit nebo alespoň uvést zařízení do takového stavu, který by eliminoval havárii do příjezdu servisního technika. U GSM sítí je také obrovskou výhodou pokrytí signálem, které je v našich zeměpisných podmínkách téměř stoprocentní.

U některých oborů by však mohlo bránit v nasazení komunikace pomocí zpráv SMS nejistota v době doručení. Operátoři totiž tuto dobu negarantují. Reálně se jedná o časy v řádech sekund až minut. Toto empirické konstatování však u kritických provozů neobstojí. [20]

- Oprava softwaru vypnutých zařízení

Možnost provádět úpravy softwaru na vypnutých zařízeních, přináší pro uživatele i IT administrátory mnoho výhod. Pro uživatele je to především větší bezpečnost. Všechny bezpečnostní aktualizace, nejnovější patche, ale i kontroly aplikací probíhají podle potřeby a ne podle provozní doby zařízení. Administrátoři dostávají do rukou nástroj, který jim umožní efektivně řešit problémy u mnoha uživatelů v jednotném čase.

Jako příklad je možno uvést řešení OmniAccess 3500 Nonstop Laptop Guardian (NLG) firmy Alcatel-Lucent. Notebook je osazen PC Card s vlastním počítačem, napájením a modemem. Změny, které byly na kartu zaznamenány, se pak provedou okamžitě po zapnutí notebooku. [21]



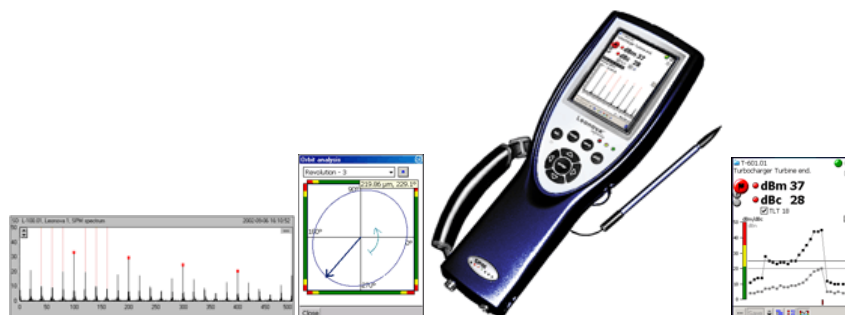
Obr 15. Schéma produktu firmy Alcatel-Lucent. [22]

- Multifunkční diagnostické nástroje

Množství elektronických součástek v různých výrobcích neustále stoupá (typicky automobily). Tím samozřejmě stoupá i složitost diagnostikování a prověřování zda tyto součástky, mnohdy od různých výrobců, pracují dohromady.

Multifunkční diagnostické nástroje umožňují pomocí speciálních aplikací přeposílat požadavky ostatním zařízením v reálném čase. Výhodou je možnost připojení počítače nebo PDA. Mnohé jsou vybaveny operačním systémem (nejčastěji Linux). Návaznost řídicích jednotek a aplikací je řešena různě. Např. firma gedas (dnes součástí T-systems) řeší toto propojení pomocí diagnostického jádra, které řeší specifické požadavky jednotlivých zařízení (čtení identifikace, mazání chybové paměti, rozhodnutí který typ sběrnice použít atd.). [23] Další možností je přístup firmy SPM a její produkt Leonova Infinity. Jedná se o komplexní diagnostický přístroj, který může obsahovat mnoho funkcí pro diagnostiku (měření vibrací, otáček, teploty, pomocných analogových signálů atd.), schopný dlouhodobě zaznamenávat

výsledky měření a komunikovat s nadstavbovým softwarem. Velkou výhodou je, že jednotlivé funkce lze dohrávat dodatečně, což šetří náklady. [24]

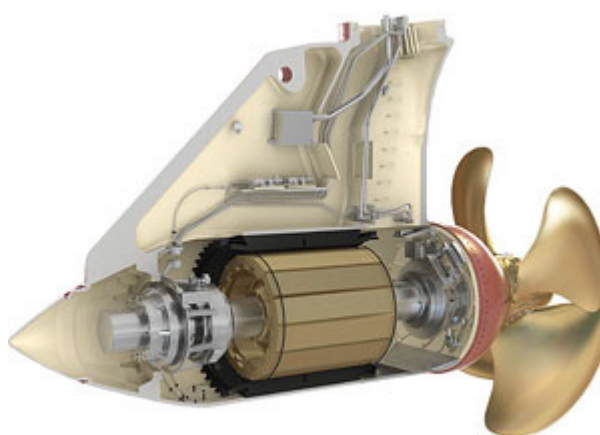


Obr. 16 Diagnostický přístroj Leonova Infinity firmy SPM. [24]

- Diagnostická centra

Řídící centrum kde by se sbíhaly všechny naměřené údaje (on-line měření) o daném zařízení, by dokázalo vytvořit reálný obraz jeho stavu. Tento ucelený obraz, sestavený z měření za celou jeho provozní historii, lze pak použít při řešení krizových situací. S kompletní historií lze potom lépe porozumět důvodům poruch. Při nasazení v podmínkách, kde se obsluha zařízení stále obměňuje (letadla, lodě, těžní věže, apod.), nabízí toto řešení obsluhu téměř neměnný tým centra s přehledem o událostech z kteréhokoli období.

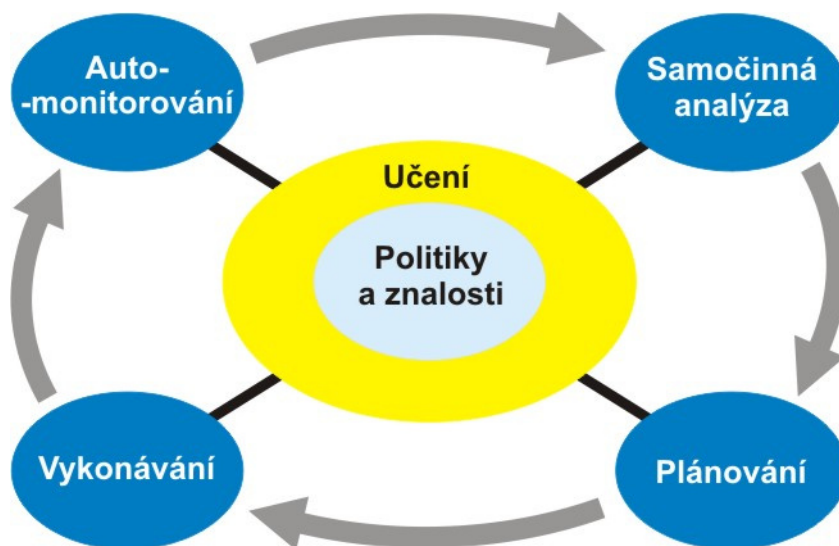
Příkladem nasazení tohoto řešení je systém MasCon48 vyvinutý společností SKF pro gondolové pohonné jednotky výletní lodě Queen Mary 2. Jde o systém on-line diagnostiky, umožňující upozorňovat posádku pomocí textových zpráv, doplněných o další informace, o kritických stavech a způsobu jejich řešení. Pomocí satelitního spojení zasílá data do monitorovacího střediska SKF a do řídicího centra Rolls-Royce (výrobce pohonných jednotek). Střediska většinou slouží jako poradci posádky, ale v případě potřeby mohou i na dálku nastavovat speciální typy měření a pomoci s odhalením příčiny poruchy. [25]



Obr. 17 Gondolový pohonný systém Rolls-Royce Mermaidt instalovaný na Queen Mary 2. [26]

- Samozotavení systémů

„Samozotavování je schopnost libovolné technologie monitorovat samu sebe, automaticky zjišťovat problémy a následně začít aplikovat řešení, které tyto problémy obejde nebo odstraní,“ takto definuje tento termín Jean-Pierre Garbani, analytik firmy Forrester Research. [27]

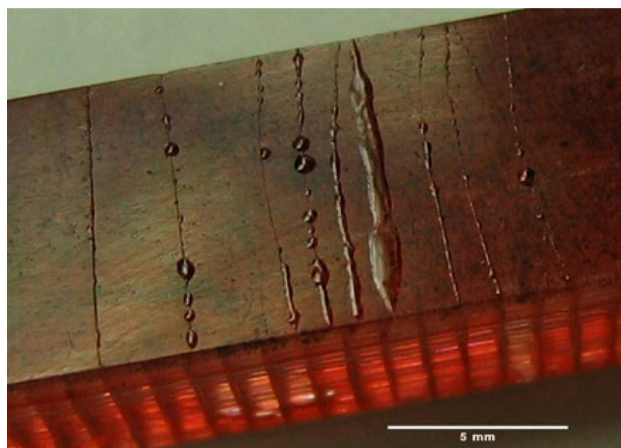


Obr. 18 Výčet schopností samozotavitelného systému dle Richarda Ptaka. [27]

Jednou s oblastí, která se snaží samozotavení aplikovat, jsou IT technologie. Jako příklad je možno uvést automatické připojování chybějících prostředků (paměť, procesory) v případě databáze BD2 firmy IBM nebo operační systém Solaris 10 OS firmy Sun, který prediktivně diagnostikuje paměti a procesory. Při výskytu chyby pak dokáže automaticky vyřadit vadné stránky paměti z používání nebo uvést do stavu offline jednotlivá jádra procesoru nebo více jader v téže patci víceprocesorových systémů Sun AMD Opteron. To že systém dokáže překonat poruchu jedné součásti, aniž by byl nutný restart nebo dokonce zastavení celého systému, je samozřejmě velkou výhodou. [28] [29]

Další velkou oblastí s perspektivou použití jsou samotné části soustav. Především jde o díly, které jsou namáhány a dochází u nich k únavovým lomům. Jelikož veškeré snažení v této oblasti směřuje k tomu, alespoň se přiblížit regeneračním schopnostem živých organismů, použijí i analogické rozdělení, i když v zjednodušené formě.

Do první skupiny spadají mechanismy, které jsou vlastností dané struktury. Jejich regenerační mechanismy tedy fungují bez ohledu na umístění poruchy (nepotřebují diagnostiku). U živých organismů je možno uvést jako příklad srážlivost krve. První samoopravitelné materiály na bázi polymerů byly již vyrobeny. Nadějně se vyvíjí výzkum uhlíkových vláken a jejich kombinací s kovovými a umělohmotnými materiály (kompozity). V oblasti nanotechnologií je pak naděje na přípravu materiálů zcela nových, vytvářených na míru. [30] [31]



Obr. 19 Ukázka „hojení“ trhlin na povrchu samoopravitelné konstrukce. [31]

Druhá skupina diagnostiku potřebuje, protože zásah je směřován. Jako příklad mechanismu živých organismů je možno uvést transport zvýšeného množství vápníku do oblasti srůstu zlomenin kostí. Zde se výzkum zaměřuje na zakomponování senzorů přímo do materiálu nebo použití potahových materiálů se speciálními vlastnostmi. Dostupných informací o těchto materiálech, vzhledem k tomu, že se jedná o strategický výzkum (zadavatelem je většinou armáda), je však málo. [32]

6 ZÁVĚR

Cíle stanovené v zadání byly splněny. Sestavený seznam problémů vyskytujících se při provozování automatizovaných soustav byl demonstrován na rozmanitých produktech s využitím vlastních profesních zkušeností. Na věc bylo nahlíženo z mnoha úhlů, ve snaze ukázat složitost a provázanost jednotlivých dílčích problémů. Návrhy popsané v práci se obbracejí, až na výjimky, především do budoucnosti. U některých nastíněných problémů není navrženo řešení, vzhledem k tomu, že by se jednalo o rozhodnutí spíše ekonomická než technická.

Doporučení se týkají především transparentnosti obsluhy automatizovaných soustav. Všechna hlášení systému by měla být jednoznačná, aby bylo v každém okamžiku jasné co se „děje“ a jaké případné kroky podniknout. Dalším důležitým tématem je organizace servisu a údržby. Jak dostupnost, tak dostatečná doba trvání podpory ze strany výrobce jsou mnohdy rozhodujícím faktorem pro řešení provozních problémů. Je však jasné, že řešení konkrétních firem se odvíjí od firemní politiky a financí.

Seznam použité literatury

- [1] LACKO, B. a kol. *Systémové pojetí automatizace*. Praha: Computer Press, 2000.
- [2] BALÁTĚ, J. *Automatické řízení*. Praha: BEN, 2003.
- [3] ÚNMZ. *ČSN ISO/IEC 12207 Informační technologie – Procesy v životním cyklu softwaru*. Praha: ČNI, 2002.
- [4] VDOLEČEK, F. *Spolehlivost a technická diagnostika*. FSI VUT Brno, 2002
[cit. 2009-04-21]. Dostupné na: <<http://autnt.fme.vutbr.cz/Lab/A1-731a/FSD.pdf>>.
- [5] VYKYDAL, D. *Plánování jakosti a jeho význam pro dodavatele automobilového průmyslu* [on-line]. Katedra kontroly a řízení jakosti, VŠB-TU Ostrava. 2000 [cit. 2009-04-21].
Dostupné na: <<http://fmml10.vsb.cz/639/qmag/mj15-cz.htm>>.
- [6] DOUGLAS, I.; HARDIN, M.; UNDERWOOD, J. *Mars climate orbiter team finds likely cause of loss* [on-line]. 1999-10-30 [cit. 2009-04-21]. Dostupné na:
<<ftp://ftp.hq.nasa.gov/pub/pao/pressrel/1999/99-113.txt>>.
- [7] MARSHALL, S. *Software Engineering: Mars Climate Orbiter* [on-line]. 2002
[cit. 2009-04-21]. Dostupné na:
<http://www.vuw.ac.nz/staff/stephen_marshall/SE/Failures/SE_MCO.html>.
- [8] LEVESON, N.; TURNER, C. *An Investigation of the Therac-25 Accidents* [on-line]. 1993-07-07 [cit. 2009-04-21]. Dostupné na:
<http://courses.cs.vt.edu/~cs3604/lib/Therac_25/Therac_1.html>.
- [9] SHROFF, Paritosh. [on-line]. 2003 [cit. 2009-04-21]. Dostupné na:
<<http://www.cs.jhu.edu/~pari/600.107/Horstmann/slides/Ch08/images/therac25.png>>.
- [10] ČTK. *Nejspolehlivější auta jsou od Audi a BMW* [on-line]. 2009-04-18 [cit. 2009-04-21].
Dostupné na: <http://www.lidovky.cz/nejspolehlivejsi-auta-jsou-od-audi-a-bmw-fdk-/ln_ekonomika.asp?c=A090417_173354_ln_ekonomika_abc>.
- [11] *Fluke Ti25 Thermal Imager* [on-line]. 2009 [cit. 2009-04-21].
Dostupné na: <<http://us.fluke.com/usen/products/Ti25.htm>>.
- [12] MARENT, K. *IMEC paves the way towards optical sensing foils* [on-line]. 2008-10-07 [cit. 2009-04-21]. Dostupné na:
<http://www2.imec.be/imec_com/imec_paves_the_way_towards_optical_sensing_foils.php>.
- [13] *Od preventivní k prediktivní údržbě* [on-line]. 2006, číslo 13, [cit. 2009-04-21].
Dostupné na: <<http://www.techtydenik.cz/detail.php?action=show&id=408&mark=>>>.
- [14] *Informační systémy v koncepci údržby a oprav výrobních zařízení* [on-line]. 2000
[cit. 2009-04-21]. Dostupné na: <<http://www.systemonline.cz/clanky/informacni-systemy-v-koncepci-udrzby-a-oprav-vyrobnich-zarizeni.htm>>.
- [15] VDOLEČEK, F. *Technická diagnostika v systémech údržby. AUTOMA*, 2008, č. 5, s. 30-32. ISSN 1210-9592.
- [16] Měřicí technika na VCSVTT. *Technický týdeník*, 2004, roč. 52, č. 3, s. 6. ISSN 0040-1064

- [17] *Mainboard IBM PC* [on-line]. 2006, [cit. 2009-04-21].
Dostupné na: < <http://www.flickr.com/photos/stiefkind/193219291/>>.
- [18] *Základní deska VIA EPIA EK8000EG Mini ITX* [on-line]. 2009 [cit. 2009-04-21].
Dostupné na:
< <http://www.alza.cz/zakladni-deska-via-epia-ek8000eg-mini-itx-d63847.htm>>.
- [19] *M4016-RV řídící jednotka membránových regulačních ventilů* [on-line]. 2009 [cit. 2009-04-21]. Dostupné na:
<http://www.fiedler-magr.cz/index.php?str=v/m4016-rv&__r1a>.
- [20] VALÁŠEK, R. BARTOŠ, P. Servis elektrických zařízení v novém tisíciletí. *Automatizace*, 2002, roč. 45, č. 3, s. 172. ISSN 0005-125X
- [21] LOUDA, P. *Notebooky půjde spravovat i vypnuté* [on-line]. 2008-11-03 [cit. 2009-04-21].
Dostupné na: <<http://computerworld.cz/internet-a-komunikace/notebooky-pujde-spravovat-i-vypnute-303>>.
- [22] *Alcatel-Lucent OmniAccess 3500 Nonstop Laptop Guardian Technical Overview* [on-line]. 2008-10-25 [cit. 2009-04-21]. Dostupné na:
<http://www1.alcatel-lucent.com/gsearch/search.jhtml?_requestid=26058>.
- [23] PŘEUCIL, P. Diagnostika na přání. *IT Systems*, 2006, č. 5, s.44-45. ISSN 1802-615X
- [24] *Leonova Infinity* [on-line]. 2009 cit. 2009-04-21].
Dostupné na: <<http://www.spminstrument.cz/produkty-sluzby/prenosne-pristroje-pro-dagnostiku-stroju/leonova-infinity>>.
- [25] *Výkon gondolových pohonných jednotek pod neustálým dohledem* [on-line]. 2006, č. 4, [cit. 2009-04-21]. Dostupné na:
<<http://www.techtydenik.cz/detail.php?action=show&id=862&mark=>>>.
- [26] *Podded propulsors* [on-line]. 2009 [cit. 2009-04-21]. Dostupné na:
<<http://www.rolls-royce.com/marine/products/propulsors/podded/>>.
- [27] HAMBLÉN, M. Systémy, které se dokáží samy léčit. *COMPUTERWORLD*, 2004, č. 10, s. 22. ISSN 1210-9924.
- [28] NOVÁK, M. *Samostatné počítače* [on-line]. 2002-10-22 [cit. 2009-04-21].
Dostupné na: < <http://old.chip.cz/novinky/?clanek=5825>>.
- [29] *Téma týdne* [on-line]. 2006-08-29 [cit. 2009-04-21].
Dostupné na: < <http://cz.sun.com/temata/2006/12/06/>>.
- [30] KAPOUN, J. *Začíná věk molekulární nanotechnologie* [on-line]. 2003-11-10 [cit. 2009-04-21]. Dostupné na:
<<http://scienceworld.cz/ekonomika/zacina-vek-molekularni-nanotechnologie-2743>>.
- [31] TOOHEY, K. *Self-Healing Materials with Microvascular Networks* [on-line]. 2007-06-10 [cit. 2009-04-21]. Dostupné na: <<http://www.mvac.uiuc.edu/network.html>>.
- [32] *NASA hledá „samoopravné“ materiály* [on-line]. 2003 [cit. 2009-04-21].
Dostupné na: < http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=28689>.