

**ČESKÁ SPOLEČNOST PRO JAKOST**

**Novotného lávka 5, 116 68 Praha 1**

**51. SEMINÁŘ  
ODBORNÉ SKUPINY PRO SPOLEHLIVOST**

pořádané výborem Odborné skupiny pro spolehlivost  
k problematice

**Informace o spolehlivosti  
produktů v provozu a jejich  
využití**



**Materiály z 51. semináře  
odborné skupiny pro spolehlivost**

Brno, červen 2013

**Odborný garant semináře: doc. Ing. David Vališ, Ph.D.**

**ISBN 978-80-02-02469-9**

Sborník přednášek: **Informace o spolehlivosti produktů v provozu a jejich využití.**

Vydání 1., Česká společnost pro jakost

Brož

**ISBN: 978-80-02-02469-9**

Kolektiv autorů

32 stran

## **OBSAH:**

<b>SBĚR DAT O SPOLEHLIVOSTI V PROVOZU</b>	<b>2</b>
<i>Ing. Michal VINTR, Ph.D., Vysoké učení technické v Brně</i>	
<b>VYHODNOCENÍ BEZPORUCHOVOSTI VÝROBKU NA ZÁKLADĚ INFORMACÍ O REKLAMACÍCH</b>	<b>12</b>
<i>prof. Ing. Zdeněk VINTR, CSc., dr.h.c., Fakulta vojenských technologií, Univerzita obrany v Brně</i>	
<b>SLEDOVÁNÍ PROVOZNÍ SPOLEHLIVOSTI VOZIDLA TATRA 810 V PODMÍNKÁCH AČR</b>	<b>17</b>
<i>Ing. Jiří CHALOUPKA, Ph.D., Vojenský technický ústav pozemního vojska, Vyškov</i>	
<b>MOŽNOSTI VYUŽITÍ DIAGNOSTICKÝCH DAT PRO PREDIKCI UKAZATELŮ BEZPORUCHOVOSTI A OPTIMALIZACI SYSTÉMU ÚDRŽBY</b>	<b>23</b>
<i>doc. Ing. David VALIŠ, Ph.D., RNDr. Libor Žák, Ph.D., Fakulta vojenských technologií, Univerzita obrany v Brně, Vysoké učení technické v Brně</i>	

# SBĚR DAT O SPOLEHLIVOSTI V PROVOZU

*Ing. Michal VINTR, Ph.D.*

*Vysoké učení technické v Brně*

*e-mail: michal.vintr@usi.vutbr.cz*

## 1. Úvod

Cílem příspěvku je seznámit čtenáře s problematikou sběru a vyhodnocení dat o spolehlivosti v provozu. V příspěvku jsou prezentovány principy a vybrané aspekty sběru a vyhodnocení dat. Příspěvek je rozdělen do tří částí. V první části jsou objasněny základní pojmy související se sběrem a vyhodnocením dat. Druhá část je zaměřena na samotný sběr dat a jeho specifika. V poslední části jsou stručně naznačeny možnosti vyhodnocení získaných dat o spolehlivosti v provozu.

Sběr dat o spolehlivosti v provozu je nezbytným základem pro určení nebo ověření toho, jak se produkt chová v provozu z hlediska spolehlivosti. Sběr dat o spolehlivosti v provozu by měl být nedílnou součástí efektivního programu spolehlivosti. Sběr dat je však pouze prvním krokem, přestože mnohdy nejnáročnějším. Sebraná data musí být následně vyhodnocena za účelem získání požadovaných informací.

Sběr a vyhodnocení dat probíhá s obecným cílem získat informace o spolehlivosti produktu v provozu (o tzv. „provozní“ spolehlivosti). K tomu je nezbytné sbírat data nejen ve fázi provozu, ale i v předcházejících fázích životního cyklu produktu (zejména ve fázích návrhu, vývoje, výroby a instalace).

## 2. Základní pojmy

### 2.1 Data versus informace

Pojmy *data* a *informace* se v běžné mluvě střídavě používají, mnohdy jako by znamenaly totéž. Tyto pojmy však mají odlišné významy [7]:

- Data jsou fakta, události, transakce atd., které byly zaznamenány. Jsou to vstupní suroviny, z nichž se zpracovávají informace. Často se nazývají surová nebo základní data a často je tvoří záznamy každodenních transakcí organizace.
- Informace jsou data, která byla vytvořena tak, aby byla užitečná pro příjemce. Informace jsou data, která příjemce zprávy interpretoval a pochopil. Je nutné poznamenat, že do přeměny dat na informace je zapojen uživatel, ne jen odesílatel.

Obecně se základní data nějakým způsobem zpracovávají, aby tvořila informace, ale pouhé zpracování dat samo o sobě nevytváří informace [7].

### 2.2 Dobré informace

Dobré informace jsou takové, které se používají a které vytvářejí hodnotu. Dobrá informace má mnoho vlastností, jako je [7]:

- důležitost;
- přesnost;
- úplnost;
- důvěra ve zdroj;
- komunikace se správnou osobou;
- načasování;
- úroveň podrobností.

### 2.3 Kvalitativní a kvantitativní data

Kvantitativní data jsou něco, o čem lze tvrdit, že má hodnotu v podobě čísla. Příklady kvantitativních dat mohou být: počet hodin, vzdálenost, výkon, počet poruch, cena apod.

Kvalitativní data jsou méně určitá a nemohou být vyjádřena jako číslo. Příklady kvalitativních dat mohou být: název prvku, příčina poruchy, důsledek poruchy apod.

Oba typy dat jsou důležité, navzájem se podporují [7].

### 2.4 Sledované veličiny

Pro potřeby kvantitativního vyhodnocení dat o spolehlivosti v provozu je nezbytné získat data, která umožní následným zpracováním získat (a průběžně sledovat) informace o veličinách vztahujících se k „provozní“ spolehlivosti produktu.

Jednou z nejdůležitějších sledovaných veličin je *doba provozu*, která je definována jako časový interval, během něhož je objekt v provozu [4].

Vzájemný vztah pojmů *čas* a *doba provozu* je vysvětlen dále. Doba provozu je doba, potřebná k vykonání určitého rozsahu práce vykonané produktem. Může to být jakákoliv fyzikální veličina, vázaná k provozu, charakterizující tento provoz a sledovatelná technickými prostředky a měřitelná fyzikálními jednotkami. Doba provozu může být měřena například s využitím následujících jednotek:

- hodiny [h];
- ujetá vzdálenost [km];
- počet pracovních (zátěžových) cyklů [1];
- litry spotřebovaného paliva [l];
- počty výstřelů [1].

Mezi další sledované veličiny lze zařadit:

- Veličiny vztahující se k bezporuchovosti – doba provozu do poruchy, doba provozu mezi poruchami, užitečný život atd.
- Veličiny vztahující se k udržovatelnosti a zajištěnosti údržby – doba údržby, doba preventivní údržby, doba do obnovy, doba údržby po poruše, doba opravy, pracnost údržby, logistické zpoždění, technické zpoždění atd.
- Veličiny vztahující se k pohotovosti – doba použitelného stavu, doba nepoužitelného stavu atd.

### 2.5 Hodnocené ukazatele

Cílem kvantitativního vyhodnocení dat o spolehlivosti v provozu bývá obvykle určení (odhad) dosažených hodnot nebo ověření splnění specifikovaných hodnot ukazatelů vztahujících se ke spolehlivosti. Těmto ukazateli jsou:

- *Ukazatele bezporuchovosti* – střední doba do poruchy, střední doba provozu mezi poruchami, intenzita poruch, pravděpodobnost bezporuchového provozu atd.
- *Ukazatele udržovatelnosti a zajištěnosti údržby* – intenzita opravy, střední doba do obnovy, střední doba opravy, střední pracnost údržby, střední administrativní zpoždění, střední logistické zpoždění atd.
- *Ukazatele pohotovosti* – funkce okamžité pohotovosti, součinitel asymptotické pohotovosti, střední doba použitelného stavu, střední doba nepoužitelného stavu atd.

### 2.6 Kategorizace poruch

Pro potřeby sběru a vyhodnocování dat o spolehlivosti v provozu je nezbytné zavedení kategorizace poruch podle účelových kritérií. Nejčastěji se poruchy kategorizují podle následujících kritérií:

- započitatelnosti do hodnocení spolehlivosti;
- důsledků pro plnění požadovaných funkcí;
- důsledků pro bezpečnost (zdraví a životy lidí, materiální škody, ekologie, atd.);
- pravděpodobné příčiny vzniku poruchy;
- způsoby opravy.

Je možné zavedení i dalších účelových kritérií, vždy však s ohledem na účel vyhodnocování dat o spolehlivosti v provozu. Zavedená kategorizace poruch by měla respektovat kategorizaci poruch definovanou ve specifikaci požadavků na spolehlivost tak, aby umožňovala vyhodnocení toho, zda jsou specifikované požadavky splněny či nikoli.

Při vyhodnocování dat o spolehlivosti v provozu lze za nejdůležitější kritérium pro kategorizaci poruch považovat *započitatelnost do hodnocení spolehlivosti*. Každá porucha, která nastane během provozu, by měla být klasifikována jako započitatelná nebo nezapočitatelná. Cílem této kategorizace je, aby do hodnocení spolehlivosti byly zahrnuty jen ty poruchy, které skutečně charakterizují spolehlivost sledovaného produktu.

Mezi nezapočitatelné poruchy se obvykle zahrnují:

- poruchy související s náhodným poškozením nebo nesprávným zacházením (použitím);
- poruchy v důsledku chybné funkce produktů, které nejsou součástí sledovaného produktu;
- poruchy způsobené aplikací vnějších zátěžových podmínek, které překračují povolené provozní podmínky;
- sekundární (závislé) poruchy, které jsou přímým důsledkem primárních poruch;
- poruchy způsobené prokazatelně lidským faktorem;
- poruchy, které vzniknou jako důsledek nesprávně prováděné preventivní a nápravné údržby;
- poškození, vzniklá v důsledku montáže, instalace, nebo přepravy;
- poruchy prvků, které mají specifikovaný život nebo periodu do výměny v souladu s intervalem vzniku poruchy (např. žárovky).

Poruchy nezapočitatelné se vždy vylučují z hodnocení spolehlivosti.

### 3. Sběr dat o spolehlivosti v provozu

#### 3.1 Úvodní poznámky

Sběr dat o spolehlivosti v provozu by měl být nedílnou součástí efektivního programu spolehlivosti. Norma ČSN EN 60300-1 [5] doporučuje, aby každá organizace stanovila proces pro sběr dat a jejich analýzu.

Sběr a následné vyhodnocení dat o spolehlivosti v provozu umožňují zejména:

- určit (odhadnout) ukazatele vztahující se ke spolehlivosti produktu;
- potvrdit splnění požadavků zákazníka;
- plánovat údržbu;
- odhadnout náklady na záruky;
- sbírat základní data pro možné případy odpovědnosti za škody;
- zavést zpětnou vazbu na návrh a výrobu;
- uvážit budoucí požadavky na zdroje a náhradní díly;
- zlepšit požadavky na spolehlivost;
- posoudit oprávněnost modifikací.

Obecným cílem sběru dat o spolehlivosti je zlepšování příslušných produktů a procesů v jednotlivých etapách životního cyklu produktu. Konkrétně si sběr dat a jejich vyhodnocení klade za cíl zejména:

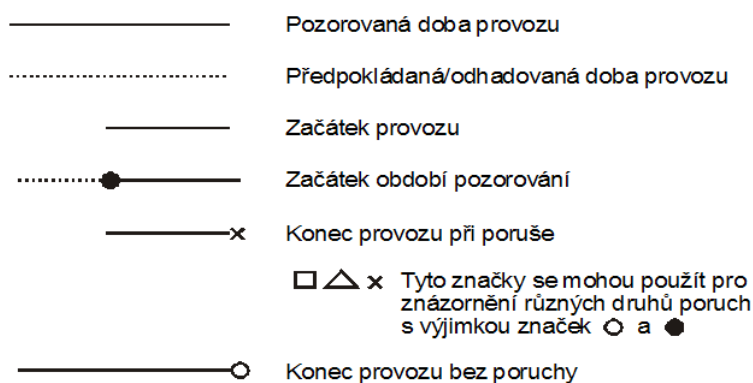
- zaznamenat a uchovat prvotní kvantitativní a kvalitativní dat o době provozu, údržbě, poruchách a případných dalších okolnostech vztahujících se k plnění požadovaných funkcí produktu;
- určit nebo ověřit objektivní hodnoty ukazatelů bezporuchovosti, životnosti, udržovatelnosti, bezpečnosti a provozní ekonomičnosti produktu;
- ověřit oprávněnost pokynů pro provoz, údržbu a opravy produktu;
- ověřit validaci splnění požadavků na nakupované produkty;
- porovnat vlastnosti sledovaného produktu s obdobnými produkty na trhu;
- získat objektivní informace pro zlepšení vlastností příští generace produktu.

Před zahájením sběru dat o spolehlivosti v provozu je nezbytné vzít v úvahu několik důležitých skutečností:

- sběr dat o spolehlivosti v provozu je často dlouhodobá činnost;
- před dokončením vyhodnocení dat je nutné mít k dispozici data pokrývající dlouhou dobu provozu produktu a/nebo mnoha produktů;
- sběr dat je nutné provádět dlouhodobě a systematicky, proto musí probíhat jako plánovaná činnost s uvážením příslušných cílů;
- sběr dat nelze provádět bez spolupráce všech zúčastněných stran, kterými jsou:
  - výrobci,
  - subdodavatelé,
  - servisní organizace,
  - uživatelé,
  - zákazníci;
  - atd.
- je nezbytné zavést informační systém sběru dat.

### 3.2 Používaná symbolika

Pro potřeby grafického znázornění některých dat získaných v provozu je vhodné používat symboliku uvedenou na Obrázku 1, v souladu s ČSN IEC 60300-3-5 [8].



Obr. 1: Symbolika pro znázornění dat z provozu [8].

### 3.3 Časové hledisko při sběru dat

Z hlediska času existuje několik možností, jak může sběr dat o spolehlivosti v provozu probíhat. Konkrétně může sběr dat probíhat jako [7]:

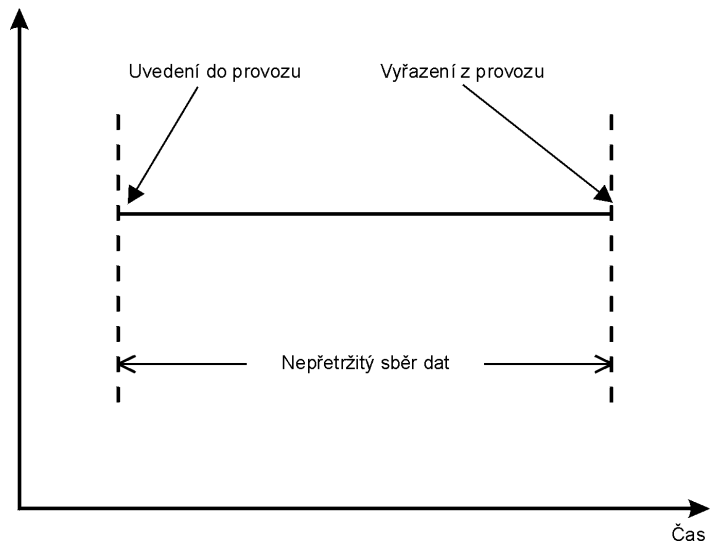
- nepřetržitý sběr dat;
- sběr dat v časovém okně;
- sběr dat v několika časových oknech;
- sběr dat v pohyblivém časovém okně.

Při nepřetržitém sběru dat se data sbírají nepřetržitě po celou dobu životního cyklu produktu (viz Obrázek 2).

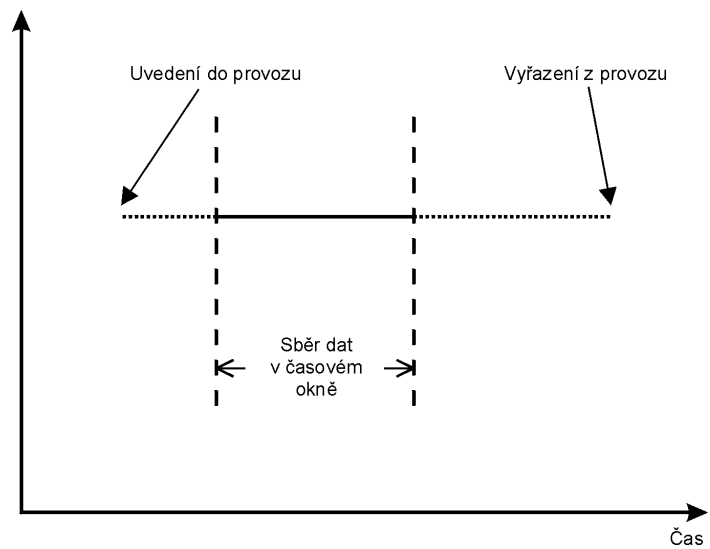
Při sběru dat v časovém okně se data sbírají v jediném časovém okně (intervalu) životního cyklu produktu (viz Obrázek 3). Například pouze v průběhu záruční doby.

Při sběru dat v několika časových oknech se data sbírají v několika časových oknech během životního cyklu produktu (viz Obrázek 4).

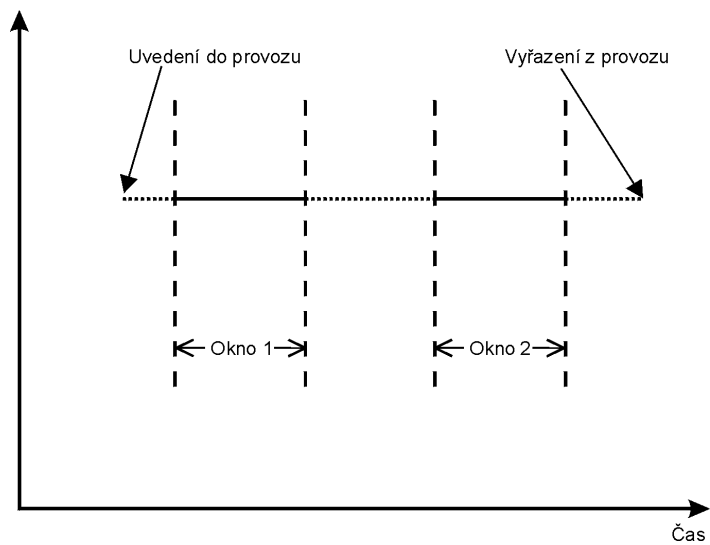
Sběr dat v pohyblivém časovém okně je obdobný jako sběr dat v časovém okně s výjimkou toho, že se časy začátku a konce okna pohybují s časem. To znamená, že když se sbírají nová data, nejstarší data se vždy vyřadí [7].



Obr. 2: Nepřetržitý sběr dat [7].



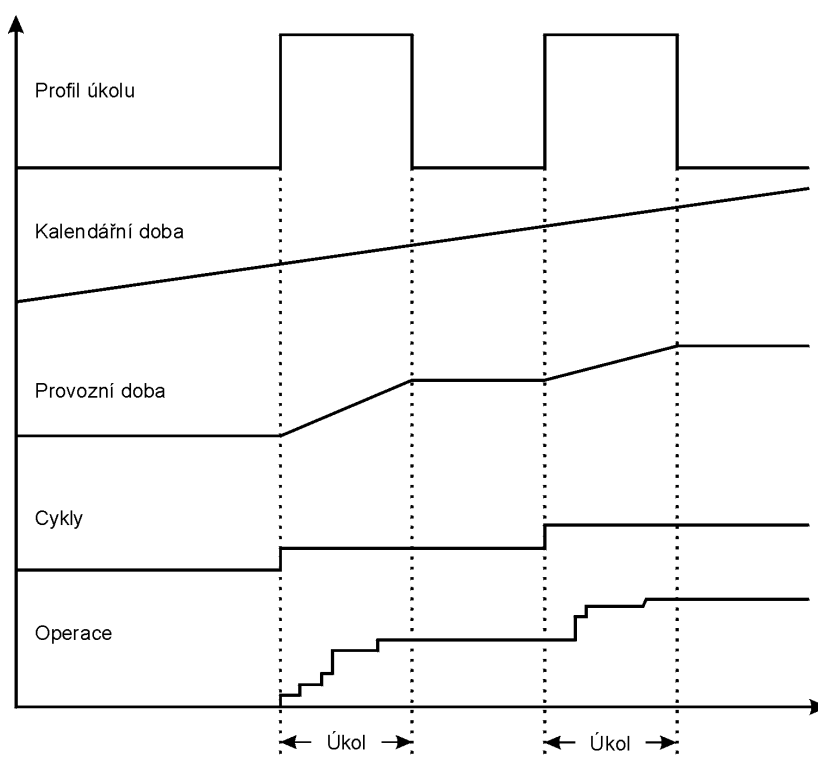
Obr. 3: Sběr dat v časovém okně [7].



Obr. 4: Sběr dat v několika časových oknech [7].



Je důležité zmínit, že časovou mírou při sběru dat nemusí být pouze kalendářní doba, ale lze použít i další „ukazatele“ času (podrobněji viz poznámka k době provozu v kapitole 2.4). Mezi různými časovými mírami často existuje určitý vztah, jak je patrné z Obrázku 5.



Obr. 5: Různé časové míry [7].

### 3.4 Hledisko úplnosti při sběru dat

Úplný sběr dat je sběr dat o každém produktu, který se používá v provozu. Omezený sběr dat pokrývá podmnožinu těchto produktů, např. všechny produkty používané na specifickém místě nebo používané specifickým zákazníkem. Při omezeném sběru dat lze k rozhodování o místech a počtu produktů, které se budou sledovat, používat různé metody vzorkování [7].

Hlavním účelem vzorkování je stanovit zvolené informace z výběru nebo z něho získat pokud možno co nejvíce informací o základním souboru, z něhož byl výběr odebrán [7].

### 3.5 Typy dat

Sbírat lze nejrůznější kvalitativní a kvantitativní data o spolehlivosti v provozu, která lze obecně rozdělit do čtyř skupin [7]:

- *Inventární data* – Do těchto dat se zahrnují data prokazující, že určitý produkt existuje v provozu, jak je konfigurován a jaké součásti obsahuje. Je vhodné uchovávat data, která identifikují původní stav konstrukce, výrobce, číslo dodávky, stav modifikací, historii oprav atd.
- *Data o používání* – Do těchto dat se zahrnují data o tom, kdy byl produkt uveden do provozu, jak je provozován a kdy byl případně z provozu vyřazen. Data o používání se obecně udávají ve formě dat o stavech produktu a době jejich trvání.
- *Data o prostředí* – Do těchto dat se zahrnují data o podmínkách prostředí produktu, často v podobě faktorů, které se považují za důležité pro jeho spolehlivost.
- *Data o událostech* – Do těchto dat se zahrnují data o jakýchkoliv záležitostech, které nastaly u produktu během jeho života, do nichž se zahrnují poruchy, opravy, vylepšení atd. Mezi události vedoucí k vyjmutí z provozu je možné zahrnout poruchy, údržbářské zásahy atd. Pro účely následného vyhodnocení dat, je nutné události kategorizovat do skupin, které mají pro vyhodnocení určitý význam.

Mezi konkrétní data, která mohou být sbírána, patří například:

- data o identifikaci a konfiguraci produktu;
- data o podmínkách, době provozu a způsobu používání;
- data o poruchách a způsobech jejich odstranění;
- přesná identifikace porouchané součásti;
- data o počtu identických součástí, použitých na produktu;
- data o údržbě a opravách;
- data o provozním prostředí;
- data o pravděpodobné příčině poruchy;
- personální data o odpovědnosti osob za správnost dat;
- případné další prvotní data podle vnitřních potřeb organizace.

V některých oborech (např. v železniční dopravě) jsou data získaná z provozu označována jako REX (Return of Experience).

### 3.6 Zdroje dat

Data z různých zdrojů je nezbytné sbírat nejen ve fázi provozu, ale i v předcházejících fázích životního cyklu produktu.

Data nezbytná pro vyhodnocování spolehlivosti v provozu mohou být získána z mnoha různých zdrojů. Konkrétně lze data získat například:

- z výroby;
- z prodeje a instalace;
- ze záruk za jakost (z reklamací);
- z provozu a údržby;
- ze zákaznické podpory (ze servisu);
- z analýzy poruch vrácených produktů a součástí;
- z likvidace.

Sbíraná data o spolehlivosti v provozu lze obecně rozdělit na:

- *Přímá data* – data sebraná přímo výrobcem produktu.
- *Nepřímá data* – data sebraná od třetí strany, která má znalosti o produktu z prodeje, údržby atd.

Data z uvedených zdrojů mohou být sbírána pro různé stupně rozčlenění produktu, tj. od celého produktu až po jeho součásti (všechny nebo jen některé).

Data mohou být také sbírána v různých etapách životního cyklu produktu, jako jsou [7]:

- výroba až dodávka (nesprávná funkce u došlé zásilky);
- instalace (záběh, časné poruchy, problémy při instalaci);
- provoz;
- první etapa provozu (zejména data o časných poruchách);
- záruční doba (informace podporující stanovení nákladů na záruky);
- dlouhodobé chování, užitečná doba života, úsilí při zajišťování servisu;
- izolace (odstavení) produktu za účelem údržby (např. k výměně dílů);
- vyřazení z provozu (vypořádání, likvidace).

### 3.7 Dokumentace a informační systém sběru dat

Pro sledování jakéhokoliv produktu v provozu a pro následné vyhodnocení spolehlivosti produktu je nezbytné zavedení systému sběru dat, který zajistí, že každá událost, či informace související se spolehlivostí sledovaného produktu bude správně a v plném rozsahu zaznamenána. Systém sběru dat se má soustředit na získávání informací z příslušných zdrojů a na okamžité dodávání důležitých informací těm odpovědným pracovníkům, kteří tyto informace potřebují k rozhodování.

Obecně takový systém může mít různý charakter. Můžeme setkat s ručně vedenými systémy založenými na provádění záznamů do předem připravených formulářů nebo se systémy elektronickými využívajícími výpočetní techniku a vhodné softwarové produkty.

Konkrétní forma systému se musí přizpůsobit charakteru produktu, typu výroby, cílech sběru a vyhodnocení dat, množství sledovaných produktů, zvyklostem výrobce nebo uživatele, typu použitého software, způsobu následného zpracování dat apod. Pokud je systém veden elektronicky (jako informační systém), je vhodné jej začlenit do informačního systému celé organizace.

Systém sběru dat by měl umožnit úplné zaznamenání prvotních dat o všech důležitých jevech a okolnostech, které v průběhu provozu nastanou. Obecně by se měla zaznamenávat minimálně data o:

- průběhu provozu;
- vzniklých poruchách;
- prováděné preventivní nebo nápravné údržbě.

Konkrétně je vhodné zaznamenávat:

- evidenční data o provozovaném produktu, místě provozu apod.;
- data o průběhu provozu, podmínkách provozu, době provozu, odpracovaných provozních jednotkách, důvodech přerušení provozu, provedených údržbách nebo vzniklých poruchách;
- data o poruše, tj. např. název porušené součásti produktu, počet totožných součástí na produktu, popis poruchy, příčiny poruchy, kategorizace poruchy apod.;
- data o nápravné údržbě, tj. době údržby, pracnosti, způsobu opravy, návrhy na opatření apod.;
- data o provedené preventivní údržbě, tj. době údržby, pracnosti, typu provedené údržby apod.

V rámci systému sběru dat je možné využít systém hlášení poruch, analýzy a opatření k nápravě (Failure Reporting, Analysis and Corrective Action System – FRACAS).

K dokumentaci a informačnímu systému sběru dat je vhodné uvést několik poznámek:

- na záznamech o prvotních datech není žádoucí provádět žádné „předběžné“ výpočty ukazatelů ani jiná hodnocení;
- důležité je zhotovit a uchovat záznamy, které identifikují původní stav konstrukce (bez nich není možné identifikovat trendy ve spolehlivosti);
- je důležité mít přesná data i o součástech, u nichž v průběhu provozu nedošlo k žádné poruše; zvláště důležité je to u součástí, které se na jednom produktu vyskytují ve více než jednom kuse;
- pokud se na produktu v průběhu provozu provádí pravidelná preventivní údržba, je vhodné se v záznamech o ní odvolat na dobu provozu jejího provedení a na stupeň údržby;
- pokud není zjevná příčina poruchy, je vhodné k jejímu upřesnění provést zvláštní analýzu, zvláště pro stanovení prvotní příčiny poruchy.

#### **4. Vyhodnocení dat o spolehlivosti v provozu**

Pokud jsou k dispozici (tj. byla sběrem získána) „správná“ data, lze provést jejich vyhodnocení (zpracování, analýzu apod.). Vyhodnocení získaných dat o spolehlivosti v provozu lze obecně realizovat formou:

- Kvalitativního vyhodnocení – za účelem získání kvalitativních informací.
- Kvantitativního vyhodnocení – za účelem získání kvantitativních informací.

Pro kvalitativní i kvantitativní vyhodnocení se používají zejména běžné metody z oblasti statistiky (např. Paretova analýza, testování hypotéz, bodové a intervalové odhady) nebo specifické metody z oblasti spolehlivosti (např. Weibullova metoda, Nelsonova metoda). Návody a doporučení pro vyhodnocení dat o spolehlivosti v provozu lze nalézt v normách a odborné literatuře.

Pro ilustraci jsou v příspěvku dále uvedeny možnosti „nejjednoduššího“ kvantitativního vyhodnocení dat, jehož cílem je odhad „provozní“ hodnoty některého z ukazatelů bezporuchovosti, udržovatelnosti, zajištěnosti údržby a pohotovosti.

Ukazatele jsou odhadnuty analyticky, metodou maximální věrohodnosti, v podobě „střední hodnoty“ a to jedním číselným údajem, který je tzv. bodovým odhadem. Využity jsou výpočtové vztahy popsané v ČSN EN 61703 [11] a ČSN IEC 60605-4 [9].

#### 4.1 Odhad vybraného ukazatele bezporuchovosti – MTBF

Pro výpočet vybraného ukazatele bezporuchovosti je nezbytná znalost tzv. kumulované doby provozu, která představuje součet dob provozu realizovaných u všech sledovaných objektů. Obecně lze kumulovanou dobu provozu určit podle vztahu:

$$T_C = \sum_{j=1}^{j=n} T_j \quad (1)$$

kde:  $T_j$  - celková doba provozu  $j$ -tého objektu od uvedení do provozu,  
 $n$  - počet objektů sledovaných v provozu.

Dále je nezbytná znalost počtu poruch  $r_j$ , které vznikly na všech sledovaných objektech.

Pro bodový odhad střední doby provozu mezi poruchami (MTBF) poté platí:

$$MTBF = \frac{T_C}{r_1} \quad (2)$$

#### 4.2 Odhad vybraného ukazatele udržovatelnosti – MTTR

Pro výpočet vybraného ukazatele udržovatelnosti je nezbytná znalost tzv. kumulované doby do obnovy, která představuje součet všech dob do obnovy u všech sledovaných objektů. Obecně lze kumulovanou dobu do obnovy určit podle vztahu:

$$TTR_C = \sum_{j=1}^{j=n} TTR_j \quad (3)$$

kde:  $TTR_j$  - součet všech dob do obnovy  $j$ -tého objektu od uvedení do provozu.

Dále je nezbytná znalost počtu obnov  $r_2$ , které byly zaznamenány u všech sledovaných objektů.

Pro bodový odhad střední doby do obnovy (MTTR) poté platí:

$$MTTR = \frac{TTR_C}{r_2} \quad (4)$$

#### 4.3 Odhad vybraných ukazatelů pohotovosti – $A_O$ , $A_I$

Dále je uveden bodový odhad dvou vybraných ukazatelů pohotovosti:

- Operační pohotovosti  $A_O$  – jsou uvažovány konkrétní podmínky provozu a údržby, tj. jsou uvažovány vlivy technických a logistických zpoždění.
- Inherentní pohotovosti  $A_I$  – jsou uvažovány ideální podmínky provozu a údržby a všechna zpoždění se zanedbávají.

Pro bodový odhad operační pohotovost platí:

$$A_O = \frac{MUT}{MDT + MUT} \quad (5)$$

kde:  $MUT$  - střední doba použitelného stavu,  
 $MDT$  - střední doba nepoužitelného stavu.

Pro bodový odhad inherentní pohotovosti platí (za předpokladu exponenciálního rozdělení dob mezi poruchami a dob do obnovy):

$$A_I = \frac{MTBF}{MTTR^* + MTBF} \quad (6)$$

kde:  $MTTR^*$  - střední doba do obnovy (avšak s vyloučením všech zpoždění).

## 5. Závěr

V příspěvku byly stručně prezentovány principy a vybrané aspekty sběru a vyhodnocení dat o spolehlivosti v provozu.

Sběr dat je nezbytným základem pro určení nebo ověření toho, jak se produkt chová v provozu z hlediska spolehlivosti a měl by být nedílnou součástí efektivního programu spolehlivosti. Sběr dat o spolehlivosti v provozu je dlouhodobá činnost, kterou nelze provádět bez spolupráce zúčastněných stran. Na podporu sběru dat je nezbytné zavést informační systém sběru dat.

### Použitá literatura

- [1] HOLUB, R. – VINTR, Z. *Spolehlivost letadlové techniky* [Elektronická učebnice]. Brno: VUT v Brně, 2001.
- [2] HOLUB, R. *Zkoušky spolehlivosti: Stochastické metody*. Brno: Vojenská akademie v Brně, 1992.
- [3] NELSON, W. *Applied Life Data Analysis*. Hoboken: John Wiley, 1982.
- [4] ČSN IEC 50(191). *Mezinárodní elektrotechnický slovník – Kapitola 191: Spolahlivosť a akosť služieb*. Praha: ČNI, 1993.
- [5] ČSN EN 60300-1. *Management spolehlivosti – Část 1: Systémy managementu spolehlivosti*. Praha: ČNI, 2004.
- [6] ČSN EN 60300-2. *Management spolehlivosti – Část 2: Směrnice pro management spolehlivosti*. Praha: ČNI, 2005.
- [7] ČSN EN 60300-3-2. *Management spolehlivosti – Část 3-2: Pokyn k použití – Sběr dat o spolehlivosti z provozu*. Praha: ČNI, 2005.
- [8] ČSN IEC 60300-3-5. *Management spolehlivosti – Část 3-5: Návod k použití – Podmínky při zkouškách bezporuchovosti a principy statistických testů*. Praha: ČNI, 2002.
- [9] ČSN IEC 60605-4 *Zkoušení bezporuchovosti zařízení – Část 4: Statistické postupy pro exponenciální rozdělení – Bodové odhady, konfidenční intervaly, předpovědní intervaly a toleranční intervaly*. Praha: ČNI, 2002.
- [10] ČSN EN 60706-3. *Udržovatelnost zařízení – Část 3: Ověřování a sběr, analýza a prezentace dat*. Praha: ČNI, 2007.
- [11] ČSN EN 61703. *Matematické výrazy pro ukazatele bezporuchovosti, pohotovosti, udržovatelnosti a zajištěnosti údržby*. Praha: ČNI, 2002.
- [12] ČSN EN ISO 14224. *Naftový, petrochemický a plynárenský průmysl – Shromažďování a výměna údajů o spolehlivosti a údržbě přístrojů*. Praha: ČNI, 2007.
- [13] Sources of Reliability Data: Part 2 – Field Data. *Reliability HotWire* [online]. August, 2001. [cit. 2013-05-28] Dostupné z: <http://weibull.com/hotwire/issue6/relbasics6.htm>.

# VYHODNOCENÍ BEZPORUCHOVOSTI VÝROBKU NA ZÁKLADĚ INFORMACÍ O REKLAMACÍCH

*prof. Ing. Zdeněk VINTR, CSc., dr.h.c.*

*Univerzita obrany, Fakulta vojenských technologií, Brno*

*e-mail: zdenek.vintr@unob.cz*

## 1. Úvod

Informace o chování výrobků v provozu představují pro každého výrobce velmi cenný zdroj informací, který mu umožňuje identifikovat případné problémy výrobku a přijímat účinná opatření k jejich eliminaci. Obecným problémem však je skutečnost, že pro mnoho výrobců jsou informace o chování jejich výrobků v provozu jen velmi obtížně dostupné. To je dáno především tím, že uživatelé výrobků obvykle nemají žádnou motivaci k tomu, aby informace výrobci poskytovali. Určitou výjimku představuje období záruční lhůty, kdy výrobce obvykle má možnost jisté informace získat v rámci reklamačních řízení.

V literatuře je rozpracována celá škála sofistikovaných metod odhadu bezporuchovosti výrobků s využitím záručních dat [3], [4], [5]. Společným rysem těchto metod je požadavek na poměrně detailní informace o chování výrobku během záruky. Praxe však ukazuje, že i v době záruky má většina výrobců přístup jen k velmi omezenému rozsahu informací, který neumožňuje aplikaci zmiňovaných komplexních metod. Z tohoto důvodu autor článku vypracoval jednoduchý postup hodnocení bezporuchovosti výrobků využívající určitou „minimální“ množinu informací, kterou by měl mít k dispozici každý výrobce poskytující záruku na svoje výrobky.

Požadavek na vypracování prezentované metody vzešel ze společnosti Faiveley Transport Lekov, kde je metoda využívána pro vyhodnocování provozní spolehlivosti různých elektromechanických zařízení kolejových vozidel.

## 2. Výchozí předpoklady řešení

Prezentovaný postup vychází z některých zjednodušených předpokladů, bez kterých by zpracování informací z reklamačních řízení nebylo možné. Navržený postup tedy vychází z následujících předpokladů:

- a) Na výrobek je poskytována záruka omezená jistou kalendářní lhůtou  $t_w$ , během níž je výrobek v případě poruchy bezplatně opraven nebo vyměněn za nový.
- b) Výrobek je po vzniku poruchy bez prodloužení reklamován. Tj. předpokládá se, že až do okamžiku reklamace byl výrobek provozován. Tento předpoklad není v rozporu s běžnou praxí, protože je v zájmu každého zákazníka, aby vadný výrobek reklamoval co nejdříve. Mezi vznikem poruchy a uplatněním reklamace tak zpravidla neuplyne delší doba jak několik málo dnů. Z tohoto důvodu přijaté zjednodušení ovlivňuje výsledek odhadu bezporuchovosti jen zanedbatelným způsobem.
- c) Případná reklamace výrobku neovlivňuje délku záruční lhůty. Jinými slovy se předpokládá, že každá reklamace je bez odkladu vyřešena (v tentýž den, kdy byl výrobek reklamován, je opět vrácen uživateli a uveden do provozu). Ve skutečnosti vyřízení reklamace vždy jistou dobu trvá. Například podle legislativy platné v ČR může vyřízení reklamace trvat až 30 dnů [7]. Běžné záruční podmínky také předpokládají, že o dobu, po kterou byla reklamace vyřizována, se automaticky prodlužuje záruční lhůta výrobku. Přijatý předpoklad je tedy v jistém rozporu s běžnou praxí, ale v konečném důsledku výsledek odhadu bezporuchovosti neovlivňuje. Výrobek je totiž vždy provozován jen po dobu danou záruční lhůtou. Omezení provozu výrobku v důsledku vzniklé vady a následného reklamačního řízení je plně kompenzováno zmiňovaným prodloužením záruční lhůty.

- d) U všech poruch, které vznikly během záruční lhůty, byly uplatněny reklamace. Je v zájmu každého uživatele, aby vzniklé poruchy výrobku během záruční lhůty reklamoval.
- e) Rozdělení sledované náhodné proměnné – doby mezi poruchami hodnoceného výrobku – má exponenciální charakter. Avšak metodu je možné využít i za předpokladu jiného typu rozdělení.

### 3. Charakteristika vstupních informací

Datum uvedení do provozu u každého výrobku je výchozí informací pro navržený model. U většiny spotřebních výrobků lze za datum uvedení do provozu považovat datum prodeje, protože zákazník obvykle začíná výrobek používat hned po jeho nákupu nebo jen s malým časovým prodloužením. Datum uvedení výrobku do provozu může výrobce zjistit (stanovit) například následujícími způsoby:

- Mechanismus prodeje a uvedení výrobku do provozu přímo zajišťuje předání informace o datu uvedení do provozu výrobcí. Například u výrobků, kde instalace a uvedení do provozu musí být provedeno přímo výrobcem nebo autorizovaným zástupcem.
- Uživateli je nabídnuta možnost registrovat výrobek za příslib rozšířené podpory (např. u výpočetní techniky a elektroniky). Součástí registrace je potom i informace o datu nákupu. Informaci o datu prodeje nemusí výrobce získat u všech výrobků (závisí na typu registrace), ale ze získaných informací lze dovodit obvyklou lhůtu mezi expedicí výrobku a jeho prodejem.
- Výrobce využívá informační systém přímo napojený na prodejce (např. prodej osobních automobilů) a o prodeji je informován online.
- V rámci reklamačního řízení je datum prodeje zjištěno ze záručního listu (prodejního dokladu). Datum prodeje je sice identifikováno pouze u reklamovaných výrobků, ale ze získaných informací lze dovodit obvyklou lhůtu mezi expedicí výrobku a jeho prodejem.
- Na základě známých informací je stanovena obvyklá lhůta mezi datem expedice výrobku do prodejní sítě a okamžikem jeho prodeje a datum prodeje se potom odvozuje od data expedice výrobku připočtením dané lhůty.

Další nezbytnou informací pro odhad bezporuchovosti je počet zaznamenaných reklamací ve sledovaném období. Do výpočtu jsou přitom zahrnuty pouze uznané reklamace, tedy ty, u kterých se prokázalo, že porucha byla způsobena konstrukční nebo výrobní poruchou. Navržená metoda předpokládá, že výrobce vede evidenci o reklamovaných výrobcích tak, by v každém okamžiku mohl stanovit počet uplatněných reklamací na výrobek daného typu.

Poslední nezbytnou informací je intenzita používání výrobku, která vymezuje vztah mezi dobou provozu výrobku a kalendářní dobou jeho používání. Většina výrobků totiž není po uvedení do provozu používána nepřetržitě, ale s jistými přestávkami. Z tohoto důvodu nepostačuje pro vyhodnocení bezporuchovosti výrobku pouze znalost kalendářní doby, která uplynula od jeho uvedení do provozu, ale nezbytná je také znalost toho, po jakou část této kalendářní doby byl výrobek skutečně provozován [2]. Do úvahy je také třeba vzít skutečnost, že jednotliví uživatelé mohou používat výrobek s různou intenzitou. Proto se v rámci modelu používá tzv. střední intenzita používání výrobku, která charakterizuje všechny vyrobené výrobky jako jeden celek (viz rovnice 3). K určení (odhadu) intenzity používání výrobku je nutná znalost kalendářní doby, která uplynula od jeho uvedení do provozu a vlastní doba provozu výrobku. Příslušnou kalendářní dobu lze při znalosti okamžiku uvedení výrobku do provozu určit bez větších obtíží. Poněkud složitější je situace při určení doby provozu. Tu lze stanovit (odhadnou) například následujícími způsoby:

- Sběrem informací ze servisních středisek. Některé sofistikované výrobky jsou navrženy tak, že informace o realizovaném provozu automaticky zaznamenávají. V takovém případě má výrobce možnost získat informace o rozsahu provozu v průběhu záruční lhůty u všech svých výrobků (pokud podmínky poskytnuté záruky vyžadují provádění pravidelné údržby v autorizovaném servisu) nebo alespoň u části z nich (v rámci reklamačních řízení).
- Průzkumem chování zákazníků (dotazování potenciálních zákazníků [6] nebo dotazníky při nákupu, registraci výrobku, spotřebitelských soutěžích apod.).

- Využitím informací z technické specifikace výrobku (pokud existuje). U výrobku, který je vyvíjen a vyráběn na základě objednávky konkrétního velkoodběratele, je obvyklou součástí objednávky i konkrétní technická specifikace zahrnující i informace o předpokládané intenzitě používání výrobku.
- Expertním odhadem (na základě zkušeností s předchozími výrobky, analýzou možností časového využití výrobku apod.).

#### 4. Zpracování vstupní informací

Navržený model předpokládá, že výrobce má k dispozici výše uvedené vstupní informace popsané s využitím následujících veličin:

$t$  - okamžik vyhodnocení dat z reklamačních řízení,

$t_{i0}$  - okamžik uvedení výrobku do provozu,

$t_w$  - kalendářní délka záruční lhůty,

$n$  - celkový počet výrobků daného typu uvedených do provozu do časového okamžiku  $t$ ,

$N$  - celkový počet zaznamenaných reklamací daného typu výrobku do časového okamžiku  $t$ .

S využitím těchto vstupních veličin lze stanovit další veličiny nezbytné k provedení odhadu bezporuchovosti. Kalendářní doba používání  $i$ -tého výrobku během záruky do časového okamžiku  $t$  se určí ze vztahu:

$$t_i = \begin{cases} t - t_{i0} & \text{pro } t < (t_{i0} + t_w) \\ t_w & \text{pro } t \geq (t_{i0} + t_w) \end{cases}, \quad (1)$$

Kumulovaná kalendářní doba používání všech sledovaných výrobků během záruky do časového okamžiku  $t$  se určí jako prostý součet kalendářní doby používání během platnosti záruky u všech výrobků uvedených do provozu:

$$T = \sum_{i=1}^{i=n} t_i, \quad (2)$$

Střední intenzita používání výrobku je pro účely prezentovaného modelu definována jako poměr kumulované doby provozu  $U$  ke kumulované kalendářní době používání všech sledovaných výrobků  $T$ :

$$\bar{x} = \frac{U}{T}. \quad (3)$$

Kumulovaná doba provozu sledovaných výrobků je definována jako prostý součet dob provozu v průběhu záruky u všech výrobků uvedených do provozu:

$$U = \sum_{i=1}^{i=n} u_i, \quad (4)$$

kde  $u_i$  je doba provozu  $i$ -tého výrobku během záruky do časového okamžiku  $t$ .

Možnosti výrobců získat informace o skutečném rozsahu doby provozu u všech výrobků jsou velmi omezené. Výrobce může získat tyto informace v plném rozsahu pouze za předpokladu, že konstrukce výrobku zajišťuje automatický záznam údajů o provozu výrobku a současně je zajištěn systematický sběr těchto informací. V naprosté většině případů však výrobci nemají reálnou šanci tyto informace získat. Z tohoto důvodu se střední intenzita používání výrobku neurčuje výpočtem s využitím vztahu (3), ale provádí se pouze její odhad postupy naznačenými v kapitole 2. Za předpokladu znalosti intenzity používání výrobku lze potom určit (odhadnout) kumulovanou dobu provozu ze vztahu:

$$U = \bar{x}T. \quad (5)$$

Takto stanovená hodnota kumulované doby provozu a informace o počtu zaznamenaných reklamací představují vstupní informace pro vlastní odhad bezporuchovosti výrobku.



## 5. Odhad bezporuchovosti výrobku

Odhad bezporuchovosti může být proveden dvěma způsoby a to bodovým, nebo intervalovým odhadem příslušného ukazatele bezporuchovosti. Dále je prezentován způsob odhadu nejčastěji používaného ukazatele bezporuchovosti a to střední doby mezi poruchami *MTBF*. Navržené postupy vychází z doporučení mezinárodní normy IEC [1].

Bodový odhad je vhodné používat především v případě vyššího počtu zaznamenaných reklamací. Pokud je počet nízký, provedený odhad je vychýlený. Pro malé hodnoty  $N$  (například  $N < 10$ ) může být vychýlení sníženo tím, že se do rovnice (6) místo  $N$  dosadí  $N+1$ . Pro bodový odhad se využívá vztah:

$$MTBF = \frac{U}{N}. \quad (6)$$

Pokud nebyly žádné reklamace daného výrobku zaznamenány, nelze bodový odhad provést. V takovém případě je vhodné provést vyhodnocení dolní meze jednostranného konfidenčního intervalu  $MTBF_{L1}$  na zvolené úrovni konfidence. Konfidenční mez se určí dle vztahu:

$$MTBF_{L1} = \frac{2U}{\chi^2_{1-\alpha}(2N+2)}, \quad (7)$$

kde  $\chi^2_{1-\alpha}(2N+2)$  představuje kvantil rozdělení  $\chi^2$  pro  $(2N+2)$  stupňů volnosti a konfidenční úroveň  $(1-\alpha)$ . Hodnoty kvantilu pro příslušný počet stupňů volnosti a zvolenou úroveň konfidence lze nalézt v běžných statistických tabulkách, nebo lze pro jejich výpočet využít zabudované funkce různých tabulkových procesorů nebo matematických software.

## 6. Závěr

Prezentovaná metoda sice pracuje s celou řadou zjednodušujících předpokladů, ale ty byly zvoleny tak, že zásadním způsobem nesnižují věrohodnost výsledků odhadu bezporuchovosti. Předpoklady řešení jsou totiž většinou koncipovány tak, že navržené metodě dávají konzervativní charakter. To znamená, že skutečná úroveň bezporuchovosti by vždy měla být vyšší, než úroveň odhadnutá.

Zásadním způsobem může být věrohodnost výsledků ovlivněna pouze dlouhou prodlevou mezi uplatněním reklamace ze strany zákazníka a předáním informace o reklamaci výrobcí. To by totiž mohlo vést k tomu, že při vyhodnocení bude uvažován podstatně nižší počet poruch výrobku, než který již reálně nastal. S ohledem na charakter postupů používaných při vyřizování reklamací a způsobů předávání informací o reklamacích (využívání informačních systémů) je taková situace málo pravděpodobná. Snadno také lze případné problémy s prodlevami při předávání informací eliminovat vhodně nastavenými pravidly vyhodnocení. Například do hodnocení bude zahrnuta aktuální známá informace o počtu zaznamenaných reklamací, ale vyhodnocení kumulované doby provozu se provede k jistému časovému okamžiku  $t$  v minulosti (např. posunutému o obvyklou dobu prodlení v předávání informací o reklamacích).

K průběžnému vyhodnocování bezporuchovosti výrobku navrženým způsobem lze využít běžný tabulkový procesor. Ideálním řešením potom je přímé zakomponování metody do informačního systému výrobce (pokud jsou v něm zaznamenávány potřebné vstupní informace).

Příklad výpočtového modelu navrženého v programu MS Excel je uveden na obrázku 1. Do modelu se jako vstupní veličina zadá intenzita používání výrobku a délka záruční lhůty a průběžně se zadávají informace o uvedení jednotlivých výrobků do provozu a o počtu zaznamenaných poruch. Model potom poskytuje aktuální bodový odhad *MTBF* výrobku.

	A	B	C	D
1	<b>Vstupní veličiny</b>			
2	Datum hodnocení		=DNES()	
3	Intezita používání [hodiny/den]		1.5	
4	Delka záruky [dny]		720	
5	Počet reklamací		22	
6	<b>Údaje o výrobcích</b>			
7	P.č.	Datum uvedení do provozu	Kalendářní doba používání [dny]	Doba provozu [hodiny]
8	1	15.3.2012	=KDYŽ(\$C\$2-B8<G9;\$C\$2-B8;\$C\$4)	=C8*\$G\$8
9	2	16.3.2012	=KDYŽ(\$C\$2-B9<G10;\$C\$2-B9;\$C\$4)	=C9*\$G\$8
10	3	20.3.2012	=KDYŽ(\$C\$2-B10<G11;\$C\$2-B10;\$C\$4)	=C10*\$G\$8
11	4	22.3.2012	=KDYŽ(\$C\$2-B11<G12;\$C\$2-B11;\$C\$4)	=C11*\$G\$8
12	.			
13	.			
14	.			
15	.			
16	.			
17	.			
18	.			
19	.			
20	n-2			
21	n-1			
22	n			
23			Kumulovaná doba provozu [hodin]	=SUMA(D8:D22)
24			MTBF [hodin]	=D23/C5

Obr. 1 Výpočtový model pro odhad bezporuchovosti v programu MS Excel

### Použitá literatura:

- [1] IEC 60605-4 *Equipment reliability testing - Part 4: Statistical procedures for exponential distribution - Point estimates, confidence intervals, prediction intervals and tolerance intervals*. Geneva: IEC, 2001.
- [2] Baik, J. and Murthy, D.N.P. Reliability assessment based on two-dimensional war-ranty data analysis, In: *Safety and Reliability for Managing Risk: Proceedings of the Euro-pean Safety and Reliability Conference ESREL*. London: Taylor & Francis Group, London, 2006, p. 2307-2311.
- [3] Blischke, W. R., Murthy D. N. P. *Product Warranty Handbook*. New York: Marcel Dekker, 1996.
- [4] Corbu, D., Chukova, S. and O'Sullivan, J. Product warranty: modelling with 2D-renewal process. *International Journal of Reliability and Safety*. Vol. 2 (2008), No. 3, p. 209-220.
- [5] Jung, M. and Bai, D.S. Analysis of field data under two-dimensional warranty. *Reliability Engineering & System Safety*. Vol. 92 (2007), No. 2, p. 135-143.
- [6] Vintr, Z. and Vintr, M. Estimate of Warranty Costs Based on Research of the Customer's Behavior. In: *Proc. Ann. Reliability & Maintainability Symp.* Piscataway: IEEE, 2007, p. 323-328.
- [7] *Zákon č. 634/1992 Sb. o ochraně spotřebitele.*

# SLEDOVÁNÍ PROVOZNÍ SPOLEHLIVOSTI VOZIDLA TATRA T810 V PODMÍNKÁCH AČR

*Ing. Jiří CHALOUPKA, Ph.D.*

*VTÚ, s.p., odštěpný závod VTÚPV, 68201 Vyškov,*

*e-mail: jiri.chaloupka@vtusp.cz*

## 1. Úvod

V roce 2008 (3. čtvrtletí) bylo do provozu v AČR zavedeno vozidlo terénní střední (ATS) T810 v různých modifikacích jako náhrada vozidel P-V3S. Pro zhodnocení přínosů nové sériově vyráběné automobilní techniky byl proveden sběr informací o provozu a poruchovosti u jednotlivých útvarů a vyhodnocení parametrů spolehlivosti.

Sledování provozní spolehlivosti probíhalo podle metodiky na všech vozidlech T810 zavedených do používání v AČR od roku 2008 do roku 2012. Hodnocení provozní spolehlivosti bylo provedeno po ročním provozu. Cílem sledování provozní spolehlivosti bylo vyhodnotit plnění stanovených požadavků na spolehlivost, stanovit parametry spolehlivosti jednotlivých skupin vozidla, normativ náhradních dílů (ND), pracnost oprav a údržby a navrhnout opatření ve vztahu k reálně dosaženým parametrům provozní spolehlivosti.

## 2. Sledování automobilu Tatra T810

Předmětem sledování a vyhodnocení parametrů provozní spolehlivosti byla vozidla T810 ve všech modifikacích provozovaná u útvarů AČR. Jednalo se o automobil nákladní terénní střední valník; automobil speciální terénní střední, hákový nakladač; automobil speciální terénní střední, skříňová karosérie; automobil speciální terénní střední, valník se zvedacím zadním čelem; automobil speciální terénní střední, kontejnerový přepravník; automobil nákladní terénní střední, valník se zdvojeným ovládním a automobil nákladní terénní střední, valník s plně pancéřovanou kabinou.

Vozidla T810 byla dislokována u velkého počtu vojenských útvarů a zařízení rozmístěných po celé České republice a počet sledovaných vozidel T810 byl bezmála 600 kusů. První tři roky se jednalo o záruční provoz se servisem výrobce nebo jím pověřených organizací. V rámci tohoto provozu byla prováděna také technická údržba servisním způsobem u pověřené organizace. Po vypršení záručních podmínek již byla údržba vozidel T810 zajišťována uživatelem.

Sběr informací potřebných k vyhodnocení provozní spolehlivosti vozidel T810 byl náročný na organizaci, aby byly zajištěny relevantní informace. Byl vytvořen informační systém mezi uživatelem u jednotlivých vojenských útvarů a zařízení, výrobcem vozidla T810 a jeho servisními zařízeními a pracovištěm pro vyhodnocení provozní spolehlivosti. Fungováním tohoto informačního systému byly získány informace o provozu a poruchovosti vozidel T810.

## 3. Informační systém

Informační systém pro sledování spolehlivosti každého vozidla v armádním provozu byl nastaven při zahájení sledování. V záručním provozu byly informace o poruchovosti získávány v rámci reklamačního řízení a provozní informace dodával každý měsíc sekce logistické podpory vojsk. Logistická podpora vojsk v AČR vede všechny potřebné provozní informace ve svém informačním systému logistiky (označení ISL).

Reklamační řízení obsahovalo zpracování tiskopisu „Oznámení o reklamaci“ uživatelem vozidla T810, které bylo zasláno faxem výrobcí vozidla a také pracovišti pro vyhodnocení provozní spolehlivosti. Po defekaci poruchy pracovníky výrobce a provedení opravy bylo reklamační řízení ukončeno zpracováním „Reklamačního protokolu“, který byl zaslán na pracoviště pro vyhodnocení

provozní spolehlivosti. Každé 3 měsíce bylo provedeno jednání k průběžnému vyhodnocení aktuálního počtu poruch.

Po přiblížení pozáručního provozu byl doplněn informační systém logistiky o modul evidence poruch. V roce 2011 byl spuštěn proces validace informací o poruchovosti vedených v informačním systému logistiky a reálně zasílaných oznámení o reklamaci jakosti. Průběžně byly sledovány informace vedené v ISL a reálně zasílané oznámení s výsledkem, že počty a popisy poruch nejsou vždy shodné. Rozdíly v počtu poruch byly způsobeny jednak zápisem poruchy do ISL (uvedeno jako hlavní závada a doplňková závada, tzn. dvě poruchy evidované jako jedna) a také nedocházelo vždy k zápisu poruchy do ISL, když byl zpracován reklamační protokol. Tento stav se postupně měnil a v posledních měsících roku 2011 již docházelo k poměrně nízkým rozdílům mezi počty poruch evidovaných na základě reklamačních oznámení a počty poruch evidovaných v ISL. Tento stav nebyl konstantní v každém měsíci, ale rozdíly v počtech poruch byly zjištěny jen u lehkých poruch. Závažné poruchy byly vždy podchyceny jak v ISL tak reklamačním oznámením. V roce 2012 byly informace o poruchovosti získávány pouze z ISL, protože vozidla T810 se dostala do pozáručního provozu a reklamační proces byl ukončen.

#### 4. Provozní podmínky T810

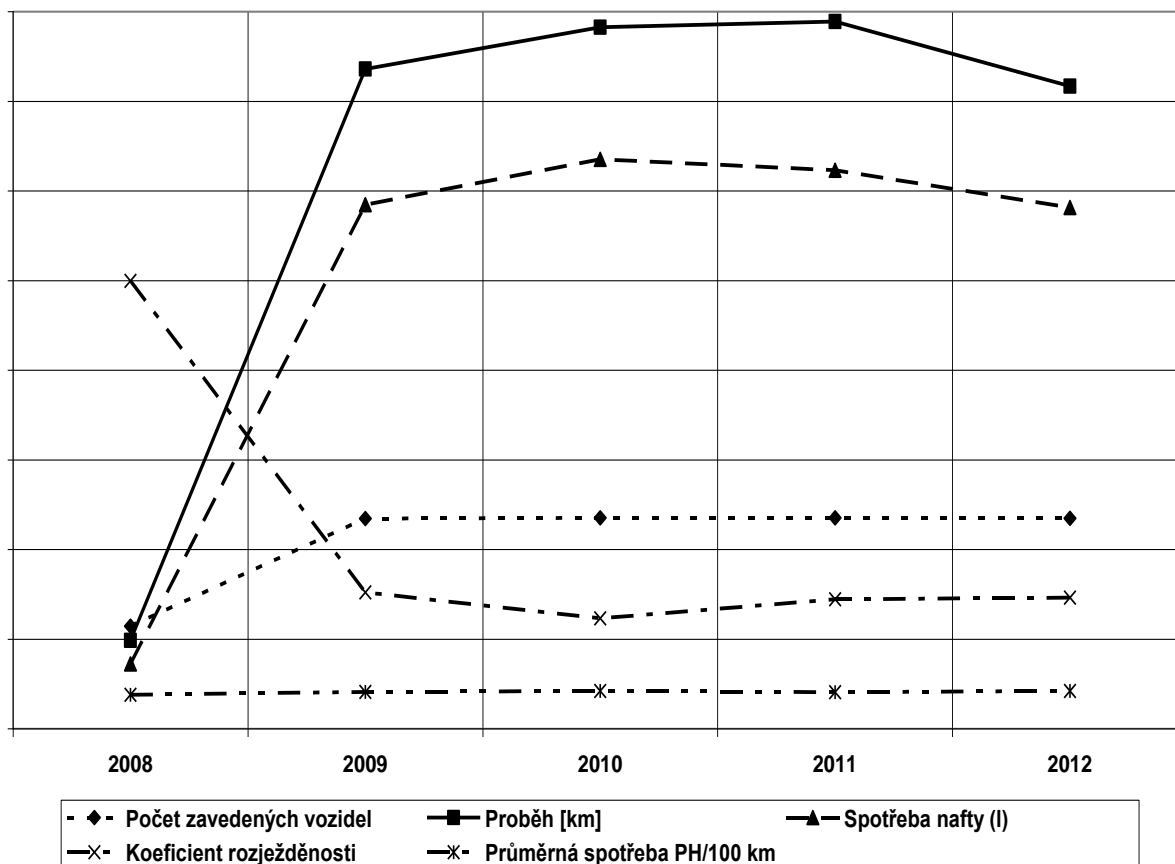
V průběhu doby sledování došlo z hlediska hodnot provozních ukazatelů (proběh kilometrů a spotřeba paliva) k ustálení provozu vozidel T810. Proběh vozidel od roku 2010, kdy zatím dosáhl nejvyšších hodnot, postupně klesal. Základní informace o provozu jsou uvedeny v tabulce 1.

Tabulka 1 Provozní parametry

Parametr	Provozní/výcvikový rok					Celkem
	2008	2009	2010	2011	2012	
Počet zavedených vozidel	286	586	588	588	587	<b>587</b>
Proběh [km]	285 471	2 133 768	2 269 073	2 288 115	2 079 103	<b>9 055 530</b>
Spotřeba nafty (l)	86 832	701 604	762 436	747 540	697 697	<b>2 996 109</b>
Počet kilometrů na 1 vozidlo	998	4 372	3 859	3891,4	3 541,9	<b>15 426,8</b>
Koeficient rozježděnosti	11,10	3,38	2,74	3,21	3,10	<b>2,29</b>
Průměrná spotřeba nafty na 100 km	30,4	32,9	33,6	32,7	33,6	<b>33,1</b>

Je možno konstatovat, že během jednotlivých roků nejsou používána všechna vozidla T810. Proto byla, jako doplňující provozní parametr, vyhodnocena rozježděnost jednotlivých vozidel během roku a celková hodnota rozježděnosti vozidel T810 na konci sledovaného období. Byl definován koeficient rozježděnosti. Jedná se o poměr ujetých vzdáleností mezi polovinami méně provozovaných vozidel a více provozovaných vozidel. Tento koeficient specifikuje reálný provozní stav, kdy je hodnota celkového ročního provozu realizována menším počtem vozidel.

Koeficient 2,29 a znamená, že polovina vozidel byla cca 2,3x více provozována než druhá polovina vozidel. Lze pak konstatovat, že některá vozidla ujedou mezipravní normu (MON) dříve, než jiná vozidla.

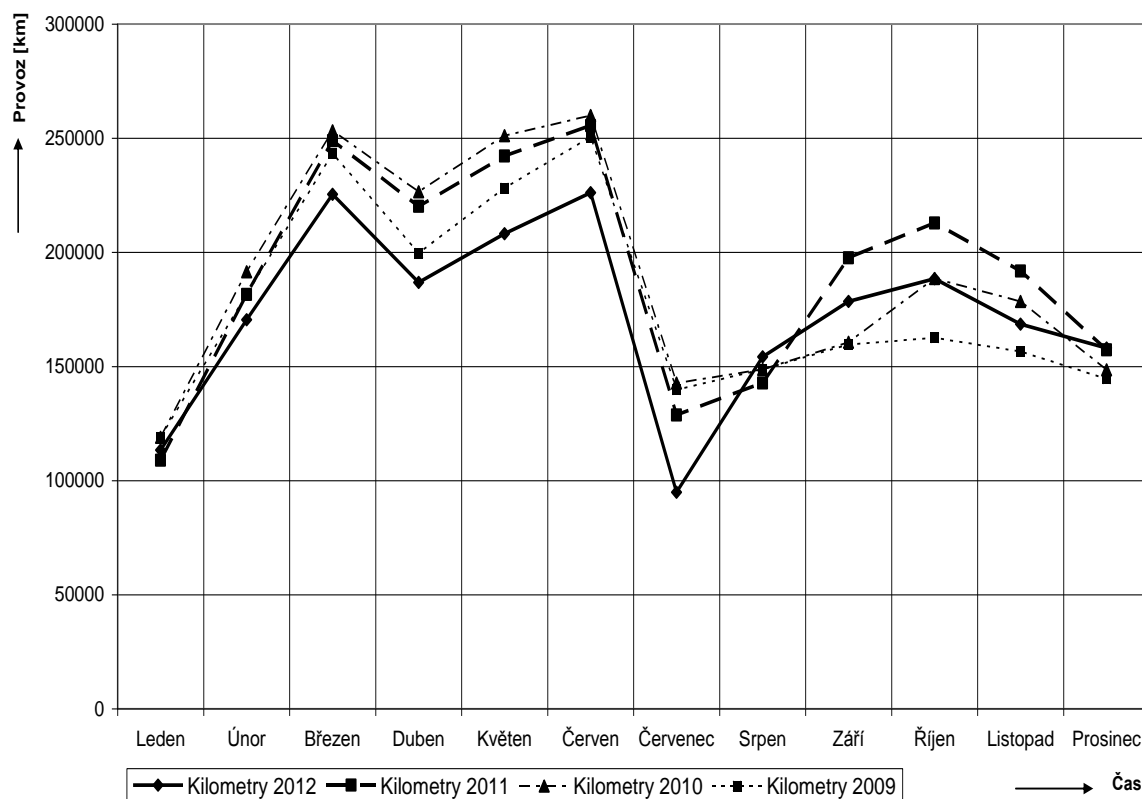


Obr. 1 Provozní parametry

Z grafu na obrázku 1 je patrné, že proběh v kilometrech se roce 2011 ustálil. V roce 2011 bylo ujeté o 209 012 km více než v roce 2012. Na tomto základě lze předpokládat, že provoz v roce 2013 nebude pravděpodobně vyšší než v roce 2011.

V průběhu sledování se parametr průměrné spotřeby nafty na 100 km udržoval v rozmezí 33,6 l až 32,9 l. Při porovnání hodnot v jednotlivých letech lze konstatovat, že nedochází k výrazným změnám směrem k vyšším hodnotám. Počáteční hodnota 30,4 l nafty byla způsobena pravděpodobně chybou na základě neúplných informací.

Tento předpoklad byl také podpořen analýzou vývoje měsíčního proběhu uvedeného v grafu na obrázku 2, kde je patrný celkem obdobný průběh měsíčního provozu v letech 2009-2012. Určitá shoda měsíčního provozu vychází z předpokladu plnění obdobných provozních úkolů, které jsou stanoveny na základě plánu pro zabezpečení výcviku a života vojsk v jednotlivých měsících. Tento plán vychází ze směrnic a nařízení platných v AČR a generuje tak obdobný průběh měsíčního provozu. Změny provozu v závěru roku jsou způsobeny především hodnotou přiděleného množství PHM v jednotlivých letech. Vyšší provoz vozidel T810 v roce 2011 byl způsoben zabezpečením cvičení vyššího stupně.



Obr. 2 Měsíční provoz v letech sledování

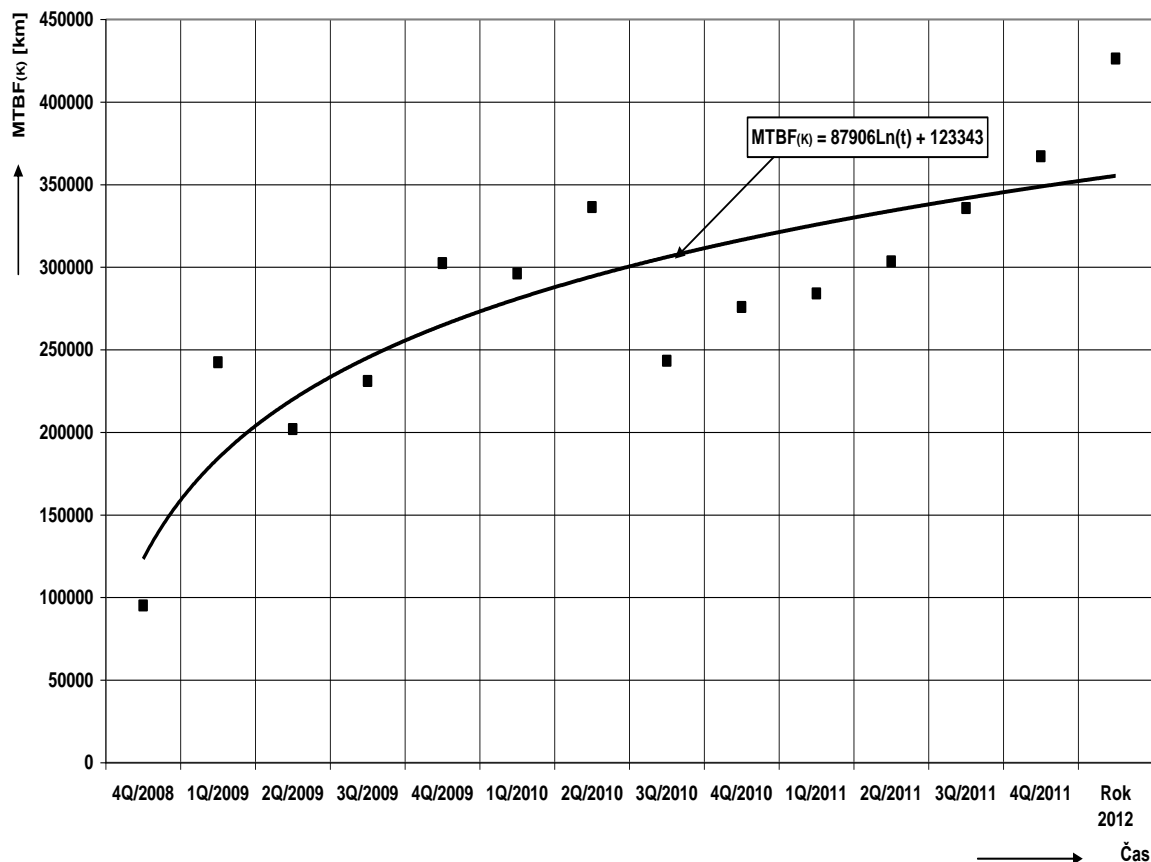
## 5. Výsledky sledování provozní spolehlivosti T810

Během provozu automobilů T 810 v jednotlivých letech byly zjištěny nestandardní události, které byly řešeny formou reklamačního řízení a evidenci v informačním systému. Vyhodnocením těchto nestandardních událostí a způsobu jejich odstranění byly specifikovány poruchy, které byly dále klasifikovány v souladu se zadávacími požadavky AČR. Výsledkem byl výpočet parametrů provozní spolehlivosti sledovaných vozidel T810.

Tabulka 2 Přehled hodnot

Parametr	Provozní/výcvikový rok					Celkem
	2008	2009	2010	2011	2012	
Počet zavedených vozidel	286	586	588	588	587	<b>587</b>
Proběh [km]	285 471	2 133 768	2 269 073	2 288 115	2 079 103	<b>9 055 530</b>
Počet poruch klasifikovaných jako H	3	5	9	2	1	<b>20</b>
Počet všech poruch	120	305	266	251	50	<b>992</b>
MTBF (poruchy H)	95 157	426 753,6	252 119,2	1 144 057,5	2 079 103	<b>452 776,5</b>

Na základě průběžného vyhodnocování poruchovosti prováděl výrobce vozidla T810 konstrukční úpravy, které se realizovaly u všech zavedených vozidel. Tyto realizované změny se projeví v parametrech provozní spolehlivosti.



Obr. 3 Vývoj kumulované hodnoty MTBF od zahájení vojskového provozu

Kumulovaná střední doba mezi poruchami (MTBF) klasifikovanými jako závažné (H) se postupně zvyšovala oproti předchozím roků. Dosažené hodnoty MTBF (H) jsou pro AČR odpovídající.

Z hlediska poruchovosti jednotlivých komponent byly v počátečním provozu zjištěny poruchy netěsnosti olejových náplní podvozku a zvedání kabiny. V následném období byly zjištěny poruchy netěsnosti olejové vany motoru, netěsnosti tlumiče výfuku a sacího potrubí motoru. V dalším období se začaly projevovat zvýšené vůle na podvozku vozidel T810. Poruchy elektrické soustavy a centrálního huštění pneumatik se projevovalo průběžně od zahájení vojskového provozu.

Tato poruchovost byla dále vyhodnocena ve vztahu k navrženému počtu náhradních dílů výrobcem a skladových zásob v AČR. Na základě výsledků sledování provozní spolehlivosti vozidel T810 bylo konstatováno, že sortiment a počty náhradních dílů navržených výrobcem odpovídá. Dílčí změny v počtech a sortimentu náhradních dílů vyvolané specifickými provozními podmínkami vozidel T810 v AČR nebyly zásadní.

Na základě sledování provozní spolehlivosti bylo zjištěno, že řidič vozidla a kvalita prováděné údržby má nezanedbatelný podíl na celkovém počtu poruch. Při zahájení vojskového provozu se jednalo o hodnotu až 20 %. Z tohoto důvodu armáda realizovala organizační opatření v provozu a výcviku řidičů vozidel T810. V současné době se podíl řidičů na poruchovosti vozidel T810 pohybuje okolo 5 %.

## 6. Závěr

I přes negativní medializaci projektu pořízení vozidel T810 se v praxi potvrdilo, že tato vozidla odpovídají zadávacím požadavkům AČR. Je možné konstatovat, že domácí výrobce vozidel má dostatečné povědomí o potřebách uživatele a je schopen pružně reagovat zlepšením konstrukce komponent. Rozsah ročního provozu na hodnotě vyšší jak 2 miliony kilometrů znamená odpovídající využívání vozidel T810 v AČR. Parametry provozní spolehlivosti zjištěné sledováním vojskového provozu vozidel T810 jsou na požadované úrovni, která je obvyklá pro obdobné typy vozidel u jiných armád.

### Použitá literatura

- [1] CHALOUPKA Jiří, Zdeněk VINTR, a Michal VINTR. *Metodika pro sledování a vyhodnocení spolehlivosti nově zaváděné mobilní pozemní techniky AČR*. Metodika, ev. č. J-4-6100/01, VOP-026 Šternberk s.p., divize VTÚPV Vyškov, 2007.
- [2] Chaloupka Jiří a Ľubomír Bárdy. *Zpráva s vyhodnocením parametrů spolehlivosti provozovaných vozidel T 810*. Ev. č. JCha 08/11/24-1, VOP-026 Šternberk, s.p. divize VTÚPV Vyškov, 2008.
- [3] CHALOUPKA Jiří a kolektiv. *Závěrečná zpráva s vyhodnocením parametrů spolehlivosti provozovaných vozidel T 810*. Zpráva, ev. č. JCha 09/08/30-2, VOP-026 Šternberk s.p., divize VTÚPV Vyškov, 2009.
- [4] CHALOUPKA Jiří a kolektiv. *Zpráva za rok 2010 s vyhodnocením parametrů spolehlivosti provozovaných vozidel T 810*. Zpráva, ev. č. JCh 10/11/19-01, VOP-026 Šternberk s.p., divize VTÚPV Vyškov, 2010.
- [5] CHALOUPKA Jiří a kolektiv. *Doplněk závěrečné zprávy s vyhodnocením parametrů spolehlivosti provozovaných vozidel T 810*. Zpráva, ev. č. JCh 10/03/15-1, VOP-026 Šternberk s.p., divize VTÚPV Vyškov, 2010.
- [6] Chaloupka Jiří a Ľubomír Bárdy. *Zpráva za rok 2011 s vyhodnocením parametrů spolehlivosti provozovaných vozidel T 810*. Sledování vojskového provozu, ev. č. JCh 11/11/15-01, VOP-CZ, s.p. lokalita Vyškov, 2011.
- [7] CHALOUPKA Jiří a kolektiv. *Doplněk závěrečné zprávy s vyhodnocením parametrů spolehlivosti provozovaných vozidel T 810*. Zpráva, ev. č. JCh 12/02/18-1, VOP-026 Šternberk s.p., divize VTÚPV Vyškov, 2011.
- [8] Chaloupka Jiří a Ľubomír Bárdy. *Zpráva za rok 2012 s vyhodnocením parametrů spolehlivosti provozovaných vozidel T 810*. Sledování vojskového provozu, ev. č. JCh 12/11/19-01, VOP-CZ, s.p. lokalita Vyškov, 2012.



# MOŽNOSTI VYUŽITÍ DIAGNOSTICKÝCH DAT PRO PREDIKCI UKAZATELŮ BEZPORUCHOVOSTI A OPTIMALIZACI SYSTÉMU ÚDRŽBY

*Doc. Ing. David Vališ, Ph.D., RNDr. Libor Žák, Ph.D.*

*Univerzita obrany v Brně, Vysoké učení technické v Brně*

*e-mail: david.valis@unob.cz*

## 1. Úvod

S rostoucí složitostí technických systémů rostou také požadavky na jejich spolehlivost. Její zajištění a dosažení je navíc ovlivňováno snahou na snižování nákladů v etapě provozu a údržby. Moderní diagnostické systémy mohou pomoci s modifikací určitých složek spolehlivosti a mohou pomoci optimalizovat náklady. Cílem diagnostických systémů není pouze stanovení technického stavu – potenciálu poruchy, ale rovněž pomoci poruchám předcházet.

Tribotechnický systém (TTS) [4, 7] a procesy, které v něm probíhají, je předmětem našeho zájmu a výzkumu. Máme k dispozici některé charakteristiky, které TTS popisují, nebo s ním souvisí. Hlavní a základní funkcí TTS je převod vstupních proměnných na proměnné výstupní [5, 8]. Diagnostické výsledky z TTS jsou velmi hodnotné a to vzhledem ke skutečnosti, že v námi sledovaných TTS je k dispozici množství sledovaných dat. Tato data mají širokou informační hodnotu, přičemž poskytují přímé informace o stavu mazacího média, resp. nepřímé informace o stavu systému. Právě v oblasti spolehlivosti a při analyzování jejích dílčích vlastností je přítomnost reálných dat žádoucí a vítaná.

S ohledem na provádění diagnostiky TTS je možné využívat množství přístupů a metod, které individuálně poskytují odlišný diagnostický obraz [3, 9, 10]. V tomto příspěvku jsou pro analytické zpracování využita data, která byla získána na základě atomové emisní spektrometrie. Tento diagnostický přístup poskytuje přesný obraz oleje na základě chemického rozboru a stanovení obsahu jednotlivých chemických prvků. Objekty – technické systémy, které byly sledovány, jsou vojenská vozidla a jejich spalovací motory. Jedná se o obrněné vozidlo pěchoty – BVP s motorem UTD-20, vozidlo tank T-72 M4 CZ s motorem Perkins a o střední nákladní automobil Tatra T810 s motorem Renault. V případě sběru dat z oleje se ve všech případech jednalo o off-line přístup [2, 9, 10]. Samotný odběr vzorků oleje byl proveden na základě schválené metodiky Ministerstva obrany v určených intervalech a za dodržení stanovených podmínek odběru. Již tato skutečnost týkající se odběru, ačkoliv pečlivě popsána v metodice, je zatížena mírou nejistoty a neurčitosti. Proto jsme se při volbě jedné z analytických metod rozhodli pro FIS.

Díky skutečnosti, že existuje velké množství diagnostických dat, můžeme hovořit o statisticky významném souboru. Naš výzkum se týká hledání nejvhodnější charakteristiky, která by vystihovala průběh vzniku a generování otěrových částic. Jelikož částice vznikají v kinematických skupinách, bylo třeba ve výsledcích diagnostických dat z oleje stanovit zájmové chemické prvky. Na základě dlouhodobých zkušeností a faktických skutečností [6] jsme se rozhodli pro železo – Fe [1, 10]. Díky schopnosti pro stanovení průběhu vzniku částic a díky korelaci na referenční motor, který dosáhl mezního stavu je možné odhadovat-předpovídat předpokládaný zůstatek technického života objektu (residual technical life).

Jak již bylo řečeno, k analytickému posuzování byly zvoleny dva přístupy. Prvním z nich je regresní analýza, pomocí které se snažíme nalézt průběh tvorby částic, který nejlépe vystihuje realitu. Více bude popsán níže, nicméně se jedná o aplikace – proložení dat očekávanými/odhadovanými průběhy: lineárním, parabolickým a pomocí bázové funkce. Díky velké míře neurčitosti a nejistot spojených s odběrem, ale i s procesem diagnostiky samotným jsme se rozhodli pro další posouzení diagnostických dat pomocí FIS. Čili výše uvedené regresní průběhy jsou pomocí FIS dále porovnány.

Cílem je schopnost mít k dispozici relevantní, očekávaný a odhadovaný průběh vzniku částeček, který bude mít vypovídající schopnost. Výsledky ve vztahu k referenčnímu objektu předpokládáme pro využití k optimalizaci údržbových zásahů – např. modifikace lhůt výměny oleje, k optimalizaci plánování provozu – např. s ohledem na zůstatkový technický život, k plánování mission/zadání – ve vojenských podmínkách typické.

## 2. Statistický přístup

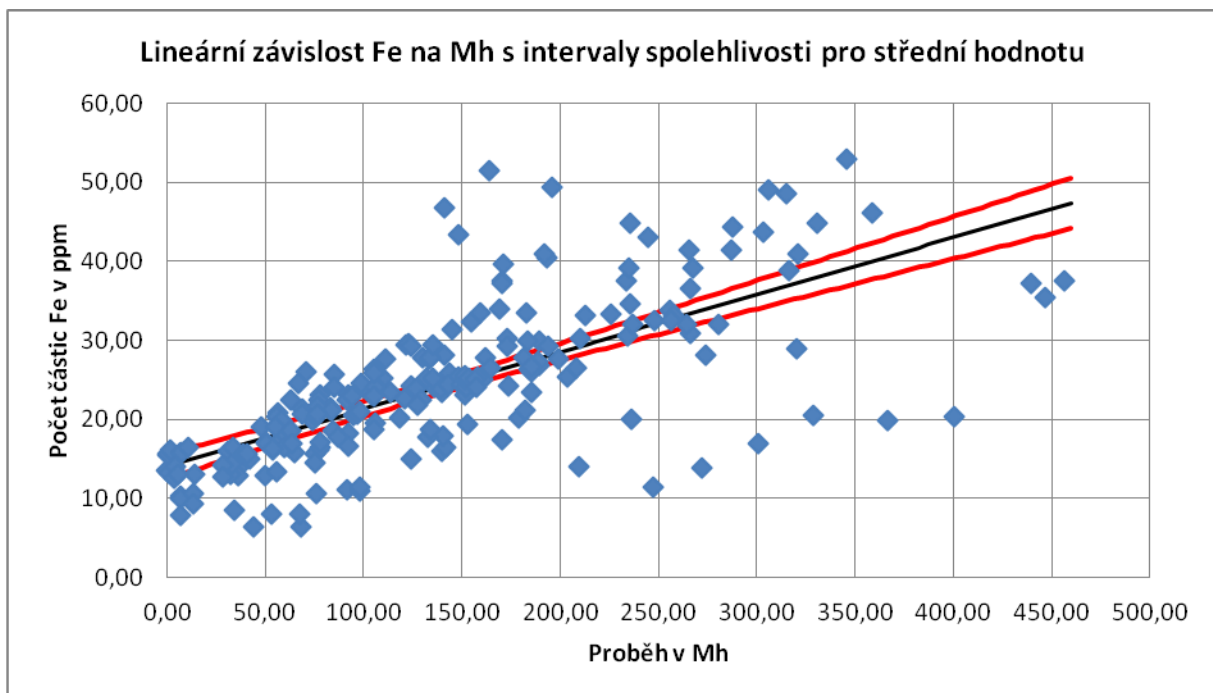
Při statistickém přístupu jsme vycházeli ze základních lineárních a nelineárních modelů a při vybrání vhodného modelu jsme brali v úvahu dvě hlediska:

- aby výsledná křivka co nejméně popisovala průběh
- aby model byl pokud možno co nejjednodušší.

### 2.1 Sledování vozidla BVP: Závislost Fe na Mh

U BVP jsme vycházeli se souboru, který obsahoval 62 naměřených hodnot. Nejlépe vyhovovala lineární regresní funkce:  $y = \beta_1 + \beta_2 x$ :

- bodový odhad regresní funkce:  $y = 13,712 + 0,0949x$ ,
- intervalový odhad koeficientu  $\beta_1$  pro  $\alpha = 0,05$ :  $\langle 11,871; 15,552 \rangle$ ,
- intervalový odhad koeficientu  $\beta_2$  pro  $\alpha = 0,05$ :  $\langle 0,064; 0,126 \rangle$ ,
- hypotéza  $H: \beta_2 = 0$  se zamítá,  $p$ -hodnota  $< 0,005$ ,
- druhá mocnina koeficientu vícenásobné korelace  $r^2 = 0,3856$ .



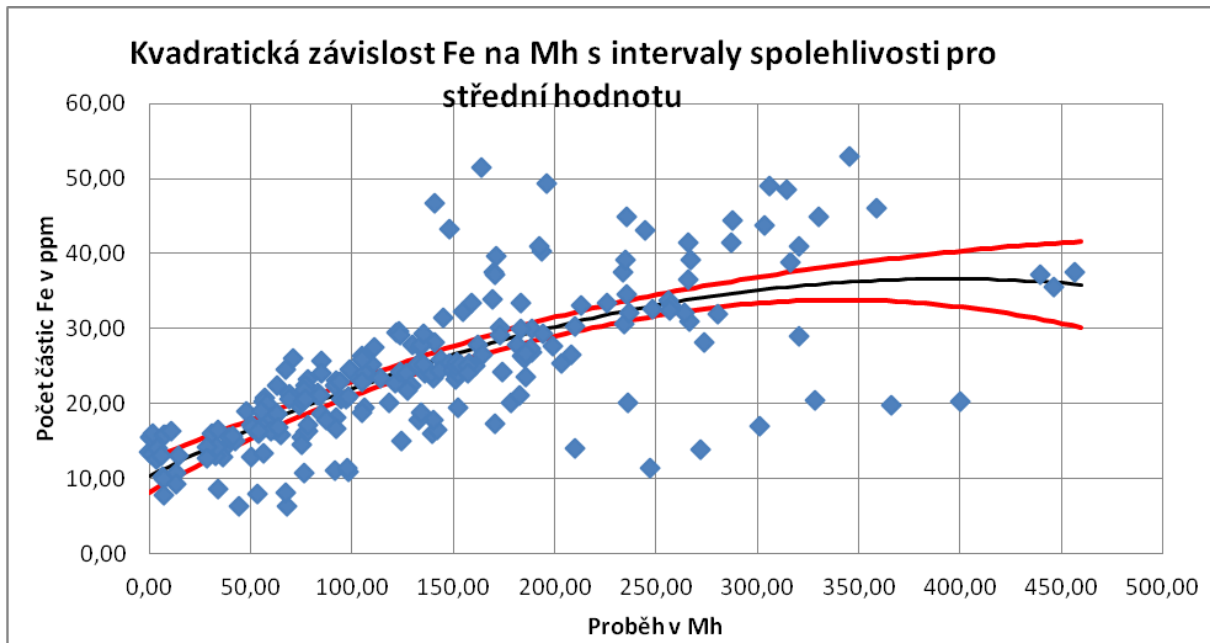
Obr. 1 Lineární závislost Fe na Mh u BVP

### 2.2 Sledování vozidla Tank: Závislost Fe na Mh

U tanku jsme vycházeli se souboru, který obsahoval 221 naměřených hodnot. Nejlépe vyhovovala regresní funkce:  $y = \beta_1 + \beta_2 x + \beta_3 x^2$

- bodový odhad regresní funkce:  $y = 10,373 + 0,1333x - 0,0002x^2$ ,

- intervalový odhad koeficientu  $\beta_1$  pro  $\alpha = 0,05$ :  $\langle 8,18029; 12,5649 \rangle$ ,
- intervalový odhad koeficientu  $\beta_2$  pro  $\alpha = 0,05$ :  $\langle 0,10592; 0,160662 \rangle$ ,
- intervalový odhad koeficientu  $\beta_3$  pro  $\alpha = 0,05$ :  $\langle -0,0002407; -0,0000976 \rangle$ ,
- hypotéza  $H: \beta_3 = 0$  se zamítá,  $p$ -hodnota  $< 0,005$ ,
- druhá mocnina koeficientu vícenásobné korelace  $r^2 = 0,5474$ .

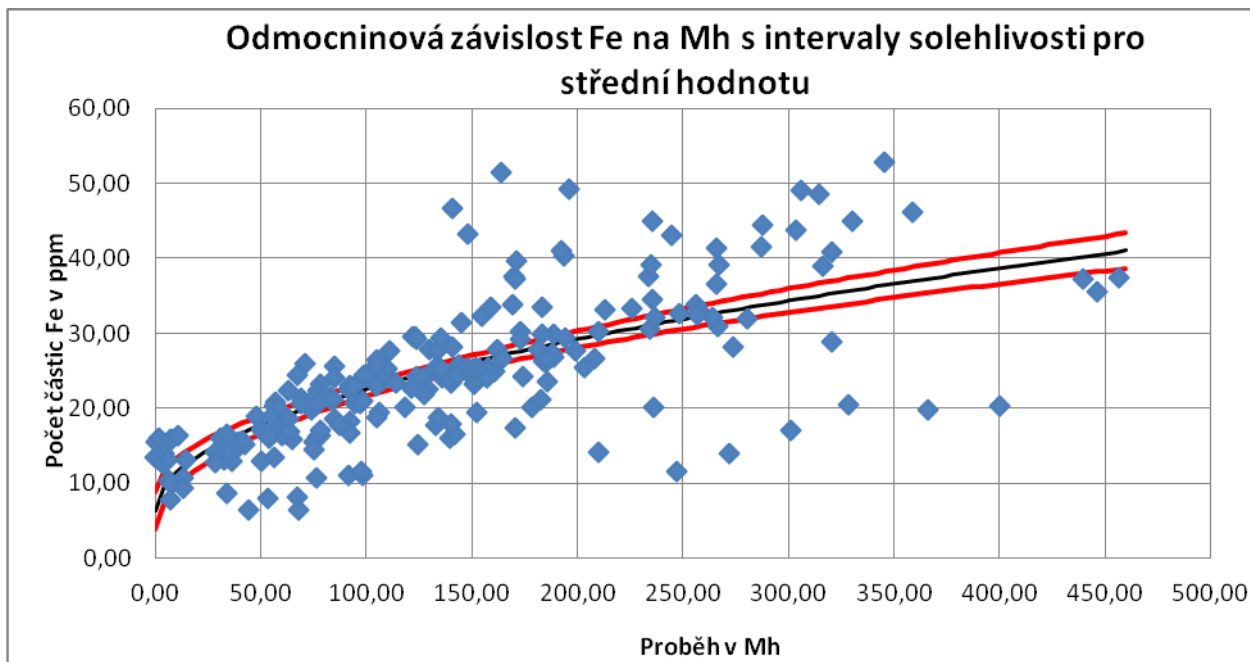


Obr. 2 Kvadratická závislost Fe na Mh u tanku

### 2.3 Sledování vozidla T-810: Závislost Fe na Mh

U T810 jsme vycházeli se souboru, který obsahoval 228 naměřených hodnot. Nejlépe vyhovovala regresní funkce:  $y = \beta_1 + \beta_2 x^{1/2}$

- bodový odhad regresní funkce:  $y = 11,616 + 0,5682x^{1/2}$ ,
- intervalový odhad koeficientu  $\beta_1$  pro  $\alpha = 0,05$ :  $\langle 10,7948; 12,4375 \rangle$ ,
- intervalový odhad koeficientu  $\beta_2$  pro  $\alpha = 0,05$ :  $\langle 0,47170946; 0,664743 \rangle$ ,
- hypotéza  $H: \beta_2 = 0$  se zamítá,  $p$ -hodnota  $< 0,005$ ,
- druhá mocnina koeficientu vícenásobné korelace  $r^2 = 0,373241$



Obr. 3 Odmocninová závislost Fe na Mh u tanku

### 3. Fuzzy přístup

Použitý fuzzy přístup vychází z fuzzy inference systému (FIS), který je založen na pojmech fuzzy množina a fuzzy relace, jež byly definovány Lotfi A. Zadehem v roce 1965 (viz [3]). Fuzzy množinou  $A$  se rozumí dvojice  $(U, \mu_A)$ , kde  $U$  je univerzum a  $\mu_A: U \rightarrow \langle 0,1 \rangle$  je funkce popisující příslušnost prvků z  $U$  do fuzzy množiny  $A$ . Tuto příslušnost značíme  $\mu_A(x)$ . Necht'  $U_i, i = 1, 2, \dots, n$ , jsou univerza. Pak fuzzy relací  $R$  na  $U = U_1 \times U_2 \times \dots \times U_n$  (kde  $U_1 \times U_2 \times \dots \times U_n$  je kartézský součin množin) se rozumí fuzzy množina  $R$  nad univerzem  $U$

Častou aplikací fuzzy množin je Fuzzy Inference System – FIS (dříve používaný pojem také "fuzzy regulátor"). FIS lze uvažovat jako fuzzy relaci, která po složení se vstupními hodnotami dává výsledné hodnoty. Obecně mohou být vstupní a výstupní hodnoty ve tvaru fuzzy množiny. Užívají se dva základní typy FIS: Mamdani a Sugeno (viz [1] a [2]). Každý FIS se skládá ze vstupních a výstupních proměnných a z pravidel FIS. U FSI zadáváme:

- počet vstupních a výstupních proměnných,
- pro každý vstup a výstup počet předdefinovaných hodnot (jazykových hodnot) ve tvaru fuzzy množiny,
- pravidla FIS popsaná s pomocí předdefinovaných hodnot.

FIS lze uvažovat jako fuzzy relaci nad  $E_1 \times E_2 \times \dots \times E_n \times U$  definovanou:  $R = \bigcup_{j=1}^k R_j$ , kde  $E_1, \dots, E_n$ , jsou univerza pro vstupní proměnné,  $U$  je univerzum výstupní proměnné,  $k$  je počet pravidel a  $R_j$  je  $j$ -té pravidlo ve tvaru fuzzy relace.

Při použití FIS porovnáváme libovolný vstup do FIS s předdefinovanými vstupními hodnotami. Na základě tohoto porovnání a pomocí pravidel FIS dostaneme výstup FIS ve tvaru fuzzy množiny.

Jako vstupy do FIS budeme uvažovat libovolnou fuzzy množinu  $a_{E_i}$  nad univerzem  $E_i$ . Pak velikost akční veličiny  $a_V$  je dána výrazem  $a_V = (a_{E_1} \times a_{E_2} \times \dots \times a_{E_n}) \circ R$ . Výsledná fuzzy množina  $a_V$  je složení fuzzy relace  $(a_{E_1} \times a_{E_2} \times \dots \times a_{E_n})$  nad univerzem  $E_1 \times E_2 \times \dots \times E_n$  s relací  $R$  definovanou nad univerzem  $E_1 \times \dots \times E_n \times V$  a tedy výsledkem tohoto složení je fuzzy množina nad univerzem  $V$ . Pokud

má být výstupem reálná hodnota, provede se tzv. defuzzikace, kdy fuzzy množinu nahradíme jediným číslem.

Pro hledání závislosti výstupních veličin na vstupních u neznámého procesu se častěji používá FIS Sugeno, který je modifikací FIS Mamdani. K nalezení příslušného FIS využíváme data, která tvoří vstupní a výstupní hodnoty procesu. Ve většině případů tyto hodnoty tvoří podmnožinu reálných čísel a tedy vstupy a výstupy jsou v číselném tvaru. Vstupní proměnné má podobné jako FIS typu Mamdani. Výstupní veličiny  $Z_j$  jsou v konstantním nebo lineárním tvaru:  $Z_j = \alpha_j$  nebo  $Z_j = \alpha_j + \beta_{1,j}x_1 + \beta_{2,j}x_2 + \dots + \beta_{n,j}x_n$ .

kde  $\alpha_j, \beta_{i,j}$   $i=1, 2, \dots, n, j=1, 2, \dots, k$  jsou vhodné konstanty,  $k$  je počet pravidel v uvažovaném FIS modelu a  $n$ -tice  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$  obsahuje  $n$  vstupních proměnných do FIS (modelu). Výstup FIS Sugeno je pak vážený průměr hodnot  $Z_j$ , kde váha se získá srovnáním vstupu  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$  s předdefinovanými vstupními hodnotami.

Pro nalezení vhodného FIS Sugeno, který popisuje vybraná data, je vhodné data rozdělit na ladící a testovací část. Najdeme takový FIS, který co nejlépe odpovídá ladící části dat. Ladící část dat se rozdělí do menších částí a ke každé části se přiřadí předdefinované hodnoty vstupu (výstupu) a pravidla, která popisují závislost mezi příslušnými vstupy a výstupy. Používají se dva základní způsoby dělení dat:

- rozdělení oblasti (která zahrnuje ladící data) na menší části, každé části se přiřadí fuzzy množina a jejich kombinací se vytvoří pravidla,

- využití shlukovací metody pro nalezení shluků v datech, pro každý shluk se vytvoří jedno pravidlo.

Po zvolení daného počtu fuzzy množin (jazykových hodnot) a po výběru pravidel se hledají vhodné parametry  $(\alpha_j, \beta_{i,j})$  u výstupních veličin  $Z_j$ . Tyto parametry byly nalezeny pomocí neuronové sítě. Výsledkem ladění je takové nastavení parametrů, aby FIS co nejlépe popisoval zadaná ladící data. Správnost se ověří spočítáním výstupních hodnot nad testovacími daty pomocí FIS a jejich porovnáním s původním výstupem testovací části dat. Návrh, odladění a výběr FIS byl prováděn v prostředí MATLAB (verze 5.3) – FuzzyToolbox.

### **3.1 Sledování vozidla BVP: Závislost $F_e$ na $M_h$**

Při hledání vhodného FIS pro nalezení závislosti  $F_e$  na  $M_h$  u BVP se využil FIS Sugeno. Použily se oba základní způsoby dělení dat.

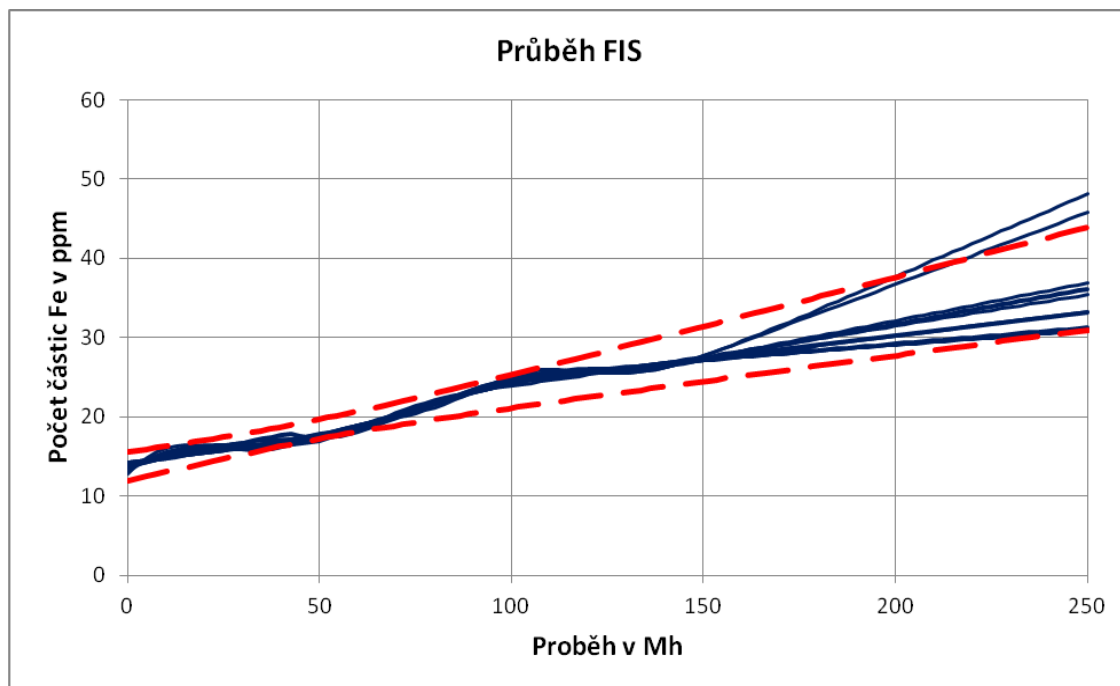
Při dělení dat na menší oblasti se zvolily následující parametry:

- jazykových hodnot: 2 – 5,
- typ jazykových hodnot: trojúhelník, lichoběžník, Gaussova křivka

Při dělení dat s pomocí shlukovacích metod se vybralo dělení s 2 – 4 shluky

- počet jazykových hodnot odpovídal počtu shluků a tvar byla Gaussova křivka.

Následující obrázek ukáže nalezené FIS křivky spolu s pásem spolehlivosti (pro střední hodnotu  $y$ ) pro lineární regresní funkci.



Obr. 4 Nalezené FIS průběhy pro závislost Fe na Mh u BVP

### 3.2 Sledování vozidla Tank: Závislost Fe na Mh

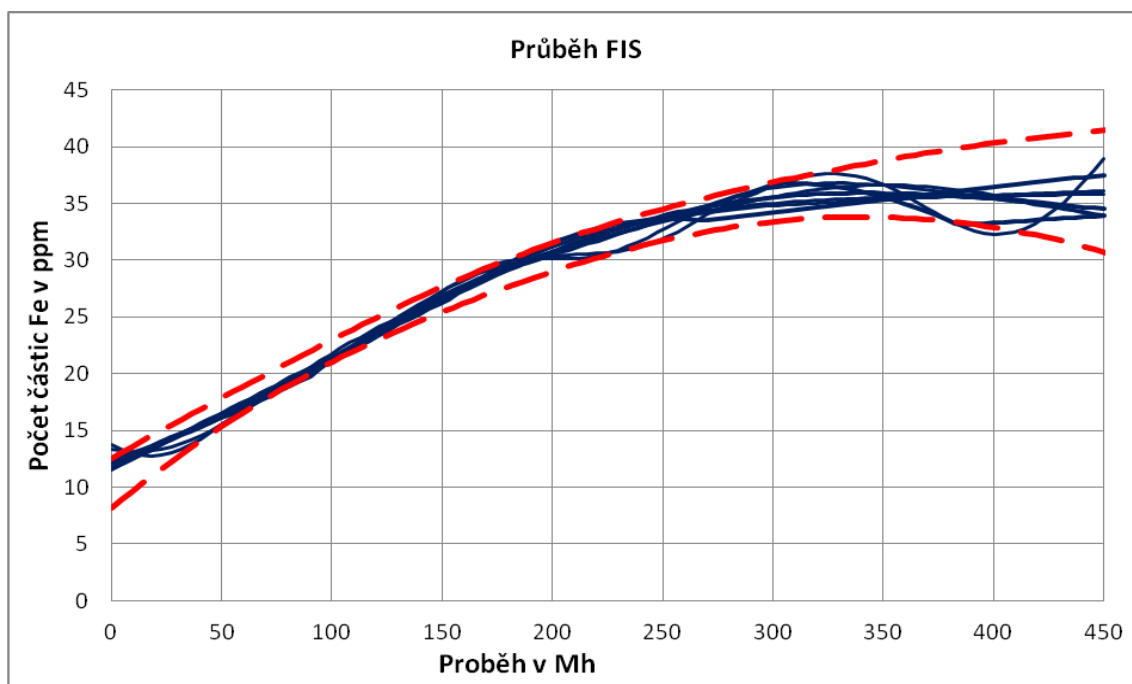
Při hledání vhodného FIS pro nalezení závislosti Fe na Mh u tanku se využil FIS Sugeno. Použily se oba základní způsoby dělení dat.

Při dělení dat na menší oblasti se zvolily následující parametry:

- jazykových hodnot: 2 – 6,
- typ jazykových hodnot: trojúhelník, lichoběžník, Gaussova křivka

Při dělení dat s pomocí shlukovacích metod se vybralo dělení s 2 – 4 shluky

- počet jazykových hodnot odpovídal počtu shluků a tvar byla Gaussova křivka.



Obr. 5 Nalezené FIS průběhy pro závislost Fe na Mh u tanku

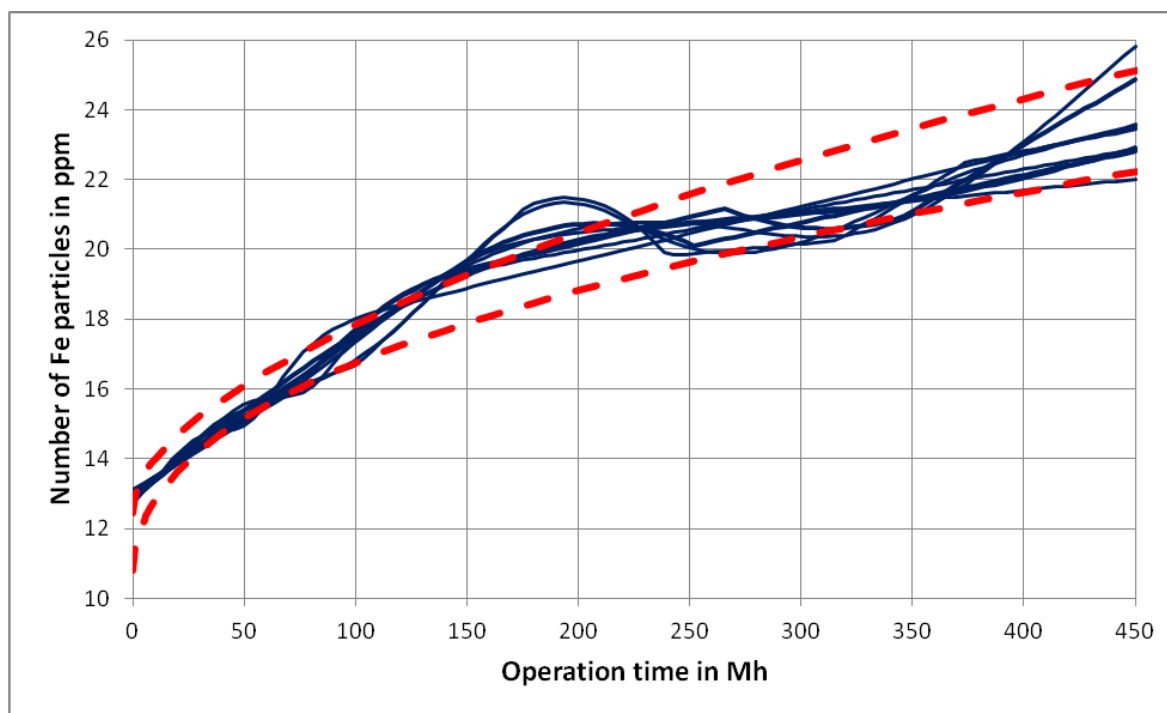
### 3.3 Sledování vozidla T 810: Závislost Fe na Mh

Použily se oba základní způsoby dělení dat.

Při dělení dat na menší oblasti se zvolily následující parametry:

- jazykových hodnot: 2 – 5,
- typ jazykových hodnot: trojúhelník, lichoběžník, Gaussova křivka

Při dělení dat s pomocí shlukovacích metod se vybralo dělení s 2 – 5 shluky  
počet jazykových hodnot odpovídal počtu shluků a tvar byla Gaussova křivka.



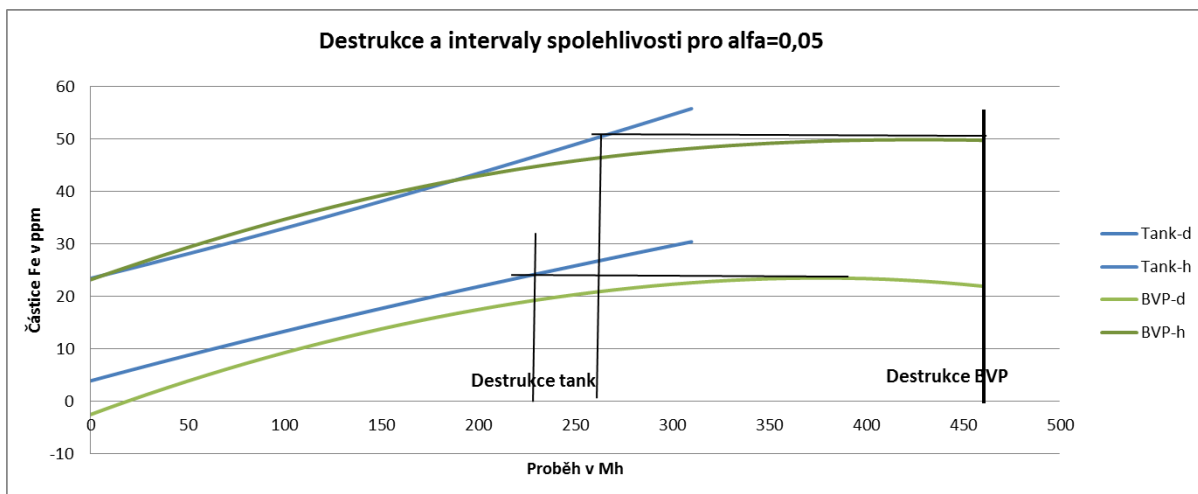
Obr. 6 Nalezené FIS průběhy pro závislost Fe na Mh u T810

## 4. Možnosti pro vstupy do principů údržby podle stavu

Z výše uvedených postupů je zřejmé, že vypovídací potenciál diagnostických dat je velký. Především je tomu tak u tribodiagnostických dat, kde jsou autentičnost a obraz technického stavu velmi vysoké.

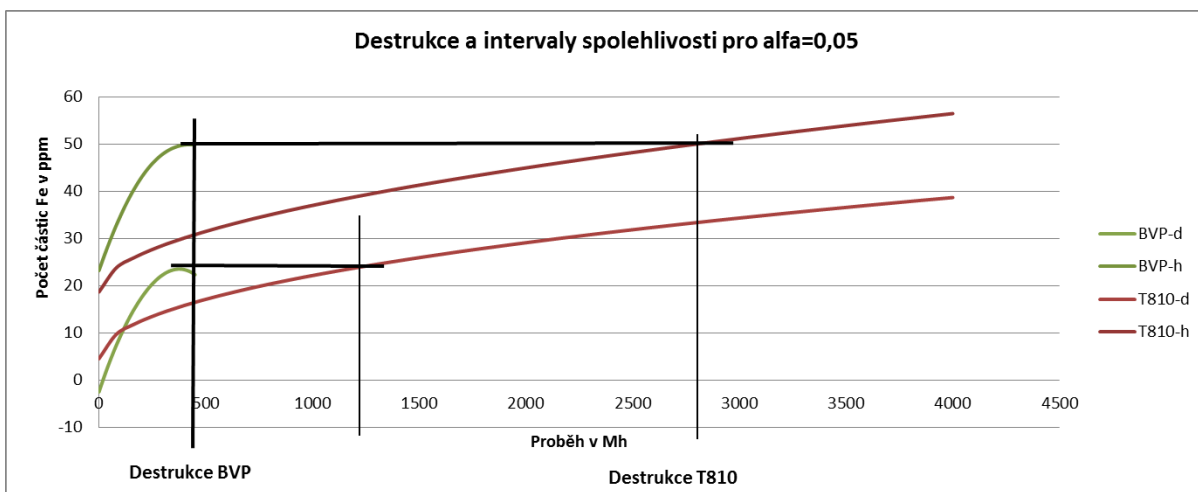
Fuzzy přístup poskytuje určitou míru doplnění a potvrzení počátečních předpokladů pro odhad průběhu tvorby částeczek znečištění v oleji.

Z tohoto důvodu, a jelikož máme k dispozici dva pohledy na stejný problém, je po nalezení nejvhodnějšího průběhu tvorby částeczek možné využít jejich informační hodnoty. Máme k dispozici referenční hodnoty motoru, u kterého došlo k poruše. Tyto informace je možné využít pro stanovení odhadu residuálního technického života doposud provozovaných systémů – viz obrázky 7 a 8.



Obr. 7 Odhad residuálního technického života pro Tank

Analytické hodnoty odhadu pro střední hodnotu zůstatkového technického života na jednu olejovou náplň u tanku činí asi 240 Mh.

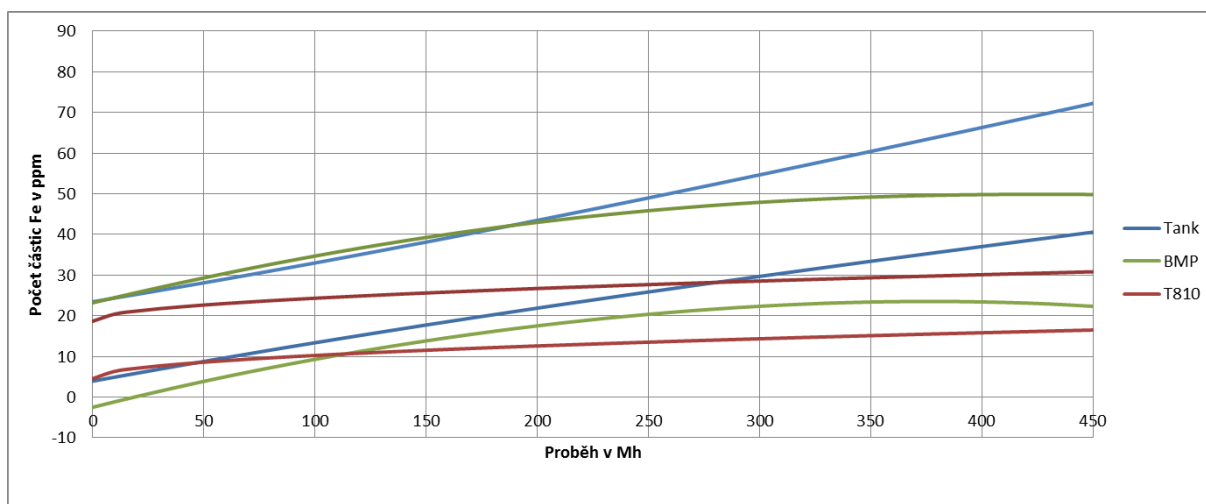


Obr. 8 Odhad residuálního technického života pro T810

Analytické hodnoty odhadu pro střední hodnotu zůstatkového technického života na jednu olejovou náplň u T810 činí asi 1 975 Mh.

Na základě provedených analýz je rovněž možné sledovat trendy v průběhu tvorby částic železa. Jednotlivé výsledky jednoznačně ukazují vliv provozních podmínek na intenzitu tvorby jednotlivých částic. Na základě této skutečnosti lze vyhodnocovat skutečnou historii provozu v daných provozních podmínkách, resp. stanovovat opatření pro dodržování provozních podmínek, resp. předcházení výskytu poruch. Jedná se v zásadě o optimalizaci provozu a plánování mission/zadání. Tyto skutečnosti je možné porovnat a vidět v obrázku 9.





Obr. 9 Srovnání provozních vlivů na tvorbu částic

## 5. Závěr

V tomto příspěvku jsme hledali závislosti mezi naměřenými veličinami pomocí statistických metod a fuzzy metod. Nalezené výsledky lze s použitím obou metod dobře porovnat. Vycházíme ze situace, kdy neznáme teoretický základ možné závislosti vzniku částic Fe a doby provozu. Tuto závislost hledáme pomocí přibližných metod. Posuzování je založeno na datech z reálného provozu. Výchozími metodami jsou regresní analýza a Fuzzy Inference system. V případě regresní analýzy je potřeba tvar regresní funkce zvolit předem. Pokud tvar regresní funkce nelze odvodit teoreticky, je potřeba vhodnou regresní funkce zvolit a ty potom porovnat s naměřenými daty. U fuzzy metod nemusíme tvar hledané funkce volit, ale stanovíme tvar a počet jazykových hodnot. Tyto jsou nutné pro sestavení Fuzzy Inference Systému. Pro různé tvary a počty jazykových hodnot dostáváme různé tvary závislostí. Z prezentovaných výsledků pro tři soubory dat z provozu různých typů vozidel vyplývá, že vhodnou kombinací obou přístupů lze najít závislost u naměřených dat, která odpovídá reálnému ději. Na posuzovaná data je vhodné nejprve použít FIS a následně podle tvaru nalezené závislosti zvolit vhodnou regresní funkci. Přes rozdílný analytický přístup v jednotlivých metodách spolu výsledky korespondují (viz obr. 4,5,6). Z toho lze usuzovat, že nalezené závislosti mohou popisovat očekávaný vývoj ve skutečných provozních podmínkách. Dosažené závěry budou využity pro další zkoumání, jako je například optimalizace údržbových postupů, plánování zadání nebo odhad zůstatkových provozních jednotek, atd.

## Poděkování

Tento příspěvek byl podpořen Projektem pro institucionální rozvoj K-202 Univerzity obrany v Brně. Příspěvek je součástí řešení grantového projektu GAČR reg. č. P403/11/2085 „Konstrukce metod pro vícefaktorové měření komplexní podnikové výkonnosti ve vybraném odvětví“, výzkumného úkolu AKADEMIE STING v Brně „Podpora řízení firem s využitím kvantitativních metod“ a projektu TAČR TA02021449 „Systém inteligentních alarmů v energetickém provozu jaderných elektráren“.

## Použitá literatura:

- [1] Glos, Josef; Žák, Libor; Vališ, David. Possibilities of Tribo-diagnostics Regarding Maintenance Optimisation. In: *Intelligent Technologies in Logistics and Mechatronics Systems Itelms'2012*. Kaunas: Kaunas University of Technology, 2012, p. 73-78. ISBN 978-609-02-0571-6.
- [2] Vališ, David; Žák, Libor; Glos, Josef; Walek, Agata. Possible Inputs To Maintenance Optimisation Based on Non-Direct Diagnostics. In: *11th International Probabilistic Safety Assessment and Management Conference and the Annual European Safety and Reliability Conference 2012 (PSAM11 ESREL 2012)*. New York: Curran Associates, Inc., 2012, p. 143-153. ISBN 978-1-62276-436-5.
- [3] Vališ, David; Koucký, Miroslav; Žák, Libor. On approaches for non-direct determination of system deterioration. *Eksploracja i Niezawodność - Maintenance and Reliability*, 2012, vol. 14, no. 1, p. 33-41. ISSN 1507-2711.
- [4] Glos, Josef; Žák, Libor; Vališ, David. Maintenance Optimization Based on Tribo-Diagnostics. *Transport Means: Proceedings of The International Conference*, 2012, vol. neueden, no. 1, p. 29-32. ISSN 1822-296X.
- [5] Toms, L.A., *Machinery Oil Analysis: Methods, Automation & Benefits*, Society of Tribologists & Lubrication Engineers, 2008, Park Ridge USA, ISBN 978-0-9817512-0-7
- [6] Czichos, H., Habig, K-H. *Tribologie-Handbuch; Reibung und Verschleiß*, 2nd edition. Weisbaden: Vieweg. 2003, In German.
- [7] Koucky, M., Valis, D. *Suitable approach for non-traditional determination of system health and prognostics*. *Zeszyty naukowe, Styczen – Marzec*, Vol.1, No 159, p. 123-134. ISSN 1731 – 8157, 2011.
- [8] Lippay, J. *Tribological diagnostics of heavy of road lorries Tatra 815 engines which operate with OA-M6 ADS II oil*. Inauguration Thesis, Brno: Military Academy, 1991, In Czech.
- [9] Mamdani, E H. *Applications of fuzzy logic to approximate reasoning using linguistic synthesis*, IEEE Transactions on Computers, Vol. 26, No. 12, 1182-1191, 1977
- [10] Sugeno, M. *Industrial applications of fuzzy control*, Elsevier Science Pub. Co., 1985.