

Česká společnost pro jakost, Novotného lávka 5, 110 00 Praha 1



Sběr a vyhodnocování dat o RAMS v provozu

**Materiály z 89. semináře Odborného centra Spolehlivost
konaného dne 11. 6. 2024 na Univerzitě obrany v Brně**

**Odborní garanti semináře:
prof. Ing. Zdeněk VINTR, CSc., dr.h.c.
Ing. Michal VINTR, Ph.D.**

Obsah

Úvod do sběru dat v provozu	3
<i>Ing. Michal VINTR, Ph.D.</i>	
<i>Nezávislý expert na spolehlivost, bezpečnost a RAMS/LCC</i>	
Neúplná data o provozní spolehlivosti a jejich vyhodnocení	13
<i>prof. Ing. Zdeněk VINTR, CSc., dr.h.c.</i>	
<i>Fakulta vojenských technologií, Univerzita obrany</i>	
Sběr a vyhodnocování dat z provozu ve Škoda Electric	23
<i>PhDr. Ing. Ota KÉHAR, Ph.D.</i>	
<i>ŠKODA ELECTRIC a.s.</i>	

Úvod do sběru dat v provozu

Ing. Michal Vintr, Ph.D.

Nezávislý expert na spolehlivost, bezpečnost a RAMS/LCC

mvintr@mvintr.cz – www.mvintr.cz

1 Úvod

Článek je zaměřen na stručný úvod do sběru dat o RAMS v provozu. Zabývá se významem sběru dat dle normy EN 50126-1 a přehledem dostupných standardů v této oblasti. Článek představuje základní principy sběru dat, ukazuje, jaká data o RAMS lze sbírat a jak mohou být následně využita. Rovněž popisuje základní prvky systému sběru dat a doporučuje minimální množství dat, která by měla být sbírána. Zvláštní pozornost věnuje informacím, které lze získat z dat o vzniklých poruchách. Stranou pozornosti nezůstává ani FRACAS.

Tento článek volně navazuje na autorův dřívější článek [2] ze semináře konaného v roce 2013. Zaměřuje se především na sběr dat o RAMS (spolehlivosti a bezpečnosti) v provozu, zatímco vyhodnocování těchto dat pokrývá jen okrajově.

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

2 Zkratky

FRACAS	Failure Reporting, Analysis, and Corrective Action System Systém podávání zpráv o poruchách, analýzy a opatření k nápravě
FRB	Failure Review Board Komise pro přezkum poruch
RAM	Reliability, Availability and Maintainability Bezporuchovost, pohotovost a udržitelnost
RAMS	Reliability, Availability, Maintainability and Safety Bezporuchovost, pohotovost, udržitelnost a bezpečnost

3 Základní pojmy

3.1 Sběr

Sběr (collection), *sbírání* (collecting) nebo také *získávání* (acquisition).

Dle Internetové jazykové příručky [16] je sběr popsán jako sbírání (něčeho po kusech nebo jednotlivostech, po částech na různých místech).

3.2 Data a informace

Dle Internetové jazykové příručky [16] jsou *data* pomnožné podstatné jméno, rodu středního, vzoru město.

Pojmy *data* (data) a *informace* (information) se v běžné mluvě střídavě používají, mnohdy jako by znamenaly totéž. Tyto pojmy však mají dle normy [10] odlišné významy:

- *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, nejen odesílatel.

Obecně se základní data nějakým způsobem zpracovávají, aby tvořila informace, ale pouhé zpracování dat samo o sobě nevytváří informace [10].

3.3 Provoz

Dle Internetové jazykové příručky [16] je *provoz* popsán jako činnost, chod, pracovní nebo jiné využití něčeho, zpravidla stroje.

Provoz (operation) je dle normy [8] samostatnou etapou životního cyklu produktu (etapa provoz a údržba) nebo součástí etapy používání. Provozu předchází etapa realizace (konstrukce, instalace a uvedení do provozu). Po ukončení provozu následuje oficiální vyřazení z provozu a vypořádání (likvidace). V průběhu etapy provozu může probíhat zdokonalování.

V kontextu normy ČSN EN 50126-1 [12] je *provoz* součástí jedné z etap životního cyklu systému, konkrétně etapy 11 – provoz, údržba a sledování výkonosti.

3.4 Spolehlivost

Spolehlivost (dependability) je v normě [8] definována jako schopnost fungovat tak, jak je požadováno, a tehdy, když je to požadováno.

Tato definice je v normě [8] doplněna dvěma poznámkami:

- do spolehlivosti se zahrnuje pohotovost (availability), bezporuchovost (reliability), zotavitelnost (recoverability), udržovatelnost (maintainability) a zajištěnost údržby (maintenance support performance) a v některých případech i jiné charakteristiky, jako je životnost (durability), bezpečnost (safety) a zabezpečení (security);
- spolehlivost se používá jako souhrnný termín pro charakteristiky kvality objektu, které se vztahují k času.

3.5 RAMS

V normě ČSN EN 50126-1 [12] je definován pojem RAMS, který představuje zkratku pojmů Reliability (bezporuchovost), Availability (pohotovost), Maintainability (udržovatelnost) a Safety (bezpečnost). Používání zkratky RAMS se v železničním průmyslu ustálilo a RAMS se běžně používá pro vyjádření spolehlivosti a bezpečnosti (podrobnější informace o vazbě RAMS a spolehlivosti lze nalézt v [5]).

4 Standardizace v oblasti sběru dat o RAMS

Zmínky o sběru dat se nacházejí jak v mnoha normách z oblasti spolehlivosti, tak v normě ČSN EN 50126-1 [12]. Nicméně systematicky a podrobně je sběr dat o spolehlivosti řešen zejména v těchto dvou mezinárodních normách:

- ČSN EN 60300-3-2 Management spolehlivosti – Část 3-2: Pokyn k použití – Sběr dat o spolehlivosti z provozu, z roku 2005;
- ČSN EN 60706-3 Udržovatelnost zařízení – Část 3: Ověřování a sběr, analýza a prezentace dat, z roku 2007.

5 Sběr dat v provozu a ČSN EN 50126-1

V normě ČSN EN 50126-1 [12] je pro sběr používán pojem *získávání* (acquisition).

Tabulka 1 (informativní) – Úkoly RAMS pro etapy životního cyklu 1 až 12 (viz kap. 6.2 Životní cyklus uvažovaného systému [12]) – uvádí několik úkolů vztahujících se k získávání dat v provozu:

- Etapa 9: (Validace systému): Obecné úkoly:
Vytvořit proces pro získávání a vyhodnocování provozních údajů a údajů o údržbě.
- Etapa 11 (Provoz, údržba a sledování výkonosti): Úkoly RAM:
Implementovat a udržovat proces FRACAS pro získávání a zaznamenávání dat o výkonosti RAM / dat o bezpečnosti.
- Etapa 11 (Provoz, údržba a sledování výkonosti): Úkoly bezpečnosti:
Implementovat a udržovat proces pro získávání a zaznamenávání dat o bezpečnosti.

V požadavcích na životní cyklus RAMS (viz kap. 7 normy [12]) je získávání dat v provozu zmíněno hned v několika etapách:

Etapa 2: Definice systému a provozní souvislosti (viz kap. 7.3 normy [12]):

- Kap. 7.3.2.2 Plán RAM:
Plán RAM musí zahrnovat následující:
b) bezporuchovost, včetně:
- získávání dat o bezporuchovosti a jejich posuzování;
c) pohotovost, včetně:
- získávání dat o pohotovosti a jejich posuzování.

Etapa 9: Validace systému (viz kap. 7.10 normy [12]):

- Kap. 7.10.2 Činnosti:
Jako vstup pro proces zlepšování systému musí být stanoven a implementován proces získávání a vyhodnocování provozních dat a dat údržby.
- Kap. 7.10.3 Výstupy:
Výstupy této etapy životního cyklu musí být dokumentovány, včetně:
- procesu získávání a vyhodnocování provozních dat.

Etapa 11: Provoz, údržba a sledování výkonosti (viz kap. 7.12 normy [12]):

- Kap. 7.12.2 Činnosti:
Musí být implementován proces pro:
a) získávání dat o výkonosti RAMS;
b) záznam dat o výkonosti RAMS, souvisící analýzy a vyhodnocení, např. pomocí systému FRACAS.

Z uvedených požadavků normy ČSN EN 50126-1 [12] vyplývá, že ve vztahu ke sběru (resp. získávání) dat:

- plán RAM musí pokrýt i získávání dat o bezporuchovosti a udržovatelnosti;

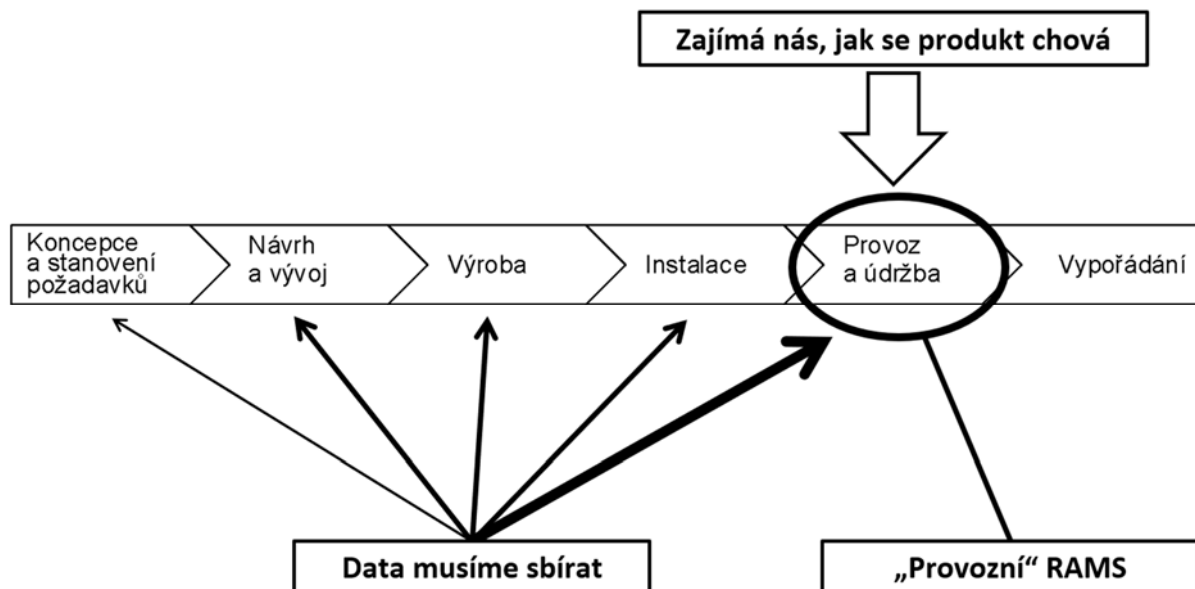
- jako součástí validace systému musí být stanoven, dokumentován a implementován proces získávání provozních dat;
- jako součást provozu musí být implementován proces pro získávání a záznam dat o výkonnosti RAMS.

6 Sběr dat o RAMS v provozu

6.1 Principy sběru dat

Obecným cílem sběru a vyhodnocování dat o RAMS je zlepšovat příslušné produkty a procesy v jednotlivých etapách životního cyklu.

Sběr a vyhodnocení dat probíhá obvykle s obecným cílem získat informace o RAMS (spolehlivosti a bezpečnosti) produktu v provozu (informace o tzv. „provozní“ RAMS). 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), jak je naznačeno na Obr. 1.



Obr. 1: Etapy životního cyklu produktu a sběr dat

Sběr dat o RAMS v provozu je často dlouhodobá činnost, kterou je nutné provádět systematicky. Jedná se o činnost, která musí být pečlivě naplánována, s uvažováním příslušných cílů. V dnešní době si nelze sběr dat představit bez informačního systému sběru dat.

Sběr dat o RAMS v provozu, bohužel, až na specifické výjimky, nelze provádět bez spolupráce všech zúčastněných stran, kterými mohou být:

- výrobci;
- subdodavatelé;
- servisní organizace;
- uživatelé;
- zákazníci.

V železničním průmyslu, konkrétně v oblasti kolejových vozidel, se nejčastěji jedná o tyto zúčastněné stany:

- dodavatel systému / subsystému / komponenty;
- výrobce vozidla;
- provozovatel vozidla.

6.2 Data o RAMS a jejich využití

Sbírat lze nejrůznější kvalitativní a kvantitativní data o RAMS v provozu, která lze obecně rozdělit do čtyř skupin [10]:

- 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;
- další prvotní data podle vnitřních potřeb organizace.

Následné vyhodnocení dat o RAMS v provozu umožňuje zejména:

- určit (odhadnout) ukazatele vztahující se k RAMS produktu;
- potvrdit splnění požadavků zákazníka;
- plánovat údržbu;
- zavést zpětnou vazbu na návrh a výrobu;

- uvážit budoucí požadavky na zdroje a náhradní díly;
- zlepšit požadavky na RAMS;
- posoudit oprávněnost modifikací.

6.3 Systém sběru dat

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

Mezi základní prvky systému sběru dat patří:

- prostředky získávání a záznamu dat (např. lidé, formuláře, tablety a snímače);
- prostředky přenosu dat z místa získání do úložiště (např. síť a cloudové služby);
- nástroje pro ukládání a integraci dat (např. databáze, servery a cloudové služby).

Obecně může systém sběru dat mít různý charakter. Můžeme se setkat:

- s ručně vedenými systémy založenými na provádění záznamů do předem připravených formulářů;
- se systémy elektronickými využívajícími kancelářské software, specializované software a/nebo podnikové komplexní informační systémy.

Konkrétní forma systému se musí přizpůsobit charakteru produktu, typu výroby, cílům 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.

V rámci systému sběru dat je možné využít systém podávání zpráv o poruchách, analýzy a opatření k nápravě (FRACAS). Podrobnosti o FRACAS jsou uvedeny v kapitole 7.

Minimálně by měl systém sběru dat umožňovat zaznamenání následujících dat o každém produktu v provozu:

- data o průběhu provozu – jsou základním dokladem o vlastních podmínkách a průběhu provozu, provedených údržbách a vzniklých poruchách;
- data o vzniklých poruchách – zaznamenávají se vždy při vzniku poruchy bez ohledu na skutečnost o jakou poruchu se podle kategorizace poruch jedná;
- data o prováděné údržbě po poruše – zaznamenávají se vždy v návaznosti na vzniklou poruchu, bez ohledu na způsob provedení opravy;
- data o prováděné preventivní údržbě – data o preventivních údržbách prováděných v rozsahu a intervalech stanovených v technické dokumentaci.

6.4 Data o poruchách a bezporuchovosti

Data o bezporuchovosti patří mezi nejcennější, avšak nejobtížněji získatelná data o RAMS vůbec. V hierarchii „dodavatel – výrobce vozidla – provozovatel“, která je obvyklá v železničním průmyslu, je získání dat obtížné i v době záruky, a mnohdy nemožné po jejím skončení.

Obecně lze data o bezporuchovosti získat z následujících zdrojů (řazeno dle úrovně věrohodnosti) [3]:

- informace o bezporuchovosti prvku garantované výrobcem;
- průkazné výsledky zkoušek (sledování) bezporuchovosti stejného (srovnatelného) prvku;
- informace o bezporuchovosti získané s využitím přístupu „Physics-of-Failure“;
- standardizované výpočty bezporuchovosti prvků (metodiky predikce bezporuchovosti);
- specializované databáze informací o bezporuchovosti prvků (databáze bezporuchovosti);
- obecné databáze informací o bezporuchovosti prvků;
- expertní odhady.

Z uvedeného je zřejmé, že data získaná sledováním (v provozu) patří mezi nejvěrohodnější.

Pokud nastane porucha, je možné (v závislosti na možnostech a cílech sběru dat) získat především následující informace související s poruchou a činnostmi následujícími po ní:

- doba provozu (v hodinách, kilometrech, cyklech apod.) do poruchy (od uvedení do provozu nebo od poslední obnovy);
- příčina poruchy;
- závažnost důsledků poruchy (pokud byla zavedena kategorizace důsledků poruch);
- doba do obnovy (a její části, tj. administrativní zpoždění, doba detekce poruchového stavu a doba údržby po poruše);
- způsob opravy (seřízení, výměna apod.);
- cena opravy (cena práce, cena materiálu a náhradních dílů apod.).

Výše zmíněné informace o poruchách následně umožňují provést, mimo jiné, kvantitativní vyhodnocení a určit:

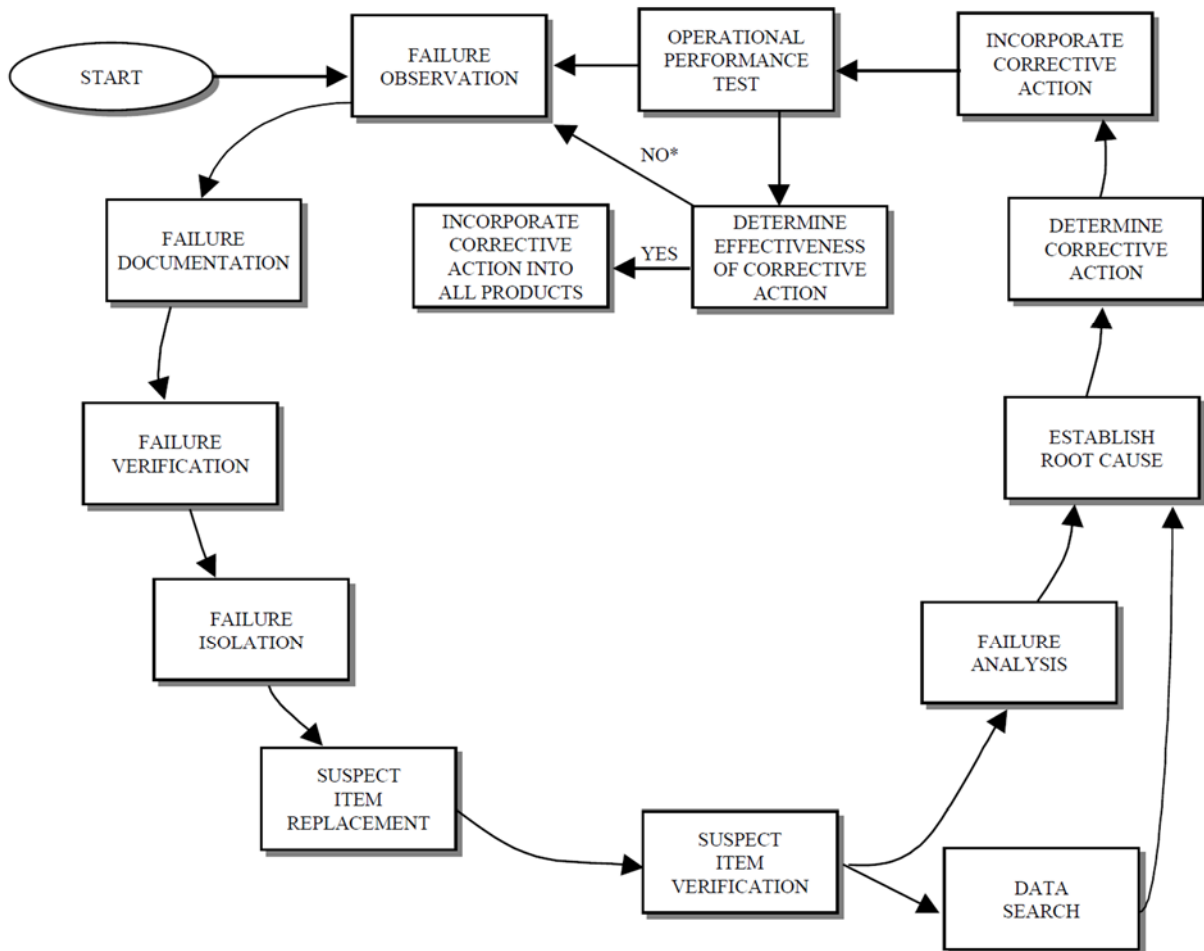
- ukazatele bezporuchovosti (např. střední doba provozu do poruchy – MTTF, střední doba provozu mezi poruchami – MTBF, intenzita poruch – λ);
- ukazatele udržovatelnosti (např. střední doba do obnovy – MTTR, střední doba opravy – MRT, pracnost údržby);
- ukazatele pohotovosti (např. asymptotická pohotovost – A);
- další veličiny (např. náklady na údržbu po poruše).

7 FRACAS

FRACAS – Failure Reporting Analysis and Corrective Action System – Systém podávání zpráv o poruchách, analýzy a opatření k nápravě.

Lze se také setkat se zkratkou FRACAT (Failure Reporting, Analysis and Corrective Action Taken), viz název normy MIL-HDBK-2155 [14].

FRACAS je uzavřená smyčka (proces) (viz Obr. 2) používaná pro zlepšení spolehlivosti současného a budoucího návrhu produktu prostřednictvím zpětné vazby ze zkoušek, modifikací a provozu.



Obr. 2: Uzavřená smyčka FRACAS [1]

Hlavním cílem systému FRACAS je vytvořit a spravovat uzavřenou smyčku vhodnou pro použití v rámci projektu při zpracování a správě hlášení o hardwarových a softwarových odchylkách. Základní systém FRACAS zajišťuje, aby problémy a poruchy, které se vyskytnou v průběhu životního cyklu systému, byly řádně zdokumentovány a vyřešeny [15].

FRACAS je požadován v normě ISO 22163:2023 (nový IRIS) a také zmiňován v normě ČSN EN 50126-1 (konkrétně 14krát).

Hlavní cíle FRACAS jsou:

- záznam všech poruch a problémů souvisejících se systémem od počátku vývoje do konce definovaného období;
- identifikace, výběr a prioritizace poruch a problémů pro následné řešení jejich příčin v rámci FRB (Failure Review Board);
- identifikace, implementace a ověření nápravných opatření pro omezení opakování poruch a problémů;

- poskytnutí přístupu k informacím pro všechny zainteresované osoby, aby se předešlo dalším obdobným poruchám a problémům.

Klíčové kroky procesu FRACAS jsou:

- počáteční analýza reportované poruchy (problému);
- detailní analýza poruchy, která je nová a dosud nebyla analyzována;
- analýza příčiny poruchy;
- doporučení nápravných opatření a jejich prezentace zákazníkovi;
- oprava reportované poruchy;
- implementace preventivních opatření, je-li to nezbytné;
- záznam vývoje a růstu spolehlivosti systému;
- zpráva o FRACAS aktivitách.

Klíčové prvky FRACAS jsou:

- systém/software pro sledování a záznam poruch;
- analýza poruch, doporučení a schválení nápravných opatření v rámci FRB;
- zpětnovazební smyčka mezi systémem/softwarem a FRB;
- systém/software pro sledování a záznam statusů poruch a jejich reportování příslušným osobám.

Podrobnější informace k FRACAS lze nalézt v příslušných normách [14], [15] nebo odborné literatuře [1], [7].

8 Závěr

Sběr dat představuje „pouze“ první fázi na cestě směrem k dosažení stanovených cílů. Následovat musí vyhodnocení dat, ať již kvalitativní nebo kvantitativní formou. K tomu lze využít metody z oblasti statistiky (např. Paretova analýza, testování statistických hypotéz, bodové odhady atd.) nebo z oblasti spolehlivosti (intervalové odhady s využitím rozdělení χ^2 , Weibullova analýza, metody vyvinuté W. Nelsonem atd.).

Informace o vyhodnocení dat o RAMS (spolehlivosti a bezpečnosti) lze nalézt v dalších článcích v tomto sborníku nebo ve sbornících z dřívějších seminářů (např. [4]).

Poděkování

Tento příspěvek vznikl za podpory Projektu pro rozvoj organizace „DZRO Vojenské autonomní a robotické systémy VAROPS“.

Použité zdroje

- [1] NICHOLLS, David. *Failure Reporting Analysis and Corrective Action System (FRACAS) Application Guidelines*. Rome (NY): Reliability Analysis Center, 1999.

- [2] VINTR, Michal. Sběr dat o spolehlivosti v provozu. In *Informace o spolehlivosti produktů v provozu a jejich využití*. Praha: Česká společnost pro jakost, 2013, s. 2–11. ISBN 978-80-02-02469-9.
- [3] VINTR, Michal. Predikce bezporuchovosti – databáze a metodiky. In *Prediktivní analýzy spolehlivosti a možnosti jejich využití II*. Praha: Česká společnost pro jakost, 2016, s. 10–30. ISBN 978-80-7231-469-0.
- [4] VINTR, Zdeněk. Prokazování dosažené úrovně bezporuchovosti zkouškami a vyhodnocením dat z provozu. In *Prokazování splnění požadavků na RAMS*. Brno: Univerzita Obrany v Brně, 2023, s. 14–28. ISBN 978-80-7582-254-3.
- [5] VINTR, Zdeněk. Současné přístupy k zabezpečování RAMS. In *RAMS drážních aplikací – současné přístupy, novinky a zkušenosti*. Brno: Univerzita Obrany v Brně, 2018, s. 3–9. ISBN 978-80-7231-410-2.
- [6] VINTR, Zdeněk, David VALIŠ a Michal VINTR. *Základy spolehlivosti technických systémů*. Brno: Univerzita obrany v Brně, 2020. ISBN 978-80-7582-303-8.
- [7] WISNIEWSKI, Richard. *Failure Reporting, Analysis and Corrective Action System (FRACAS)*. Utica (NY): Quanterion Solutions Incorporated, 2013.
- [8] ČSN IEC 60050-192. *Mezinárodní elektrotechnický slovník – Část 192: Spolehlivost*. Praha: ÚNMZ, 2016.
- [9] ČSN EN 61703 ed. 2. *Matematické výrazy pro ukazatele bezporuchovosti, pohotovosti, udržovatelnosti a zajištění údržby*. Praha: ÚNMZ, 2017.
- [10] ČSN EN 60300-3-2. *Management spolehlivosti – Část 3-2: Pokyn k použití – Sběr dat o spolehlivosti z provozu*. Praha: ČNI, 2005.
- [11] ČSN EN 60706-3. *Udržovatelnost zařízení – Část 3: Ověřování a sběr, analýza a prezentace dat*. Praha: ČNI, 2007.
- [12] ČSN EN 50126-1 ed. 2. *Drážní zařízení – Stanovení a prokázání bezporuchovosti, pohotovosti, udržovatelnosti a bezpečnosti (RAMS) – Část 1: Generický proces RAMS*. Praha: ÚNMZ, 2019.
- [13] ČSN EN 50126-2. *Drážní zařízení – Stanovení a prokázání bezporuchovosti, pohotovosti, udržovatelnosti a bezpečnosti (RAMS) – Část 2: Systémový přístup k bezpečnosti*. Praha: ÚNMZ, 2019.
- [14] MIL-HDBK-2155. *Failure Reporting, Analysis and Corrective Action Taken*. Washington: Department of Defense, 1995.
- [15] ANSI/AIAA S-102.1.4-2009. *Performance-Based Failure Reporting, Analysis & Corrective Action System (FRACAS) Requirements*. Reston (VA): American Institute of Aeronautics and Astronautics (AIAA), 2009.
- [16] *Internetová jazyková příručka* [online] (2008–2024). Praha: Ústav pro jazyk český AV ČR, v. v. i. Cit. 28. 5. 2024. <<https://prirucka.ujc.cas.cz/>>

Neúplná data o provozní spolehlivosti a jejich vyhodnocení

prof. Ing. Zdeněk Vintr, CSc., dr.h.c.

Fakulta vojenských technologií, Univerzita obrany

zdenek.vintr@unob.cz

1 Úvod

Výsledky sledování a vyhodnocení spolehlivosti výrobků v provozu mohou být zajímavé jak pro výrobce daného výrobku, tak i pro jeho uživatele. Prioritní zájem o informace z provozní spolehlivosti má však zpravidla výrobce, kterého zajímá, jaké reálné úrovně spolehlivosti jeho výrobky v provozu dosahují a jaké technické problémy se u nich objevují. Tyto informace mu totiž vytváří nezbytné předpoklady pro systematické zlepšování jeho výrobků, a to nejen z hlediska jejich spolehlivosti. Z podstaty cele záležitosti však má výrobce jen velmi omezené možnosti k tomu, aby provozní spolehlivost u svých výrobků sledoval, protože je neprovozuje on, ale jeho zákazníci, kteří mnohdy nemají zájem systematicky sledovat provozní spolehlivost daného výrobku, nebo nemají motivaci k tomu, aby výsledky sledování předávali výrobci.

Velmi často se tak v praxi setkáváme se situací, že výrobce nemá téměř žádné informace o provozním chování svých výrobků, nebo má k dispozici jen neúplné informace. Do takové situace se poměrně často mohou dostat subdodavatelé v oblasti drážních aplikací. Jejich produkt obvykle tvoří jen dílčí součást složitějšího finálního systému, jehož dodavatelem je jiný subjekt, a nejsou tak v přímém kontaktu s uživatelem svého produktu. To podstatným způsobem omezuje jejich přístup ke komplexním informacím o provozu jejich produktu a často tak mají k dispozici jen neúplná provozní data.

Vzhledem k omezenému rozsahu se příspěvek zaměřuje pouze na otázku vyhodnocení základních ukazatelů bezporuchovosti výrobku v provozu a prezentuje vybrané metody a postupy, které umožňují zpracování takových neúplných dat a provedení odhadu úrovně provozní bezporuchovosti výrobku.

2 Odhad ukazatelů bezporuchovosti

Odhad bezporuchovosti se nejčastěji provádí dvěma způsoby a to bodovým, nebo intervalovým odhadem příslušného ukazatele bezporuchovosti. Dále je prezentován způsob odhadu dvou nejčastěji používaných ukazatelů bezporuchovosti, a to střední doby mezi poruchami $MTBF$ a intenzity poruch λ . Navržené postupy vychází z doporučení mezinárodní normy IEC [4].

Bodové odhady ukazatelů bezporuchovosti jsou nejjednodušší možností, jak výsledky sledování výrobku v provozu vyhodnotit. K provedení odhadu je nezbytná znalost dvou veličin:

- T – kumulovaná doba provozu, která představuje součet všech dob provozu všech sledovaných výrobků daného typu ve sledovaném období,
- r – počet poruch zaznamenaných ve sledovaném období.

Bodový odhad střední doby provozu mezi poruchami se potom určí dle vztahu [4]:

$$MTBF = \frac{T}{r}. \quad (1)$$

Analogicky lze provést bodový odhad intenzity poruch ze vztahu [4]:

$$\lambda = \frac{r}{T}. \quad (2)$$

Bodové odhady provedené dle těchto vztahů jsou svojí podstatou vychýlené a při menším počtu pozorovaných poruch $r < 10$ může být vliv tohoto vychýlení částečně eliminován tak, že se na místo počtu poruch r do výpočtu dosadí hodnota $r + 1$ [4].

Obecně však platí, že se snižujícím se počtem zaznamenaných poruch se snižuje také věrohodnost provedeného odhadu. V případě, že by nebyla v rámci sledování pozorována žádná porucha, bodový odhad nelze provést.

Velmi často se proto využívají intervalové odhady, které umožňují provedení vyhodnocení i v případě, kdy v rámci provozu žádná porucha zaznamenaná nebyla. Podstatou intervalových odhadů je určení intervalu (rozsahu hodnot) daného ukazatele ve kterém se nachází skutečná (pro nás neznámá hodnota) s jistotou, do předu zvolenou, pravděpodobností. V praxi se zpravidla pracuje s jednostrannými intervaly, kdy nás zajímá hodnota, kterou daný ukazatel s danou pravděpodobností dosahuje minimálně (např. v případě *MTBF*), nebo kterou daný ukazatel dosahuje maximálně (např. v případě intenzity poruch λ).

Pokud předpokládáme, že sledovaný výrobek má charakter opravovaného objektu, který je vždy po poruše opraven a poté navrácen do provozu, lze dolní mez jednostranného konfidenčního intervalu střední doby provozu mezi poruchami určit ze vztahu [4]:

$$MTBF_L \geq \frac{2T}{\chi_c^2(\nu)}. \quad (3)$$

Horní mez jednostranného konfidenčního intervalu intenzity poruch se určí ze vztahu [4]:

$$\lambda_U \leq \frac{\chi_c^2(\nu)}{2T}, \quad (4)$$

kde $\chi_c^2(\nu)$ je kvantil rozdělení χ^2 pro ν stupňů volnosti na úrovni konfidence c . Počet stupňů volnosti se v tomto případě určí ze vztahu [4]:

$$\nu = 2r + 2. \quad (5)$$

Hodnotu kvantilu rozdělení χ^2 lze určit s využitím statistických tabulek nebo vhodného software [5].

Z uvedeného je zřejmé, že k základnímu vyhodnocení ukazatelů bezporuchovosti nám postačují informace o rozsahu provozu všech sledovaných výrobků a informace o počtu zaznamenaných poruch. Na první pohled se může zdát, že tedy k vyhodnocení bezporuchovosti potřebujeme jen minimum informací a že by nemělo být problémem je získat. Opak je však pravdou a úplné informace máme k dispozici spíše výjimečně. Dále jsou naznačeny možnosti toho, jak je ve vybraných situacích možné problém neúplných informací vyřešit a výše popsané odhady základních ukazatelů bezporuchovosti provést.

3 Sledování provozní spolehlivosti během záruční doby výrobku

3.1 Poskytování záruk za jakost

V moderních tržních ekonomikách je běžné, že jednotlivé výrobky, a to jak spotřební, tak i průmyslové, jsou na trhu prodávány s jistými zárukami, které mají odběrateli garantovat jejich odpovídající kvalitu. Záruka zde má v podstatě charakter jisté smlouvy, která vstupuje v platnost při prodeji produktu a vymezuje jak povinnosti dodavatele (prodávajícího) tak i odběratele (kupujícího). Záruka vymezuje garantovanou kvalitu a rozsah kompenzací, které budou odběrateli poskytnuty v případě nedodržení stanovené kvality. Na druhé straně záruka také zpravidla vymezuje podmínky provozu a údržby, za kterých poskytnutá záruka platí a které musí odběratel respektovat.

Z výše uvedeného je patrné, že poskytnutí záruky je ochranou nejen pro odběratele, ale také pro dodavatele. Dodavatel se totiž poskytnutím přesně vymezených záruk může vyhnout případnému vymáhání kompenzací za vady, které byly způsobeny nesprávným použitím, nebo nevhodnou údržbou. Z tohoto hlediska je tedy v zájmu každého dodavatele poskytovat při prodeji svých produktů jisté záruky. Mimo to se v poslední době staly záruky významným nástrojem v konkurenčním boji, protože při velkém množství produktů stejného druhu na trhu, které jsou technicky a cenově srovnatelné, může být pro odběratele právě rozsah poskytnutých záruk rozhodující.

Tyto okolnosti potom nutí jednotlivé dodavatele uvádět na trh produkty s co možná největším rozsahem záruk, ale rozsah poskytovaných záruk nemusí být vždy odvislý pouze od rozhodnutí dodavatele. Například u produktů spotřebního charakteru je ve většině vyspělých zemí minimální rozsah záruky, který musí dodavatel při prodeji poskytnout, stanoven zákonem. Například v ČR je délka záruční lhůty stanovena v Občanském zákoníku (§ 2165) [1], ale stejným způsobem je délka záruční doby vymezená ve všech členských zemích Evropské unie, protože je to vyžadováno legislativou EU [2].

U průmyslových produktů se již s takovým striktním vymezením povinnosti poskytovat záruku zpravidla nesetkáme a rozsah a podmínky záruky jsou obvykle otázkou dohody odběratele a dodavatele. I v tomto případě se však často uplatňují zákonné úpravy, které alespoň rámcově upravují náležitosti takovéto záruky za jakost a podmínky její realizace (v ČR § 429 až § 432 Obchodního zákoníku [3]).

Je-li výrobek prodáván se zárukou, lze oprávněně předpokládat, že odběratel bude v průběhu záruční doby všechny poruchy, které se u výrobku vyskytnou, u dodavatele reklamovat. Pokud tedy dodavatel poskytuje u svých výrobků záruku, může počítat s tím, že v průběhu záruční lhůty se s vysokou pravděpodobností dozví o všech poruchách, které se u výrobku vyskytnou. Tím se však zpravidla získá jen část informací nezbytných pro vyhodnocení bezporuchovosti. Kromě znalosti počtu poruch je nezbytná i znalost rozsahu provozu všech sledovaných výrobků. Pro vyhodnocení bezporuchovosti musí být k dispozici nejen informace o rozsahu provozu těch výrobků, u kterých došlo k poruše (byly reklamovány), ale také těch, u kterých k poruše během záruční doby nedošlo.

3.2 Stanovení počátku provozu a okamžiku poruchy výrobku

Datum uvedení do provozu u každého výrobku je výchozí informací pro určení rozsahu provozu. U většiny spotřebních výrobků i řady průmyslových 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. U výrobků průmyslového charakteru je situace poněkud složitější. Zejména v případě, kdy výrobek nepředstavuje finální produkt, ale jen součást či subsystém dalšího komplexnějšího finálního produktu. V takovém případě může

být doba, která uplyne od dodání výrobku do okamžiku uvedení finálního produktu do provozu i poměrně velmi dlouhá. Datum uvedení výrobku do provozu lze v takovém případě zjistit (stanovit) například následujícími způsoby:

- Jednou z podmínek poskytnuté záruky za jakost je požadavek na poskytnutí informace o okamžiku zahájení provozu finálního produktu (může být stanoven jako počátek běhu záruční lhůty).
- 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.
- Na základě známých informací je stanovena obvyklá lhůta mezi datem expedice výrobku a okamžikem jeho uvedení do provozu v rámci finálního produktu.
- Výrobce využívá informační systém přímo napojený na výrobce finálního produktu a o prodeji je informován online.

Informace o okamžiku vzniku poruchy výrobku v průběhu záruční lhůty jsou zpravidla snadno dostupné. Obvykle se vychází z předpokladu, že okamžik zahájení reklamačního řízení je shodný s okamžikem vzniku poruchy. Je v zájmu každého uživatele výrobku, který se v průběhu záruční lhůty porouchá, uplatnit reklamaci bez zbytečného prodlení. Informace o okamžiku vzniku poruchy tak lze získat například z reklamačních protokolů či systémů managementu reklamací.

Některé sofistikované výrobky jsou navrženy tak, že informace o realizovaném provozu automaticky zaznamenávají. V takovém případě má výrobce možnost získat nejen informace o okamžiku vzniku poruchy, ale i o rozsahu provozu výrobku do vzniku poruchy.

3.3 Vztah kalendářní doby používání a doby provozu

Znalost okamžiku uvedení výrobku do provozu a okamžiku vzniku poruchy však není dostačena pro určení doby provozu výrobku mezi těmito okamžiky. Většina výrobků totiž není po uvedení do provozu používána nepřetržitě, ale s jistými přestávkami. U mnoha výrobků se také doba provozu neměří v jednotkách času, ale s využitím jiných fyzikálních jednotek, které lépe charakterizují objem práce vykonaný daným výrobkem. Podle okolností může být doba provozu měřena například v provozních hodinách, motohodinách, ujetých kilometrech, litrech spotřebovaného paliva, počtech zátěžových cyklů, sepnutí nebo impulsů, počtech výstřelů ze zbraně apod. Dobou provozu tedy rozumíme dobu, potřebnou k vykonání určitého rozsahu práce vykonané výrobkem. 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 a jaký objem práce vykonal [5]. Do úvahy je také třeba vzít skutečnost, že jednotliví uživatelé mohou používat výrobek s různou intenzitou, nebo i jednotlivé finální výrobky mohou být využívány s různou intenzitou. Proto se při stanovení doby provozu obvykle využívá tzv. střední intenzita používání výrobku, která charakterizuje všechny vyrobené výrobky souhrnně.

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

$$\bar{x} = \frac{T}{U}. \quad (6)$$

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

$$U = \sum_{i=1}^{i=n} u_i, \quad (7)$$

kde u_i je kalendářní doba používání i -tého výrobku během záruky. V ideálním případě by u všech výrobků měla být tato doba rovna právě délce kalendářní lhůty, po kterou je poskytována záruka. V případě poruchy (reklamací) výrobku se zpravidla běh záruční doby přerušuje až do okamžiku znovuvvedení výrobku do provozu.

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

$$T = \sum_{i=1}^{i=n} t_i, \quad (8)$$

kde t_i je doba provozu i -tého výrobku během záruky.

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 (6), ale provádí se pouze její odhad 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 odběratele, 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.).

Za předpokladu znalosti intenzity používání výrobku lze potom určit (odhadnout) kumulovanou dobu provozu ze vztahu:

$$T = \bar{x} U. \quad (9)$$

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

3.4 Odhad ukazatelů bezporuchovosti výrobku v průběhu záruční lhůty

Na základě výše uvedených úvah lze navrhnout model umožňující provedení odhadu základních ukazatelů bezporuchovosti kdykoli v průběhu záruční lhůty i když nejsou k dispozici všechny nezbytné vstupní informace. 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. 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 postup je možné využít i za předpokladu jiného typu rozdělení.

Navržený model umožňuje vyhodnocení informací z reklamačních řízení a provedení odhadu základních ukazatelů bezporuchovosti v libovolném časovém okamžiku u . Pro vyhodnocení musí mít výrobce k dispozici minimálně následující informace:

\bar{x} – střední intenzita používání výrobku,

u_{i0} – okamžik uvedení i -tého výrobku do provozu,

u_w – kalendářní délka záruční lhůty,

n – celkový počet výrobků daného typu uvedených do provozu do časového okamžiku u ,

r – celkový počet zaznamenaných poruch (reklamací) daného typu výrobku do časového okamžiku u .

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 u se určí ze vztahu:

$$u_i = \begin{cases} u - u_{i0} & \text{pro } u < (u_{i0} + u_w) \\ u_w & \text{pro } u \geq (u_{i0} + u_w) \end{cases} \quad (10)$$

Uvedený vztah vychází z předpokladu, že po ukončení záruční lhůty již výrobce ztrácí možnost získat informaci o případných poruchách daného výrobku. Z tohoto důvodu také lze do výpočtu zahrnout u jednotlivého výrobku dobu maximálně odpovídající délce poskytnuté záruční lhůty.

S využitím vztahu (10) se stanoví kalendářní doba používání pro každý výrobek s ohledem na okamžik provedení vyhodnocení u . Dosazením do rovnice (7) se stanoví kumulovaná

kalendářní doba používání všech sledovaných a výrobků a s využitím rovnice (9) kumulovaná doba provozu všech sledovaných výrobků.

Vlastní odhad vybraných ukazatelů potom lze provést s využitím vztahů a postupů uvedených ve 2. kapitole tohoto článku.

3.5 Příklady odhadu ukazatelů bezporuchovosti v záruční lhůtě

Praktická aplikace výše popsaných postupů je naznačena ve dvou příkladech. První se týká vyhodnocení ukazatelů bezporuchovosti daného výrobku ve zvoleném časovém okamžiku u v průběhu záruky a druhý vyhodnocení bezporuchovosti po ukončení záruky u všech výrobků daného typu.

Příklad 1

Předpokládejme, že bylo vyrobeno celkem $n = 310$ výrobků, které byly postupně uvedeny do provozu v deseti sériích tak, jak je to naznačeno v Tabulce 1. Je požadováno provedení odhadu dolní meze jednostranného konfidenčního intervalu střední doby provozu mezi poruchami za následujících předpokladů:

datum provedení odhadu:	$u = 30. 5. 2024,$
předpokládaná intenzita používání výrobku	$\bar{x} = 16$ hodin/den,
délka záruční lhůty	$u_w = 1$ rok = 365 dní,
konfidenční úroveň odhadu	80 %,
počet zaznamenaných poruch	$r = 2.$

Tabulka 1 – Výpočet kumulované doby provozu

Číslo výrobní série	Datum uvedení do provozu	Počet výrobků v dané sérii	Kalendářní doba používání [dny]	Doba provozu všech výrobků dané série v době záruky [hodin]
1	15.11.2022	25	365	146 000
2	10.2.2023	45	365	262 800
3	18.5.2023	15	365	87 600
4	20.6.2023	30	344	165 120
5	5.8.2023	20	298	95 360
6	10.9.2023	60	262	251 520
7	4.11.2023	30	207	99 360
8	10.12.2023	25	171	68 400
9	10.2.2024	15	109	26 160
10	24.4.2024	45	36	25 920
T – Kumulovaná doba provozu [hodin]				1 228 240

Výpočet kumulované doby provozu vztažené ke stanovenému okamžiku vyhodnocení je naznačen v Tabulce 1. Vlastní odhad dolní meze jednostranného konfidenčního intervalu

střední doby provozu mezi poruchami je proveden s využitím vztahů uvedených ve 2. kapitole. Počet stupňů volnosti se určí ze vztahu (5):

$$\nu = 2r + 2 = 6.$$

Ze statistických tabulek se stanoví hodnota kvantilu rozdělení χ^2 pro $\nu = 6$ stupňů volnosti na úrovni konfidence $c = 0,8$:

$$\chi_{c=0,8}^2(\nu = 6) = 8,56.$$

Odhad dolní meze jednostranného konfidenčního intervalu střední doby provozu mezi poruchami se určí s využitím vztahu (3):

$$MTBF_L \geq \frac{2T}{\chi_c^2(\nu)} = \frac{2 \times 1228240}{8,56} = 286971 \text{ hodin}.$$

Příklad 2

Druhý příklad se týká stejného výrobku, jako byl použit v prvním příkladu, ale předpokládá se, že vyhodnocení je provedeno v okamžiku, kdy již u všech výrobků skončila záruční lhůta a v jejím průběhu byly zaznamenány celkem tři poruchy ($r = 3$). V takovém případě se předpokládá, že všechny výrobky byly v provozu po celou dobu poskytnuté záruky akumulována doba provozu se určí dle vztahu:

$$T = n u_w \bar{x} = 310 \times 365 \times 16 = 1810400 \text{ hodin}$$

Počet stupňů volnosti se opět určí dle vztahu (5):

$$\nu = 2r + 2 = 8$$

a ze statistických tabulek se stanoví hodnota kvantilu rozdělení χ^2 pro $\nu = 8$ stupňů volnosti na úrovni konfidence $c = 0,8$:

$$\chi_{c=0,8}^2(\nu = 8) = 11.$$

S využitím uvedených veličin se vypočte dolní mez jednostranného konfidenčního intervalu střední doby provozu mezi poruchami:

$$MTBF_L \geq \frac{2T}{\chi_c^2(\nu)} = \frac{2 \times 1810400}{11} = 329163 \text{ hodin}.$$

4 Sledování provozní spolehlivosti v pozáruční době

Po ukončení záruční doby již uživatel zpravidla nemá žádnou motivaci k tomu, aby dodavatel poskytoval informace o provozu výrobku a vzniku případných poruch a pokud chce výrobce takové informace získat, je to v zásadě možné jen cestou poskytování různých pozáručních služeb, které jsou pro provozovatele výhodné, nebo je k jejich využití nějakým způsobem nucen. Může například jít o:

- možnost provádění oprav jen v autorizovaných servisních střediscích,
- možnost používání pouze „originálních“ náhradních dílů,
- poskytování slev na autorizovaný servis či náhradní díly za informace o vzniku poruch apod.

Pokud získávání věrohodných informací o poruchách výrobku není systematicky zajištěno, ztrácí hodnocení bezporuchovosti výrobku v provozu smysl.

V případě informací o době provozu sledovaných výrobků je situace ještě komplikovanější, protože pro vyhodnocení bezporuchovosti je nutná znalost doby provozu nejen u těch výrobků, u kterých se poruchy vyskytly, ale také u těch, kde k žádným poruchám nedošlo. K takto uceleným informacím má výrobce přístup zpravidla pouze v následujících případech:

- výrobce je výhradním dodavatelem pozáručního servisu výrobků a v oblasti preventivní údržby má přístup ke všem dodaným výrobkům,
- jedná se o sofistikovaný výrobek, kde se informace o realizovaném provozu automaticky zaznamenávají a jsou online přístupné výrobcí,
- výrobce má přístup do informačního systému provozovatele výrobku, ve kterém jsou evidovány nejen informace o poruchách, ale i o provozu výrobků.

Pokud informace o provozu výrobků nejsou k dispozici, lze vycházet z kalendářní doby používání, ale musí být známa intenzita používání výrobků. V takovém případě se kumulovaná doba provozu výrobků stanoví s využitím vztahu (9) a kumulovaná kalendářní doba používání výrobku s využitím vztahu (7). Kalendářní doba používání u jednotlivých výrobků se potom stanoví jako doba, která uplynula od okamžiku uvedení výrobku do provozu u_{i0} do okamžiku hodnocení bezporuchovosti u :

$$u_i = u - u_{0i}. \quad (11)$$

Praktická aplikace uvedeného postupu je naznačena v následujícím příkladu.

Předpokládejme, že bylo vyrobeno celkem $n = 50$ výrobků, které byly postupně uvedeny do provozu v pěti sériích tak, jak je to naznačeno v Tabulce 2. Doba provozu sledovaných výrobků je charakterizována počtem provedených zátěžových cyklů. Je požadováno provedení odhadu dolní meze jednostranného konfidenčního intervalu střední doby provozu mezi poruchami za následujících předpokladů:

datum provedení odhadu:	$u = 30. 5. 2024,$
předpokládaná intenzita používání výrobků	$\bar{x} = 58$ cyklů/den,
konfidenční úroveň odhadu	80 %,
počet zaznamenaných poruch	$r = 5.$

Tabulka 2 – Výpočet kumulované doby provozu

Číslo výrobní série	Datum uvedení do provozu	Počet výrobků v dané sérii	Kalendářní doba používání [dny]	Doba provozu všech výrobků dané série v době záruky [cykly]
1	5.11.2020	10	1302	755 160
2	20.2.2021	10	1195	693 100
3	6.8.2021	10	1028	596 240
4	10.1.2022	10	871	505 180
5	12.9.2022	10	626	363 080
T – Kumulovaná doba provozu [cykly]				2 912 760

Výpočet kumulované doby provozu vztažené ke stanovenému okamžiku vyhodnocení je naznačen v Tabulce 2. Vlastní odhad dolní meze jednostranného konfidenčního intervalu

střední doby provozu mezi poruchami je proveden s využitím vztahů uvedených ve 2. kapitole. Počet stupňů volnosti se určí ze vztahu (5):

$$\nu = 2r + 2 = 12.$$

Ze statistických tabulek se stanoví hodnota kvantilu rozdělení χ^2 pro $\nu = 12$ stupňů volnosti na úrovni konfidence $c = 0,8$:

$$\chi_{c=0,8}^2(\nu = 12) = 15,8.$$

Odhad dolní meze jednostranného konfidenčního intervalu střední doby provozu mezi poruchami se určí s využitím vztahu (3):

$$MTBF_L \geq \frac{2T}{\chi_c^2(\nu)} = \frac{2 \times 2912760}{15,8} = 368703 \text{ cyklů}.$$

5 Závěr

Předložený článek naznačuje možnosti vyhodnocení bezporuchovosti výrobku v provozu za situace, kdy nejsou k dispozici úplné informace o vzniklých poruchách a době provozu výrobku. Představené metody a postupy jsou vždy založeny na jistých zjednodušujících předpokladech, bez kterých by provedení odhadů ukazatelů bezporuchovosti nebylo prakticky možné. Pro věrohodnost provedených odhadů je důležité, aby přijaté předpoklady a zjednodušení byly racionálně vysvětlitelné a nebyly v rozporu s realitou.

Poděkování

Tento příspěvek vznikl za podpory Projektu pro rozvoj organizace „DZRO Vojenské autonomní a robotické systémy VAROPS“.

Použité zdroje

- [1] *Zákon č. 89/2012 Občanský zákoník.*
- [2] *Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2019/771 o některých aspektech smluv o prodeji zboží, o změně nařízení (EU) 2017/2394 a směrnice 2009/22/ES a o zrušení směrnice 1999/44/ES.*
- [3] *Zákon č. 513/1991 Obchodní zákoník.*
- [4] 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.
- [5] VINTR, Z. Prokazování dosažené úrovně bezporuchovosti zkouškami a vyhodnocením dat z provozu. In: *Prokazování splnění požadavků na RAMS – Materiály z 85. semináře Odborného centra Spolehlivost konaného dne 13. 6. 2023 na Univerzitě obrany v Brně.* Brno: Univerzita obrany, 2023, s. 14-28.
- [6] VINTR, Z., 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.

Sběr a vyhodnocování dat z provozu ve Škoda Electric

PhDr. Ing. Ota Kéhar, Ph.D.

RAM/LCC manažer ve společnosti ŠKODA ELECTRIC a.s. (součást Škoda Group)

ota.kehar@skodagroup.com

1 Úvod

Příspěvek volně naváže na 74. seminář Odborného centra Spolehlivost, ve kterém byl popisován stav RAMS/LCC ve firmě ŠKODA ELECTRIC a.s. (která je součástí Škoda Group). Od té doby uplynulo více než pět let. Analytický nástroj používaný ve firmě pro analýzu dat z provozu prodělal řadu vylepšení. Podíváme se na (sice neverejnou) databázi spolehlivostních parametrů (ukazatelů), kterou si víceméně automatizovaně generujeme z dat z provozu. Při řadě analýz se předpokládá konstantní intenzita vzniku poruch. Zda je tento předpoklad oprávněný, si můžeme v případě zájmu u každého hodnoceného uzlu jednoduše ověřit pomocí implementovaného testu konstantního parametru proudu poruch (pro opravované produkty), resp. testu konstantní intenzity poruch (pro neopravované produkty) dle ČSN IEC 60605-6. Pro rychlý přehled pravidelně připravujeme tzv. RAM report neboli tabulku vybraných produktů a jejich dosahovanou bezporuchovost v provozu. Pro tento účel uvádíme zpravidla dolní mez konfidenčního intervalu střední doby provozu mezi poruchami pro hladinu významnosti 0,1. Budu rád, pokud se na toto téma rozproudí diskuse, nakolik je tento parametr vhodný, např. v porovnání s bodovým odhadem.

2 Sběr dat o spolehlivosti z provozu

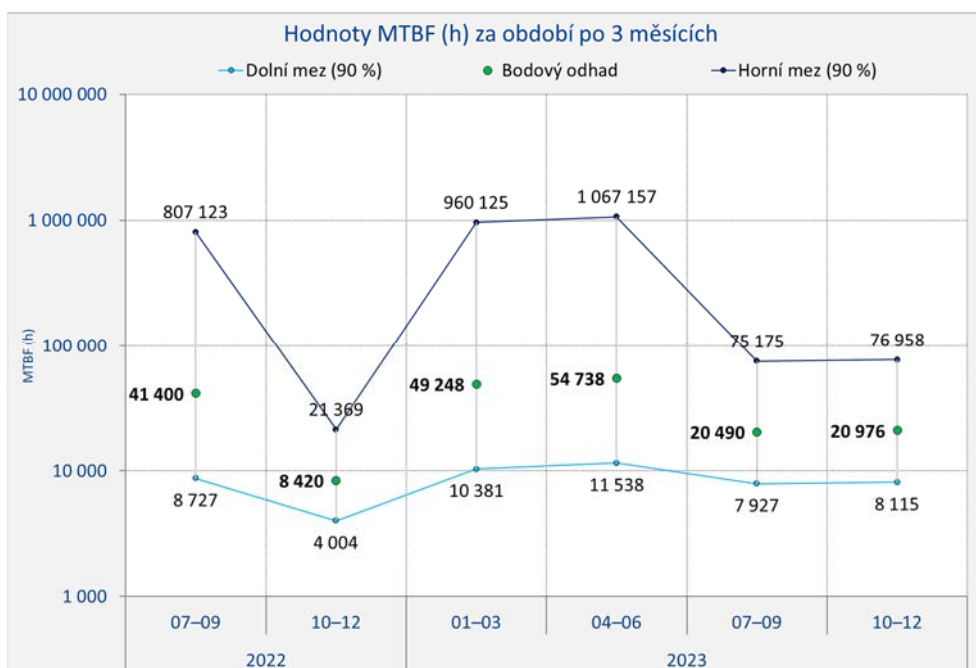
Sběr a následná analýza dat z provozu o poruchách a používání produktu hraje nezbytnou roli v analýze spolehlivosti. Tyto činnosti nám mimo jiné umožňují prokázat splnění požadavků zákazníka. Sběr dat týkající se spolehlivosti je velmi často dlouhodobá a mnohdy velmi náročná činnost. Pro správnou interpretaci dat je nezbytné jasné pochopení analyzovaného objektu (produktu), jeho provozu, prostředí a fyzikálních vlastností. Je nutné si uvědomit, že sběr dat lze uskutečnit pouze ve spolupráci všech zúčastněných stran (dodavatelé, výrobci, zákazníci, organizace zajišťující údržbu). Pokud je mezi zákazníkem a dodavatelem smlouva, musí se obě strany shodnout na způsobu, jakým má být spolehlivost měřena a jak bude rozhodnuto, že byly cíle spolehlivosti dosaženy. Toto vychází z požadavku normy ČSN EN 60300-1 ed. 2, kapitola 6.2. Všechny smlouvy zabývající se analýzou spolehlivosti by se měly odkazovat na normu ČSN EN 60300-3-2 nebo jakékoliv jiné, které se touto problematikou zabývají.

Účelem sběru dat je zlepšit produkty, potažmo procesy v organizaci. Získaná data z provozu s příslušnou analýzou uzavírají celkový řetězec: „požadavky zákazníka – návrh – výroba – provoz – prokázání požadavků zákazníka“. Data sbíráme, abychom mohli provést jejich následnou analýzu a tím prokázat dosažení či splnění požadavků zákazníka. Jinak je sběr dat bezúčelný, zpravidla se nebude trvat na všech důležitých datech a půjde o plýtvání časem a zdroji.

Spolehlivost produktu je zjišťována podle etapy životního cyklu různými způsoby. V etapě 6 *Návrh a implementace*, případně ještě dříve např. během fáze poptávky/nabídky je předvídána s použitím metod pravděpodobnostního posuzování a modelování s ohledem na podobnost s již existujícími či provozovanými produkty s přihlédnutím na uvažované rozdíly. V etapě

11 *Provoz, údržba a sledování výkonnosti* je měřena a analyzována s využitím statistickým metod. S ohledem na povahu finálních produktů se ve firmě Škoda Electric nepoužívají odhady založené na zrychleném zkoušení bezporuchovosti a životnosti.

Výsledné hodnoty analýz používáme pro zkontrolování vypočtených a pozorovaných hodnot, pro provedení odhadů hodnot ukazatelů RAM/LCC pro nové produkty, které vycházejí z již provozovaných produktů. Provádíme i kontrolu stability ukazatelů bezporuchovosti produktů v čase, většinou po tříměsíčních intervalech. Prozatím se neumíme úplně dobře vypořádat s porovnáváním hodnot ukazatelů bezporuchovosti před a po změnách v produktu. Bývá to způsobeno malým počtem (desítky či stovky) produktů v provozu, u kterého se složitě dodržuje doporučení informativní přílohy normy ČSN EN 60605-4, které říká, aby byla kumulovaná doba zkoušky dostatečně dlouhá vzhledem k hodnotě střední doby do poruchy nebo mezi poruchami (nejméně trojnásobkem). Tento požadavek pečlivě sledujeme a kontrolujeme u vybraných uzlů, u kterých je stanovena (většinou jsou to finální produkty) požadovaná hodnota ukazatele bezporuchovosti.



Obr. 1: Ilustrační ukázka stability ukazatele bezporuchovosti vybraného uzlu.
Zdroj: archiv autora.

3 Sběr dat v normách

Spojení slov „sběr dat“ jsem v normě ČSN EN 50126-1 ed. 2 nenašel. Etapa životního cyklu 11 *Provoz, údržba a sledování výkonnosti* ovšem obsahuje požadavek „na průběžné vyhodnocování výkonnosti RAMS systému a v případě potřeby odvodit nápravná opatření“, přičemž by měl být implementován a udržován proces FRACAS pro získávání a zaznamenávání dat o výkonnosti RAM. Zároveň je požadavek na vytváření zpráv o analýze a vyhodnocení výkonnosti RAM. (zdroj: Tabulka 1 z ČSN EN 50126-1 ed. 2) Kapitola 7.3.2.2 Plán RAM (nacházíme se v etapě 2 Definice systému a provozní souvislosti) se zase věnuje bezporuchovosti a pohotovosti ve vztahu k získávání dat a jejich posuzování. Plán RAM musí definovat opatření řízení pro dosažení požadavků RAM. Následně v kapitole 7.12 je část věnována získávání dat o výkonnosti RAMS.

Požadavek na sběr dat je ovšem zahrnut v normě ISO 22163:2023 (povinná certifikace firem od 1. října 2024). V kapitole 8.8.2 *Reliability, availability and maintainability* jsou požadavky na sběr dat z aktivit po dodání produktu, z údržby nebo oprav a monitorování cílů RAM, přičemž v případě, že cíle nejsou splněny, organizace analyzuje (zde dochází ke změně použitého anglického slova, ve verzi z roku 2017 bylo slovo „prioritize“, u kterého si složitě představuji, co má vyjadřovat; verze z roku 2023 obsahuje významově vhodnější slovo „analyse“) data z provozu, provede nápravná opatření a bude pokračovat ve sledování dat z provozu, dokud nebudou cíle splněny.

Zajímavá je v kapitole věnované RAM i věta: „*In case the organization does not execute maintenance, replacement or repair contracts it should request field data from customers also after warranty.*“ (volně přeloženo: „*V případě, že organizace neprovádí údržbu, výměnu nebo opravu produktů, měla by od zákazníků požadovat data z provozu i po záruční době.*“) V anglickém originálu je u tohoto požadavku použito modální sloveso „should“ ve významu „měl by“, což odpovídá realitě, získat totiž od zákazníka (potažmo provozovatele) data z provozu i po záruční době není nikterak snadnou záležitostí.

Ve vztahu k dodavatelům bychom s nimi měli sdílet výsledky analýz RAM týkající se jejich produktů (ve verzi z roku 2017), resp. poskytovat zpětnou vazbu na data RAM, které se týkají jejich produktů (verze z roku 2023).

Sběr dat z provozu a jejich následné analýzy nám umožňují splnit další požadavek normy ISO 22163 na poskytnutí zpětné vazby ohledně dat RAM příslušným pracovním týmům zabývajících se vylepšováním návrhu produktů. V normě ve verzi z roku 2017 je uvedeno „*to improve design concepts, such as design for maintenance*“, ve verzi z roku 2023 zůstalo jen vylepšení návrhu („*to improve design*“).

U normy ISO 22163:2023 se ještě na chvíli zastavíme, konkrétně v nové kapitole 8.8.4 věnované nákladům na životní cyklus (v originále „*Life cycle costing*“). Norma uvádí, že by organizace měla („should“) vytvořit, zavést a udržovat proces řízení LCC produktů při zohlednění potřeb trhu stejně jako i svých vlastních zájmů. Prozatím se jedná o dobrovolný proces (ve ŠKODA ELECTRIC a.s. přesto dlouhodobě zaveden a nyní nově popsán směrnicí SM-Q-34), nazvaný obecně jako „náklady životního cyklu (LCC)“, zpravidla se ale uvažuje pouze část nákladů na vlastnictví, totiž nákladů na preventivní údržbu, nákladů na údržbu po poruše a nákladů na provoz. Tento proces by měl obsahovat i sběr dat (z provozu, z oprav) během aktivit po dodání, údržby, výměny nebo oprav. Akronym LCC se objevuje i při výběru externího poskytovatele (dodavatele), kdy se v kapitole 8.4.1.1.5.1 píše o analýze, která předchází výběru dodavatele, přičemž mezi hodnotící kritéria zahrnuje nejenom celkové náklady na vlastnictví, ale právě i LCC.

4 Analýzy bezporuchovosti z provozu

Provádění pravidelných analýz dat z provozu vyžaduje používat nějaký sofistikovaný nástroj, který by většinu činností automatizoval, resp. eliminoval z převážné části lidský faktor a rutinní aktivity. Ukazuje se, že data o prostředí můžeme spolehlivě nahradit konstatováním, že se naše produkty provozují na omezeném území, zpravidla město či stát, kde je předpoklad na obdobné klimatické parametry. Proto můžeme klimatické podmínky považovat v rámci jednoho projektu za srovnatelné. Na druhou stranu se ale při podrobnější analýze stability ukazatelů bezporuchovosti produktů v čase ukazuje, že se u některých, zejména tepelně namáhaných, dílů vyskytují sezonní výkyvy. Ty jsou následně předmětem dalších analýz, zpravidla již na úrovni projektantů z technického úseku.

Podle ČSN EN 50126-1 ed. 2 jsou poruchy produktu kategorizovány jako náhodné poruchy a systematické poruchy. Náhodné poruchy jsou způsobeny příčinami, které můžeme popsat statistickými rozděleními, takže lze odhadnout jejich pravděpodobnost výskytu. Tuto třídu poruch ve svých analýzách označujeme jako „*primární porucha*“, jde o poruchu daného dílu, která není způsobená přímo ani nepřímo poruchou nebo poruchovým stavem jiného objektu (jak plyne z definice pojmu 192-03-06 z normy ČSN EN 60050-192). Naproti tomu systematické poruchy jsou poruchy způsobené chybami v činnostech životního cyklu systému, které způsobují deterministickou poruchu produktu při konkrétní kombinaci vstupů nebo za konkrétních podmínek.

Sběrem dat o servisních zásazích veškeré aktivity, které se týkají vyhodnocení bezporuchovosti z provozu, pro členy týmu RAM/LCC teprve začínají. Je nutné projít každý záznam o poruše a většinou v týmu pracovníků z úseků kvality, servisu a techniky rozhodnout o jeho započítání (přiřazení třídy primární porucha) či jeho vyřazení z dalšího hodnocení (z důvodu lidské chyby – nesprávného použití, nesprávné údržby, výrobní vady; sekundární poruchy, systematické poruchy či opotřebení), případně přiznat, že zatím (přiřadit jako třídu stav „*k dodatečnému zjištění*“) není k dispozici dostatek podkladů, aby se dalo o daném záznamu spolehlivě rozhodnout. U některých záznamů se může ukázat, že nelze o příčině poruchy rozhodnout, pak takový záznam označíme stavem „*neurčeno*“ a poruchu započítáme pouze do pesimistického vyhodnocení.

Tímto postupným zpracováním jednotlivých záznamů získáme „správná“ data a můžeme provést jejich vyhodnocení. To lze provést dvojím způsobem, ať se jedná o kvantitativní nebo kvalitativní zpracování. V našem případě používáme nejsnazší kvantitativní vyhodnocení dat, jehož cílem je analytický postup odhadu „provozní“ hodnoty ukazatele bezporuchovosti v podobě střední hodnoty, většinou se jedná o bodový nebo intervalový odhad popsany v ČSN IEC 60605-4. Tato norma předpokládá, že je intenzita poruch produktů konstantní s ohledem na čas. Abychom si v případě potřeby mohli ověřit platnost předpokladu konstantní intenzity poruch (pro neopravované díly), resp. konstantního parametru proudu poruch (pro opravované díly), doplnili jsme do našeho analytického nástroje „Provoz a poruchy“ list Test, který aplikuje numerické postupy statistických testů dle kapitol 6.2 a 7.2 normy ČSN IEC 60605-6. Aby byly postupy těchto testů platné, požaduje se nejméně šest dob mezi poruchami nebo do poruchy. Hladinu významnosti (aneb riziko nesprávného zamítnutí předpokladu, že intenzita poruch nebo parametr proudu poruch je konstantní, když je ve skutečnosti konstantní) je možné volit dle hodnot podle tabulky 1 z normy (2,5 %; 5 % nebo 10 %). Poznámka v normě uvádí, že parametr proudu poruch velkých složitých systémů (kam lze kontejnery elektro výzbroje bez problémů zařadit) může být konstantní dokonce i tehdy, jestliže jednotlivé díly nemají konstantní intenzity poruch.

Analýza dat obecně zahrnuje identifikaci a kvantifikaci vypočtených hodnot, stejně jako studium rozdělení a trendů v datech. Tento proces zahrnuje několik kroků a metod, které umožňují důkladné zkoumání dat z různých úhlů pohledu. Účelem předběžné analýzy dat je pochopit obecnou povahu dat. Mezi nejzákladnější úrovně analýzy dat je výpočet počtu událostí (poruch) během sledovaného období (pokud není specifikováno zákazníkem, jde zpravidla o začátek uvedení vozidla s naším produktem do provozu do předem stanoveného termínu – konec měsíce, kvartálu či roku). Pokud vztáhneme počet událostí za jednotku času, mluvíme o intenzitě. Výpočty intenzit mohou naznačovat, jak se počet událostí mění s časem.

Z hlediska typu dat rozlišujeme čtyři skupiny:

Inventární data – Jedná se o záznamy, které identifikují původní stav produktu. Tato data jsou velmi důležitá, protože obsahují informace, které mohou zásadním způsobem ovlivnit výsledky analýz. Mohou napomoci identifikovat trendy, které se vyskytnou pouze u specifických

podskupin jinak stejných produktů. Tuto část pokrýváme funkčním rozpadem produktu. Tento rozpad ve fázi 6 *Návrh a implementace* vytváří projektant z technického úseku. Po potřeby servisních zásahů je postačující, aby byl finální produkt rozdělen na jednotlivé uzly, přičemž není vždy potřebné množství a konkrétní označení dílu (tzv. ID) na daném uzlu. Na tento nedostatek ovšem narážíme při následných analýzách bezporuchovosti z dat z provozu, protože tyto údaje (množství a ID) jsou již podstatné pro určení kumulované doby zkoušky a jednoznačné identifikace, zejména v okamžiku, kdy výsledná data o bezporuchovosti jednotlivých uzlů doplňujeme do spolehlivostní databáze (viz dále). Funkční rozpady produktu jsou zaznamenávány v Baan ERP v customizované části Servis s názvem *Identifikační karta výrobku*, ve zkratce IKV (Šmirák, 2012).

Některé firmy používají pro rozpad svých produktů skupinu norem EN 15380, která je ovšem vhodná při řešení rozpadu sktruktury celého vozidla. Ve ŠKODA ELECTRIC a.s. používáme funkční rozpad produktu (až na úroveň nejmenších vyměnitelných jednotek, většinou to bývá jedna až pět úrovní). Pro každý finální produkt máme zvláštní rozpad, nepoužíváme žádné univerzální, protože to zkrátka variabilita našich produktů neumožňuje, i když se jedná o produkty (trakční jednotka, statický měnič, kontejnery elektrických jednotek a další) určené pro konkrétní druh vozidla (tramvaje, elektrické jednotky, lokomotivy, trolejbusy, důlní vozidla apod.).

Data o používání – Tato data zahrnují informace o tom, kdy byl produkt uvedený do provozu, jak je provozován a kdy byl vyřazen z provozu (např. kvůli havárii, dlouhodobé odstávce apod.) nebo garance. Dle normy ČSN EN 60300-3-2 může být používání nepřetržité v čase na pevné úrovni, nebo na proměnné úrovni, či nepravidelně se vyskytující v čase na pevné, nebo proměnné úrovni. V našem případě se zpravidla jedná o používání nepřetržité v čase na pevné úrovni. Informace o uvedení do provozu, vyřazení z garance získáváme přímo od zákazníka (výjimečně rovnou od provozovatele) ve formě excelovské tabulky. Takto získané informace ještě porovnááme s údaji od našich servisních techniků.

Data o prostředí – Tato data obsahují informace o podmínkách prostředí produktu, zejména v podobě faktorů, které jsou relevantní pro jeho spolehlivost. Prostředí přispívá k poškození, ke kterému během života produktu dochází. Při analýzách je nutné přihlídnout k době trvání a intenzitě namáhání způsobené vlivy prostředí.

Data o událostech – Tato data zahrnují informace o libovolných záležitostech, které nastaly u produktu během jeho života, zejména jde o nejdůležitější událost – poruchu, ale patří sem i různé opravy, vylepšení apod. U poruchových událostí je nutné ověřit samotnou poruchu. Je možné, že se žádná porucha nepotvrdí, pak to vede na kategorii „závada nezjištěna“ nebo „nejedná se o poruchu“. V případě, že je porucha ověřena (potvrzena), může začít podrobná analýza poruchového stavu, aby se dal izolovat skutečný způsob poruchy a mechanismus, který poruchu způsobil. Záznamy o poruchách a údržbě máme v customizované části systému Baan EPR, modul Servis s názvem *Hlášenka servisního zásahu*, ve zkratce HSZ (Šmirák, 2012).

5 Příklady z praxe

Tato kapitola obsahuje ilustrační fiktivní hodnoty, které slouží jen pro názornou ukázkou popisovaných částí.

Elektrické jednotky RegioPanter řady 650 (interní označení projektu 15Ev) provozované národním dopravcem České dráhy obsahují (mimo jiné) jeden kontejner čtyř-kvadrantového měniče typu 4MKL a dva kontejnery trakčních měničů typu 5MKL. Funkční rozpad kontejneru 4MKL obsahuje 124 uzlů, zatímco kontejner 5MKL má 170 uzlů. Ke konci roku 2023 byla u kontejneru 4MKL použitého v projektu 15Ev od začátku garančního provozu kumulovaná

doba zkoušky ve výši 382 tisíc hodin a evidovali jsme 17 primárních poruch. Kontejner 5MKL měl kumulovanou dobu zkoušky 764 tisíc hodin a bylo evidováno 47 primárních poruch. Z uvedeného počtu uzlů a počtu poruch je zřejmé, že u většiny uzlů neevidujeme žádnou poruchu. Konkrétně u kontejneru 4MKL má alespoň jednu poruchu 16 uzlů, ovšem pouze dva uzly mají nejméně šest poruch, v tomto konkrétním případě jde ale o jednu větev uzlu. U kontejneru 5MKL má alespoň jednu poruchu 18 uzlů, jen sedm uzlů má nejméně šest poruch. Je zřejmé, že test konstantního parametru proudu lze použít pouze u nepatrného počtu uzlů funkčního rozpadu produktu (u projektu 15Ev to vychází zhruba na 3 % všech uzlů produktu).

Test konstantního parametru proudu pro kontejner 4MKL nedokázal zamítnout předpoklad konstantního parametru proudu (hodnota statistiky $U = -0,21$, přičemž kritická hodnota $U_\alpha = 2,24$ pro $\alpha = 2,5\%$), proto intenzita poruch kontejneru 4MKL může být konstantní. U kontejneru 5MKL je situace obdobná, $U = -2,16$, takže i zde může být intenzita poruch konstantní. Pro výpočet hodnot ukazatelů bezporuchovosti tak můžeme použít normu ČSN IEC 60605-4. Pokud platí exponenciální model dob mezi poruchami nebo dob do poruchy, nezáleží na tom, zda se kumulovaná doba zkouška dosáhne pomocí jednoho produktu zkoušeného po dlouhou dobu, nebo mnoha produktů zkoušených po relativně krátkou dobu. Těchto dvou extrémních situací bychom se měli v praxi vyvarovat, protože exponenciální model nemusí za takovýchto podmínek vždy platit. Finální produkty ŠKODA ELECTRIC a.s. jsou námi zpravidla monitorovány v desítkách až stovkách kusů (existují i výjimky tisíce kusů) po dobu několika let (obvyklá doba garance se pohybuje od dvou let do pěti, šesti let, po tuto dobu jsme schopni snadno monitorovat ukazatele bezporuchovosti), naproti tomu užitečná doba života finálních produktů bývá 30 let až 40 let. Na lepší časy se v tomto směru blýská v Jihomoravském kraji, kde jsou od roku 2023 provozovány elektrické jednotky Moravia (platforma RegioPanter) řady 530 (čtyřvozová, interní označení 18Ev) a 550 (dvouvozová, interní označení 19Ev) provozované Českými drahami s full-servisem jednotek na 30 let. Pokud půjde vše tak, jak má, měli bychom u těchto dvou projektů získávat data z provozu až do roku 2053!

Bodový odhad střední doby mezi poruchami (m , MTBF) se u zkoušek ukončených časem získá pomocí rovnice (2) normy ČSN IEC 60605-4, tzn. $m = \frac{T^*}{r}$, kde T^* je kumulovaná doba zkoušky a r je počet započítaných poruch. Pro uvažované kontejnery vychází hodnoty bodových odhadů střední doby mezi poruchami 22 467 hodin (pro 4MKL) a 16 252 hodin (pro 5MKL). Bodový odhad je vychýlený (v anglické verzi normy je použit pojem „biased“). Pro malé hodnoty r (menší než 10, což se v případě našich produktů stává pro většinu uzlů velmi často) však může být vychýlení sníženo tím, že se místo r dosadí $(r + 1)$. Pro větší hodnoty r je vychýlení přijatelné.

Při výpočtu intervalových odhadů MTBF/MTTF uvažujeme, že se díly, které měly poruchu, nahradí novými/opravenými, takže meze dvoustranného konfidenčního intervalu se pro danou hladinu významnosti α vypočítají podle rovnic (8) a (9) uvedené normy. V případě, že nebyla zaznamenána žádná porucha, což se u většiny uzlů stává velmi často, lze stanovit pouze dolní mez jednostranného konfidenčního intervalu dle rovnice (4) dané normy.

Pro kontejner 4MKL jsou meze konfidenčního intervalu MTBF (pro hladinu významnosti $\alpha = 0,1$): dolní mez = 14 978 hodin, horní mez = 35 260 hodin. U kontejneru 5MKL je dolní mez = 12 745 hodin, horní mez = 21 032 hodin. Požadavky zákazníka jsou v tomto případě plněny, protože technické podmínky pro kontejner 4MKL uvádějí smluvní hodnotu ukazatele bezporuchovosti MTBF = 12 750 hodin, pro kontejner 5MKL je MTBF = 8 100 hodin.

6 Požadavky zákazníků

Požadavky zákazníků se průběžně navyšují a stávají se čím dál tím sofistikovanější. Není už vyžadováno jen samotné uvedení hodnot ukazatelů RAM/LCC do smlouvy, technických podmínek či jiných smluvních dokumentů, ale je vyžadováno jejich prokázání pomocí výsledků analýz. V řadě případů jsou doplněny finanční kompenzace, např. v podobě prodloužení záruky.

Požadavky na spolehlivost se objevují v každé poptávce, často ovšem není stanoveno, jakým způsobem budou vybrané parametry (ukazatelé) spolehlivosti sledovány a vyhodnocovány. Nejčastěji požadovanými, sledovanými a vyhodnocovanými ukazateli spolehlivosti jsou střední doba mezi poruchami (MTBF), střední doba opravy (MRT), případně pohotovost (A). Dále je požadováno stanovit náklady na preventivní údržbu a náklady na údržbu po poruše, souhrnně uváděno jako požadavek „na vypracování analýzy LCC“.

V nedávné době byla řešena poptávka, kde zákazník v zadávací dokumentaci v kapitole *Ověřování bezporuchovosti* (Reliability Verification) uváděl: „*If the target value is not reached during the period, the defect warranty period is extended by one month, and the operation performance for the last 12 months is measured until the target value is reached.*“ (volně přeloženo: „*Není-li v průběhu tohoto období dosaženo cílové hodnoty, prodlužuje se záruční doba na vady o jeden měsíc. Provozní hodnoty se sledují za posledních 12 měsíců, dokud není dosaženo cílové hodnoty.*“) Někteří zákazníci se věnují i období časných poruch, když stanoví dobu pro vyhodnocení bezporuchovosti až po nějaké době od uvedení do provozu, např. „*Reliability verification period: For 12 months starting from one year after the commencement date of the vehicle operation.*“ (volně přeloženo: „*Doba ověřování bezporuchovosti: Po dobu 12 měsíců počínaje jeden rok po datu uvedení vozidla do provozu.*“) Jiný zákazník zase požadoval: „*In case the RAM targets were not met, any penalties requested by owner of vehicles in accordance with the contractual agreement and related to supplier's system, will be charged to supplier.*“ (volně přeloženo: „*V případě, že nebyly cíle RAM splněny, budou případné pokuty požadované provozovatelem v souladu se smluvním ujednáním a související se systémem dodavatele účtovány dodavateli.*“)

Proto se stává nezbytností, abychom se těmito požadavkům při posuzování poptávek či smluv věnovali v maximální možné míře. Nastávají nezdárka i situace, kdy je nutné alokovat požadavky zákazníka přímo na naše dodavatele.

7 Databáze spolehlivostních parametrů

Poslední čtyři roky (od 07/2020) pracujeme na tvorbě a pravidelném udržování databáze spolehlivostních parametrů (ukazatelů) bezporuchovosti. Jde o interní (neveřejný) dokument. Obsahuje tři oblasti: jednoznačná identifikace (projekt, řada, číslo uzlu), kterou není možné uživatelsky měnit a která je použita při dohledání řádku, kde má dojít k aktualizaci hodnot; označení uzlu (druh vozidla – tram, ej, trolejbus, cze, loko; výrobek – např. trakční jednotka, statický měnič apod., většinou i s typovým označením; název položky – dle funkčního rozpadu produktu; název vyššího uzlu – nadřazený uzel; ID položky; výrobce; skupina položek – např. baterie, čerpadla, diody, kondenzátory apod.); hodnoty ukazatelů bezporuchovosti, resp. další buňky (množství v provozu; kumulovaná doba zkoušky; počet poruch – optimistická a pesimistická hodnota; dolní meze; bodové odhady; horní meze; úroveň confidence; k datu – ke kterému jsou hodnoty u projektu spočítány; bezporuchovost dle dodavatele; poznámka).

Projekt	Řada	Číslo uzlu	Druh vozidla	Výrobek	Název položky *	Název vyššího uzlu
14Ev	14Ev-661	129	ej	Kontejner 4MKL-3	Konektory	(U11,U12) BLOK 3TT-2P07565W
14Ev	14Ev-661	12A	ej	Kontejner 4MKL-3	Mechanika bloku	(U11,U12) BLOK 3TT-2P07565W
14Ev	14Ev-661	12B	ej	Kontejner 4MKL-3	Šroubové spoje el. (soubor)	(U11,U12) BLOK 3TT-2P07565W
28T Konya	-	118	tram	(TJ6.2) Trakční jednotka	(U11) Měníč pro chlazení	(U11) Měníč pro chlazení
28T Konya	-	1181	tram	(TJ6.2) Trakční jednotka	(U11) Měníč pro chlazení EM_2400_3X400 (750VDC 3x400V 2400V)	(U11) Měníč pro chlazení
28T Konya	-	1182	tram	(TJ6.2) Trakční jednotka	(U11-X1) Konektor napájení	(U11) Měníč pro chlazení
28T Konya	-	1183	tram	(TJ6.2) Trakční jednotka	(U11-X2) Konektor CAN	(U11) Měníč pro chlazení
28T Konya	-	1184	tram	(TJ6.2) Trakční jednotka	(U11-X3) Konektor CAN	(U11) Měníč pro chlazení
28T2 Konya	-	118	tram	(TJ6.4) Trakční jednotka	(U11) Měníč pro chlazení	(U11) Měníč pro chlazení
28T2 Konya	-	1181	tram	(TJ6.4) Trakční jednotka	(U11) Měníč pro chlazení EM_2400_3X400 (750VDC 3x400V 2400V)	(U11) Měníč pro chlazení
28T2 Konya	-	1182	tram	(TJ6.4) Trakční jednotka	(U11-X1) Konektor napájení	(U11) Měníč pro chlazení
28T2 Konya	-	1183	tram	(TJ6.4) Trakční jednotka	(U11-X2) Konektor CAN	(U11) Měníč pro chlazení
28T2 Konya	-	1184	tram	(TJ6.4) Trakční jednotka	(U11-X3) Konektor CAN	(U11) Měníč pro chlazení
29T/30T Brati 29T-Bratislava	-	118	tram	(TJ6.3) Trakční jednotka	(U11) Měníč pro chlazení	(U11) Měníč pro chlazení
29T/30T Brati 29T-Bratislava	-	1181	tram	(TJ6.3) Trakční jednotka	(U11) Měníč pro chlazení EM_2400_3X400 (750VDC 3x400V 2400V)	(U11) Měníč pro chlazení
29T/30T Brati 29T-Bratislava	-	1182	tram	(TJ6.3) Trakční jednotka	(U11-X1) Konektor napájení	(U11) Měníč pro chlazení
29T/30T Brati 29T-Bratislava	-	1183	tram	(TJ6.3) Trakční jednotka	(U11-X2) Konektor CAN	(U11) Měníč pro chlazení
29T/30T Brati 29T-Bratislava	-	1184	tram	(TJ6.3) Trakční jednotka	(U11-X3) Konektor CAN	(U11) Měníč pro chlazení

ID položky	Výrobce	Skupina položek	Množství v provozu n	Kumulovaná doba zkoušky T* [h]	Počet poruch r	Dolní mez m _l [h]	Bodový odhad m [h]	Horní mez m _h [h]	Úroveň konfidence a [-]	K datu	Bezporuchovost
-			104	976 896	0	424 261	x	x	0,10	30.06.2022	
-			104	976 896	0	424 261	x	x	0,10	30.06.2022	
-			104	976 896	0	424 261	x	x	0,10	30.06.2022	
-			120	2 473 560	10	145 828	247 356	455 922	0,10	30.09.2020	
65005240	Elfis	měníče	120	2 473 560	10	145 828	247 356	455 922	0,10	30.09.2020	
-			120	2 473 560	0	1 074 253	x	x	0,10	30.09.2020	
-			120	2 473 560	0	1 074 253	x	x	0,10	30.09.2020	
-			120	2 473 560	0	1 074 253	x	x	0,10	30.09.2020	
-			24	525 888	1	110 856	525 888	10 252 568	0,10	31.03.2021	
65005240	Elfis	měníče	24	525 888	1	110 856	525 888	10 252 568	0,10	31.03.2021	
-			24	525 888	0	228 390	x	x	0,10	31.03.2021	
-			24	525 888	0	228 390	x	x	0,10	31.03.2021	
-			24	525 888	0	228 390	x	x	0,10	31.03.2021	
-			90	1 182 348	9	75 284	131 372	251 819	0,10	30.06.2019	
65005240	Elfis	měníče	90	1 182 348	8	81 910	147 794	297 011	0,10	30.06.2019	
-			90	1 182 348	0	513 487	x	x	0,10	30.06.2019	
-			90	1 182 348	0	513 487	x	x	0,10	30.06.2019	
-			90	1 182 348	0	513 487	x	x	0,10	30.06.2019	

Obr. 2: Ilustrační ukázka sloupců databáze spolehlivostních parametrů. Zdroj: archiv autora.

Aktualizace údajů v databázi spolehlivostních parametrů se děje pomocí analytického nástroje Provoz a poruchy, který používáme pro vyhodnocování ukazatelů bezporuchovosti z dat z provozu. Na doplněném listu 9 Databáze je možné nakonfigurovat, jak má k aktualizaci, případně doplnění nových údajů dojít. Specialista RAM/LCC, který s údaji v databázi většinou pracuje, si může hodnoty v buňkách upravovat dle své potřeby, zejména může doplňovat údaje ve sloupcích ID položky, výrobce, skupina položek či bezporuchovost dle dodavatele, aniž by došlo k jejich přepsání při samotné aktualizaci ukazatelů bezporuchovosti.

Soubor s databází spolehlivostních parametrů		AKTUALIZUJ									
EY14176P_Database_spolehlivostnich_parametru.xlsx											
Seznam projektů pro tvorbu databáze spolehlivostních parametrů											
Projekt	Řada	Úplné	K datu	Aktualizace	Uzly Výrobků	Druh vozidla	Stav				
7Ev	ANO	NE	31.12.2017	NE	1,2,3,4,5,6	ej	-				
10Ev	ANO	NE	30.06.2018	NE	1,2,3,4,5,6	ej	-				
15T Praha	NE	NE	30.09.2021	NE	11,12,21,23,24	tram	-				
18T Eskisehir	NE	NE	30.09.2022	ANO	11,21,3,4	tram	řada 18T-ESKISEHIR				
28T Konya	NE	NE	30.09.2020	NE	11,21,3	tram	-				
28T2 Konya	NE	NE	31.03.2021	NE	11,21,3,4	tram	-				
29T/30T Bratislava	ANO	NE	30.06.2019	NE	11,21,3	tram	-				
35T Chemnitz	NE	NE	31.10.2021	NE	11,12,13,21,22,31	tram	-				
Ampz146/Bmz245	ANO	NE	31.12.2020	NE	1,2	cze	-				
Bdmpee	NE	NE	31.12.2017	NE	1,2,3	cze	-				
Bdpee231	NE	NE	30.09.2019	NE	1,2,3	cze	-				
14Ev	ANO	NE	30.06.2022	ANO	1,2,3,4,5,6	ej	řada 14Ev-661				
34T Tampere	NE	ANO	30.06.2022	ANO	1,2,3,41,51,52	tram	řada 34T				

Obr. 3: Aktualizace databáze spolehlivostních parametrů. Zdroj: archiv autora.

8 RAM report

Ve firmě nyní analyzujeme nebo jsme v minulosti analyzovali (a nyní jsou tyto projekty již mimo garanční provoz) 24 různých projektů (elektrická výzbroj pro elektrické jednotky, tramvaje, centrální zdroje energie a trolejbusy) a další projekty postupně a průběžně přibývají.

Každý projekt obsahuje několik typů finálních produktů, které jsou provozovány na jednotkách, desítkách, v některých případech až stovkách vozů či souprav. Funkční rozpad každého projektu čítá v průměru 300 uzlů, nejsou ovšem výjimky, kdy narážíme na technická omezení našeho analytického nástroje, který umožňuje mít u jednoho projektu až tisíc uzlů.

Pro rychlý přehled pravidelně připravujeme tzv. RAM report neboli excelovskou tabulku vybraných produktů a jejich dosahovanou bezporuchovost v provozu. Pro tento účel uvádíme u jednotlivých finálních produktů dolní mez konfidenčního intervalu střední doby provozu mezi poruchami pro hladinu významnosti 0,1. Je to vhodný údaj? Tým RAM/LCC ve ŠKODA ELECTRIC a.s. je přesvědčen, že ano, a proto jej dlouhodobě používáme. Nicméně jsme připraveni o tomto diskutovat. Bylo by např. výhodnější, abychom uváděli naopak bodový odhad, při malém počtu poruch i s přihlédnutím k tomu, jak se vypořádat s jeho vychýlením (viz popis výše). Jak ale u produktů, u kterých nenastala doposud žádná primární porucha. U nich uvádět dolní mez konfidenčního intervalu MTBF nebo naopak předpokládat, že by k jedné primární poruše došlo právě teď, takže uvést hodnotu kumulované doby zkoušky?

V současnou chvíli (květen 2024) obsahuje aktuální RAM report celkem 23 různých druhů finálních produktů (např. trakční jednotky, statické měniče, bateriové skříně, trakční bateriové skříně, měniče pro pomocné pohony, systémy nadřazeného řízení, kontejnery elektrických jednotek, centrální zdroje energie, trakční motory, střešní jednotky trolejbusů, měniče pro klimatizace, brzdové odporníky, celé trolejbusy a další). Každý projekt je zařazen do jedné skupiny (tramvaje, elektrické jednotky, centrální zdroje energie nebo trolejbusy), přičemž pod názvem projektu jsou informace o sledovaném období a době garančního provozu, a zabírá dva sloupce. V prvním sloupci je množství (počet kusů produktu v provozu použitého k vyhodnocení bezporuchovosti) a ve druhém dolní mez konfidenčního intervalu MTBF pro hladinu významnosti 0,1. U hodnoty ukazatele bezporuchovosti se v poznámce k buňce nachází některé další podrobnosti: typ produktu (např. TJ1.1), hodnota bezporuchovosti uvedená v technických podmínkách (TP MTBF = 10 000 h), bodový odhad MTBF ($m = 38\,797$ h), kumulovaná doba zkoušky ($T^* = 10\,785\,440$ h), počet primárních poruch ($r = 278$). Pro jednoduchý přehled je tato dvojice buněk podbarvena zeleně nebo oranžově pod toho, zda jsou plněny požadavky zákazníka, případně je zjištěná hodnota pod hodnotou požadovanou zákazníkem.

Bezporuchovost produktů ŠELC z dat z provozu										
10. 4. 2024 / Ota Kéhar										
Název uzlu	Benchmark		13T6 Brno		15T Praha		18T Eskisehir		28T K...	
	TP MTBF [h]		TBD		EY09553P		TBD		EY105	
	od	do	Mn.	MTBF ₁ [h]	Mn.	MTBF ₁ [h]	Mn.	MTBF ₁ [h]	Mn.	MTBF ₁ [h]
Trakční jednotka/měnič (TJ)	10 000	54 000	60	25 025	1 000	35 128	28	62 184	120	
Statický měnič (SM)	10 000	45 000		250	29 668					
Bateriová skříň (BS)	10 000	50 000		250	428 280	14	177 540	60		
Trakční bateriová skříň (TBS)	1 800	12 000				14	26 030			
Měnič pro pomocné pohony	-	-	20	5 956						
Kontejner nab. a bat.	-	-	20	24 124						
Systém nadřazeného řízení	-	-	20	19 588						
Kontejner pulzního usměrňovače (4MKL)	8 333	12 750								
Kontejner trakčního měniče (5MKL)	5 088	7 700								
Kontejner pomocných pohonů se dvěma střídači (6MKL)	10 600	16 250								
Kontejner pomocných pohonů s jedním střídačem (7MKL)	14 187	21 500								
Centrální zdroj energie (CZE)	25 000	25 000								
Trakční motor (TM)			-	N/A	1 936	N/A	56	710 158	240	
IO modul	100 000	100 000								
VCU	41 810	41 810								
Převodovka	-	-					56	N/A		
Střešní jednotka (SJ)	-	-								

Obr. 4: Ilustrační ukázka RAM reportu. Zdroj: archiv autora.

9 Závěr

Príspevek obsahuje stručné predstavení postupů a procesů, které ve firmě ŠKODA ELECTRIC a.s. používáme pro analýzu dat z provozu a prokazování splnění požadavků zákazníkům. Nástroje, které pro toto využíváme, jsou stále předmětem vývoje a vylepšení, aby se rutinní činnosti, pokud možno, co nejvíce zautomatizovaly, a naopak se eliminoval lidský zásah, který může přinášet řadu chyb. Podívali jsme se i na to, jakým způsobem je sběr dat o spolehlivosti zmiňován v normách, zejména řady EN 50126 věnované RAMS a ISO 22163 nahrazující dřívější IRIS. Na několika příkladech jsme si ilustrovali popisovanou problematiku věnovanou analýzám bezporuchovosti z provozu. Požadavky zákazníků se v průběhu let vyvíjí, přičemž mohou existovat i různé způsoby, jak se s dodavatelem vypořádat při neplnění požadavků. Za poslední roky se podařilo zprovoznit spolehlivostní databázi hodnot vybraných ukazatelů bezporuchovosti, která nám umožňuje zpřesňovat predikce bezporuchovosti nových produktů. Máme i řadu nápadů, které se postupně snažíme implementovat, např. automatickou tvorbu přehledné tabulky napříč projekty a hlavními produkty, která by se pravidelně reportovala vrcholovému vedení společnosti. Takováto tabulka existuje, má název „RAM report“, ale je prakticky celá tvořena a aktualizována ručně. Současně používaný excelovský analytický nástroj má i svá omezení, se kterými jsme se dokázali vypořádat i při požadavku vrcholového vedení na zařazení vyhodnocování ukazatelů bezporuchovosti u vybraných trolejbusových projektů.

Použité zdroje

KÉHAR, O. Bezporuchovost a vyhodnocení dat z provozu. In: *Současný stav RAMS/LCC ve ŠKODA ELECTRIC a.s.* Sborník přednášek. 47 s. Odborná skupina pro spolehlivost České společnosti pro jakost, 2019. ISBN 978-80-02-02852-9.

KÉHAR, O. Zpracování a vyhodnocování dat z provozu při určování parametrů bezporuchovosti produktů ve společnosti ŠKODA ELECTRIC. p. 19–22. *Perspektivy kvality: odborný čtvrtletník pro získávání poznatků a šíření znalostí o managementu*. Online. Roč. 2019, č. 2. Praha: Česká společnost pro jakost, 2024. ISSN 1805-6857. Dostupné z: csnonlinefirmy.agentura-cas.cz/perspektivy-kvality.aspx. [cit. 2024-05-31]

ŠMIŘÁK, M. Přínosy a úskalí sběru provozních dat RAMS ve ŠKODA ELECTRIC a.s. In: *Případové studie realizace projektů spolehlivosti*. Sborník přednášek. 42 s. Česká společnost pro jakost, 2012. ISBN 978-80-02-02363-0.

VINTR, M. Sběr dat o spolehlivosti v provozu. In: *Informace o spolehlivosti produktů v provozu a jejich využití*. Sborník přednášek. Praha, Česká společnost pro jakost: 2013. ISBN 978-80-02-02469-9.

Jihomoravský kraj podepsal s dodavatelem smlouvu na výrobu 37 nových železničních jednotek. Online. Jihomoravský kraj. 2019. Dostupné z: jmk.cz/content/13135. [cit. 2024-05-31].

Kraj podepsal smlouvu s Českými drahami na provoz jednotek Moravia. Online. Jihomoravský kraj. 2024. Dostupné z: jmk.cz/content/29480. [cit. 2024-05-31].

SM-Q-33, 2. vydání. Systém RAMS/LCC. Směrnice ŠKODA ELECTRIC a.s. Plzeň: 04/2019. (interní neveřejný dokument)

SM-Q-34, 1. vydání. Analýza LCC. Směrnice ŠKODA ELECTRIC a.s. Plzeň: 04/2023. (interní neveřejný dokument)

EY10502P. Provoz a poruchy. Analytický nástroj ŠKODA ELECTRIC a.s. Plzeň: 2018–2024. (interní neveřejný nástroj)

EY14176P. Databáze spolehlivostních parametrů (bezporuchovost). Dokument ŠKODA ELECTRIC a.s. Plzeň: 2020–2024. (interní neveřejná databáze)

ČSN EN 15380-2:2006 Železniční aplikace - Systém označování kolejových vozidel - Část 2: Výrobní skupiny. Praha: Český normalizační institut, 2006.

ČSN EN 50126-1 ed. 2:2019 Drážní zařízení - Stanovení a prokázání bezporuchovosti, pohotovosti, udržitelnosti a bezpečnosti (RAMS) - Část 1: Generický proces RAMS. Praha, Česká agentura pro standardizaci, 2019.

ČSN IEC 60050-192:2016 Mezinárodní elektrotechnický slovník - Část 192: Spolehlivost. Praha, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016.

ČSN EN 60300-1 ed. 2:2015 Management spolehlivosti - Část 1: Návod pro management a použití. Praha, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2015.

ČSN EN 60300-3-2:2005 Management spolehlivosti - Část 3-2: Pokyn k použití - Sběr dat o spolehlivosti z provozu. Praha: Český normalizační institut, 2005.

ČSN IEC 60605-4:2002 Zkoušení bezporuchovosti zařízení - Část 4: Statistické postupy pro exponenciální rozdělení - Bodové odhady, konfidenční intervaly, předpovědní intervaly a toleranční intervaly. Praha: Český normalizační institut, 2002.

ČSN IEC 60605-6:2009 Zkoušení bezporuchovosti zařízení - Část 6: Testy platnosti a odhad konstantní intenzity poruch a konstantního parametru proudu poruch. Praha, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.

ISO/TS 22163:2017 Railway applications — Quality management system — Business management system requirements for rail organizations: ISO 9001:2015 and particular requirements for application in the rail sector. Švýcarsko: ISO, 2017.

ISO 22163:2023 Railway applications — Railway quality management system — ISO 9001:2015 and specific requirements for application in the railway sector. Švýcarsko: ISO, 2023.

Název: Sběr a vyhodnocování dat o RAMS v provozu
Autoři: Zdeněk Vintr
Michal Vintr
Ota Kéhar
Vydavatel: Univerzita Obrany, Brno
Tisk: Univerzita Obrany, Brno
Položka EP: 64/2024/FVT
Číslo zakázky: 101/2024
Náklad: 40 ks
Počet stran: 34
Rok vydání: 2024
Vydání: první

Publikace neprošla jazykovou úpravou

ISBN 978-80-7582-494-3

ISBN 978-80-7582-495-0 (online, pdf)