

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



Požadavky na RAMS – Past nebo výzva pro dodavatele?

**Materiály z 81. semináře Odborného centra Spolehlivost
konaného dne 14. 6. 2022 na Univerzitě obrany v Brně**

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

Obsah

Specifikace požadavků na spolehlivost **3**

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

Fakulta vojenských technologií, Univerzita obrany

Analýza požadavků na RAMS prakticky **15**

Ing. Michal VINTR, Ph.D.

Nezávislý expert na spolehlivost, bezpečnost a RAMS/LCC

Specifikace požadavků na spolehlivost

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

Fakulta vojenských technologií, Univerzita obrany

zdenek.vintr@unob.cz

1 Úvod

V názvu tohoto příspěvku je použit pojem „spolehlivost“, který má jasně vymezený obsah obecně platnými standardy a je v technických oblastech široce využíván. Určitou výjimku tvoří oblast drážních zařízení, kde se s tímto pojmem setkáte spíše výjimečně a jako jistý ekvivalent je zde používána zkratka RAMS. Z uvedeného důvodu bude vhodné úvodem alespoň stručně objasnit, jaký je vztah mezi pojmem „spolehlivost“ a zkratkou RAMS.

Pojem „spolehlivost“ se začal v technických oblastech používat již ve 40. létech minulého století v souvislosti s vývojem složitých zbraňových systémů a byl chápán, jako pravděpodobnost, s jakou bude daný objekt schopen plnit bez poruchy požadované funkce po stanovenou dobu a v daných provozních podmínkách. Tato jednoduchá definice však při praktickém používání pojmu „spolehlivost“ narážela na jistá omezení. Především dostatečně dobře nevystihovala spolehlivost složitých opravovaných systémů, které se mohou v daném okamžiku nacházet v různých provozních stavech a tyto stavy s časem náhodně mění. Proto se obecné vnímání spolehlivosti v průběhu let postupně vyvíjelo a s tím se měnila i definice pojmu jako takového [7]. K poslední významně změně došlo v roce 2015, kdy Mezinárodní elektrotechnická komise (IEC) vydala mezinárodní slovník pro oblast spolehlivosti, který byl následně vydán i jako česká technická norma [5].

Uvedená norma definuje spolehlivost jako schopnost objektu fungovat tak, jak je požadováno, a tehdy, když je to požadováno [5], přičemž definice je zde doplněna dvěma poznámkami:

- Do spolehlivosti se zahrnuje pohotovost, bezporuchovost, zotavitelnost, udržovatelnost a zajištěnost údržby a v některých případech i jiné charakteristiky, jako je životnost, bezpečnost a zabezpečení.
- Spolehlivost se používá jako souhrnný termín pro charakteristiky kvality objektu, které se vztahují k času.

Z uvedeného je zřejmé, že spolehlivost je aktuálně vnímaná jako komplexní vlastnost objektu charakterizovaná celou řadou subvlastností, která vyjadřuje schopnost daného objektu zachovávat si svoje charakteristiky a vlastnosti v čase.

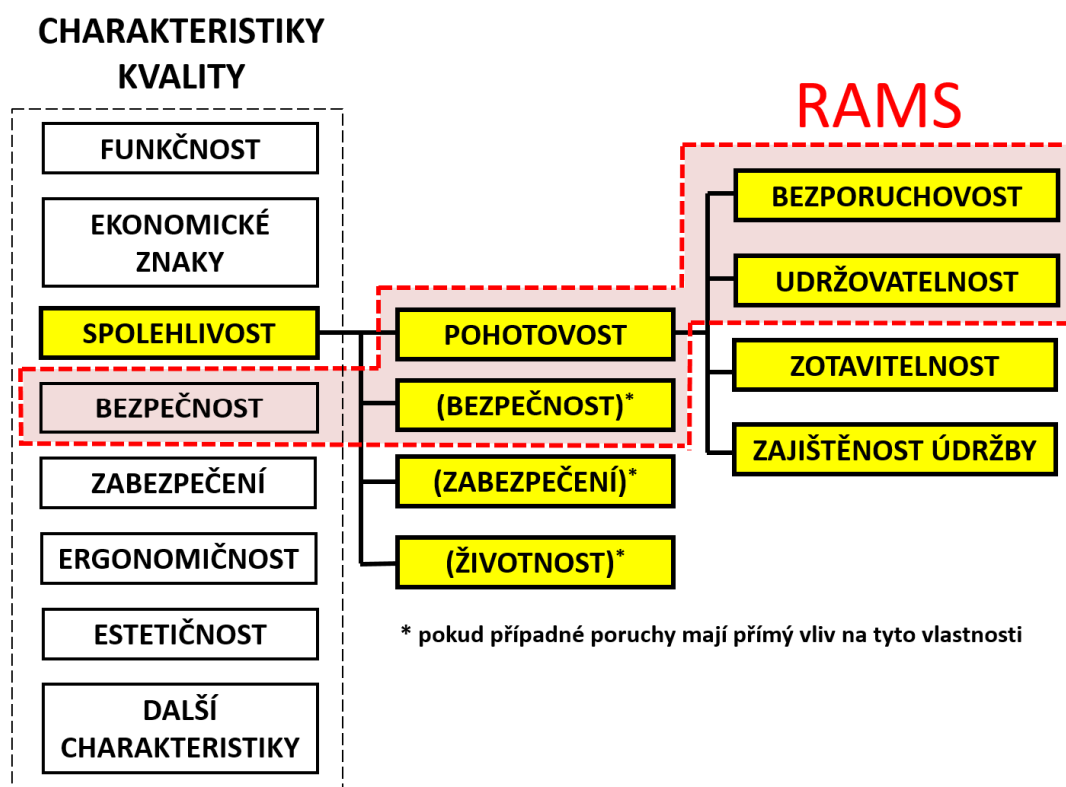
Zkratka RAMS má historii o poznání kratší. Poprvé se objevila v roce 1999 v názvu evropské normy „Railway applications – The specification and demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS) [6], která byla v roce 2001 vydána i jako česká technická norma. [2]. Jaký má zkratka význam je vysvětleno již v názvu normy RAMS = **R**eliability, **A**vailability, **M**aintainability and **S**afety, což v českém jazyce znamená Bezporuchovost, Pohotovost, Udržovatelnost a Bezpečnost.

Z uvedené definice je patrné, že mezi pojmy spolehlivost a RAMS nelze položit rovnítko. Spolehlivost na rozdíl od RAMS nezahrnuje bezpečnost jako celek, ale pouze tu část, která je bezprostředně ovlivňována vznikem poruch. Navíc, oproti RAMS, spolehlivost inherentně zahrnuje zotavitelnost, zajištěnost údržby a v některých případech i zabezpečení a životnost.

Názorně jsou vzájemné vazby mezi oběma pojmy znázorněny na Obr. 1 [10]. Zotavitelnost a zajištěnost údržby nejsou k RAMS přímo alokovány (definičně), ale z kontextu norem zabývajících se RAMS je zřejmé, že obě tyto dílčí vlastnosti jsou vnímány jako nedílná součást RAMS. Rámcově je tedy možné vazbu mezi oběma pojmy vymezit následujícím způsobem:

$$\text{RAMS} = \text{SPOLEHLIVOST} + \text{BEZPEČNOST}$$

Dnes je již zcela zřejmé, že zavedení pojmu RAMS nebylo úplně koncepčně správným krokem, protože narušuje zavedenou mezinárodní terminologii. Nicméně dnes, po více jak 20 letech jeho používání, je tato zkratka natolik známá a v praxi běžně používaná, že její případná změna či náhrada by již byla kontraproduktivní. Navíc dnes je již odborníkům z této oblasti význam a obsah této zkratky zcela zřejmý a její použití nevede k podstatným nedorozuměním.



Obr. 1. Vztah RAMS a spolehlivosti

Z názvu článku a uvedeného výkladu je tedy zřejmé, že se tento článek nevěnuje specifikaci požadavků na RAMS jako celku, ale zaměřuje se především na tu část, kterou lze vymezit pojmem „spolehlivost“. Nicméně vzhledem ke vzájemné provázanosti spolehlivosti a bezpečnosti u každého technického objektu, se nebude možné vybraným aspektům bezpečnosti vyhnout.

2 Místo a úloha specifikace požadavků na spolehlivost

Na počátku existence (životního cyklu) každého výrobku musí nedříve vzniknout jasná představa o tom, jakými funkcemi a vlastnostmi budoucí výrobek disponovat. Jednoduše nelze úspěšně zrealizovat vývoj a návrh výrobku, aniž bychom měli jasno v tom, co má být výsledkem tohoto procesu a k čemu to má sloužit. Výchozím tak vždy musí být zformulování

požadavků na budoucí výrobek. Tento koncept zohledňuje prakticky všechny platné normy, které se zabývají členěním životního cyklu výrobku, včetně normy ČSN 50126-1 [3], která se zabývá problematikou RAMS.

Nedílnou součástí požadavků na každý výrobek by měly být také požadavky na spolehlivost, protože nestačí jen specifikovat co má výrobek umět a jak má vypadat, ale nezbytné je i jasně zformulovat požadavek na to, jakým způsobem si má výrobek zachovávat tyto vlastnosti v čase.

Základní obecné informace o problematice specifikace požadavků na spolehlivost jsou uvedeny v normě ČSN EN 60300-3-4 [4]. Danou problematikou a různými jejími aspekty se zabývá celá řada dalších norem, a to jak průřezových, tak i různých oborových. Například již zmiňovaná norma ČSN EN 50126-1 [3] má tuto problematiku přímo zmíněnu v názvu, kde se hovoří o „stanovení bezporuchovosti, pohotovosti, udržovatelnosti a bezpečnosti“ tedy o stanovení požadavků na spolehlivost a bezpečnost. Další příkladem oborové normy z této oblasti může být český obranný standard ČOS 051667 [1], který přináší velmi podrobné pokyny k tomu, jak specifikovat požadavky na spolehlivost u vojenské techniky.

O tom, jaký význam má specifikace požadavků na spolehlivost v oblasti drážních aplikací dostatečně vypovídá norma ČSN EN 50126-1 [3] řešící problematiku RAMS. Pokud obsah a zaměření celé normy zjednodušíme, lze doporučení v ní uvedená zredukovat na požadavek správně specifikovat požadavky na RAMS, výrobek vyvinout navrhnout a vyrobit v souladu s těmito požadavky a nakonec prokázat, že stanovené požadavky byly splněny.

Základní otázkou je kdo a jakým způsobem má požadavky spolehlivost specifikovat. V zásadě existují tři možnosti:

- Požadavky specifikuje sám dodavatel. Tento přístup je aplikovatelný zejména tenkrát, když je vyvíjen a navrhován výrobek, který není určen žádnému konkrétnímu zákazníkovi. Výrobce by potom měl požadavky na spolehlivost stanovit tak, aby byl výrobek konkurenceschopný, tedy aby i v oblasti spolehlivosti měl lepší vlastnosti, nebo alespoň vlastnosti srovnatelné s ostatními výrobky.
- Požadavky specifikuje odběratel výrobku. Jeho specifikace by měla vycházet z požadavků na chování daného výrobku v provozu, pokud má být používána samostatně, nebo z požadavků na chování celého systému, pokud se má daný výrobek stát jeho součástí.
- Požadavky jsou specifikovány ve spolupráci dodavatele a odběratele.

V oblasti drážních aplikací se nejčastěji uplatňuje druhý z uvedených způsobů. Odběratel specifikuje požadavky na spolehlivost a vyžaduje jejich naplnění. Tento přístup je omezující nejenom pro odběratele (chybí vyjednávací prostor), ale může být nevýhodný i pro dodavatele, protože nevytváří předpoklady pro případnou optimalizaci požadavků a zvýšení užitné hodnoty výrobku (např. ve formě minimalizace nákladů životního cyklu).

3 Obsah požadavků na spolehlivost

Současné přístupy k zabezpečování spolehlivosti výrobků vyžadují, aby požadavky na spolehlivost byly zadávány v tzv. úplné formě. To znamená v takové podobě, která nejenom zcela jednoznačně vymezuje to, co se od výrobku v oblasti spolehlivosti očekává, ale které také jasně vymezuje, za jakých podmínek tyto požadavky mají být naplněny a jakým způsobem bude jejich naplnění ověřeno. Obecně by požadavky na spolehlivost měly zahrnovat [8]:

- kvalitativní požadavky na bezporuchovost, udržovatelnost (případně pohotovost) výrobku a zajištěnost údržby;

- kvantitativní požadavky na ukazatele bezporuchovosti, udržovatelností (případně pohotovosti) a zajištěnosti údržby;
- definice funkcí případně vlastností výrobku, ke kterým se požadavky na spolehlivost vztahují;
- kritéria poruchových stavů;
- podmínky prostředí a provozu a dobu života výrobku, během které se očekává shoda s požadavky;
- metody a postupy pro ověření shody s požadavky (analýzy, zkoušky sledování v provozu);
- požadavky na obsah programu spolehlivosti a termíny jeho realizace.

3.1 Kvalitativní a kvantitativní požadavky na spolehlivost

Kvalitativní požadavky na spolehlivost se zadávají jen tenkrát, pokud to je účelné vzhledem k charakteru objektu a zamýšleným cílům v oblasti spolehlivosti. Zpravidla se vyjadřují jedním nebo oběma následujícími způsoby:

- jako kritéria návrhu objektu;
- jako požadované činnosti pro zajišťování či zlepšování úrovně spolehlivosti objektu v jednotlivých etapách jeho životního cyklu.

Kvantitativní požadavky na jednotlivé subvlastnosti spolehlivosti jsou považovány za rozhodující a od jejich specifikace by se mělo upustit pouze ve zvlášť zdůvodněných případech. Stanovení kvantitativních požadavků spočívá ve:

- výběru vhodného souboru ukazatelů jednotlivých subvlastností spolehlivosti, které nejlépe odpovídají charakteru výrobku a předpokládaným podmínkám provozu;
- stanovení číselných hodnot takto vybraných ukazatelů spolehlivosti.

Obecně by volba souborů ukazatelů použitých pro specifikaci požadavků na spolehlivost měla být provedena tak, aby vyhovovala požadavkům na:

- **efektivnost** – zvolené ukazatele by měly umožňovat obecné hodnocení efektivnosti objektu, tj. zvolené ukazatele by měly umožňovat sestavení modelu efektivnosti objektu a jeho analýzu (např. analýzu nákladů životního cyklu);
- **slučitelnost** – ukazatele spolehlivosti u subsystémů, agregátů a prvků musí být voleny, tak aby umožňovaly výpočet číselných hodnot ukazatelů spolehlivosti pro celý objekt, do jehož struktury patří;
- **nezávislost** – soubor nesmí zahrnovat přebytečné ukazatele, tj. všechny ukazatele ze zvoleného souboru musí být vzájemně statisticky nezávislé;
- **prokazatelnost** – do souboru musí být zahrnuty jen ty ukazatele, jejichž plnění je možné prokázat dostupnými metodami a postupy.
- **úplnost** – soubor ukazatelů musí popisovat všechny činnosti a události, které souvisí se spolehlivostí objektu, přičemž charakter těchto činností a událostí musí být přesně určen;
- **praktičnost** – soubor ukazatelů by měl dovolit:
 - provedení optimalizace podmínek provozu, preventivní a nápravné údržby;
 - určení obsahu a pracnosti údržbářských zásahů a stanovení potřeby náhradních dílů;
 - určení požadavků na subsystémy, agregáty a prvky objektu (alokaci požadavků);
 - určení ekonomického přínosu z případného zvýšení spolehlivosti objektu, respektive provedení optimalizace požadavků na spolehlivost.

Konkrétní požadované číselné hodnoty u zvolených ukazatelů lze určit celou řadou postupů a metod. Nejčastěji se využívají následující postupy:

- odborný odhad;
- využití výsledků sledování (zkoušek) spolehlivosti stejného (srovnatelného) výrobku a jejich transformace na nový objekt;
- převzetí hodnot ukazatelů srovnatelných vzorů (výrobky renomovaných výrobců);
- optimalizace hodnot ukazatelů podle zvolených kritérií (optimalizace nákladů celoživotního cyklu apod.);
- akceptování požadavků norem, předpisů a zákonných ustanovení (pokud existují);
- výpočet (analýza) pro danou strukturu systému a pro cílové hodnoty ukazatelů systému (například odvozením z požadované úrovně pohotovosti celého drážního systému, nebo z požadavků na pravděpodobnost úspěšnosti specifikované mise apod.).

S ohledem na vývoj spolehlivosti výrobku v závislosti na etapě jeho života, ve které se právě nachází, je účelné rozlišovat a také předepisovat zvlášť úrovně spolehlivosti:

- pro objekt ve stádiu prototypu;
- pro objekt z ověřovací série;
- pro objekt ze sériové výroby (včetně rozlišování jednotlivých sérií);
- pro provozní spolehlivost (úroveň spolehlivosti s vlivem provozních podmínek).

Číselné hodnoty ukazatelů spolehlivosti pro jednotlivá časová období musí být stanoveny tak, aby respektovaly reálné možnosti zlepšování ukazatelů spolehlivosti v předvýrobních etapách a vytvářely předpoklady pro dosažení finálních číselných hodnot ukazatelů provozní spolehlivosti objektu.

Ve specifikaci požadavků na spolehlivost je také třeba uvést metody, které budou použity k ověření toho, že specifikované požadavky byly splněny. Ověření splnění předepsaných požadavků lze v zásadě provést třemi způsoby:

- analýzami spolehlivosti (zejména v předvýrobních etapách);
- zkouškami spolehlivosti (laboratorními nebo provozními);
- vyhodnocením údajů o spolehlivosti objektu v běžném provozu.

3.2 Předpokládané provozní podmínky výrobku.

Podle doporučení IEC se provozní podmínky dělí na *operační* podmínky a podmínky *prostředí*.

Operační podmínky souvisí s vlastní činností výrobku a jejich obsahem je kombinace různých operačních parametrů a jejich úrovní. V oblasti RAMS se operační podmínky zadávají obvykle ve formě tzv. profilu používání, který by měl zahrnovat:

- požadované časové intervaly (pohotovost, prostoje, používání, skladování, údržba, přeprava, plánované odstávky apod.);
- počty předpokládaných opakování specifikovaných činností v daném časovém intervalu;
- informace o intenzitě používání výrobku (např. denní doba provozu, roční proběh kilometrů, počet cyklů za rok apod.);
- předpokládanou úroveň zatěžování (charakter a úroveň zatížení, obecně reprezentovaná rychlostmi, silami, tlaky, zrychlením, deformacemi, provozními teplotami apod.);
- požadované nouzové režimy;
- rámcové požadavky na údržbu výrobku;

- počet pořizovaných výrobků;
- informace o činnosti operátorů.

Podmínkami prostředí se označují fyzikální a chemické vnější podmínky, v nichž systém pracuje a jimž je tedy systém při plnění funkcí vystaven. Obsahují kombinaci parametrů prostředí a jejich úrovní. Parametry prostředí se člení do několika skupin:

- klimatické parametry jako je vlhkost, teplota prostředí, tlak vzduchu, vítr, sluneční záření apod.
- mechanické parametry podmíněné přirozeným prostředím (seismické, gravitační, chemická agresivita prostředí, aj.);
- jiné parametry prostředí (radiační podmínky, blesk, biologické podmínky, aj.).

3.3 Kritéria poruch

Kritéria poruch a mezních stavů je nutné stanovit podle jednoho vybraného znaku, nebo podle souboru znaků, které vymezují podmínky, za nichž je již objekt neschopný plnit požadované funkce. Kritériem ukončení schopnosti objektu plnit požadované funkce může například být:

- přerušeni (úplné nebo částečné) plnění zadaných funkcí objektu;
- vznik poruchy (částečné nebo úplné) nebo mezního stavu u kritických prvků, tj. u prvků s vážnými nebo katastrofickými důsledky;
- vznik takových poruchových stavů, které znemožňují bezpečné ukončení funkce systému;
- neodstranitelné porušení požadavků na bezpečnost;
- neodstranitelné odchylky zadaných provozních parametrů od stanovených přípustných mezí;
- neodstranitelné snížení efektivity provozu pod přípustnou mez;
- překročení přípustných odchylek zadaných znaků jakosti objektu;
- dosažení stanoveného technického života nebo doby používání.

Kritéria poruch a mezních stavů by měla být definována srozumitelně a jednoznačně tak, aby umožňovala:

- jednoduchou a jednoznačnou identifikaci poruchy technickými prostředky, nebo prostředky technické diagnostiky a její zařazení do třídy poruchy;
- věrohodnost a jednoduchost identifikace poruchy, vylučující možnost nesprávného rozhodnutí o tom, že porucha nebo mezní stav skutečně nastal;
- u degračních poruch odhad zpoždění mezi okamžikem skutečného vzniku poruchy a okamžikem její identifikace

Je také vhodné, aby kritéria poruch a mezních stavů byla volena tak, aby umožňovala další účelovou klasifikaci poruch, např. dle:

- příčiny vzniku poruchy (provozní, konstrukční, technologická, chyby v obsluze apod.);
- délky (případně pracovní) opravy (rozlišuje se různě odstupňovaná doba případně pracovní opravy v hodinách);
- důsledků poruchy (nezávažná, závažná, kritická, katastrofická);
- ceny opravy apod.

4 Struktura požadavků na spolehlivost

V souladu se současným pojetím managementu spolehlivosti se požadavky obecně dělí do čtyř skupin:

- požadavky na bezporuchovost (případně spolu s požadavky na bezpečnost);
- požadavky na udržovatelnost;
- požadavky na pohotovost;
- požadavky na zajištěnost údržby.

Poslední z uvedených má specifické postavení, protože zajištěnost údržby je často stanovena pouze podmínkami pro použití výrobku a nebývá inherentním požadavkem na samotný výrobek – požadavky na zajištěnost údržby se obvykle nerealizují v etapě návrhu produktu.

Nicméně požadavky ze zbývajících skupin a jejich zajištění jsou s vlastním návrhem výrobku velmi úzce svázány. Z hlediska praxe není nutné (někdy rovněž žádoucí) pro každý produkt specifikovat kompletní (tři) charakteristické znaky spolehlivosti (tady máme na mysli pohotovost, bezporuchovost a udržovatelnost). Dva z těchto tří znaků obvykle dostačují, přičemž v praxi se standardně používají jejich dvě kombinace. Obvykle bývají specifikovány požadavky na bezporuchovost a udržovatelnost, nebo pohotovost a bezporuchovost. Výrobky bez stanovených údržbových rámců nevyžadují pro specifikování spolehlivosti více než stanovení bezporuchovosti (respektive odvozené životnosti).

4.1 Požadavky ne bezporuchovost

Bezporuchovost výrobku, v souladu s platnou definicí [5], je zde chápána jako jeho schopnost fungovat v daných podmínkách během daného časového intervalu bez poruchy tak, jak je požadováno.

Kvalitativní požadavky na bezporuchovost mohou být vyjádřeny jedním nebo oběma následujícími způsoby:

- jako kritéria návrhu objektu;
- jako činnosti pro zlepšování bezporuchovosti, které se mají uplatnit během etap životního cyklu objektu.

V kritériích návrhu objektu se slovně uvádí požadavky, které musí být při návrhu objektu realizovány, aby byla zabezpečena odpovídající úroveň bezporuchovosti. Tyto požadavky se zpravidla stanovují na základě analýzy kritičnosti selhání jednotlivých funkcí objektu a vždy by měly odrážet skutečný význam spolehlivosti u posuzovaného objektu. Nejčastěji tyto požadavky směřují k tomu, aby byl „bezpečný při poruše“ (fail safe). Dále jsou uvedeny některé příklady kritérií návrhu objektu:

- žádný jednotlivý izolovaný poruchový stav nesmí vést ke kritickému stavu objektu;
- žádný nedetekovaný poruchový stav (skrytá porucha) v kombinaci s dalším jednotlivým poruchovým stavem nesmí vést ke kritickému stavu objektu;
- žádný poruchový stav jednoho záložního podsystému nesmí vést k poruchovému stavu jiného záložního podsystému;
- kritické funkce musí být monitorovány, ať už automaticky či ručně, nepřetržitě či periodicky.

V některých případech je vhodné kromě kritérií návrhu objektu také specifikovat posloupnost činností pro zlepšení bezporuchovosti, které se mají realizovat během jednotlivých etap

životního cyklu objektu. Časový plán těchto činností by potom měl být zahrnut do programu spolehlivosti objektu.

Kvantitativní požadavky na bezporuchovost mohou být specifikovány celou řadou ukazatelů a jejich kombinací. Při výběru vhodných charakteristik je třeba brát v úvahu povahu výrobku, režimy provozu, kritičnosti poruch a použité zásady/omezení doby používání. Stanovení vybraných ukazatelů bezporuchovosti vychází z předpokladu, že se sledované výrobky se mohou nacházet pouze ve dvou stavech – použitelném a poruchovém. Jedním z předpokladů pro zajištění srozumitelnosti požadavků na bezporuchovost je tedy jasné stanovení těchto dvou stavů a kritérií přechodu objektu z jednoho stavu do druhého.

Pro zaručení srozumitelnosti, verifikovatelnosti, jednoznačnosti, monitorovatelnosti a posuzovatelnosti kvantitativních požadavků na bezporuchovost je rovněž nutné stanovit podmínky provozu. Je potřeba, aby byly vymezeny očekávané podmínky prostředí a určeny metody, postupy a kritéria hodnocení v souladu se stanovenými požadavky. Bez těchto podmínek nemá kvantitativní specifikace požadavků na bezporuchovost smysl.

Nejčastěji se požadavek na bezporuchovost u opravovaných výrobků zadává ve formě ukazatele nazvaného „Střední doba provozu mezi poruchami (Mean Operating Time between Failures – *MTBF*)“ [5], který vyjadřuje očekávanou dobu provozu výrobku mezi poruchami. Zde je vhodné poznamenat, že doba provozu nemusí být vždy měřena jen časem. Dobou provozu rozumíme dobu, potřebnou k vykonání určitého rozsahu práce vykonané objektem. Dobu provozu lze měřit jakoukoliv fyzikální veličinou charakterizující rozsah provozu, sledovatelnou technickými prostředky a měřitelnou fyzikálními jednotkami. Doba provozu může být měřena například s využitím následujících jednotek:

- hodiny [h];
- motohodiny [Mh];
- počet pracovních (zátěžových) cyklů [1];
- počet ujetých kilometrů [km];
- litry spotřebovaného paliva [l].

V oblasti drážních aplikací se tak často setkáváme s ukazatelem „střední ujetá vzdálenost mezi poruchami (*MDBF* – Mean Distance between Failures)“.

V praxi také často ke specifikaci požadavků na bezporuchovost využívají ukazatele charakterizující intenzitu vzniku poruch (očekávaný počet poruch během jisté doby provozu), které taktéž mohou být vztaheny k různým jednotkám charakterizujícím dobu provozu, například:

- *FIT* - Poruchy v čase (Failures In Time) – očekávaný počet poruch během 10⁹ hodin;
- *FPMK* - Poruchy na milion ujetých kilometrů (Failures per Million Kilometers);
- *FPMM* - Poruchy na milion ujetých mílí (Failures per Million Miles);
- *FPMH* - Poruchy na milion hodin provozu (Failures per Million Hours);
- *FPMC* - Poruchy na milion cyklů (Failures per Million Cycles).

U neopravovaných objektů se používá ukazatel Střední doba provozu do poruchy *MTTF* [5].

Obvykle je vhodné požadavky strukturovat do několika úrovní (pro různé typy poruch), např.:

- střední doba provozu mezi závažnými poruchami;
- střední doba provozu mezi kritickými poruchami;
- střední doba provozu mezi poruchami ohrožujícími bezpečnost.

4.2 Požadavky na udržovatelnost

Udržovatelnost je zde, v souladu s platnou definicí [5], chápána jako schopnost výrobku v daných podmínkách používání a údržby být udržen ve stavu nebo být navrácen do stavu, kdy funguje tak, jak je požadováno.

Mají-li být požadavky na udržovatelnost objektu úplné, je třeba, aby zahrnovaly následující ukazatele a požadavky:

- kvantitativní ukazatele udržovatelnosti;
- kvalitativní ukazatele udržovatelnosti;
- požadavky na testovatelnost.

Tyto požadavky dále musí být doplněny informacemi upřesňujícími, za jakých podmínek mají být tyto požadavky splněny. K tomu je třeba zejména uvést:

- podmínky za jakých bude údržba realizována;
- kvalifikaci a odpovědnost osob pověřených provozováním a udržováním objektu;
- politiku údržby, která se má uplatňovat, a přidružené postupy a opatření zajištění údržby.

Kvalitativní požadavky na udržovatelnost obvykle úzce souvisí s přijatou politikou údržby a zpravidla specifikují požadavky na objekt takovým způsobem, aby jeho udržovatelnost co možná nejlépe korespondovala s touto politikou údržby. Kvalitativní požadavky na udržovatelnost se zpravidla týkají buď konstrukčního provedení objektu, nebo způsobu provádění jeho údržby. Dále jsou uvedeny příklady takových požadavků:

- systém musí být vybaven vestavěným diagnostickým systémem;
- vyměnitelné části objektu musí mít modulové provedení;
- objekt musí umožňovat ohodnocení technického stavu bez provedení demontáže;
- demontáž vyměnitelných částí objektu musí být proveditelná bez speciálního nářadí a pomůcek;
- všechna kontrolní a seřizovací místa objektu musí být snadno přístupná a barevně označena;
- konstrukce objektu musí umožňovat vizuální kontrolu technického stavu hlavních částí.
- údržba prvního a druhého stupně musí být proveditelná na místě použití objektu silami obsluhy apod.

Kvantitativní požadavky se zpravidla vztahují k časovému úseku, po který objekt není vzhledem k provádění údržby, provozuschopný. Tuto dobu souhrnně charakterizuje střední doba aktivní údržby [5]. Její specifikování však zpravidla nepostačuje, protože neumožňuje vyjádření odlišné priority u různých objektů.

Z tohoto důvodu se pro specifikaci udržovatelnosti také používá celá řada dalších ukazatelů, které jsou založeny na sledování různých dob při provádění údržby. Například:

- střední doby do obnovy (*MTTR* – Mean Time to Restoration)
- střední doby opravy (*MRT* – Mean Repair Time)
- střední doby preventivní údržby;
- střední doby různých zpoždění apod.

Mimo tyto ukazatele je možné při specifikaci požadavků na udržovatelnost také využít i jiné ukazatele, charakterizující udržovatelnost objektu. Specifikovány například mohou být požadavky na:

- pracnost údržby;

- počet pracovníků údržby;
- počet stupňů údržby, na jejich intervaly apod.

V oblasti drážních aplikací se velmi často při specifikaci požadavků na udržovatelnost používá již zmiňovaný ukazatel „Střední doba do obnovy“ [5], který vyjadřuje očekávanou dobu do obnovy, tedy dobu od vzniku poruchy až do okamžiku navrácení výrobku zpět do použitelného stavu. Aktivní údržbářské práce k odstranění poruchy však probíhají jen jistou část této doby. Obecně do doby do obnovy zahrnujeme [5]:

- dobu detekce poruchového stavu,
- administrativní zpoždění,
- dobu údržby po poruše, která se dále dělí na:
 - dobu aktivní opravy,
 - logistické zpoždění,
 - technické zpoždění.

Většina z uvedených dob necharakterizuje inherentní vlastnosti výrobku, ale spíše zabezpečení jeho údržby, proto jeho používání pro specifikaci požadavků na udržovatelnost není příliš šťastné. Mnohem vhodnější je použití ukazatele „Střední doba opravy“, který to, jak rychle lze daný výrobek opravit, charakterizuje mnohem lépe.

4.3 Požadavky na pohotovost

Pohotovost je zde, v souladu s platnou definicí [5], chápána jako schopnost výrobku v daných podmínkách používání a údržby být udržen ve stavu nebo být navrácen do stavu, kdy funguje tak, jak je požadováno.

V technické praxi máme mnoho objektů (jako jsou složité drážní systémy), kde je nezbytné společně vnímat problematiku zálohování a udržovatelnosti. To znamená posuzovat možnosti, že určité poruchové stavy by mohly existovat, aniž by tím byla ovlivněna schopnost objektu plnit požadované funkce. U takových produktů bývá dobré, namísto zmiňování samostatných požadavků na bezporuchovost a udržovatelnost, specifikovat rovněž požadavky na pohotovost. Zpravidla jsou využívány požadavky na pohotovost ustálenou.

Specifikování kvalitativních požadavků na pohotovost je výjimečné a provádí se pouze tehdy, pokud kvantitativní požadavky na pohotovost objektu nejsou specifikovány s dostatečnou přesností. Může se jednat například o formulaci doby nepoužitelného stavu, která může být za určitých podmínek provozu kritičtější. Při stanovení požadavků na pohotovost v kvantitativní podobě je vhodné vnímat dva druhy pohotovosti:

- pohotovost inherentní;
- pohotovost operační/provozní.

Pokud hovoříme o inherentní pohotovosti, vycházíme z předpokladu, že potřebné logistické zdroje (např. prostředky pro údržbu, kvalifikovaní pracovníci, náhradní díly, zkušební zařízení, prostory, diagnostické prostředky atd.) jsou v případě potřeby k dispozici okamžitě.

Pokud bychom předpokládali u posuzovaného objektu exponenciální rozložení doby pro bezporuchovost i udržovatelnost, pak je inherentní pohotovost objektu možné vyjádřit s využitím střední doby provozu mezi poruchami (*MTBF*) a střední doby do obnovy (*MTTR*). V tomto případě zanedbáváme negativní vlivy preventivní údržby, logistických, technických a administrativních zpoždění. Tento předpoklad je tedy jistou formou ideálního prostředí. V praxi je pro popis inherentní pohotovosti vyžíván tzv. součinitel (ustálené/asymptotické, limitní/stacionární) pohotovosti vyjádřený vztahem:

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

Inherentní pohotovost určitým způsobem charakterizuje míru inherentní (vložené/vkonstruované) pohotovosti (spolehlivosti). To vše za předpokladu, že není ovlivňována jinými vlivy než koncepcí a konstrukcí objektu. Naplnění požadavků na inherentní pohotovost je tedy nutné zabezpečit právě dosažením stanovení míry bezporuchovosti v kombinaci s konstrukcí objektu, která umožní snadnou opravitelnost objektu.

Operační pohotovost oproti tomu popisuje schopnost objektu být ve stavu schopném plnit požadované funkce v daných podmínkách, v daném časovém okamžiku nebo v daném časovém intervalu, a to ve skutečném provozním prostředí. V této situaci tedy bereme do úvahy vliv údržby po poruše spolu s uvážením všech druhů různých zpoždění. Operační pohotovost lze vyjádřit následujícím vztahem:

$$A_o = \frac{MUT}{MUT + MDT}$$

Kde: *MUT* - střední doba použitelného stavu (Mean up Time);

MDT - střední doba nepoužitelného stavu (Mean down Time).

Provozní/operační pohotovost tedy popisuje nejen úroveň inherentní pohotovosti (spolehlivosti) posuzovaného objektu, ale je také modifikována použitým managementem a politikou údržby, resp. úrovní její podpory/zajištění. Pokud je požadavek na provozní/operační pohotovost specifikován, je nutné vyšetřovat možnosti jeho naplnění jak u objektu samotného, tak rovněž volbou vhodného managementu/politiky údržby a návrhu podpory/zabezpečení údržby.

Pokud je to vhodné lze specifikovat požadavky na operační pohotovost takovým způsobem, že do doby nepoužitelného stavu se zahrnou i všechny doby související s prováděním preventivní (plánované údržby).

Při specifikaci kvantitativních požadavků na pohotovost je vždy nezbytné, jasně vymežit, které doby budou zahrnovány do doby nepoužitelného stavu.

Závěr

Specifikace požadavků na spolehlivost představuje rozhodující činnost, která zásadním způsobem ovlivňuje konečnou úroveň spolehlivosti výrobku. Vyžaduje úzkou spolupráci kvalifikovaných odborníků – specialistů v daném oboru, ekonomů a spolehlivostních inženýrů, kteří by měli usilovat o to, aby zadané požadavky byly jasně a jednoznačně zformulovány, ale současně vytvářely podmínky pro dialog mezi odběratelem a dodatelem umožňující případnou optimalizaci požadavků. Odběratel, který požadavky na spolehlivost zpravidla formuluje, totiž z podstaty věci nikdy nemůže mít tak hluboké znalosti výrobku a jeho možností, jako má jeho výrobce.

Poděkování

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

Použité zdroje

- [1] ČOS 051667. Instrukce pro vyvážení požadavků na spolehlivost, Praha: Úřad pro obrannou standardizaci, katalogizaci a státní ověřování jakosti, 2016.
- [2] ČSN EN 50126. Drážní zařízení – Stanovení a prokázání bezporuchovosti, pohotovosti, udržovatelnosti a bezpečnosti (RAMS). Praha: ČNI, 2001.
- [3] 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.
- [4] ČSN EN 60300-3-4. *Management spolehlivosti – Část 3-4: Pokyn k použití – Návod ke specifikaci požadavků na spolehlivost*. Praha: ČNI, 2008.
- [5] ČSN IEC 60050-192. *Mezinárodní elektrotechnický slovník – Část 192: Spolehlivost*. Praha: ÚNMZ, 2016.
- [6] EN 50126. *Railway applications – The specification and demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS)*. Brussels: CENELEC, 1999.
- [7] HOLUB, R. a Z. VINTR. *Základy spolehlivosti*. Brno: Vojenská akademie, 2002.
- [8] VALIŠ, D., Z. VINTR a R. HOLUB. Specifikace požadavků na spolehlivost. In *Specifikace, alokace, a optimalizace požadavků na spolehlivost*. Praha: Česká společnost pro jakost, 2012, s. 18–26. ISBN 978-80-02-02394-4.
- [9] VINTR, M. Analýza požadavků na spolehlivost. In *Specifikace, alokace, a optimalizace požadavků na spolehlivost*. Praha: Česká společnost pro jakost, 2012, s. 18–26. ISBN 978-80-02-02394-4.
- [10] VINTR, Z. 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.
- [11] VINTR, Z., D. VALIŠ a M. VINTR. *Základy spolehlivosti technických systémů*. Brno: Univerzita obrany v Brně, 2020. ISBN 978-80-7582-303-8.

Analýza požadavků na RAMS prakticky

Ing. Michal VINTR, Ph.D.

Nezávislý expert na spolehlivost, bezpečnost a RAMS/LCC

mvintr@mvintr.cz – www.mvintr.cz

1 Úvod

Cílem článku je poukázat na praktická hlediska analýzy požadavků na RAMS v železničním průmyslu a zejména uvést praktické příklady požadavků. Autor článku vychází ze svých dosavadních zkušeností s analýzou požadavků na RAMS prováděnou pro nejrůznější dodavatele v oblasti železničního průmyslu.

V článku je stručně popsána analýza požadavků na RAMS, jsou uvedeny časté nedostatky a zvláštnosti vyskytující se v požadavcích, a především je uvedeno množství příkladů zejména nesprávné praxe s vysvětlujícím komentářem autora článku.

Důležitost požadavků na RAMS dokládá, mimo jiné, úvod normy ČSN EN 50126-1 [12], kde je zmíněno: „Procesy specifikace a prokázání požadavků RAMS jsou základními kameny této normy“.

Přestože požadavky na RAMS mají zásadní roli při zabezpečování RAMS, byl požadavkům na spolehlivost a bezpečnost (nebo RAMS) dosud věnován jediný seminář Odborného centra Spolehlivost (OCS) (dříve Odborné skupiny pro spolehlivost), který proběhl v roce 2012:

- 47. seminář: Specifikace, alokace a optimalizace požadavků na spolehlivost.

Autor tohoto článku na uvedeném semináři prezentoval příspěvek:

- Analýza požadavků na spolehlivost [7].

V něm definoval postup provádění analýzy požadavků na spolehlivost a poukázal na časté nedostatky a záludnosti, kterým je třeba při analýze věnovat pozornost.

Tématem požadavků v železničním průmyslu (požadavků na RAMS) se také zabývalo několik jednotlivých příspěvků na seminářích OCS:

- Specifikace zákazníka a požadavky na bezpečnost drážního zařízení [4] (77. seminář);
- RAMS/LCC v dodavatelsko-odběratelských vztazích [2] (74. seminář);
- Požadavky standardů na RAMS [7] (71. seminář);
- Aktuální požadavky zákazníků v oblasti RAMS/LCC a jejich plnění [3] (56. seminář).

2 Zkratky

V článku (zejména v příkladech) jsou častou používány zkratky (občas neobvyklé), proto je dále uveden jejich význam.

AMSAA Army Materiel Systems Analysis Activity

CbC Clause-by-Clause

CSM Common Safety Method

CSM-RA	Common Safety Method on Risk Evaluation and Assessment
FMEA	Failure Modes and Effects Analysis
FMECA	Failure Modes, Effects and Criticality Analysis
FPMK	Failures per Million Kilometres
FRACAS	Failure Reporting, Analysis and Corrective Action System
FTA	Fault Tree Analysis
ICo	Interventions Correctives
LCC	Life Cycle Costs
LRU	Line Replaceable Unit
MKBSF	Mean Kilometres between Service Failures
MRT	Mean Repair Time
MTBF	Mean Time between Failures
MTBSAF	Mean Time Between Service Affecting Failures
MTBSF	Mean Time Between Service Failures
MTTR	Mean Time to Restoration
NA, N/A	Not Applicable
OCS	Odborné centrum Spolehlivost
PHA	Preliminary Hazard Analysis
RAMS	Reliability, Availability, Maintainability and Safety
RCM	Reliability Centered Maintenance
SIL	Safety Integrity Level
TBD	To be Determined

3 Požadavky na RAMS

Požadavek je dle norem [10] a [14] definován jako „potřeba nebo očekávání, které jsou stanoveny, obvykle se předpokládají nebo jsou závazné“. Přičemž specifikovaný požadavek je požadavek, který je stanoven (například v dokumentu).

Specifikace je dle normy [14] definována jako „dokument uvádějící požadavky“.

Požadavky na RAMS se dají obecně rozdělit do tří kategorií:

- Požadavky legislativních předpisů – zejména směrnic Evropského parlamentu a Rady (např. *Směrnice 2016/798 – „Bezpečnost železnic“*) a nařízení a rozhodnutí Komise EU (např. *Prováděcí nařízení č. 2015/1136 – „Společná bezpečnostní metoda – CSM“*).
- Požadavky standardů (zejména ISO/TS 22163, EN 50126-1 a EN 50126-2).
- Požadavky zákazníků (např. dodavatele komponenty; dodavatele kolejového vozidla nebo pevného trakčního zařízení nebo zabezpečovacího zařízení; provozovatele drážní aplikace).

Tento článek je dále zaměřen výhradně na požadavky zákazníků. Zájemci o problematiku požadavků legislativních a požadavků standardů mohou nahlédnout do článků z dřívějších seminářů OCS [7] a [9].

Požadavky na RAMS lze rozdělit na:

- Požadavky obecné se vztahem k RAMS – nestanovují přímo požadavky na RAMS, ale úzce souvisí s RAMS (např. provozní podmínky a kategorizace poruch).
- Požadavky na zabezpečování RAMS – např. požadavky na plán RAMS, požadavky na systém managementu, požadavky na dokumentaci, požadavky na analýzy a výpočty.
- Požadavky na RAMS produktu – kvalitativní a kvantitativní.

V oblasti železničního průmyslu se lze nejčastěji setkat s následujícími formami požadavků na RAMS:

- Požadavky na RAMS jsou nedílnou součástí specifikace produktu – jako kapitola.
- Požadavky na RAMS jsou obsaženy v samostatné specifikaci RAMS produktu – jako samostatný dokument nebo jako příloha specifikace produktu.
- Požadavky na RAMS jsou obsaženy ve více samostatných dokumentech – např. jako generická specifikace RAMS (platná pro všechny produkty a dodavatele) a specifikace RAMS konkrétního produktu.

Ve specifikacích se také často objevuje rozdělování požadavků na RAMS na separátní požadavky na RAM (spolehlivost) a požadavky na S (bezpečnost). Případně se objevuje rozdělování po jednotlivých „vlastnostech“ – R, A, M, S.

4 Postup analýzy požadavků na RAMS

Autor článku používá pojem „analýza požadavků“, přičemž vychází z definice pojmu „analýza“ („rozbor, zejm. jako všeobecná metoda zkoumání jednotlivých složek a vlastností něj. předmětu, jevu, činnosti“ [15]).

V jiných zdrojích [2], [3], [12] se lze setkat odlišnými pojmy, např. identifikace, posouzení a přezkoumání. V železničním průmyslu se analýza požadavků často skrývá pod zkratkou CbC.

V normě ČSN EN 50126-1 [12] není pojem „analýza požadavků“ přímo uveden. V souvislosti s analýzou požadavků na RAMS norma na jednom místě (v tabulce A.1) uvádí pojem „vyhodnocení požadavků RAMS“, avšak bez bližšího vysvětlení.

Na obrázku 7 a v kapitole 6.2 normy ČSN EN 50126-1 [12] je zmíněno „řízení požadavků“, které však analýzu požadavků výslovně nezahrnuje. Norma v souvislosti s požadavky na RAMS nejčastěji uvádí verifikaci a validaci požadavků, které mají odlišné cíle než analýza požadavků.

V kapitole 7.2.2 (činnosti v etapě 1: koncept) normy ČSN EN 50126-1 [12] je uvedeno: „V kontextu RAMS by měly být analyzovány následující aspekty: ... c) počáteční požadavky RAM ...“.

V posledním odstavci kapitoly 7.3.2.1 (obecné činnosti v etapě 2: definice systému a provozní souvislosti) normy ČSN EN 50126-1 [12] je uvedeno: „Měl by být stanoven proces průběžného zvažování otázek bezpečnosti a ... To zahrnuje přezkoumání přiměřenosti požadavků na bezpečnost ...“.

Více konkrétních zmínek o analýze, posuzování, či přezkoumání požadavků na RAMS norma ČSN EN 50126-1 [12] neuvádí.

V odborné literatuře [1], případně standardech [12] lze dohledat, že požadavky na RAMS (resp. spolehlivost a bezpečnost) by měly splňovat určitá kritéria. Zejména by měly být:

- úplné;
- jednoznačné;
- nerozporné;
- posuzovatelné;
- sledovatelné.

Analýza požadavků zákazníka na RAMS spočívá zejména v posouzení toho, zda:

- požadavky splňují výše uvedená kritéria;
- je dodavatel schopen požadavky splnit;
- jsou pro dodavatele akceptovatelné.

Skutečnost, že dodavatel je schopen požadavky splnit, ještě nemusí nutně znamenat, že je ochoten je splnit (že jsou pro něj akceptovatelné).

Postup analýzy požadavků na RAMS není standardizován a je nutné ho vždy volit v závislosti na konkrétní situaci. Autor článku považuje za vhodné, v rámci analýzy požadavků na RAMS, realizovat následující základní kroky:

- analyzovat dokumentaci s požadavky (specifikace) – analyzovat dokumenty, které obsahují požadavky na RAMS a dokumenty související;
- analyzovat obecné požadavky se vztahem k RAMS;
- analyzovat požadavky na zabezpečování RAMS;
- analyzovat požadavky na RAMS produktu;
- rozhodnout, zda jsou požadavky (jednotlivě nebo jako celek) akceptovatelné.

Výsledkem analýzy požadavků na RAMS má být vyjádření dodavatele k jednotlivým požadavkům, případně k požadavkům jako celku. Vyjádření se mohou pohybovat od zcela kladných (požadavek je akceptován) až po zcela záporné (požadavek není akceptován). Pokud je možná diskuse se zákazníkem, je vhodné zdůvodnit neakceptování požadavku. To může, v některých případech, vést až ke změně nebo úplnému zrušení daného požadavku.

Další podrobnosti k postupu analýzy požadavků na RAMS lze nalézt v [7].

Také vzhledem k neexistenci standardizovaných postupů analýzy požadavků na RAMS, každá společnost používá svoje interní postupy při analýze požadavků (viz např. [2] a [3]).

5 Časté nedostatky a zvláštnosti požadavků na RAMS

Autor článku se během své praxe setkal se specifikacemi na stovky produktů (projektů), nejčastěji od dodavatelů a provozovatelů kolejových vozidel a méně často od dodavatelů a provozovatelů pevných trakčních zařízení a zabezpečovacích zařízení. Většina specifikací byla prostá zásadních nedostatků a zvláštních požadavků, avšak některé nedostatky a zvláštnosti utkvěly v paměti.

V následujících podkapitolách autor článku upozorňuje na zvláštnosti a nedostatky (a občas i záludnosti), které se často vyskytují ve specifikacích RAMS. Za zvláštní požadavky autor považuje takové, jejichž splnění může být problematické.

Nedostatkům a zejména zvláštnostem je třeba věnovat náležitou pozornost při analýze požadavků na RAMS. Veškeré nedostatky a zvláštnosti je nezbytné vyjasnit mezi dodavatelem a zákazníkem ještě před uzavřením smlouvy.

5.1 Dokumentace s požadavky (specifikace)

Nedostatky dokumentace s požadavky (nedostatky specifikací):

- požadavky se odkazují na neexistující dokumenty, kapitoly a přílohy dokumentů;
- dokumenty se vztahují k jinému produktu (projektu);
- dokumenty nebo jejich části jsou v „jiných“ jazycích;
- dokumenty jsou zjevně neodborně přeloženy.

5.2 Požadavky obecné se vztahem k RAMS

Nedostatky (a záludnosti) požadavků obecných se vztahem k RAMS:

- některé informace a dokumenty zcela chybí;
- je požadováno použití standardů, které nejsou běžně k dispozici (např. interní firemní standardy) nebo nejsou k dispozici ve „správném“ jazyce (např. národní standardy);
- je požadováno použití již neplatných (předchozích nebo zrušených verzí) standardů, případně databází (zejména databází bezporuchovosti);
- profil životního cyklu je zadán nejednoznačně a umožňuje více interpretací;
- není zřejmé, zda se požadavky týkají jednoho nebo více produktů (pokud se produkt v systému vyskytuje více než jedenkrát);
- kategorizace poruch je nejednoznačná a umožňuje různou interpretaci;
- kategorizace poruch je vztažena k celému systému a nelze ji aplikovat na daný produkt (nelze jednoznačně rozhodnout o důsledcích poruch produktu pro celý systém).

Zvláštní obecné požadavky se vztahem k RAMS:

- je požadováno zpracování analýz a dokumentace RAMS pro více různých profilů životního cyklu;
- je požadováno použití odlišných kategorizací poruch pro analýzy RAM a analýzy bezpečnosti.

5.3 Požadavky na zabezpečování RAMS

Nedostatky (a záludnosti) požadavků na zabezpečování RAMS:

- je požadováno zjevně nesmyslné pořadí realizace jednotlivých činností a překládání dokumentů v rámci zabezpečování RAMS;
- je požadováno provedení ověřování RAMS pomocí nestandardních, resp. neobjektivních postupů (ať již z neznalosti nebo záměrně).

Zvláštní požadavky na zabezpečování RAMS:

- je (neodůvodněně) požadováno dodání množství dokumentů již ve fázi nabídkového řízení;
- je požadováno odevzdání dokumentů v nestandardních formátech nebo zpracování dokumentů s využitím specializovaných softwarových produktů;
- je požadováno integrovat management RAMS do systému managementu organizace;
- je požadováno přijetí politiky bezpečnosti;
- je požadováno prokázat (demonstrovat) udržitelnost produktu u zákazníka;
- je požadováno realizovat a prokázat růst úrovně bezporuchovosti v průběhu návrhu a vývoje produktu;
- je požadována výrazná spolupráce nebo spolufinancování při ověřování RAMS v provozu;
- jsou definovány sankce za nesplnění požadavků, které jsou za hranicí „dobrých mravů“ (ať již nechtěně nebo záměrně);
- je požadováno zapojení do systému hlášení poruch, jejich analýzy a nápravných opatření (FRACAS).

5.4 Požadavky na RAMS produktu

Nedostatky (a záludnosti) požadavků na RAMS produktu:

- je definován požadavek na dosažení vysoké úrovně bezporuchovosti (bez uvedení dalších podrobností);
- je definován požadavek na razantní snížení časů na údržbu oproti současné praxi (bez uvedení dalších podrobností);
- je definován požadavek na minimalizaci nákladů na údržbu (bez uvedení dalších podrobností);
- není definováno k jakým provozním podmínkám, podmínkám prostředí a profilu životního cyklu (úkolů, mise) se požadavky vztahují;
- jsou používány nestandardní (ne-li neznámé) ukazatele RAMS;
- požadavky umožňují různou interpretaci („přeurčení“ požadavků);
- definovaný režim údržby nerespektuje profil životního cyklu a charakter produktu;
- zadané požadavky na pohotovost (*A*) nejsou konzistentní s požadavky na bezporuchovost (*MTBF*) a/nebo udržitelnost (*MTTR*).

Zvláštní požadavky na RAMS produktu:

- jsou definovány požadavky týkající se poruch a jejich důsledků (např. „žádná jednotlivá porucha nesmí mít katastrofické důsledky“);
- pro analýzy a výpočty je požadováno použití výhradně dat získaných z provozu stejných nebo obdobných produktů;
- jsou zadány požadavky obtížně splnitelné nebo nesplnitelné (ať již nechtěně nebo záměrně);

- jsou zadány výrazně odlišné požadavky na totožné produkty, které budou použity jen v mírně odlišných podmínkách;
- požadavek na „bezúdržbovost“ produktu po celou dobu životního cyklu;
- požadavek, aby byl produkt bezpečný při poruše („fail-safe“);
- požadavek na dodání kompletní dokumentace (výkresů apod.) ke každému náhradnímu dílu.

5.5 Možné příčiny nedostatků a zvláštností

Vytvoření požadavků bez nedostatků není jednoduchý úkol. Náročnost udržení jednotnosti požadavků (a vyvarování se nedostatků) narůstá s jejich složitostí a množstvím.

Výskyt nedostatků a zvláštností v požadavcích bývá, dle zkušeností autora článku, způsoben nejčastěji:

- neexistencí nebo nejednotností postupů pro tvorbu požadavků uvnitř organizace;
- kopírováním požadavků z „podobných“ produktů (obvykle složitějších);
- kopírováním požadavků z „podobných“ projektů;
- kopírováním požadavků od konkurence;
- ignorováním vývoje a změn v oboru (nové normy, ...);
- nekompetencí tvůrce požadavků.

Mezi primární příčiny výskytu nedostatků a zvláštností v požadavcích na RAMS autor článku řadí:

- nedostatečné znalosti a zkušenosti tvůrce požadavků v oblasti RAMS a tvorby požadavků;
- nedostatek času na tvorbu požadavků;
- lenost tvůrce požadavků;
- úmysl na straně tvůrce požadavků (případně jeho nadřízených).

6 Příklady (ne)správné praxe

V této kapitole autor článku uvádí příklady požadavků, se kterými se v praxi setkává opakovaně, případně jsou pro autora článku něčím zajímavé. Mnoho z dále uvedených příkladů popisuje požadavky nesprávné nebo zvláštní. Nicméně faktem je, že většina specifikací, se kterými se autor článku během své praxe setkal, byla prostá zásadních nedostatků a zvláštních požadavků.

6.1 Přenášení požadavků

Příklad 1:

Popis: Přenášení veškerých požadavků provozovatele drážní aplikace na dodavatele komponent (bez alokace na úrovni dodavatele kolejového vozidla). Případně je požadován souhlas se zadávací dokumentací provozovatele (obvykle stovky stran dokumentace) ze strany dodavatele komponent.

Komentář: Přenášení požadavků je pouhým alibismem nebo leností zákazníka. Správně má být provedena alokace požadavků a na dodavatele komponenty mají být přeneseny jen relevantní požadavky nebo mají vzniknout relevantní nové.

Příklad 2:

Popis: Přenášení požadavků legislativních předpisů na dodavatele komponent (bez alokace na úrovni dodavatele kolejového vozidla).

Příklad: Riziko: Neodpadnutí kontaktů kontroléru brzdy při požadavku brzdění. Předepsaný postup posouzení přijatelnosti rizik: dle Nařízení komise (ES) č. 352/2009, přílohy I, kapitoly 2.1.4.

Komentář: Požadovat po dodavateli komponent plnění požadavků CSM-RA (zmíněné nařízení) je možné, avšak leccos to vypovídá o zadavateli požadavku (alibismus, lenost, ...). Správně má být provedena alokace požadavků a na dodavatele komponenty mají být přeneseny jen relevantní požadavky nebo mají vzniknout relevantní nové (s odkazy na dokumenty relevantní pro dodavatele komponent – s odkazy na normy).

6.2 Odkazování na EN 50126-1

Příklad 3:

Popis: Ve specifikaci je požadována realizace všech činností dle EN 50126-1 (bez uvedení dalších podrobností).

Příklad: The Equipment supplier shall carry out all the RAMS activities described in the latest version of EN50126-1 and EN50126-2.

Komentář: Uvedený požadavek je nesplnitelný, navíc jeho splnění nedává smysl. Současně je požadavek proti smyslu normy EN 50126-1, která umožňuje přizpůsobení danému produktu.

Příklad 4:

Popis: Ve specifikaci je požadováno splnění požadavků EN 50126-1 (bez uvedení dalších podrobností).

Příklad: The sub-contractor shall comply with the guidelines of RAMS standard EN 50126 (or equivalent International standard IEC).

Komentář: Uvedený požadavek je značně vágní. Norma EN 50126-1 uvádí množství povinných požadavků, ale současně umožňuje přizpůsobení tam, kde je to opodstatněné. Problematická je zejména skutečnost, že neexistují pravidla pro prokazování splnění požadavků dané normy (na rozdíl např. od normy ISO 9001).

Příklad 5:

Popis: Požadavek na dodání analýzy RAMS dle EN 50126-1 (bez uvedení dalších podrobností).

Příklad: Supplier shall deliver RAMS analysis according to EN 50126.

Komentář: Norma EN 50126-1 nedefinuje analýzu RAMS. Analýzou RAMS může být prostá predikce MTBF anebo také rozsáhlý soubor analýz PHA, FMEA, FTA atd. Bez uvedení podrobností hrozí, že každá ze stran (dodavatel a zákazník) bude za analýzu RAMS považovat něco jiného.

6.3 Ignorování platných standardů

Příklad 6:

Popis: Ve specifikaci je zaměřováno MTTR (střední doba do obnovy) a MRT (střední doba opravy). Je ignorována normativní podstata uvedených ukazatelů udržovatelnosti.

Komentář: Podrobnosti o rozdílnosti těchto ukazatelů lze nalézt v normě [10] nebo v příspěvku na dřívějším semináři OCS [6].

Příklad 7:

Popis: Ve specifikaci jsou definovány neznámé (nenormativní) ukazatele RAMS. Případně jsou definovány vlastní výpočtové vztahy ukazatelů RAMS odlišné od normativních.

Příklad: Corrective Intervention Thresholds (ICo). Explanation of calculation: The ICo is the ratio between the number of Corrective Interventions performed on a type of LRU in a rolling one-year period and the number of units of works found for that LRU during the same period.

Komentář: V případě uvedených požadavků je třeba maximální ostražitost. Jaký má smysl ignorování norem a nové vynalézání kola ze strany zákazníka? Neznalost? Úmysl poškodit protistranu?

6.4 Zákazník nechce nebo neví

Příklad 8:

Popis: Zákazník nemá požadavky v oblasti RAMS ve fázi nabídkového řízení. Požadavky se začínají „objevovat“ v průběhu projektu.

Příklad I: RAMS – Not Applicable.

Příklad II: The final scope of the RAMS requirements will be determined at a later stage of the project.

Komentář: Nebezpečná situace. Pokud zákazník (nyní) nemá požadavky, je třeba být obezřetný. Ideální prevencí je včas „vnutit“ zákazníkovi vlastní minimum toho, co v oblasti RAMS bude realizováno a jaká dokumentace bude dodána (podnikové minimum realizovaného pro každý projekt). Prakticky lze vyřešit dodáním plánu RAMS, který bude zákazníkem schválen.

Příklad 9:

Popis: Ve specifikaci je po dodavateli požadováno nabídnout hodnoty ukazatelů RAMS.

Příklad: All failures leading to Continuous brake order. The failure rate associated to this failure mode is less than x/km (or y MTBF) [x and y given by the supplier according to its design].

Komentář: Obtížná situace. Na jedné straně může signalizovat bezradnost (nebo lenost) zákazníka při alokaci požadavků. Na straně druhé mohou být nabídnuté hodnoty kritériem výběru dodavatele (tendence nabídnout lepší hodnoty). Na další straně mohou být hodnoty zasmluvněny a být předmětem sankcí (tendence nabídnout horší hodnoty). Pokud má dodavatel zkušenosti (z provozu nebo analýz) podobného produktu, je nabídnutí hodnot relativně snadné. Pokud však tyto zkušenosti nemá, je situace náročnější, ale řešitelná předběžnými analýzami, případně kvalifikovanými odhady.

Příklad 10:

Popis: Ve specifikaci jsou uvedeny požadované ukazatele RAMS s hodnotami „TBD“.

Příklad:

Failure class	Battery set	unit
A	N/A	FPMK
B	N/A	FPMK
C	N/A	FPMK
D	N/A	FPMK
E	TBD	FPMK
Total Failure Rate	TBD	FPMK

Komentář: Nebezpečná situace. Cokoliv je ve specifikaci „TBD“ nemůže být akceptováno, dokud není přesně definováno. „TBD“ vyžaduje zvýšenou pozornost při vzniku dalších verzí specifikace.

6.5 Ztráta jednotnosti

Příklad 11:

Popis: Na více místech specifikace jsou uváděny duplicitní a nejednotné požadavky (případně požadavky umožňující různou interpretaci).

Příklad: MTBSAF (Mean Time Between Service Affecting Failures) shall greater than 10.000 hours. / The minimum Service Reliability MTBSF (Mean Time Between Service Failures) for will be 122.490.000 hours.

Komentář: Nejednotné požadavky mohou být předmětem sporu v budoucnu, kdy každá ze stran (dodavatel a zákazník) bude prosazovat pro ni výhodnější požadavek.

Příklad 12:

Popis: Na více místech specifikace je „totéž“ popisováno různými způsoby.

Komentář: Uvedené může být předmětem sporu v budoucnu, kdy každá ze stran (dodavatel a zákazník) bude „totéž“ chápat odlišně.

6.6 Analýzy a dokumentace RAMS

Příklad 13:

Popis: Ve specifikaci je (neodůvodněně) požadováno dodat analýzy a dokumentaci RAMS již ve fázi nabídkového řízení.

Komentář: Požadování analýz a dokumentace RAMS ve fázi nabídkového řízení je oprávněný požadavek, který však má svoje hranice. Požadavek na dodání analýzy LCC (zákazníka zajímá kolik ho bude stát vlastnictví produktu) a předběžné analýzy nebezpečí (zákazníka zajímá, zda produkt bude bezpečný, případně čím bude nebezpečný) je naprosto v pořádku. Avšak požadovat ve fázi nabídkového řízení (kdy často existuje jen rámcová představa o konstrukci produktu) analýzu FMEA a navazující analýzy postrádá smysl.

Příklad 14:

Popis: Ve specifikaci je požadováno dodat analýzy RAMS, které nedávají smysl u daného produktu. Případně současně není požadováno dodat analýzy RAMS, které smysl dávají.

Příklad I: U vysokonapětového odpojovače používaného jen při údržbě je požadováno zpracovat analýzy bezporuchovosti a určit pravděpodobnost poruch ovlivňujících provoz.

Příklad II: U nouzového spřáhla je požadováno provést analýzu bezporuchovosti s výpočtem střední doby provozu mezi poruchami ovlivňujícími provoz.

Příklad III: U informačního systému (LED panelu) je požadováno provést analýzy bezpečnosti FMECA a FTA.

Příklad IV: U relativně jednoduchého a levného produktu, který nevyžaduje preventivní údržbu, je požadováno provést analýzu nákladů životního cyklu (LCC).

Komentář: Uvedené příklady jsou extrémní a zřejmé. Nicméně mnohdy nemusí být smysluplnost patrná na úrovni dodavatele, ale pro zákazníka analýzy smysl mají.

Příklad 15:

Popis: Ve specifikaci je požadováno zpracovat FTA ve značně neobvyklém a nedostupném software.

Příklad I: FTA analyses are to be submitted in the Isograph format.

Příklad II: For FTA software, “Reliability Workbench” shall be used. If alternative tools will be used it shall be compatible with “Reliability Workbench”.

Příklad III: Fault Trees Analysis will have to be realized with the software ARALIA FAULT TREE ANALYSER.

Komentář: Požadovat zpracování FTA v přesně určeném software od některého z renomovaných producentů (např. Isograph nebo ReliaSoft) je oprávněné, avšak na straně dodavatele může být problematické (z důvodu vysokých pořizovacích nákladů na software a nutnosti zaučení). Požadovat zpracování FTA v neobvyklém a nedostupném software (ARALIA) je přinejmenším zvláštní.

6.7 Prokazování RAMS

Příklad 16:

Popis: Podmínky prokázání splnění požadavků na RAMS (a případných sankcí za nesplnění) v provozu jsou definovány vágně nebo neúplně.

Komentář: Vágní nebo neúplné definování podmínek může vést v závažným sporům ve chvíli, kdy dojde na sběr a vyhodnocování dat v provozu. Existující normy poskytují dostatečnou oporu při definování podmínek sběru a vyhodnocování dat.

Příklad 17:

Popis: Je požadováno prokázání splnění požadavku na MTBF v provozu za tak krátkou dobu, že prokázání není možné.

Příklad I: MTBF \geq 10 000 000 hour. The reliability target evaluation during the warranty period the operational MTBF will be carry out on 12 rolling up months.

Příklad II: MTBF \geq 500 000 hour. Number of products on train: 1. Number of trains in fleet: 17. Reliability target (MTBF) will be demonstrated every month from train start to operation till the end of train warranty period (24 months).

Komentář: Pokud by produkt byl v provozu v režimu 24/7, za jeden rok realizuje 8760 hodin provozu. Pokud má být prokázáno splnění MTBF, je nezbytné, aby kumulativní doba provozu byla minimálně rovna hodnotě MTBF (za předpokladu, že dojde jedné poruše během sledovaného období a vyhodnocení bude provedeno bodový odhadem MTBF). V příkladu I by pro realizování dané kumulativní doby (10 mil. hod.) za 12 měsíců muselo být v provozu 1142 produktů. V příkladu II bude realizována kumulativní doba provozu jen 297 840 hodin. Při vyhodnocení MTBF intervalovým odhadem (chí-kvadrát rozdělení), musí být kumulativní doba provozu výrazně vyšší než požadované MTBF.

6.8 Funkční bezpečnost

Příklad 18:

Popis: Ve specifikaci jsou definovány nepřiměřené požadavky na SIL.

Příklad: Požadavek na nápravovou převodovku:

System / Component	Index
Target for the scope of supply SIL	SIL = 4

Komentář: Definování nepřiměřených požadavků na SIL je, bohužel, čím dál častější jev. Mezi tyto požadavky patří definování SIL pro produkty, kde to není relevantní (např. mechanické systémy), a definování nepřiměřených úrovní SIL (SIL3 a SIL4), kde to není relevantní.

Příklad 19:

Popis: Ve specifikaci jsou definovány požadavky na SIL některých prvků (nakupovaných) dodávaného produktu.

Příklad: Zákazník požaduje prokázání úrovně SIL2 pro prvky, jimiž dochází k ověření živosti řídiče tramvaje. V případě řídicího kontroléru jde o spínač svislého pohybu páky.

Komentář: Řešením (relativně nákladným) uvedeného požadavku je nákup SIL2 certifikovaného prvku (pokud takový vůbec existuje). Pokud takový prvek neexistuje, jsou možnosti splnění požadavku na straně dodavatele značně omezené (pokud se nerozhodne prvek sám vyvinout a vyrobit v souladu s požadavky na SIL2).

6.9 Kanón na vrabce

Příklad 20:

Popis: Je požadováno realizovat a prokázat růst úrovně bezporuchovosti v průběhu návrhu a vývoje produktu (Duanovým modelem nebo metodou AMSAA).

Příklad I: Supplier shall provide information on Reliability growth by projection methods like Duane, or other reliability growth models.

Příklad II: The supplier shall follow an integrated reliability growth approach in developing the product (as outlined in IEC 61014).

Komentář: Obecně je požadavek oprávněný. Avšak základem je předpoklad, že během vývoje, výroby a provozu dochází ke zlepšování (růstu) bezporuchovosti. Růstu je dosahováno změnami (konstrukce, prvků, výrobních postupů, ...). Aby bylo možno hodnotit, zda dochází k růstu, musí probíhat hodnocení aktuální úrovně bezporuchovosti (zejména zkouškami prototypů a poté vyhodnocováním dat z provozu). Při obvyklých termínech pro dodavatele (od získání zakázky po dodávku prvního kusu) uvedené činnosti postrádají smysl nebo jsou přímo nerealizovatelné.

Příklad 21:

Popis: Ve specifikaci je požadováno použití principů RCM (údržby zaměřené na bezporuchovost) u produktu s velmi nenáročnou údržbou (ne-li bezúdržbového).

Příklad: Supplier shall demonstrate the effectiveness of the maintenance program by means of RCM analysis and will deliver their RCM report. This RCM analysis must be based in the FMECA.

Komentář: Obecně jsou principy RCM použitelné „kdekoliv“ a „kdykoliv“. Avšak vždy je třeba zvážit, zda jejich použití bude v daném případě přínosné, vzhledem k věnovanému úsilí.

6.10 To „nejlepší“ na konec

Příklad 22:

Popis: Během projektu dojde k „drobné“ změně ve specifikaci.

Příklad:

Před změnou:

Notwithstanding the above Risk Assessment matrix, the following acceptance criteria shall have precedence over the Matrix:

1. The probability of Category I hazards shall be shown to be less than 1.0×10^{-9} ;
2. The probability of category II hazards to be less than 5.0×10^{-7} ;
3. Category III hazards shall be resolved using standard fail-safe engineering practices;
4. No special safety measures are required for category IV hazards.

Po změně:

Notwithstanding the above Risk Assessment matrix, the following acceptance criteria shall have precedence over the Matrix:

1. The probability of Category I hazards, solely related to design shall be shown to be less than 1.0×10^{-9} ;
2. The probability of category II hazards, solely related to design shall be shown to be less than 1.0×10^{-9} ;
3. Category III hazards shall be resolved using standard fail-safe engineering practices;
4. No special safety measures are required for category IV hazards.

Komentář: I pouhá změna jednoho slova (v uvedeném příkladě jedné věty, viz odrážka 2) může mít zásadní důsledky. V uvedeném příkladě se jedná o zpřísnění povolené pravděpodobnosti o dva řády.

Příklad 23:

Popis: Ve specifikaci je požadováno, aby produkt nemohl způsobit určitý typ poruchy.

Příklad:

Equipment	Reliability Target (MKBSF train-km)
Master Controller	No Service Failure

Komentář: Uvedený požadavek je nesplnitelný. Prakticky nelze zajistit, aby žádná porucha kontroléru nezpůsobila ovlivnění provozu.

Příklad 24:

Popis: Ve specifikaci je ignorováno, že vznik poruch je náhodný (doba provozu mezi poruchami je náhodnou proměnnou).

Příklad I: The Sub-supplier should demonstrate achievement of Reliability Targets as follows: Service Failure Free Run of 30,000 Unit-km for each Unit. For the purposes of Service Failure Free Run, each time more than one such service failure occurs, it shall be deemed that the Unit has completed zero kilometers in operational service.

Příklad II: It will be considered to achieve the reliability target if there is no service failure within period of 12 months.

Komentář: Autor článku se, bohužel, s uvedeným typem požadavku setkal vícekrát. Vznik poruch je náhodný, resp. doba provozu mezi poruchami je náhodnou proměnnou. Jakékoliv pokusy vyjadřovat vznik poruch deterministicky buď pramení z absolutního nepochopení podstaty spolehlivosti nebo, což je možná horší, jsou činěny s úmyslem poškodit protistranu.

7 Závěr

Článek poukázal na praktická hlediska analýzy požadavků na RAMS v železničním průmyslu a zejména se zaměřil na praktické příklady (ne)správné praxe.

Přestože většina praktických příkladů v článku poukazuje na nesprávnou praxi, je faktem, že většina specifikací, se kterými se autor článku během své praxe setkal, byla prostá zásadních nedostatků a zvláštních požadavků.

Článek nemá primárně „jen“ poukazovat na „to špatné“, ale má tvůrcům požadavků pomoci vyvarovat se nedostatků a zvláštností a příjemcům požadavků být na ně připraven.

Autor článku si je plně vědom, že vytvoření požadavků na RAMS bez nedostatků a zvláštností není jednoduchý úkol, o čemž se opakovaně přesvědčil při tvorbě specifikací na produkty pro železniční průmysl i pro další oblasti.

Stejně tak není jednoduchý úkol zodpovědně provést analýzu požadavků na RAMS. Analýze požadavků na RAMS musí být věnována dostatečná pozornost a musí být prováděna znalou a zkušenou osobou, která má dostatek času a není líná. Pokud tomu tak nebude, hrozí, že bude akceptováno nesplnitelné, což může mít fatální důsledky.

Použité zdroje

- [1] HOLUB, Rudolf a Zdeněk VINTR. *Aplikované techniky spolehlivosti. Část 1. – Specifikace požadavků na spolehlivost*. Brno: Vojenská akademie v Brně, 2002.
- [2] KRAUS, Jan. RAMS/LCC v dodavatelsko-odběratelských vztazích. In *Současný stav RAMS/LCC ve ŠKODA ELECTRIC a.s.* Praha: Česká společnost pro jakost, 2019, s. 34–45. ISBN 978-80-02-02852-9.
- [3] KRAUS, Jan. Aktuální požadavky zákazníků v oblasti RAMS/LCC a jejich plnění. In *Management spolehlivosti ve ŠKODA ELECTRIC a.s.* Praha: Česká společnost pro jakost, 2014, s. 10–16. ISBN 978-80-02-02565-8.
- [4] TOMÁŠEK, Martin. Specifikace zákazníka a požadavky na bezpečnost drážního zařízení. In *Zkušenosti s aplikací RAMS podle normy ČSN EN 50126-x*. Praha: Česká společnost pro jakost, 2019, s. 21–28.
- [5] VINTR, Zdeněk, David VALIŠ a Michal VINTR. *Základy spolehlivosti technických systémů*. Brno: Univerzita obrany v Brně, 2020. ISBN 978-80-7582-303-8.
- [6] VINTR, Michal. Udržovatelnost v kontextu RAMS drážních aplikací. In *RAMS drážních aplikací – Vybraná témata*. Univerzita Obrany v Brně, 2021, s. 12–24. ISBN 978-80-7582-396-0.
- [7] VINTR, Michal. Požadavky standardů na RAMS. In *RAMS drážních aplikací – současné přístupy, novinky a zkušenosti*. Univerzita Obrany v Brně, 2018, s. 10–20. ISBN 978-80-7231-410-2.
- [8] VINTR, Michal. Analýza požadavků na spolehlivost. In *Specifikace, alokace, a optimalizace požadavků na spolehlivost*. Praha: Česká společnost pro jakost, 2012, s. 18–26. ISBN 978-80-02-02394-4.
- [9] VINTR, Zdeněk. Společná bezpečnostní metoda pro hodnocení a posuzování rizik u železničních systémů. In *RAMS drážních aplikací – Vybraná témata*. Univerzita Obrany v Brně, 2021, s. 3–11. ISBN 978-80-7582-396-0.
- [10] ČSN IEC 60050-192. *Mezinárodní elektrotechnický slovník – Část 192: Spolehlivost*. Praha: ÚNMZ, 2016.
- [11] ČSN EN 61703 ed. 2. *Matematické výrazy pro ukazatele bezporuchovosti, pohotovosti, udržovatelnosti a zajištěnosti údržby*. Praha: ÚNMZ, 2017.
- [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] ČSN EN ISO 9000. *Systémy managementu kvality – Základní principy a slovník*. Praha: ÚNMZ, 2016.
- [15] *Internetová jazyková příručka* [online] (2008–2022). Praha: Ústav pro jazyk český AV ČR, v. v. i. Cit. 31. 5. 2022. <<https://prirucka.ujc.cas.cz/>>

Název: Požadavky na RAMS
Past nebo výzva pro dodavatele?
Autoři: Zdeněk VINTR
Michal VINTR
Vydavatel: Univerzita Obrany
Položka EP: 44/2022/2F
Tisk: Univerzita Obrany
Číslo zakázky: 84/2022
Náklad: 40 ks
Počet stran: 29
Rok vydání: 2022
Vydání: první

Publikace neprošla jazykovou úpravou.

ISBN 978-80-7231-457-8