



ČESKÁ SPOLEČNOST PRO JAKOST
Novotného lávka 5, 116 68 Praha 1

**Management RAMS
a jeho uplatňování v praxi
ŠKODA TRANSPORTATION s.r.o.
a ŠKODA ELECTRIC a.s.**



**Materiály z 30. setkání
odborné skupiny pro spolehlivost**

Praha, únor 2008

OBSAH

Co je RAMS a jaké jsou důvody jeho zavádění ve skupině ŠKODA TRANSPORTATION <i>Miroslav Šmiřák, dipl. tech.</i>	3
Struktura RAMS a úloha v managementu ŠKODA <i>Ing. Dita Bayerová.</i>	11
RAMS kolejového vozidla <i>Ing. Jakub Kůstka</i>	19
RAMS trakčního motoru <i>Ing. Petr Macoun</i>	37

Co je RAMS a jaké jsou důvody jeho zavádění ve skupině ŠKODA TRANSPORTATION

Miroslav Šmírák, dipl. tech., ředitel Řízení jakosti ŠKODA ELECTRIC a.s., tel. +420 378 181 018, +420 603 884 652, e-mail: miroslav.smirak@skoda.cz

1. Co je systém RAMS - stručný úvod

1.1 Výklad pojmů

Cílem prezentace není podrobně vysvětlit účastníkům systém RAMS, pojmy a definice, metody apod. Proto úvodní část slouží jen k rekapitulaci základních pojmů a účelu systému RAMS.

Systém **RAMS/LCC** zahrnuje:

- Provozní spolehlivost (RAM)
 - R**eliability = Bezporuchovost (pravděpodobnost výskytu poruch během provozu)
 - A**vailability = Pohotovost (schopnost vykonávat funkci)
 - M**aintainability = Udržovatelnost (schopnost být obnoven)
- Bezpečnost (S - Safety)
- Náklady životního cyklu (LCC)

Pojem **RAMS** má několik významů:

- a) zkratka z anglických slov **R**eliability, **A**vailability, **M**aintainability, **S**afety
- b) obecný pojem pro spolehlivost v oboru drážních zařízení
- c) parametry a hodnoty spolehlivosti produktu
- d) management procesů, které rozhodují o hodnotách spolehlivosti produktu

1.2 Pojem „Disponibilita“

Protože se v některých požadavcích zákazníků objevuje pojem „Disponibilita“, je vhodné si vyjasnit, co vlastně tento pojem znamená. Je to nezbytné, protože základem pro veškerá jednání o spolehlivosti je používání správné a oboustranně jasné terminologie.

Norma ČSN EN 50 126 Drážní zařízení - Stanovení a prokázání bezporuchovosti, pohotovosti, udržovatelnosti a bezpečnosti (RAMS) pojem „**disponibilita**“ nezná, i když třeba ve francouzské verzi tento pojem je. V české verzi je používán pojem „**pohotovost**“, anglicky „availability“.

Pohotovost v sobě zahrnuje

bezporuchovost, která se zjišťuje buď z provozních zkušeností na základě vyhodnocování dat o provozu a poruchách zařízení, nebo se predikuje pomocí vhodných metod z oboru spolehlivosti, např. analýzou způsobů a důsledků poruch (FMEA), analýzou stromem poruchových stavů (Fault Tree Analysis) aj.; jedním z ukazatelů je např. střední doba do poruchy MTTF nebo střední doba mezi poruchami MTBF (vyjadřuje „jak často se výrobek porouchá“ a co má na poruchovost největší vliv)

udržovatelnost a zajištěnost údržby, skládající se z plánovaných prostožů (kvůli preventivní údržbě) a neplánovaných prostožů (kvůli údržbě po poruše = odstranění poruchového stavu a znovuvvedení do stavu pohotovosti). Koresponduje rovněž s FMEA či FTA, kdy ke každému

poruchovému stavu uzlu nebo komponentu se definuje způsob opravy (jak to opravím) a doba opravy (jak dlouho mi to bude trvat), tzn. že se stanoví pracnost včetně doby na identifikaci vadného dílu, dále jeho přístupnost, snadnost či obtížnost opravy, logistická zajištěnost a dostupnost ND, přípravků a osob, dodatečné zkoušky zařízení po opravě apod.)

Z definice uvedené v ČSN EN 50126: (Pohotovost/Availability: schopnost výrobku provádět požadovanou funkci v daných podmínkách, v daném časovém okamžiku nebo v daném časovém intervalu, za předpokladu, že jsou zajištěny požadované externí prostředky) vyplývá, že ji lze jednoduše vyjádřit jako poměr součtu dob vozidla v provozuschopném stavu ku součtu dob vozidla v provozuschopném stavu a v neprovozuschopném stavu. Přičemž do součtu dob vozidla v neprovozuschopném stavu se uvažují jen doby z vnitřních příčin, tj. doby poruch a preventivní údržby. Je to zjednodušeně řešeno, protože existují různé ukazatele pohotovosti popsané příslušnými matematickými vztahy.

2. Management RAMS jako integrální součást managementu

2.1 Management RAMS

- Je definován standardem EN 50126.
- Může být certifikován samostatně.
- Má být integrální součástí managementu podniku.

Řízení procesů je rozhodujícím faktorem pro dosahování požadovaných hodnot spolehlivosti produktu.

- Spolehlivost (základní atribut jakosti) je determinována řadou různých procesů probíhajících v podniku.
- Management RAMS je tedy orientován na procesy (řízení procesů).
- Většina těchto procesů je v podniku již předmětem procesního řízení.
- Management RAMS tedy využívá stávající procesy, organizuje je cíleně k řízení spolehlivosti a doplňuje o dosud chybějící procesy (dovednosti).

2.2 Do kterých oblastí a procesů zasahuje

Management RAMS působí na procesy podle etap životního cyklu výrobku¹, které zpravidla odpovídají posloupnosti a návaznostem realizačních procesů ve firmě podle EN ISO 9001.

- Koncepce a stanovení požadavků - kapitola 7.2, normy, ve ŠKODA ELECTRIC proces P 702 Přezkoumání smlouvy.
- Návrh a vývoj („vprojektování“ spolehlivosti do návrhu - projektu, konstrukce, technologie a stanovení programu kontrol a zkoušek k ověřování a validaci návrhu) - kapitola 7.3 normy, ve ŠKODA ELECTRIC procesy P 704 Řízení návrhu a P 705 Technologická příprava výroby.
- Výroba - kapitoly 7.4 a 7.5 normy, ve ŠKODA ELECTRIC procesy P 706 Nakupování, P 709 Výroba a P 801-804 Kontroly a zkoušky.

¹ Zde uvedeno zjednodušeně, norma EN 50126 uvádí 14 etap životního cyklu: 1. Koncepce; 2. Definice produktu a podmínek použití; 3. Analýza rizika, 4. Požadavky na produkt; 5. Rozdělení požadavků na produkt; 6. Návrh a zavedení; 7. Výroba; 8. Instalace; 9. Validace produktu; 10. Přejímka produktu; 11. Provoz a údržba; 12. Sledování výkonnosti 13. Modifikace a regenerace 14. Vyřazení z provozu a likvidace.

- Instalace - kapitola 7.5 normy, ve ŠKODA ELECTRIC proces P 709 Výroba a P 801-804 Kontroly a zkoušky.
- Provoz a údržba - kapitoly 8.2, 8.3, 8.4 a 8.5 normy, ve ŠKODA ELECTRIC proces P 712 Poprodejní služby.
- Vypořádání (likvidace)².

Samozřejmě systém RAMS ovlivní další firemní procesy, nejen realizační (kapitoly 4 a 5 normy).

2.3 Co umožňuje zavedený systém RAMS/LCC

RAMS/LCC je systém zahrnující procesy, činnosti, metody a nástroje, které umožňují:

- Predikovat již ve fázi návrhu výrobku parametry jeho spolehlivosti, určovat jeho kritické prvky a podle potřeby přijímat opatření v technickém řešení výrobku.
- Odhadnout náklady životního cyklu výrobku (v garanci jde o náklady výrobce, po garanci jde o náklady uživatele, který je chce předem znát).
- Plánovat realizaci a zkoušky produktu s cílem zachytit případné odchylky od specifikovaných požadavků ještě před jeho předáním zákazníkovi.
- Stanovit podmínky pro provoz výrobku (návod k obsluze).
- Stanovit optimální požadavky na systém preventivní údržby s cílem udržet parametry provozní spolehlivosti (pohotovost výrobku), včetně plánování dostupnosti potřebných ND.
- Stanovit postupy pro zjišťování poruch a jejich příčin a optimalizaci jejich odstraňování (diagnostika, postupy, přípravky...).
- Pomocí zpětné vazby ze záručního a pozáručního provozu hodnotit provozní spolehlivost výrobku a podle výsledku zavádět vhodná opatření v technickém řešení a v systému údržby.

2.4 Proč na nás zákazník chce „prokázat RAMS“?

Protože:

- V záručním provozu neseme náklady na „nespolehlivost“ našeho výrobku my, ale zákazník garantuje uživateli našeho výrobku jeho provozuschopnost a udržovatelnost po celou dobu užitečného života výrobku.
- Uživatel našeho výrobku nese v pozáručním provozu veškeré náklady na udržení výrobku v provozu pomocí preventivní údržby a údržby po poruše, kterou jsme stanovili my jako výrobci na základě analýz RAMS/LCC. Čísla, která zákazníkovi předáváme, musí být věrohodná a prokazatelná.
- Zákazník chce vědět o rizicích provozu našeho výrobku ještě předtím, než sjedná parametry RAMS/LCC s konečným uživatelem výrobku a než vynaloží velké náklady na pořízení našeho výrobku a velmi nelibě nese, když musí vynakládat další vysoké náklady se kterými nepočítal pro pozáruční provoz.

² V některých etapách životního cyklu se začínají prolínat požadavky na RAMS, LCC a environment.

3. Projekt zavádění RAMS ve skupině ŠKODA TRANSPORTATION

3.1 Historie zavádění systému RAMS ve ŠKODA ELECTRIC

V roce 2004 jsme se na základě výsledků auditu provedeného jedním z našich zákazníků poprvé začali hlouběji seznamovat se systémem RAMS a začali jsme zjišťovat možnosti jeho zavedení. V té době jsme navázali kontakty s odborníky z českých univerzit.

První, trochu „naivní“ představy o zavedení systému, hlavně rozsahu a termínu jsme velmi rychle opustili a začali pracovat na návrhu projektu zavádění systému podle normy. První návrhy byly předloženy vedení ŠKODA ELECTRIC a po úpravách byl projekt schválen.

Vzhledem k rozsahu prací a k nákladům na implementaci, včetně nákladů na poradenství jsme na začátku roku 2005 zvolili jinou cestu - zavádění systému v celé skupině ŠKODA TRANSPORTATION v rámci společného projektu. To samozřejmě, vzhledem k rozsahu prací a k předpokládaným nákladům, vyžadovalo schválení postupu a schválení nákladů na realizaci vrcholovým vedením ŠKODA.

3.2 Východiska

V době vypracování návrhu (polovina 2005) pro Představenstvo ŠKODA HOLDING byl výchozí stav ve společnostech skupiny TRANSPORTATION rozdílný.

Ve ŠKODA ELECTRIC s.r.o. (dnes a.s.) již předtím existovaly požadavky zákazníků na stanovení parametrů RAMS pro trakční motory, ale nebyla k dispozici „provozní data“ o spolehlivosti, parametry byly stanovovány pomocí odhadů z údajů o poruchách motorů v záručním provozu.

Ve ŠKODA TRANSPORTATION s.r.o. nebyly požadavky zákazníků na parametry RAMS ani na jejich prokázání, ale byl k dispozici systém sběru provozních dat o poruchách výrobků.

Tyto rozdíly byly brány v úvahu při předkládání návrhu na zavedení RAMS - základním cílem ale zůstalo vytvoření funkčního systému RAMS a certifikace jeho shody s požadavky podle EN 50 126 ve všech společnostech, s využitím všech **synergií ve skupině**:

- podobná výrobová struktura,
- možnost koordinace činností a spolupráce při řešení problémů,
- využití synergií při plánování spolehlivosti, potřeby ND a provozu garančních skladů u společných obchodních případů,
- využití společného informačního systému pro vytvoření datové základny RAMS (systém BaaN ERP),
- využití jednotných softwarových nástrojů pro výpočty spolehlivosti,
- úspora nákladů na přípravu a zavádění systému.

3.3 Důvody

Aby vrcholové vedení ŠKODA HOLDING schválilo realizaci projektu a čerpání prostředků, bylo nutné připravit řádně odůvodněný návrh a dostatečné argumenty. Ty vycházely z toho, že:

- požadavky zákazníků na zahrnutí parametrů RAMS do technických specifikací výrobků i na jejich prokázání velmi rychle porostou, protože „velcí hráči“ na trhu tyto systémy zavedli a zvládli a budou je vyžadovat na svých dodavatelích,

- zavádění RAMS je dlouhodobý proces, nelze začít „ze dne na den“; vyžaduje přípravu a postupné zavádění; je třeba začít co nejdříve, s ohledem na zákazníky ale i na konkurenci,
- zmeškání trendu by mohlo za několik let znamenat zhoršení pozice na trhu a neschopnost plnit požadavky zákazníků,
- pro skupinu TRANSPORTATION je to příležitost stát se jedním z lídrů v ČR, ale současně hrozba v případě, že ztratí krok s konkurencí.

Dále byly specifikované možné přínosy zavedeného systému RAMS pro skupinu, zejména:

- Vyšší bezporuchovost a pohotovost výrobků ŠKODA, lepší udržitelnost a zajištěnost údržby.
- Splnění požadavků zákazníků, spolehlivost výrobku „šitá na míru“ zákazníka.
- Možnost realizovat produkt za vyšší cenu v souvislosti s jeho vyšší spolehlivostí a udržitelností.
- Zlepšení servisní logistiky včetně dostupnosti ND, optimalizace struktury a množství ND, omezení nadbytečných zásob ND.
- Predikce potřeby ND a optimalizace údržby výrobků, a vytvoření předpokladů pro poskytování doživotního servisu výrobků.
- Účinnější ovládání rizik a bezpečnosti.
- Lepší řízení dodavatelů a specifikace požadavků na spolehlivost nakupovaných produktů.
- Optimalizování celoživotních nákladů.
- Růst dobré pověsti společnosti, lepší postavení na trhu a vyšší konkurenceschopnost.
- Zvýšení způsobilosti a odborné úrovně vlastních pracovníků.

Součástí předloženého návrhu byla také identifikace rizik, kterými může být:

- Podcenění významu RAMS/LCC pro budoucí projekty skupiny TRANSPORTATION.
- Nedostatek zdrojů pro řešení projektu.
- Nedostatečné získání pracovníků pro řešení projektu.
- Nedořešení projektu (zastavení se na polovině cesty).
- Zjevné přínosy nepřijdou hned a budou se jevit jako nízké.
- Uplatněný systém managementu spolehlivosti nebude dostatečně udržován a podporován.

4. Realizace projektu

4.1 Přípravné období 2006-2007

Po schválení návrhu na zavádění systému RAMS ve skupině ŠKODA TRANSPORTATION následovaly další kroky:

- jmenování tým pro zavádění systému,
- odborný seminář pro vrcholové vedení ŠKODA ELECTRIC,
- vyhlášení výběrové řízení na implementaci RAMS ve skupině,
- školení týmu RAMS,
- schválení výběru společnosti Alopex, s.r.o., pro implementaci RAMS a zahájení činností,
- mapování aktuálního stavu a první návrhy na realizaci datové základny pro potřeby RAMS,
- vytvoření metodického dokumentu pro systém sběru dat o provozu,
- vytvoření vzorů základních řídicích dokumentů pro systém RAMS,

- zapojení oddělení ICT (oddělení Informačních a komunikačních technologií) ŠKODA HOLDING, vytvoření návrhu Hlášenky poruchy s využitím BaaN ERP,
- analýzy RAMS/LCC na některých projektech ŠKODA ELECTRIC (trakční motory, elektrická výzbroj) s využitím metodik pro predikci parametrů spolehlivosti a udržovatelnosti,

4.2 Aktuální stav - po 2,5 letech

Došlo k naplnění prognóz - požadavky zákazníků rostou, nejen na „podepsání“ parametrů RAMS, ale i na „prokázání RAMS“ („*jak jste k těm hodnotám dospěli, kde jsou ta slabá místa, jaká jsou vaše opatření, ukažte nám výpočty a analýzy...*“)

Jak jsme na tom tedy dnes?

- Je problém s personálním zajištěním oblasti RAMS/LCC a s kvalifikací personálu.
- Přetrvává problém s překonáním názoru, že RAMS je záležitost nějakých nadšenců, nikoliv standardní součástí práce (objevují se tvrzení typu „... *nemáme na to čas, musíme pracovat, projektovat, konstruovat...*“).
- Máme už zvládnuté některé techniky a máme praktické zkušenosti a analýzami RAMS (s predikcemi, i s hodnocením v provozu) - viz další příspěvky ve sborníku a prezentace na tomto semináři.
- Máme hotovou velkou část prací na vytvoření datové základny pro RAMS.
- Začínáme do oblasti RAMS zapojovat některé dodavatele.

4.3 Jaké jsou momentální úkoly v oblasti RAMS (ŠKODA ELECTRIC a.s.)

Jsme pod tlakem zákazníků, zejména u nových trakčních motorů, ale požadavky začínají narůstat i u některých dalších částí elektrické výzbroje vozidel.

Co tedy musíme aktuálně zajišťovat, abychom naplnili aktuální požadavky zákazníků:

- Zvládnout techniky pro predikce parametrů spolehlivosti trakčních motorů a částí elektrické výzbroje větším počtem techniků (u trakčních motorů je možná určitá „typizace“ výrobků z hlediska RAMS).
- Dokončit rozpracované studie RAMS/LCC motorů pro naše zákazníky.

4.4 Co musíme ve ŠKODA ELECTRIC zajišťovat do plného zavedení systému

Vyjasnit role útvarů a osob při zajišťování požadavků zákazníků a vymezit činnosti a odpovědnosti napříč společností v jednotlivých etapách

Ve fázi poptávky, nabídky, smlouvy je třeba:

- zjišťovat požadavky zákazníka, nepodepisovat nic bez konzultací,
- posuzovat jeho požadavky s využitím dosavadních znalostí a zkušeností, podle možností odhadnout parametry spolehlivosti pro nabídku,
- vždy vyvíjet tlak na vypracování oboustranného „ujednání o RAMS“: terminologie, normy, parametry, systém předávání informací (FRACAS - Failure Reporting And Corrective Action System), vzorce a výpočty pro hodnocení parametrů atd.) jako součást smlouvy, technických specifikací výrobku apod.

Ve fázi návrhu musíme:

- vypracovat „dekompozici“ výrobku,
- vypracovat blokový diagram výrobku a vypracovat odhady bezporuchovosti pomocí FTA,

- věnovat větší pozornost předpisům pro preventivní údržbu, začít pracovat na předpisech pro údržbu po poruše (obecně zlepšování udržovatelnosti výrobků),
- identifikovat slabá místa návrhu s využitím FMEA, FMECA,
- specifikovat požadavky na RAMS pro nakupované položky,
- vypracovat systém sledování konfigurace výrobku vycházející z dekompozice výrobku,
- vypracovat plán jakosti (plán kontrol a zkoušek) vycházející z dekompozice výrobků a z výsledků analýz FMEA,
- validovat návrh formou typových zkoušek.

Ve fázi realizace je třeba:

- dodržovat požadavky stanovené návrhem - výrobní postupy, plán kontrol a zkoušek, identifikace dílů pro konfiguraci, záznamy o kvalitě ...),
- parametry RAMS brát v úvahu při výběru vhodného dodavatele,
- vyžadovat od dodavatelů výrobky se stanovenou kvalitou a spolehlivostí.

Ve fázi po prodeji musíme:

- zajistit systém sběru dat o výrobcích, snažit se získávat všechny dostupné provozní údaje (provoz, údržba, poruchy...),
- spolupracovat se zákazníkem/uživatelem na identifikaci poruch a jejich závažnosti,
- hodnotit parametry bezporuchovosti a porovnávat je s predikcemi,
- zajistit zpětnou vazbu výstupů z „provozní“ RAMS do technických útvarů.

4.5 Co je nutné zajistit pro podporu zavádění systému

- Dokončit ve spolupráci s ICT ŠH vytvoření datové základy v BaaN ERP a spustit „ostrý provoz“.
- Vyškolit klíčové uživatele a pracovníky dalších útvarů v BaaN Servis.
- Vybrat a schválit „pilotní projekt“ v rámci kterého bude vytvářen a zaváděn systému RAMS podle normy.
- Zahájit práce na pilotním projektu a na tvorbě systémové dokumentace pro oblast RAMS.
- Vytvářet vlastní databázi spolehlivostních parametrů výrobků ve ŠKODA ELECTRIC.
- Personálně zajistit oblast RAMS/LCC.

4.6 Pilotní projekt RAMS - k čemu to bude?

Pro zavádění systému RAMS se nám jeví jako optimální postup využít „pilotního projektu RAMS“, tj. konkrétní obchodní případ nového výrobku ŠKODA, v rámci jehož realizace by se:

- postupně, etapu po etapě životního cyklu výrobku, vytvářely a zaváděly do praxe metodiky a postupy RAMS včetně systémové dokumentace,
- vypracoval „**Program RAMS**“ pilotního projektu jako vzor pro další „Programy“,
- prakticky aplikovaly metodiky a postupy RAMS na konkrétním výrobku,
- do systémové dokumentace integrovaného systému managementu postupně zapracovalo rozdělení činností a odpovědností za jednotlivé části RAMS ve společnosti, hlavně do jednotlivých procesních směrnic (směrnic pro realizačních procesy),
- školili specialisté odborných útvarů, od obchodu po poprodejní služby
- zapojovali dodavatele významných komponentů do systému RAMS ŠKODA.

5. Závěr

Co lze z popsané situace vyvodit... Když se podíváme jen několik let zpátky a jen několik let do budoucna, lze podle mého názoru v dnešní situaci v oblasti systémového zvládnutí RAMS nalézt jistou podobnost nebo identitu:

- Se situací začátkem 90. let a požadavky na QMS podle EN ISO 9001. Firmy, které měly zavedený QMS se daly spočítat na prstech, pokládalo se to za něco nadstandardního. Dnes je to nutná podmínka úspěchu v podnikání.
- Se situací v současné době, kdy se totéž odehrává v oblasti EMS podle EN ISO 14001 nebo bezpečnosti a ochrany zdraví při práci podle OHSAS 18001.

Na základě toho se odvážím vyvodit obecnou prognózu dalšího vývoje v oblasti RAMS:

- Systémové zvládnutí oblasti RAMS bude v blízké době nutnou podmínkou pro firmy podnikající v oboru dopravního strojírenství.
- Každý výrobce, který bude chtít dodávat své výrobky pro užití v drážních zařízeních, bude muset mít v horizontu několika let své systémy řízení v souladu s požadavky normy sdružení IRIS a bude k nim muset mít certifikát shody; a tato norma vyžaduje zavedení a funkčnost systému RAMS jako nutnou podmínku certifikace.
- Tlak trhu a konkurence způsobí, že odpovídající výstupy z analýz RAMS (bezporuchovost, udržovatelnost, LCC) budou požadovány jako nedílná součást technických parametrů výrobků, jinak nebude možné v konkurenci uspět; parametry se stanou součástí specifikovaných požadavků zákazníků.

A na úplný závěr pár osobních úvah:

- Je velmi dobře, že na zavádění systému RAMS podle EN 50126 pracuje právě ŠKODA HOLDING a.s., jako jeden z lídrů v dopravním strojírenství v České republice.
- Je velmi dobře, že ŠKODA nezmeškala vývoj v této oblasti a přes některá zpoždění postupuje k plnému zavedení systému.
- A je velmi dobře, že know-how v oblasti RAMS se z akademické půdy přenáší k významnému výrobcí dopravní techniky.

Struktura RAMS a úloha v managementu ŠKODA

Ing. Dita Bayerová, ŠKODA TRANSPORTATION s.r.o., tel.: +420378186159

e-mail: dita.bayerova@skoda.cz

1. Úvod

Systém RAMS (spolehlivost, bezporuchovost, pohotovost, udržovatelnost a bezpečnost) umožňuje pomocí vhodných metod a nástrojů již ve fázi návrhu výrobku předpovědět parametry jeho spolehlivosti, určovat jeho kritické prvky, pomocí informací z provozu ověřovat správnost těchto předpovědí a dle potřeby přijímat opatření v technickém řešení výrobku.

Společnost ŠKODA má bohatou podnikatelskou tradici a spolupracuje s velkou řadou domácích i zahraničních subjektů. Z toho vyplývá rostoucí zájem o spolehlivost jako takovou. Požadavky zákazníků na spolehlivost našich výrobků jsou čím dál vyšší a rozsáhlejší. Pro představu o těchto požadavcích jsou některé z nich uvedeny v tab. 1.

Tab. 1: Příklad spolehlivostních požadavků zákazníků

Parametr spolehlivosti	Požadavek zákazníka	
	Specifikace parametru	Požadované hodnoty
Bezporuchovost	Průměrný proběh mezi 2 po sobě následujícími poruchami, jež způsobí zpoždění vlaku (> 5 minut)	< 350 000 km
	MDBF	10 000 km
Životnost	Životnost vlakové soupravy	30 let
Udržovatelnost	Proběh do periodické / generální / vyvazovací opravy	60 000 km / 500 000 km / 600 000 km
Pohotovost	Pohotovost (disponibilita)	$\geq 0,92$

Tento stále větší důraz na spolehlivost a v mnohých případech i hrozící sankce za nesplnění deklarovaných parametrů nás přiměl k hlubšímu proniknutí do této problematiky.

2. Historie zavádění RAMS ve ŠKODA TRANSPORTATION s. r. o.

Jak již bylo zmíněno v předchozím příspěvku, obě dále jmenované společnosti byly na začátku „zavádění RAMS“ v jiné, dalo by se říci odlišné, situaci. ŠKODA TRANSPORTATION s.r.o. měla zavedený systém sběru dat, na ŠKODA ELECTRIC a.s. doléhaly rostoucí požadavky zákazníků na spolehlivost. Po seznámení s problematikou RAMS se vedení ŠKODA HOLDING a.s. rozhodlo tyto zkušenosti využít a zavést komplexní systém spolehlivosti přes celou skupinu TRANSPORTATION, tedy ŠKODA TRANSPORTATION s.r.o. a ŠKODA ELECTRIC a.s.

ŠKODA TRANSPORTATION s.r.o. se v současné době zabývá projektem *Spolehlivostní data a softwarová podpora pro RAMS*, který je řešen napříč celou skupinou a snahou je vybudovat jednotný a funkční systém sběru a analýzy dat.

3. Management ŠKODA a RAMS

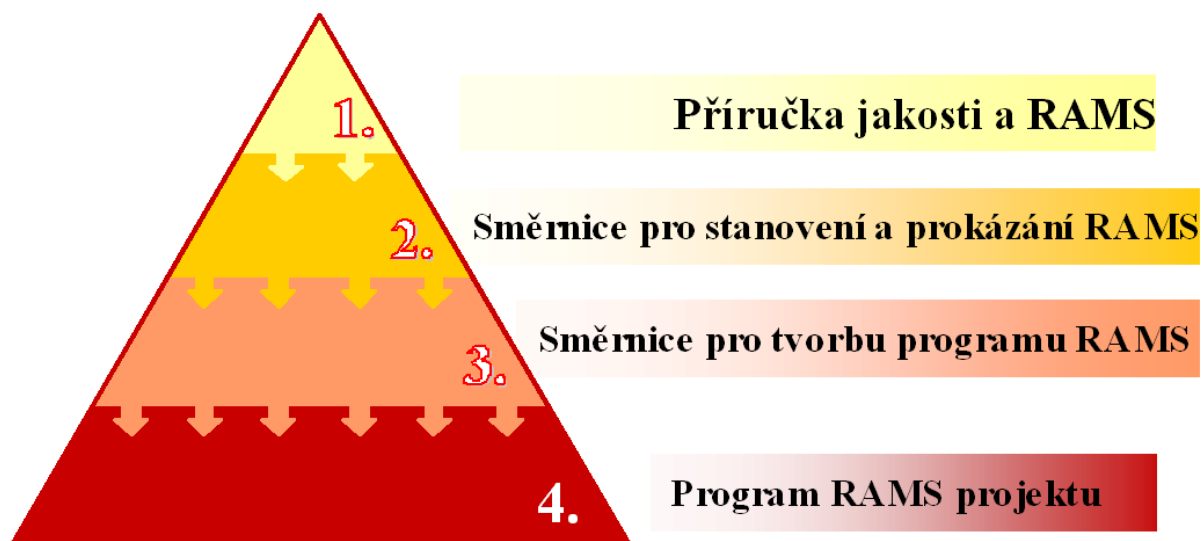
Management RAMS vychází z normy ČSN EN 50 126 Drážní zařízení - Stanovení a prokázání bezporuchovosti, pohotovosti, udržitelnosti a bezpečnosti (RAMS). Norma definuje proces řízení RAMS na základě životního cyklu systému a systematicky popisuje požadavky na RAMS, včetně prokázání, že tyto požadavky jsou splněny.

Ve ŠKODA TRANSPORTATION s.r.o. je zaveden integrovaný systém řízení, viz obr. 1, který vrcholově popisuje Příručka jakosti a RAMS. Obecné postupy činností týkajících se RAMS obsahuje Směrnice pro stanovení a prokázání bezporuchovosti, pohotovosti, udržitelnosti a bezpečnosti (RAMS).

Pro každý projekt je vytvářen Program RAMS projektu, jež je obecně specifikován Směrnici programu RAMS projektu.

Kromě vrcholových dokumentů zastřešujících systém RAMS máme k dispozici jednotlivé metodiky:

- Návod a postupy pro bezporuchovost
- Návod a postupy pro pohotovost
- Návod a postupy pro udržitelnost a zajištěnost údržby
- Návod a postupy pro bezpečnost
- Návod a postupy pro životnost, náhradní díly a záruky
- Návod a postupy pro zkoušky spolehlivosti
- Návod a postupy pro vyhodnocení dat z provozu



Obr. 1: Integrovaný systém řízení

4. Směrnice pro tvorbu programu RAMS

Management RAMS vychází z životního cyklu produktu a dílčí kroky vztahuje k jednotlivým etapám napříč životním cyklem výrobku.

Životní cyklus produktu tvoří posloupnost etap, z nichž každá zahrnuje úkoly, pokrývající celou dobu existence systému, od počáteční koncepce až po vyřazení z provozu a likvidaci. Životní cyklus poskytuje základní strukturu pro plánování, management, kontrolu a sledování všech aspektů systému, včetně RAMS, během postupu systému jednotlivými etapami.

Životní cyklus používaný ve ŠKODA TRANSPORTATION vychází z doporučení normy ČSN EN 50126 a obsahuje tyto etapy:

1. Koncepce
2. Definice systému a podmínek použití
3. Analýza rizika
4. Požadavky na systém
5. Rozdělení požadavků na systém
6. Návrh a zavedení
7. Výroba
8. Instalace
9. Validace systému
10. Přejímka systému
11. Provoz a údržba
12. Sledování výkonnosti
13. Modifikace a regenerace
14. Vyřazení z provozu a likvidace

Každé etapě životního cyklu jsou přiřazeny odpovídající úkoly RAMS. Pokud nejsou u daného systému aplikovatelné, je možné je vypustit.

Pro každou etapu jsou vymezeny cíle, výstupy, procesy, úkoly a další specifické znaky důležité pro RAMS obecného produktu. K tomu, aby byly naplněny slouží program RAMS.

Směrnice pro tvorbu programu RAMS definuje standardní program RAMS. Je navržený tak, aby pokrýval všechny úkoly (procesy a činnosti), jejichž aplikace při zabezpečování RAMS přichází do úvahy s ohledem na specifické podmínky společnosti a charakter typických produktů. Standardní program RAMS tedy představuje univerzální, široce pojatý program RAMS, který slouží jako výchozí podklad pro tvorbu programů RAMS jednotlivých produktů (projektů).

Ze standardního programu RAMS se odvozují konkrétní programy RAMS jednotlivých projektů. Program RAMS projektu je tedy přizpůsoben danému produktu, požadavkům zákazníka a dalším specifikům. Jde tedy o program RAMS „šitý“ na míru konkrétnímu projektu.

Představu o standardním programu RAMS je možné si učinit z obr. 2 a 3, kde jsou ukázky jeho obsahu týkající se etapy 4 a etapy 12.

Etapa 4: Požadavky na systém

Název projektu (systému):				Odpovědný pracovník:			
Program RAMS							
Etapa	P.č.	Úkol RAMS	Nástroje	Plní	Termín	Výstupy	Pozn.
Požadavky na systém	4.1	Specifikovat požadavky na RAMS a funkční požadavky spojené s RAMS.	Návody a pokyny pro specifikaci a alokaci požadavků na RAMS ČSN IEC 300-3-4			Přehled požadavků na RAMS systému	
	4.2	Definovat kritéria přejímky týkající se RAMS.	Návody a pokyny pro zkoušky spolehlivosti ČSN EN 50126 ČSN IEC 60300-3-5			Přehled kritérií přejímky týkajících se RAMS.	
	4.3	Definovat funkční strukturu systému.	ČSN EN 61078			Funkční struktura systému	
	4.4	Vypracovat program RAM.	ČSN EN 50126 ČSN EN 60300-1 ČSN EN 60300-2			Program RAMS projektu	

Obr. 2: Ukázka Standardního programu RAMS - Etapa 4: Požadavky na systém

S některými činnostmi a úkoly této etapy se budou zabývat následující příspěvky věnované praktickému provádění RAMS.

Etapa 12: Sledování výkonnosti

Název projektu (systému):				Odpovědný pracovník:			
Program RAMS							
Etapa	P.č.	Úkol RAMS	Nástroje	Plní	Termín	Výstupy	Pozn.
Sledování výkonnosti	12.1	Zavést systém sběru údajů o RAMS systému v provozu.	Návody a pokyny pro sběr dat o RAMS v provozu ČSN EN 50126 ČSN EN 60300-3-2 ČSN EN 60706-3			Funkční systém sběru dat o RAMS v provozu.	
	12.2	Analyzovat a vyhodnocovat statistická data týkající se RAMS.	Návody a postupy pro vyhodnocení dat z provozu. ČSN IEC 60605-4 ČSN EN 60706-3 ČSN IEC 706-6			Výsledky průběžného vyhodnocování statistických dat týkajících se RAMS.	

Obr. 3: Ukázka Standardního programu RAMS - Etapa 12: Sledování výkonnosti

Pro praktickou realizaci těchto činností a úkolů uvedených v etapě 12 slouží již dříve zmíněný projekt *Spolehlivostní data a softwarová podpora pro RAMS*.

5. Spolehlivostní data a softwarová podpora pro RAMS

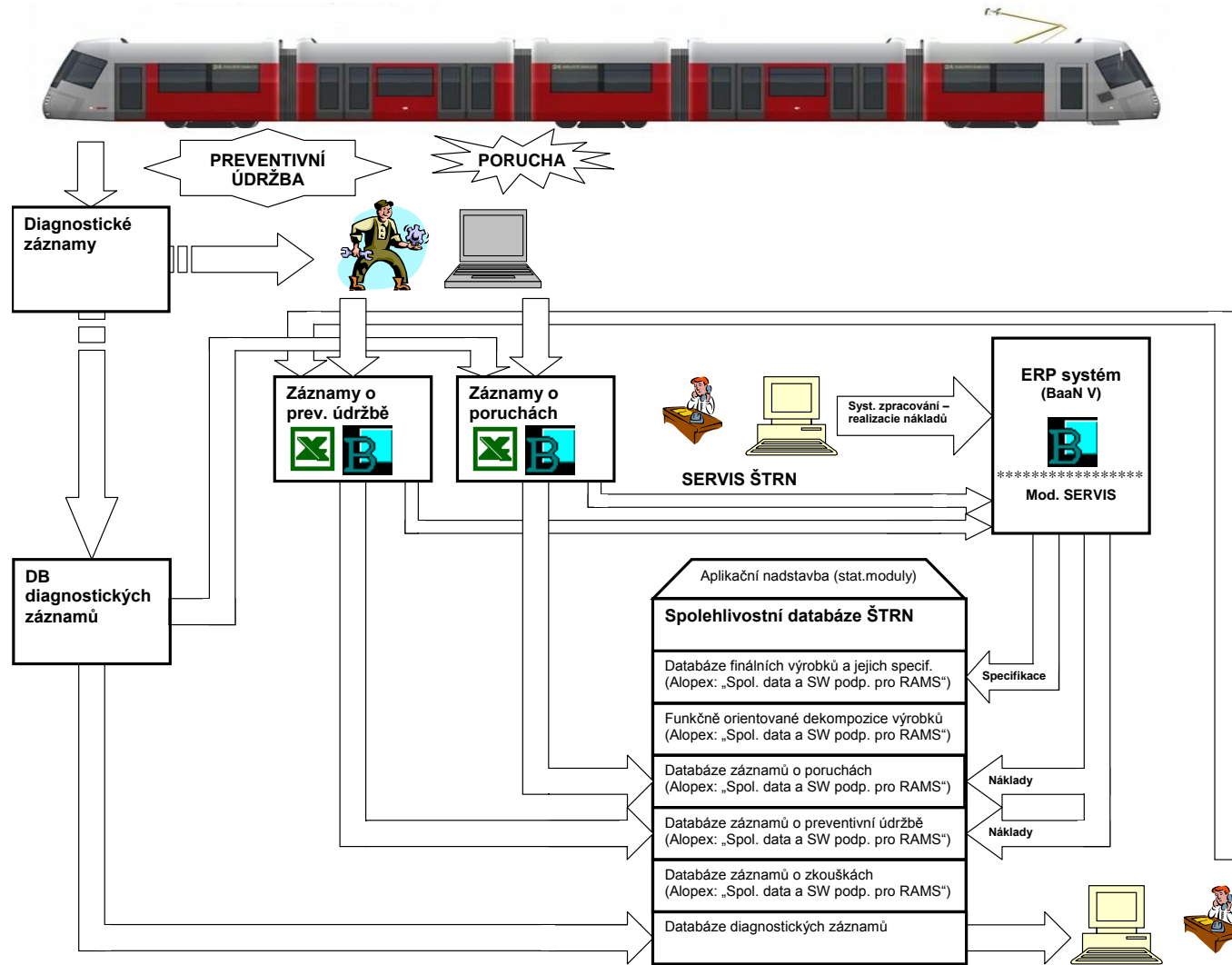
Od roku 2004 funguje ve ŠKODA TRANSPORTATION sběr dat o poruchách v provozu pomocí Záznamu (hlášenky) poruchy, viz obr. 4. Jeho návrh, bez jakékoliv vazby na systémy spolehlivosti, vycházel z praktických zkušeností techniků a dosavadního způsobu sběru dat.

Jedním z cílů projektu *Spolehlivostní data a softwarová podpora pro RAMS* je úprava stávající hlášenky, tak aby odpovídala požadavkům na sběr dat dle normy.

Kromě toho dochází ve skupině TRANSPORTATION k značné přestavbě informačních a datových toků, která má za cíl zajistit cílené shromažďování a vyhodnocování dat o provozu, poruchách, údržbě a nákladech produktů skupiny TRANSPORTATION. Výsledkem tohoto úsilí by měla být jasná identifikovatelnost, sledovatelnost



ŠKODA TRANSPORTATION s.r.o.



Obr. 5: Interní datové zdroje ve společnosti ŠKODA TRANSPORTATION s.r.o.



ŠKODA TRANSPORTATION s.r.o.

6. Závěrečné poznámky

Výše uvedená fakta dokumentují přípravnou fázi pro budoucí fungování systému RAMS ve skupině TRANSPORTATION. Komplexní zavádění systému dle výše uvedených dokumentů je spjato s realizací pilotního projektu. Pilotní projekt se zdá být nejjednodušším a nejefektivnějším způsobem jak výše uvedené postupy vyzkoušet v praxi a přizpůsobit potřebám firmy. Jedině při realizaci konkrétního projektu je možné odladit téměř všechny nedostatky a záludnosti, které systém může přinést.

Důležitou podmínkou pro výběr pilotního projektu je realizace nového produktu, který by umožnil praktickou aplikaci RAMS napříč etapami životního cyklu. Ve ŠKODA ELECTRIC a.s. bylo již dle směrnice postupováno při realizaci konkrétního projektu, jehož některé výstupy jsou prezentovány v následujících příspěvcích.

Použitá literatura

ČSN EN 50126

Vrcholové dokumenty ŠKODA TRANSPORTATION s.r.o.

RAMS kolejového vozidla

Ing. Jakub Kůstka, ŠKODA ELECTRIC a.s., tel. +420 378 181 111
e-mail: jakub.kustka@skoda.cz

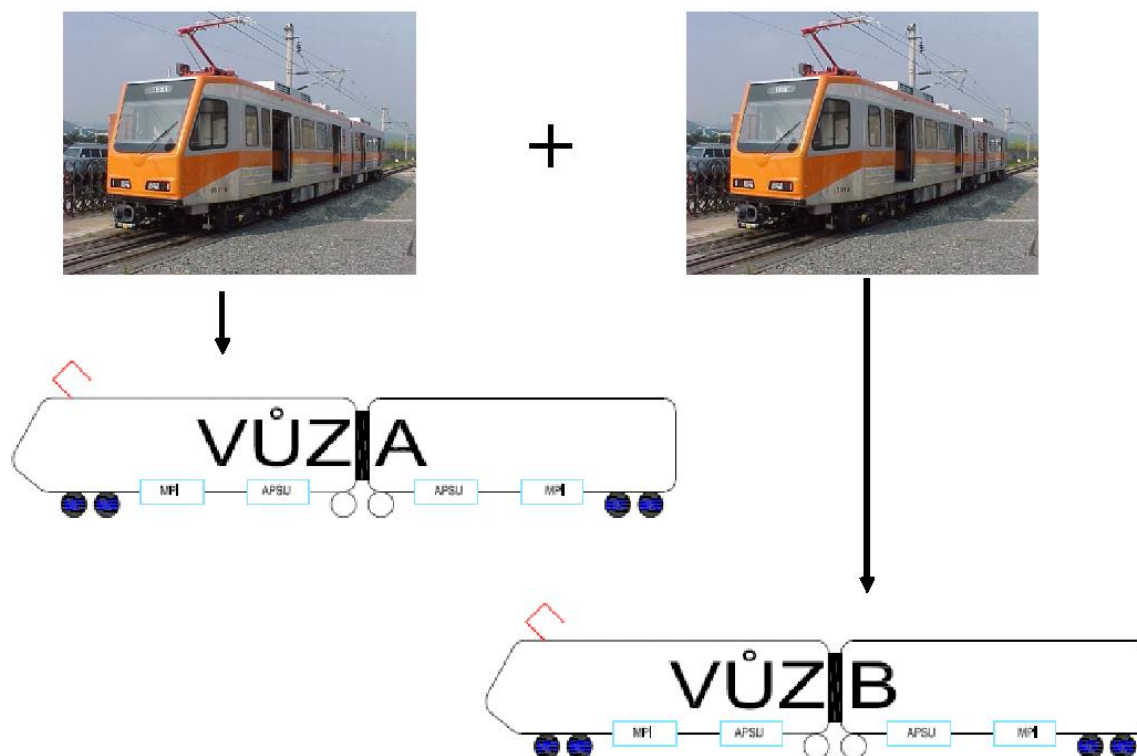
1. Úvod

Analýzu RAMS kolejového vozidla řeší tým návrhářů ze Škody Electric (divize pohony a trolejbusy, divize trakční motory). Jejím účelem je stanovení potřebných parametrů spolehlivosti kolejového vozidla. Nástroje RAMS vedou na zajištění vyšší bezporuchovosti a pohotovosti, lepší udržitelnost a zajištění údržby kolejového vozidla. To má samozřejmě i značný vliv na náklady životního cyklu (LCC) kolejového vozidla. Analýza RAMS kolejového vozidla vede ke zmírnění nebezpečí z pohledu provozování a bezpečnosti vozidla. V neposlední řadě je RAMS vnímán jako aktivní nástroj pro zlepšování způsobilosti a odborné úrovně návrhářů, v podstatě působí jako kladná zpětná vazba pro neustálé zlepšování produktů společnosti.

2. Kolejové vozidlo

2.1 Konfigurace kolejového vozidla

Kolejové vozidlo na němž je demonstrována analýza RAM je souprava vzniklá spojením dvou vozů (Vůz A + Vůz B).



Obr. 6: Konfigurace vozidla



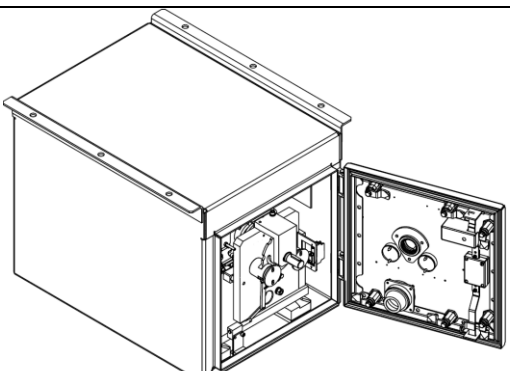
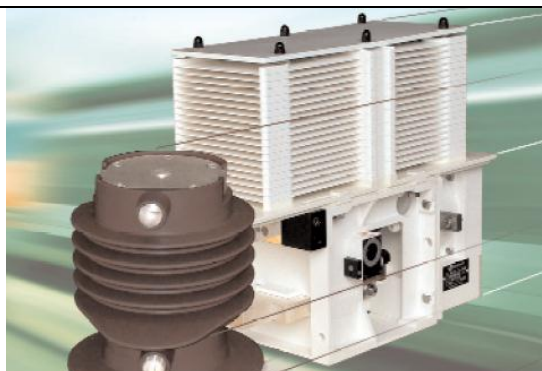
2.2 Konstrukční části kolejového vozidla z hlediska funkčnosti

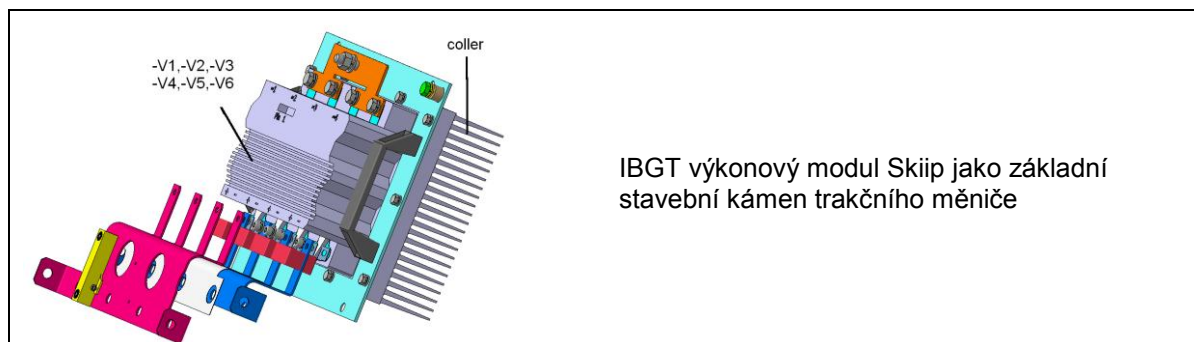
Podstatnou součástí analýzy RAMS je definování základních konstrukčních částí kolejového vozidla a jeho hlavních a vedlejších funkcí. Kromě základní mechanické konstrukce (skříně) kolejového lze hlavní konstrukční části řadit do 3 skupin:

- Skupina 1 - Pohonný systém včetně ostatních trakčních komponent
- Skupina 2 - Systém pomocného napájení
- Skupina 3 - Systém nadřazeného řízení

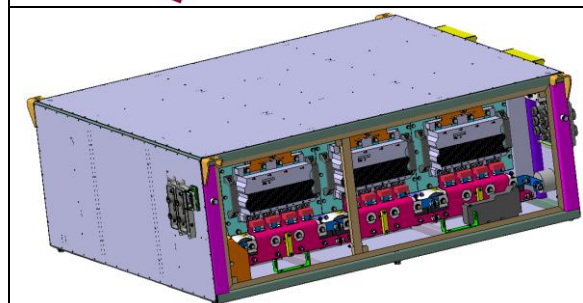
Konstrukční sestavu jednotlivých skupin a stručný popis funkce komponent ve skupině je uveden v následujícím přehledu.

Skupina 1 - Pohonný systém včetně ostatních trakčních komponentů

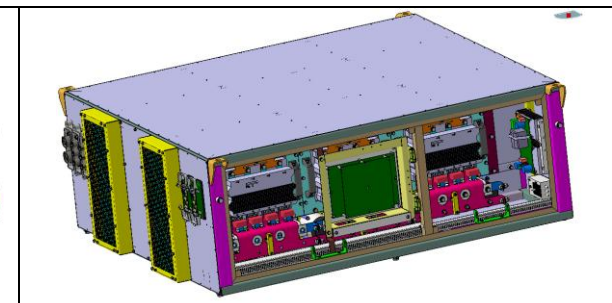
	
<p>Pantograf - umístěn na střeše vozidla, slouží pro přívod stejnosměrné energie do vozidla (napájení 750V DC z troleje)</p>	<p>Bleskojistka - umístěna na střeše vozidla, slouží k ochraně vozidla proti spínacím a atmosférickým přepětím</p>
	
<p>Přístrojová skříň - obsahuje přepínač polohy pro různé provozní stavy a pojistky pro ochranu pomocného systému a systému pomocného napájení proti tepelnému přetížení a zkratu</p>	<p>Rychlovypínač - ochrana pohonného systému proti zkratu</p>



IGBT výkonový modul Skiip jako základní stavební kámen trakčního měniče



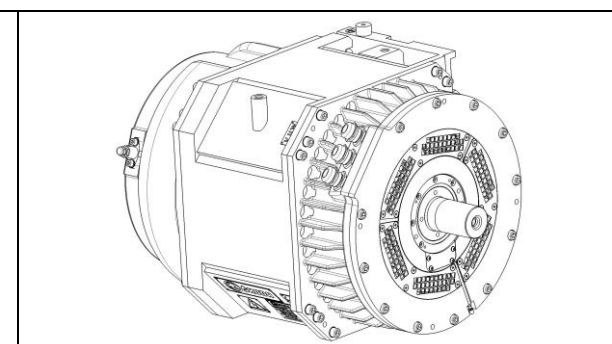
Trakční měnič (pohled 1) - část s výkonovými IGBT součástkami použitými jako trojfázový střídač



Trakční měnič (pohled 2) - část s výkonovými IGBT součástkami použitými pro spínání brzdového odporů a pro spínač pulzní rekuperace



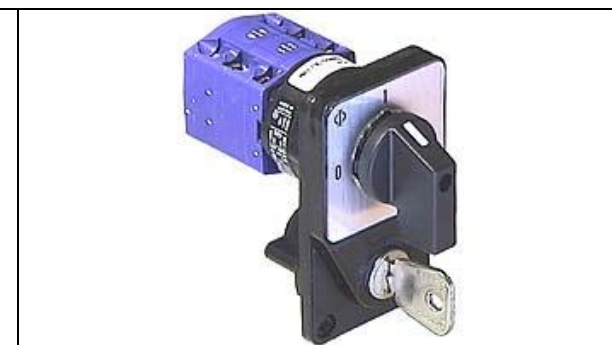
Brzdový odporník - maření elektrické energie při brždění vozidla, přepětová ochrana trakčního měniče



Trakční motor - asynchronní točivý stroj pro převod elektrické energie na mechanickou (tvoří pohon kolejového vozidla)

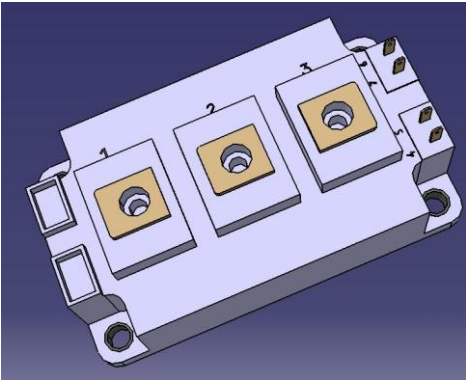
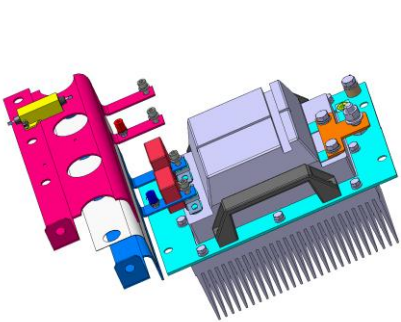
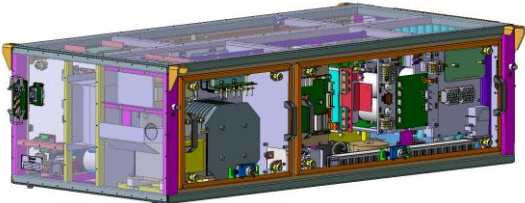
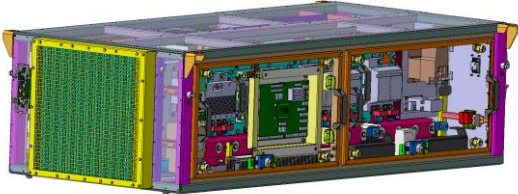


Řídicí kontrolér - ovládací prvek pro zadání trakční a brzdové síly

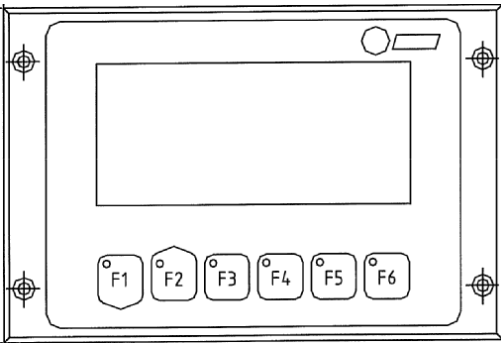
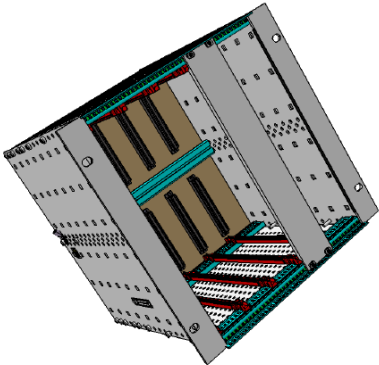


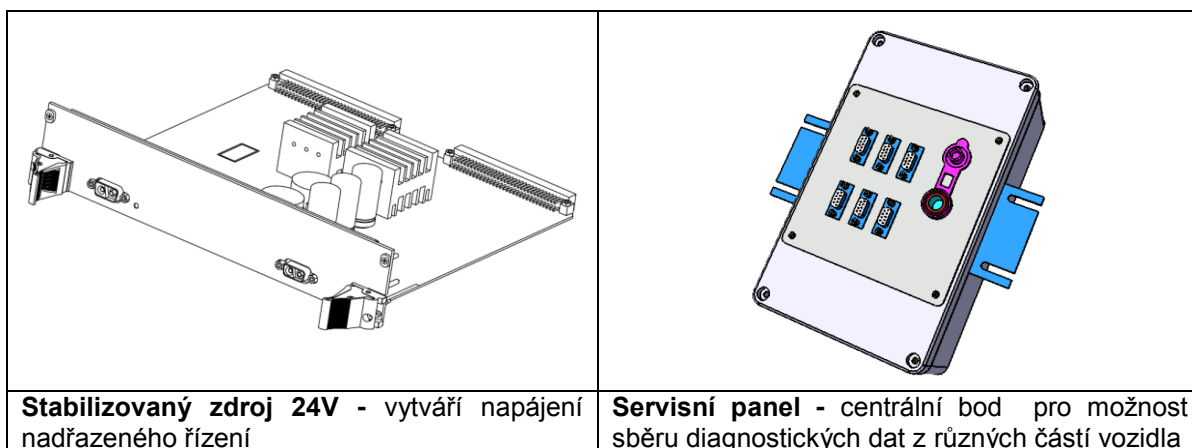
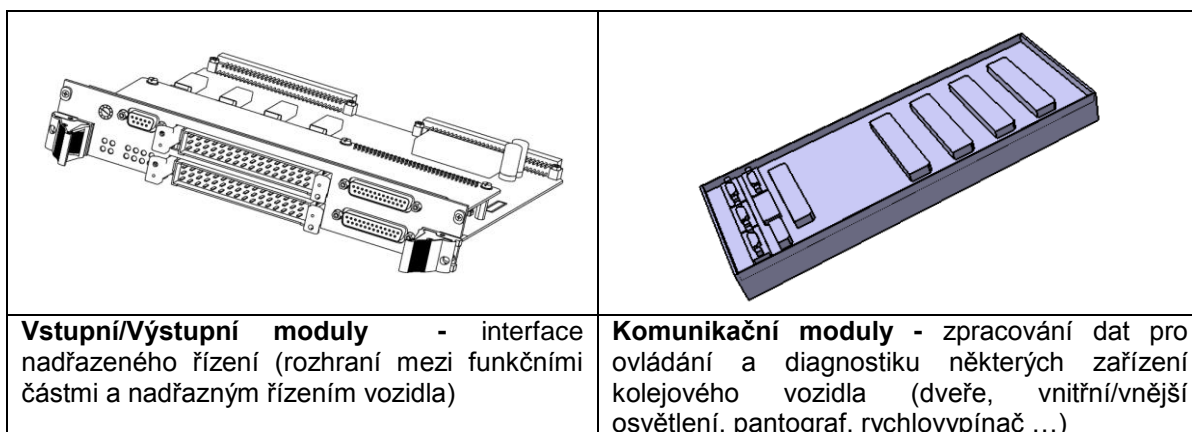
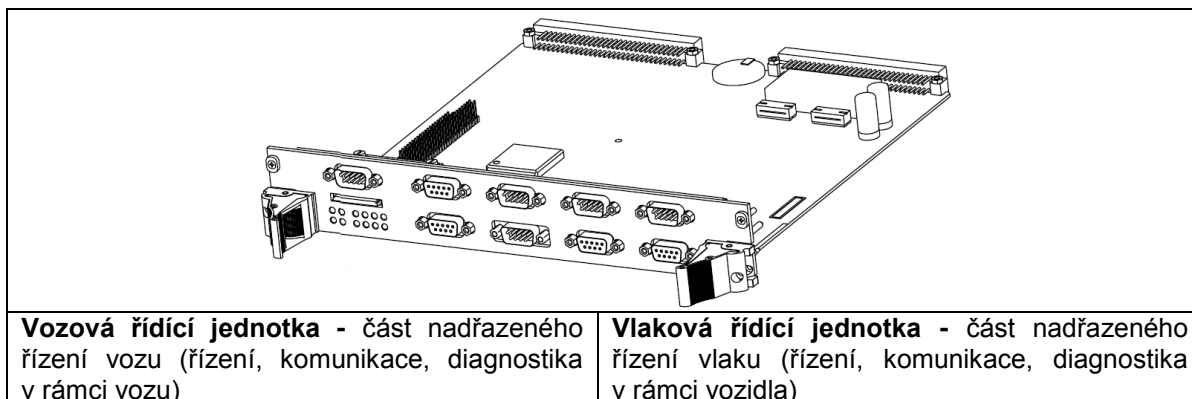
Přepínač směru - aktivace stanoviště řidiče, volba směru jízdy

Skupina 2 - Systém pomocného napájení

	
<p>IGBT výkonový modul jako základní stavební kámen nabíječové části</p>	<p>IGBT výkonový modul Skiiip jako základní stavební kámen střídačové části</p>
	
<p>Měnič pom. pohonů a nabíječ (pohled 1) - část nabíječová (pro dobíjení vozové baterie, tvorba sítě malého napětí)</p>	<p>Měnič pom. pohonů a nabíječ (pohled 2) - část střídačová (pro napájení pomocných pohonů vozidla, tvorba 1f sítě pro napájení zásuvkové sítě)</p>

Skupina 3 - Systém nadřazeného řízení

	
<p>Vizualizační systém - zobrazuje stav řídicího a diagnostického systému kolejového vozidla</p>	<p>Vana nadřazeného řízení - slouží pro vložení a propojení karet nadřazeného řízení vozidla</p>



3. Parametry RAMS

Pro jednotlivé konstrukční části kolejového vozidla (Skupiny 1 až 3) je nutné pro analýzu spolehlivosti a rizik numericky stanovit následující RAMS parametry.

3.1 Parametry bezporuchovosti

Jedná se o parametry potřebné ke stanovení četnosti nežádoucích událostí (poruch) vedoucích ke ztrátě funkčnosti a/nebo bezpečnosti kolejového vozidla:

- MTBF (střední doba provozu mezi poruchami),
- MTBSF (střední doba provozu mezi servisními poruchami).

3.2 Parametry udržovatelnosti

Jedná se o parametry potřebné pro stanovení doby potřebné pro obnovu funkčnosti zařízení po poruše a dále parametry potřebné pro stanovení LCC kolejového vozidla:

- MTTR (střední doba do obnovy),
- pracnost opravy,
- interval preventivní údržby,
- cena náhradních dílů.

3.3 Parametry pro provoz a bezpečnost kolejového vozidla

Pro všechna identifikovaná nebezpečí kolejového vozidla s důsledky pro jeho provoz a bezpečnost je nutné zajistit hodnocení rizika lepší než R1 nebo R2 následujícím postupem.

1. Stanoví se úroveň závažnosti nebezpečí.
2. Stanoví se úroveň četnosti výskytu nebezpečí.
3. Stanoví se úroveň rizika.

Úroveň závažnosti nebezpečí provozu kolejového vozidla se hodnotí zvlášť z hlediska důsledků pro provoz a z hlediska důsledků pro bezpečnost. Provádí se podle tab. 1.

Tab. 1: Úrovně závažnosti nebezpečí

Úroveň závažnosti	Důsledek pro bezpečnost	Důsledky pro provoz
Katastrofická (1)	Oběti na životech a/nebo mnoho vážných zranění a/nebo vážné poškození životního prostředí	Ztráta vlakové služby, nesplnění mise soupravy - jedná se o způsoby poruch, kdy souprava není schopna dojet do následující stanice a musí být odtažena do depa.
Kritická (2)	Jedno úmrtí a/nebo vážné zranění a/nebo významné poškození životního prostředí	Porucha důležitého systému, částečné splnění mise soupravy - jedná se o způsoby poruch, kdy je 1/2 soupravy nefunkční, souprava je schopna dojet do následující stanice a následně do depa.
Okrajová (3)	Lehčí zranění a/nebo významné ohrožení životního prostředí	Poškození důležitého systému, splnění mise soupravy s omezením - jedná se o způsoby poruch, kdy dojde k poruše systému, který je zálohován identickým systémem, souprava je schopna dojet do konečné stanice (popř. dokončit celou směnu), poté dojede do depa.
Nevýznamná (4)	Možné lehčí zranění	Malé poškození systému, splnění mise soupravy bez omezení - jedná se o nevýznamné poruchy, např. poruchy signalizace apod., souprava je schopna provozu bez omezení.

Pro úroveň závažnosti nebezpečí 1 (katastrofická), 2 (kritická), 3 (okrajová) a 4 (nevýznamná) se stanoví četnosti výskytu nebezpečí, viz tab. 2.

Tab. 2: Charakteristika nebezpečí – matice rizika

Četnost výskytu nebezpečné události		Úrovně závažnosti následků nebezpečí			
		4 Nevýznamná	3 Okrajová	2 Kritická	1 Katastrofická
A	Častá ≥ 100 / rok	R2	R1	R1	R1
B	Pravděpodobná ≥ 1 až < 100 /rok	R3	R2	R1	R1
C	Občasná $\geq 1E-2$ až < 1 /rok	R3	R2	R2	R1
D	Malá $\geq 1E-4$ až $< 1E-2$ /rok	R4	R3	R2	R2
E	Nepravděpodobná $\geq 1E-6$ až $< 1E-4$ /rok	R4	R4	R3	R3
F	Vysoce nepravděpodobná $< 1E-6$ /rok	R4	R4	R4	R4

Nebezpečí je tedy reprezentováno možnou nežádoucí událostí (tzv. vrcholová událost), která má 2 parametry:

- pravděpodobnost výskytu (vyjádřenou jako četnost),
- velikost následku.

Tyto parametry ve své kombinaci udávají v matici rizika hodnotu rizika. Pomocí matice rizika se tedy provede ohodnocení rizika s přiřazením indexu rizika, viz tab. 3.

Tab. 3: Hodnocení úrovně rizika

Index rizika	Úroveň rizika
R1	Nepřípustné riziko
R2	Nežádoucí riziko
R3	Přípustné riziko
R4	Zanedbatelné riziko

4. Data pro RAMS

Data nutná pro numerický výpočet parametrů RAMS a pro vypracování analýz RAMS kolejového vozidla, lze získat z následujících zdrojů.

- Generické databáze spolehlivosti. Jedná se o data shromážděná z různých zdrojů a soustředěná do komerčně dostupných databází. Tato data jsou zatížena poměrně velkou nejistotou.
- Data dodavatelů. Jedná se o data od subdodavatelů komponent kolejového vozidla (katalogové listy, prohlášení, ...). Rovněž tato data, pokud nejsou subdodavatelem získána na základě jeho provozních zkušeností či zkoušek mohou být zatížena nejistotou.


- Specifické databáze spolehlivosti. Jedná se o data získaná z údajů o provozu, údržbě a poruchách shromážděná přímo výrobcem kolejového vozidla, tj. údaje ze servisní databáze ŠKODA. Tato data jsou zpravidla nejměrohodnější.

Příklad údajů získaných z výše uvedených zdrojů dat je prezentován v následujících ukázkách dat pro RAMS.




DSK – Přepínač směru – (3.2)	
Výpočet proveden podle databáze	N/A
MTBF	7,63E+04

Odhad střední doby mezi poruchami MTBF proveden podle databáze MIL-HDBK-217.

Obr. 7: Ukázka dat získaných z generické databáze

 PRESCRIPTION	CALCULATION															
MTBF FOR HSCB TYPE UR6	Typically, we experienced 3 failures in service on 1000 apparatuses each year of service. In case of 4500 hours of service yearly:															
DEFINITION MTBF = $\frac{\text{Nr. of breakers in service} \times \text{hours in service}}{\text{Nr. of failures in service}}$ or $\lambda = \frac{1}{\text{MTBF}}$	$\text{MTBF} = \frac{1000 \text{ HSCB} \times 4500 \text{ h}}{3} = 1.5 \cdot 10^6 \text{ hours}$ $\lambda = \frac{1}{\text{MTBF}} = 6.6 \cdot 10^{-7} \text{ hours}^{-1}$															
	<table border="1"> <tr> <td>Establ. : 28.07.92</td> <td>Replace :</td> <td>Resp. dpt. : CO-TG</td> </tr> <tr> <td>Checked 1 : 28.07.92</td> <td>Org. from :</td> <td>Purch dpt. :</td> </tr> <tr> <td>Checked 2 : 28.07.92</td> <td>Language : E</td> <td>Doc. type :</td> </tr> <tr> <td>OK for exe. :</td> <td>Format : A4</td> <td>Page : 1 Nr. of pages : 4</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Modification A 17.09.98</td> <td>HSBA 601304</td> </tr> </table>	Establ. : 28.07.92	Replace :	Resp. dpt. : CO-TG	Checked 1 : 28.07.92	Org. from :	Purch dpt. :	Checked 2 : 28.07.92	Language : E	Doc. type :	OK for exe. :	Format : A4	Page : 1 Nr. of pages : 4	Modification A 17.09.98		HSBA 601304
Establ. : 28.07.92	Replace :	Resp. dpt. : CO-TG														
Checked 1 : 28.07.92	Org. from :	Purch dpt. :														
Checked 2 : 28.07.92	Language : E	Doc. type :														
OK for exe. :	Format : A4	Page : 1 Nr. of pages : 4														
Modification A 17.09.98		HSBA 601304														

Obr. 8: Ukázka dat získaných od dodavatele spínacích přístrojů

 A COMPANY OF THE RAILVEY TRANSPORT GROUP LEKOV, a.s. Jírotova 375 336 01 Blovice	ISO 9001 REGISTERED  DNV MGMT. SYS. RvA C.024 DNV Certification B.V., The Netherlands	 LEKOV, a.s. Jírotova 375, 336 01 Blovice IČ: 25213423, tel: 371 522 240 R&D Manager: Ing. Tomáš LORENC												
MTBF declaration	In Blovice on the 8th June 2007													
<table border="1"> <thead> <tr> <th>DEVICE</th> <th>DRAWING OF DEVICE</th> <th>MTBF [hours]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Pantograph EPDE 11-2600</td> <td>Ed030972/III</td> <td>100 000</td> </tr> <tr> <td>Master controller 1 KRD52</td> <td>Ed031004/I</td> <td>100 000</td> </tr> <tr> <td>Box BPS28</td> <td>Ed031012/I</td> <td>150 000</td> </tr> </tbody> </table>	DEVICE	DRAWING OF DEVICE	MTBF [hours]	Pantograph EPDE 11-2600	Ed030972/III	100 000	Master controller 1 KRD52	Ed031004/I	100 000	Box BPS28	Ed031012/I	150 000		
DEVICE	DRAWING OF DEVICE	MTBF [hours]												
Pantograph EPDE 11-2600	Ed030972/III	100 000												
Master controller 1 KRD52	Ed031004/I	100 000												
Box BPS28	Ed031012/I	150 000												

Obr. 9: Ukázka dat získaných od dodavatele trakčních přístrojů

Tab. 4: Ukázka dat získaných ze servisní databáze ŠKODA

Položka předchozího projektu	Počet poruch	Počet komponentů na vozidle	Kód položky kolejového vozidla	Popis položky kolejového vozidla	Intenzita poruch (poruchy/hodiny)
Bleskojistka	0	1	1.2	Bleskojistka (LA)	8,92E-07
Radiální ventilátor	1	2	2.1.1	Radiální ventilátor (-E1)	1,34E-06

Pro odhad intenzit poruch pomocí servisních dat předchozího projektu je nutné znát tyto dodatečné parametry:

- počet vozidel v provozu,
- proběh vozidel/den,
- počet roků v provozu,
- počet dní provozu v kalendářním roce.

5. Analýza RAMS

5.1 Souhrn postupů a analýz projektu RAMS kolejového vozidla:

Analýzy RAMS představují vzájemně provázaný a vnitřně konzistentní soubor analýz. Jedná se o analýzy uvedené v následujícím přehledu

- Funkční blokový diagram (FBD - Functional Block Diagram)
- Funkční bloková analýza (FBA - Functional Block Analysis)
- Hierarchický rozklad zařízení (SH – Systém Hierarchy)
- Předběžná analýza nebezpečí (PHA - Preliminary Hazard Analysis)
- Analýza způsobů, důsledků a kritičnosti poruch (FMECA - Failure Mode and Effect Analysis)
- Analýza bezporuchovosti počítáním z dílů (PCA - Parts Count Analysis)
- Analýza stromu poruchových stavů (FTA - Fault Tree Analysis)
- Analýza udržitelnosti (MA – Maintainability Analysis)

5.2 Popis analýzy RAMS a vzájemných vazeb:

Při analýze RAMS se využívá syntézy výsledků ze dvou rozdílných přístupů. První přístup je založen na analyzování systému „shora - dolů“ (analýzy FBA, PHA, FTA). Druhý přístup je založen na analyzování systému „zdola - nahoru“ (analýzy FMECA, PCA). U obou analýz musí dojít v určité úrovni ke spojení → dává komplexní analýzu a celkový popis systému na všech úrovních.

Počátečními analýzami jsou PHA a FBA. Využívá se funkčního blokového diagramu FBD, který graficky vyjadřuje popis a vztahy subsystémů na nejvyšších úrovních rozkladu kolejového vozidla. PHA obecně popisuje systém (kolejové vozidlo) a všechna nebezpečí pro důsledky na bezpečnost kolejového vozidla. Výsledkem je odhad úrovně závažnosti všech identifikovaných nebezpečí, odhad intervalu frekvence výskytu nebezpečí a následný odhad hodnocení rizika a přiřazení indexu rizika.

Dalšími analýzami jsou FMECA a PCA. Základními údaji pro analýzu FMECA je hierarchický rozklad zařízení SH (popisuje položky systému do nejnižších úrovní rozkladu systému).

K jednotlivým položkám přiřazuje intenzity poruch, popisuje systém na nejnižších úrovních a hledá závažné způsoby poruch položek vzhledem k vyšším subsystémům a celkovému systému (kolejové vozidlo). Ve FMECA se způsoby poruch položek hodnotí stejnými závažnostmi jako v provedené analýze FBA. V analýze PCA se využijí poznatky o intenzitách poruch z analýzy FMECA. Provede se napočtení intenzit poruch na vyšší subsystémy a na závěr na celkové kolejové vozidlo (resp. na jeho konstrukční části rozdělené do skupin). Napočtení musí být v souladu hierarchickým rozkladem SH a funkčním blokovým schématem FBD.

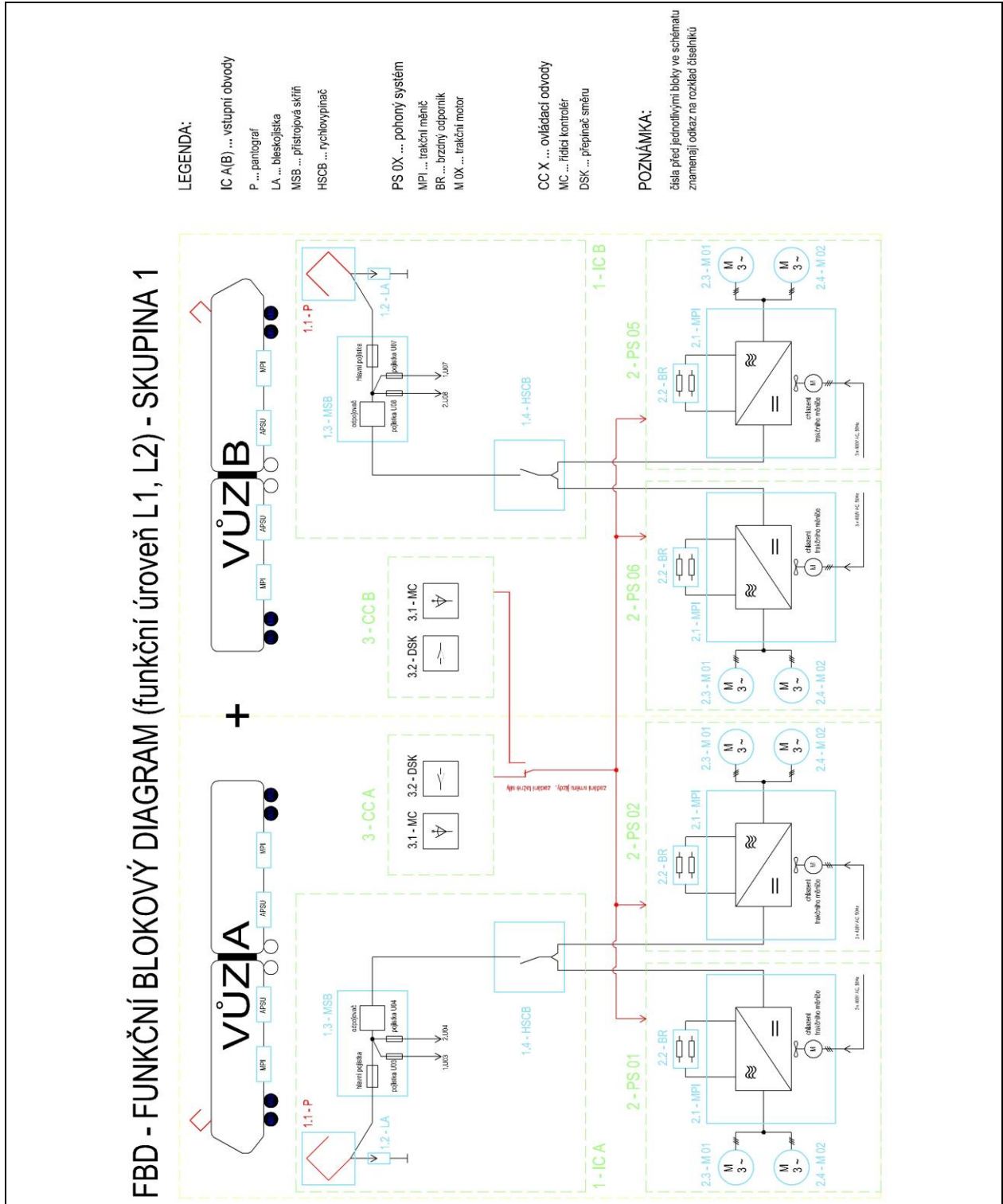
Na výsledky FBA (identifikovaná nebezpečí s hodnocením závažnosti 1 - katastrofická a 2 - kritická) navazuje analýza stromu poruchových stavů FTA. Podobně jako v FBA je FTA provedena zvláště pro nebezpečí (vrcholové události) s důsledky pro provoz a bezpečnost. Výsledkem je napočítaná intenzita poruch (četnost výskytu) pro vrcholové události s hodnocením závažností 1 nebo 2. Četnost výskytu a úroveň závažnosti je použita pro hodnocení rizika.

Analýza udržovatelnosti (MA) je přeložena zpracována ve formátu datového souboru. Hlavní parametr udržovatelnosti MTTR byl stanoven podle zkušeností z předchozích projektů, při montáži zařízení a typových zkoušek zařízení.

5.3 Ukázky prováděných analýz

V následující části příspěvku jsou ukázky analýzy RAMS. Ukázky jsou prezentovány pro konstrukční část kolejového vozidla označovanou jako Skupina 1, tj. pro pohonný systém včetně ostatních trakčních komponentů.

Funkční blokový diagram (FBD)



Obr. 10: Ukázka funkčního blokového schématu (diagramu)

Funkční bloková analýza (FBA)

Tab. 5: Analýza FBA - první část tabulky

Seznam funkcí (Funkce na nejvyšší úrovni rozkladu)	Kategorie funkcí		Druhy a klasifikace/hodnocení poruch	
	Hlavní	Vedlejší	Způsob poruchy	Úroveň závažnosti
Zajištění brzdné síly	x		Úplná ztráta brzdné síly A - lze rekuperovat	1
			Úplná ztráta brzdné síly B - nelze rekuperovat	1

Tab. 6: Analýza FBA - druhá část tabulky

Příčina selhání (porucha na funkčním bloku nižší úrovně)		Příčina selhání (porucha na více funkčních blocích nižší úrovně)
Příčina 1	Příčina 2	Příčina 1
Porucha CCA	Porucha CCB	Porucha ICA x Porucha ICB x Porucha PS01 x Porucha PS02 x Porucha PS05 x Porucha PS06
Porucha CCA	Porucha CCB	Porucha PS01 x Porucha PS02 x Porucha PS05 x Porucha PS06

Hierarchický rozklad zařízení (SH)

Tab. 7: Hierarchický rozklad zařízení

Kód položky	Popis položky	WRU	LRU	Počet kusů na vůz	Počet kusů na vlak
2	Pohonný systém (PS01 až PS06)	zahrnuje 2.1 - 2.4			
2.1	Trakční měnič (MPI)	Y	N	2	4
2.1.1	Radiální ventilátor (-E1)	N	Y	2	4
2.1.2	Řídicí jednotka (-A1_c)	zahrnuje 2.1.2.1 - 2.1.2.2			
↓					
2.4	Trakční motor (M02)	Y	N	2	4
3	Ovládací obvody (CCA, CCB)	zahrnuje 3.1 - 3.2			
3.1	Řídicí kontrolér (MC)	Y	N	1	2
3.2	Přepínač směru (DSK)	Y	N	1	2
4	Ostatní (REM)	N/A	N/A	N/A	N/A

Předběžná analýza nebezpečí (PHA)
Tab. 8: Analýza PHA - první část tabulky

Poř. č.	Identifikace nebezpečí			Může software přispět k nebezpečí (Ano/Ne)	
	Popis nebezpečí	Příčiny nebezpečí	Důsledky nebezpečí		
02	Úplná ztráta brzdné síly A - lze rekuperovat	porucha/ztráta vstupních napájecích obvodů vlaku, porucha/ztráta obvodů zajišťujících a podílejících se na brždění vozidla, porucha/ztráta ovládacích obvodů vozidla	nelze zabrzdit, vlak může vykolejit -> vážná zranění, oběti na životech	během jízdy vozidla	Ano
03	Úplná ztráta brzdné síly B - nelze rekuperovat	porucha/ztráta obvodů zajišťujících a podílejících se na brždění vozidla, porucha/ztráta ovládacích obvodů vozidla	nelze zabrzdit, vlak může vykolejit -> vážná zranění, oběti na životech	během jízdy vozidla	Ano

Tab. 9: Analýza PHA - druhá část tabulky

Odhad počátečního rizika			Doporučeno pro řízení/zmírnění	Odhad zbytkového rizika		
Závažnost	Frekvence/Četnost	Index rizika		Závažnost	Frekvence/Četnost	Index rizika
Katastrofická (1)	Občasná (C)	Nepřípustné (R1)	<p>použití prvků s vyšší bezporuchovostí, použití mechanických (kotoučových) brzd</p> <p>použití prvků s vyšší bezporuchovostí, použití mechanických (kotoučových) brzd</p>	Katastrofická (1)	Nepravděpodobná (E)	Přípustné (R3)

Analýza způsobů, důsledků a kritičnosti poruch (FMECA)
Tab. 10: Analýza FMECA - první část tabulky

Kód položky	Popis položky	Funkce položky	Způsob poruchy	Příčina(y) poruchy
2	Pohonný systém (PS01 až PS06)	zahrnuje 2.1 - 2.4		
2.1	Trakční měnič (MPI)	zahrnuje 2.1.1 až 2.1.27		
2.1.1	Radiální ventilátor (-E1)	chlazení výkonových bloků trakčního měniče	porucha ložiska	opotřebení materiálu (zadření ložiska)
			porucha motoru	poškození hřídele, poškození vinutí statoru, poškození vinutí rotoru apod.
			poškození lopatek	ulomení lopatek, deformace lopatek
2.1.2	Řídicí jednotka (-A1_c)	zahrnuje 2.1.2.1 a 2.1.2.2		
↓				
2.4	Trakční motor (M02)	položka získaná od ŠELC - TRM jako celek - není zde analyzována (analýza provedena v FBA, FTA)		
3	Ovládací obvody (CCA, CCB)	zahrnuje 3.1 až 3.2		
3.1	Řídicí kontrolér (MC)	položka získaná od subdodavatele jako celek - není zde analyzována (analýza provedena v FBA, FTA)		
3.2	Přepínač směru (DSK)	položka získaná od subdodavatele jako celek - není zde analyzována (analýza provedena v FBA, FTA)		
4	Ostatní (REM)	položka typu kabely, pasy apod. - není analyzována, položka má zanedbatelnou intenzitu poruch		

Tab. 11: Analýza FMECA - druhá část tabulky (pouze k položce 2.1.1)

Metoda(y) detekce poruchy		Důsledky(účinky) poruchy	
Způsoby detekce pro display	Způsoby detekce pro údržbáře	Subsystém (místní)	System (celkový)
online diagnostika	offline diagnostika, vizuální prohlídka ventilátoru	ztráta chlazení trakčního měniče → zapůsobení tepelné ochrany → blokování měniče (není vytvořena energie pro napájení paralelně uspořádaných trakčních motorů)	1 trakční měnič celého vozidla mimo provoz → není zajištěn pohon 1/2 podvozku vozu
online diagnostika	offline diagnostika, vizuální prohlídka ventilátoru		
online diagnostika	offline diagnostika, vizuální prohlídka ventilátoru		

Tab. 12: Analýza FMECA - třetí část tabulky (pouze k položce 2.1.1)

Intenzita poruch položky (poruchy/h)	Počet položek na vlak	Pravděpodobnost (módu) poruchy	Intenzita výskytu důsledků poruch pro dodávku	Závažnost	Riziko	Návrh zabezpečení nebo postupů pro zmírnění rizika
1,34E-06	4	0,6	1,41E-02	3	R2	<i>vhodné provedení ventilátoru a jeho ložisek pro trakční účely, vysoký stupeň ochrana krytím IP, testování systému dle EY00596P, údržování systému dle EY01031P</i>
		0,2	4,70E-03	3	R3	<i>vhodně mechanicky a elektricky dimenzovaný ventilátor, testování systému dle EY00596P,</i>
		0,2	4,70E-03	3	R3	<i>údržování systému dle EY01031P</i>

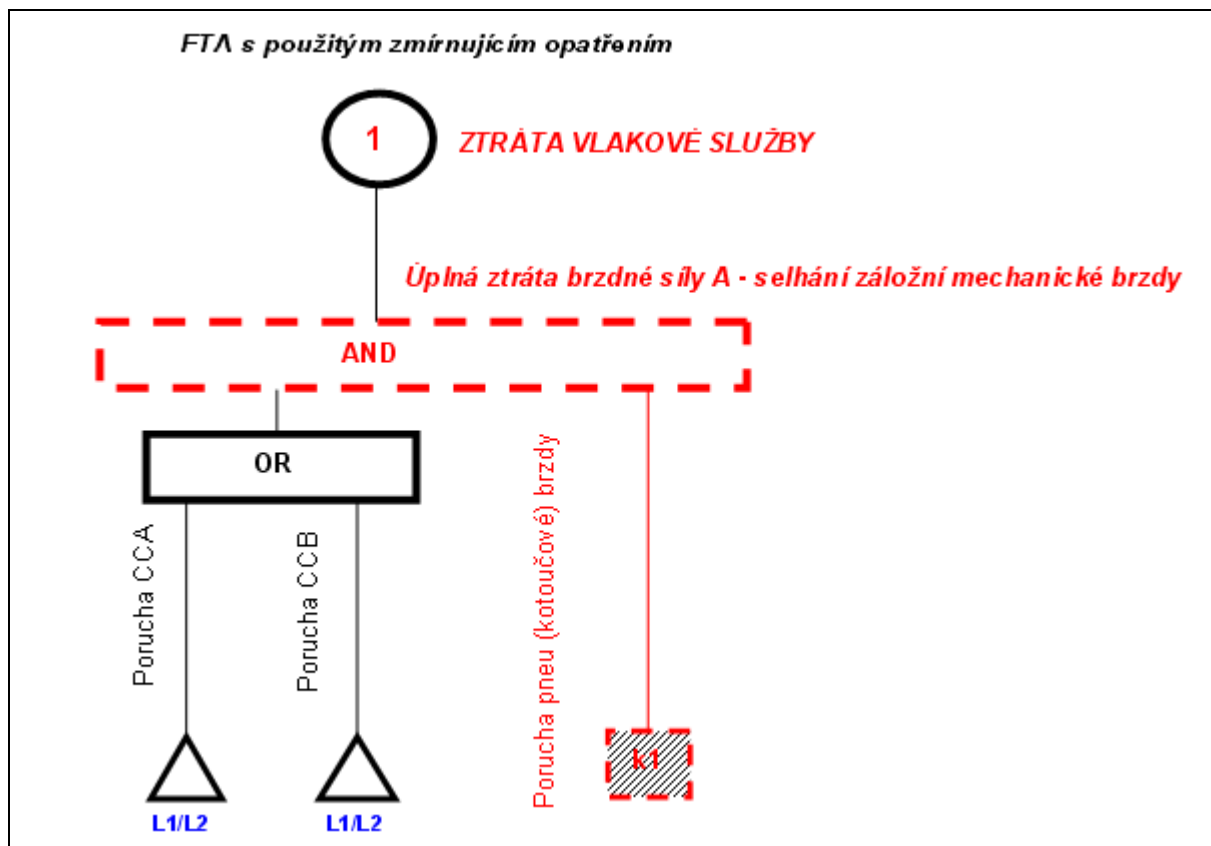
Analýza bezporuchovosti počítáním z dílů (PCA)

Tab. 13: Analýza PCA

Kód položky	Popis položky	Intenzita poruch na kus (poruchy/hodiny)	Intenzita poruch na vůz (poruchy hodiny)
2	Pohonný systém (PS01 až PS06)	1,15E-04	2,29E-04
2.1	Trakční měnič (MPI)	1,11E-04	2,21E-04
2.1.1	<i>Radiální ventilátor (-E1)</i>	<i>1,34E-06</i>	<i>2,68E-06</i>
2.1.2	Řídící jednotka (-A1_c)	1,07E-05	2,14E-05
↓			
2.4	Trakční motor (M02)	1,59E-06	3,18E-06
3	Ovládací obvody (CCA, CCB)	2,31E-05	2,31E-05
3.1	Řídící kontrolér (MC)	1,00E-05	1,00E-05
3.2	Přepínač směru (DSK)	1,31E-05	1,31E-05
4	Ostatní (REM)	1,00E-09	

Celková intenzita poruch na vůz se vypočte jako součet zjištěných intenzit subsystémů na nejvyšších úrovních (viz tučně vyznačené hodnoty v tabulce). Intenzita poruch vozidla (resp. konstrukční části) je dána podle konfigurace vozidla, tzn. dvojnásobkem celkové intenzity poruch na vůz. Inverzní hodnotou k intenzitě poruch se získá hledaná hodnota bezporuchovosti MTBF.

Analýza stromu poruchových stavů (FTA)



Obr. 6: Ukázka části analýzy FTA

Ukázka analýzy se vztahuje na minimalizovaný strom poruchových stavů s použitým zmírňujícím opatřením pro snížení hodnocení rizika s indexem R1 nebo R2 na R3 nebo R4.

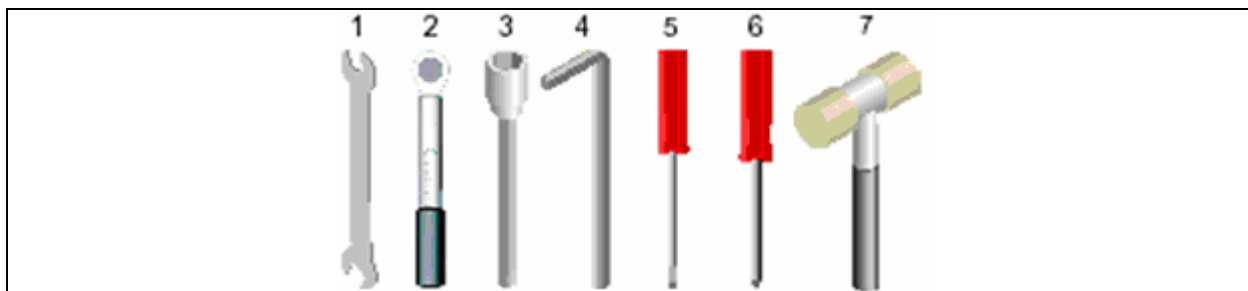
Analýza udržitelnosti (MA)
Tab. 14: Analýza MA - první část tabulky

Rozklad, Rozsah dodávky		Korektivní údržba				
Kód položky	Popis položky	Opravitelé (Ano/Ne)	MTTR (h)	Počet pracovníků	Náklady na požadovaný materiál (Eur)	Kategorie zaměstnance (G,E,M,S)
2	Pohonný systém (PS01 až PS06)	zahrnuje 2.1 - 2.4				
2.1	Trakční měnič (MPI)	Y	3	2	x	M
2.1.1	<i>Radiální ventilátor (-E1)</i>	Y	1,5	2	x	M
2.1.2	Řídicí jednotka (-A1_c)	zahrnuje 2.1.2.1 to 2.1.2.2				
↓						
2.4	Trakční motor (M02)	Y	3	2	x	M
3	Ovládací obvody (CCA, CCB)	zahrnuje 3.1 - 3.2				
3.1	Řídicí kontrolér (MC)	Y	0,5	1	x	M
3.2	Přepínač směru (DSK)	Y	1	1	x	M
4	Ostatní (REM)	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

Tab. 14: Analýza MA - druhá část tabulky

Preventivní údržba (doporučený interval 500 000Km)						
Popis	MTTR (h)	Počet pracovníků	Kategorie zaměstnance (G,E,M,S)	Návod k obsluze a údržbě	Zařízení pro údržbu	Poznámky
N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
↓						
Celková kontrola	60	2	M/E	T	T	N/A
zahrnuje 3.1 - 3.2						
Generální oprava	0,5	1	M	T	T	-40% km, +0%km
Vizuální prohlídka	0,25	1	M	T	T	N/A
N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

Poznámka: Označení T je odkazem na dokument Popis funkcí, návod na provoz a údržbu. Označení x - ceny nejsou v tomto dokumentu uváděny.



Obr. 7: Ukázka ze seznamu nástrojů pro údržbu dodávaného zařízení

6. Dokumentace RAMS

S ohledem na rozsah provedených analýz RAMS a potřebu jejich dokladování zákazníkovi, je dokumentace hierarchicky rozdělena do 3 úrovní.

Úroveň 1

Vrcholový dokument RAMS. Je reprezentován finální závěrečnou zprávou a podává všechny systémové informace týkající se RAMS projektu kolejového vozidla.

Úroveň 2

Dokumentace analýz RAMS. Je reprezentována přílohami této zprávy. Obsahuje všechny základní popisné a datové informace týkající se provádění analýz RAMS a výsledky analýz RAMS. Obsahuje rovněž záznamy o jednání se zákazníkem a se subdodavatelem týkající se problematiky RAMS.

Úroveň 3

Dokumentace primárních podkladů. Jedná se o dokumenty se záznamy primárních dat RAMS z provozu zařízení ŠKODA ELECTRIC, katalogových listů s údaji RAMS zařízení dodavatelů, výsledků typových zkoušek zařízení ŠKODA ELECTRIC, detailní konstrukční dokumentace zařízení ŠKODA ELECTRIC apod.

O rozsahu dokumentace je možné si učinit představu z počtu vypracovaných dokumentů jednotlivých typů, který je uveden v tab. 15.

Tab. 15: Rozsah dokumentace RAMS (počet dokumentů)

Typ dokumentu	Počet dokumentů
Textový	80
Grafický	8
Datový	69

7. Závěr

Poděkování patří všem, kteří se podíleli na projektu RAMS kolejového vozidla.

RAMS trakčního motoru

Ing. Petr Macoun, ŠKODA ELECTRIC a.s., tel. +420 603 458 271

e-mail: petr.macoun@skoda.cz

1. Specifika trakčního motoru

Hlavním specifikem trakčních motorů je vtěsnat požadovaný výkon, správnější by bylo říci požadovaný moment, při konkrétní úrovni napájecího napětí do prostoru pod vozidlem. U kolejových vozidel je to prostor v podvozku na šířku limitovaný rozchodem kolejnic, zespodu čarou mezinárodního drážního profilu pro kolejová vozidla (stanovená výška nad hlavou kolejnice) a shora nutnou vůlí od spodní plochy skříně vozidla kvůli propuštění podvozku vůči skříně vozidla. U trolejbusu je spodní limit prostoru pro motor dán zákonem o drahách a vyhláškou Ministerstva dopravy. Dále uchycení motoru je zcela poplatné konstrukčnímu řešení podvozku vozidla a liší se vozidlo od vozidla.

1.1 Druhy motorů

Stejnoseměrné trakční motory

V uplynulých 60 letech dominovaly v pohonu trakčních vozidel i v pohonu kompresorů a ventilátorů na vozidlech stejnosměrné motory. Nejvýkonnějším u nás sériově vyráběným trakčním motorem byl 1000 kW pro rychlíkovou lokomotivu. Motory pro veřejnou hromadnou dopravu byly ve výkonech od 45 kW do 180 kW. Pomocné motory od 2 kW do 40 kW. Choulostivým místem stejnosměrných motorů v trakci je uzel komutátor-kartáče, který musí být ochráněn před nečistotami a vlhkostí. S rozvojem polovodičové techniky jako jsou GTO tyristory a IGBT tranzistory a stále rychlejší procesory pro řízení střídavých motorů začal masivní nástup asynchronních motorů i do tradičních aplikací.

Asynchronní trakční motory

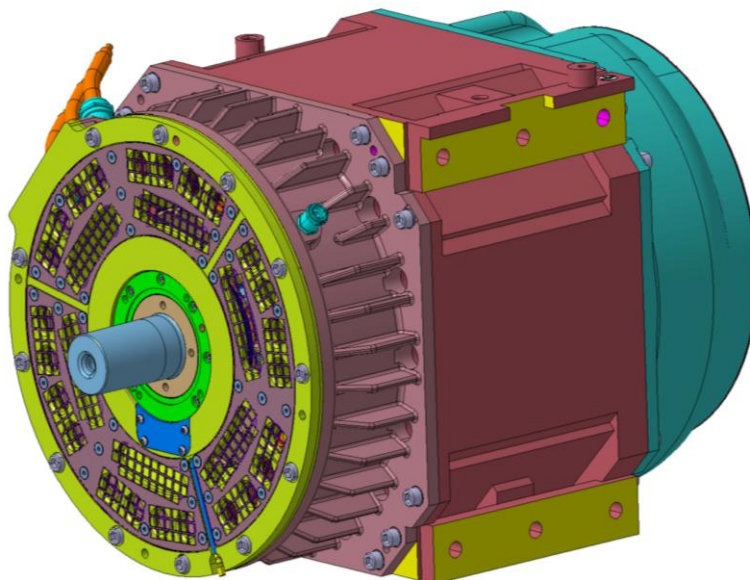
Nejrozšířenějším střídavým motorem v trakci se stal asynchronní motor s kotvou nakrátko. Moderní pohonářská technika řídí u těchto motorů napětí a frekvenci a tím zajišťuje všechny jízdní režimy trakčního vozidla, rozjezd, jízdu ustálenou rychlostí, výběh a elektrodynamické brzdění.

1.2 Upevnění trakčního motoru ve vozidle

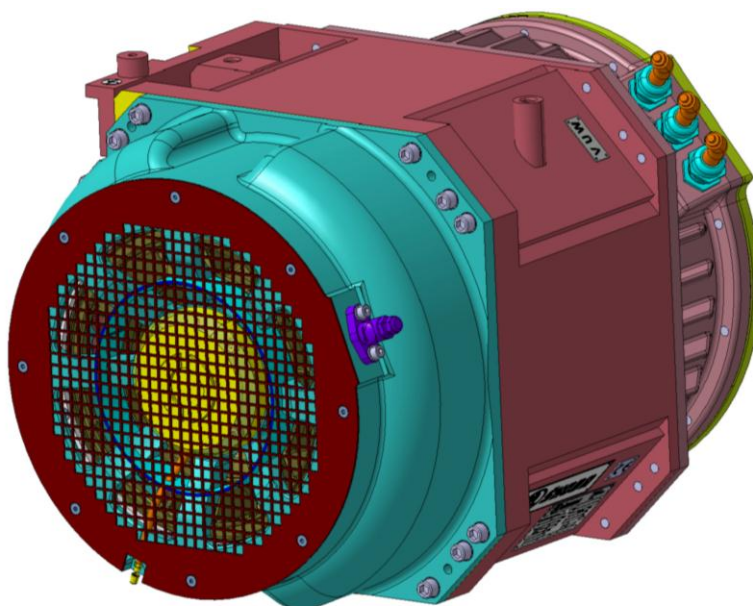
U kolejových vozidel jsou dvě základní řešení zavěšení trakčního motoru a to v rámu nebo podvozku vozidla a zavěšení na nápravě tzv. tlapové uložení. V prvním případě je přenos kroutícího momentu k převodovce realizován kloubovou nebo pružnou spojkou. V druhém případě je součástí motoru tlapový závěs svírající ložiska na nápravě dvojkolí a na druhé straně je motor pružně uložen k rámu podvozku. Druhé řešení je konstrukčně jednodušší ale část hmotnosti motoru nutno počítat k neodpružené hmotě dvojkolí. Používá se pro menší rychlosti vozidla a menší výkony na nápravu.

1.3 Ukázka asynchronního trakčního motoru

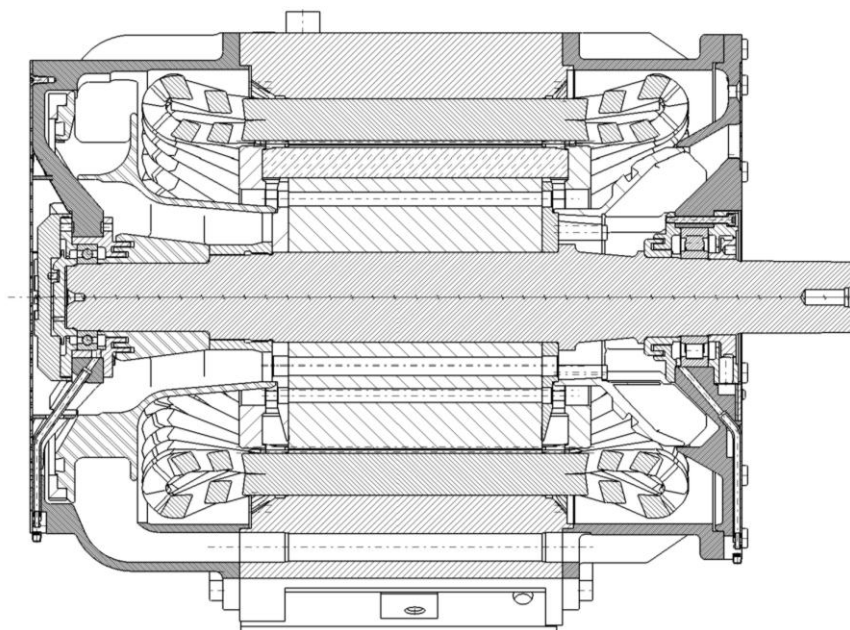
Pro představu vzhledu a provedení asynchronního trakčního motoru jsou na obr. 1 až 3 uvedeny pohledy na motor a řez motorem.



Obr. 1: Pohled zezadu



Obr. 2: Pohled zepředu



Obr. 3: Asynchronní trakční motor v řezu

2. Rozklad trakčního motoru na funkční celky

2.1 Počet úrovní rozkladu

Při rozkladu trakčního motoru na funkční celky je zapotřebí zvážit z jakého hlediska se k tomu lze postavit.

a) Hledisko účelnosti sledování komponent (uzlů)

Obvykle jsou doporučovány tři až čtyři úrovně rozkladu produktu na uzly. Rozhodujícím je pozice uzlu v rozkladu motoru, který je důležité sledovat. Jsou to významné díly nebo součásti z hlediska funkce výrobku nebo získávané od subdodavatelů.

b) Možnosti kódování uzlů v informačním systému

V informačním systému (IS) společnosti ŠKODA ELECTRIC, kterým je BaaN V byl vytvořen modul BAAN Servis. Modul dokáže identifikovat komponentu na konkrétní úrovni rozkladu jedním znakem 1-9, a-z celkem v 6 úrovních. Počet komponent v jedné úrovni může být tedy až 35. U složitějších zařízení je pak nutné vhodně členit funkční celky, aby se vystačilo s 35 možnostmi. Zavedený rozklad do IS lze doplňovat, ale bez změny označení již zavedených uzlů. V případě nutnosti lze jakoby další úroveň nahradit definováním dalších módů poruch pro konečný uzel.

2.2 Obecný rozklad trakčního motoru

Obecný rozklad trakčního motoru, který zahrnuje různé varianty motoru (stejnoseměrný, asynchronní, s integrovanou převodovkou, druhy chlazení, počty otáčkových a teplotních čidel) ukazuje následující obrázek. Tento a následující procesy probíhaly v týmu zástupců Technického úseku, Technické kontroly a Řízení jakosti. Přehled obecného rozkladu je uveden v tab. 1.

Tab. 1: Přehled obecného rozkladu trakčního motoru

OBECNÝ ROZKLAD TRAKČNÍHO MOTORU			
I. úroveň	II. úroveň	III. úroveň	IV. úroveň
1 ROTOR	11 HŘÍDEL	111 PŘEDNÍ KONEC	
	PAKET ROTOR. 12 PLECHŮ	112 ZADNÍ KONEC	
	13 KLEČ ROTORU (AC)	131 KRUH NAKRÁTKO	
	14 VINUTÍ ROTORU (DC)	132 ROTOROVÉ TYČE	
	15 KOMUTÁTOR (DC)	141 VYROVNÁVACÍ SPOJKY	
	16 POVRCHOVÁ ÚPRAVA	142 VINUTÍ	
	17 VYVÁŽENÍ	151 LAMELOVÝ VĚNEC	
	19 OSTATNÍ	152 MANŽETA	
		161 NÁTĚRY	
		162 IMPREGNACE	
2 STATOR	21 KÓSTRA PAKET STATOR. 22 PLECHŮ	171 VYVÁŽENÍ NA PŘEDNÍ STRANĚ	
	23 MEZIKUS	172 VYVÁŽENÍ NA ZADNÍ STRANĚ	
	24 VINUTÍ STATORU		
	25 PÓLY (DC)	241 STATOROVÉ CÍVKY (AC)	
	26 PŘÍVODNÍ KABELY	242 PROPOJENÍ UVNITŘ MOTORU	
		251 PÓLOVÉ CÍVKY POMOCNÉ	
		252 PÓLOVÉ CÍVKY HLAVNÍ	
		253 KOMPENZACE	
		261 KABEL FÁZE U	
		262 KABEL FÁZE V	
		263 KABEL FÁZE W	
		264 SILOVÝ KONEKTOR	
		265 SVORKOVNICE	
		266 KABEL K HLAVNÍMU PÓLU D1	
		267 KABEL K HLAVNÍMU PÓLU D2	
		268 KABEL KE KOTVĚ A2	
		269 KABEL K POMOCNÉMU PÓLU B1	
	27 ZÁVĚS MOTORU	271 KONZOLA MOTORU	
	28 POVRCHOVÁ ÚPRAVA	272 PRUŽNÉ ELEMENTY	
	29 OSTATNÍ	281 NÁTĚRY	
	282 IMPREGNACE		

Tab. 1: Přehled obecného rozkladu trakčního motoru - pokračování

OBECNÝ ROZKLAD TRAKČNÍHO MOTORU				
I. úroveň	II. úroveň	III. úroveň	IV. úroveň	
3 ŠTÍTY	31 ŠTÍT PŘEDNÍ			
	32 ŠTÍT ZADNÍ			
	33 LOŽISKA	331 PŘEDNÍ LOŽISKO		
	TĚSNĚNÍ OL. 34 MLHA/TUK	332 ZADNÍ LOŽISKO		
	35 POVRCHOVÁ ÚPRAVA			
	39 OSTATNÍ			
4 PŘEVODOVKA	41 SKŘÍŇ PŘEVODOVKY			
	42 VÍKO PŘEVODOVKY			
	43 HŘÍDELE	431 HŘÍDEL OZUBENÉHO KOLA		
		432 HŘÍDEL POMOCNÉHO KOLA		
	44 LOŽISKA	441 LOŽ. PASTORKU STRANA SKŘÍNĚ		
		442 LOŽ. PASTORKU STRANA VÍKA		
		443 LOŽ. OZUB. KOLA STRANA SKŘÍNĚ		
		444 LOŽ. OZUB. KOLA STRANA VÍKA		
		445 LOŽ. POMOC. KOLA STRANA SKŘÍNĚ		
		446 LOŽ. POMOC. KOLA STRANA VÍKA		
	45 TĚSNĚNÍ	451 TĚSNĚNÍ HŘÍDELE DO MOTORU		
		452 TĚSNĚNÍ LOŽ. UZLU PASTORKU		
		453 TĚSNĚ. HŘÍD. NA VÝST. PŘEVOD.		
		454 TĚSNĚNÍ POM. HŘÍDELE NA VÝST.		
		455 TĚSNĚNÍ VÍKA PŘEVODOVKY		
		46 ODVZDUŠŇOVAČ	461 ODVZDUŠŇOVAČ	
	47 OZUBENÁ KOLA	462 TĚSNĚNÍ ODVZDUŠŇOVAČE		
		471 PASTOREK		
472 OZUBENÉ KOLO S HŘÍDELÍ				
473 OZUBENÉ KOLO				
48 POVRCHOVÁ ÚPRAVA	474 POMOCNÉ KOLO			
	49 OSTATNÍ			

Tab. 1: Přehled obecného rozkladu trakčního motoru - pokračování

OBECNÝ ROZKLAD TRAKČNÍHO MOTORU					
I. úroveň	II. úroveň	III. úroveň	IV. úroveň		
5 PŘÍSLUŠENSTVÍ	51 ČIDLA	511 ČIDLO OTÁČEK	5111 ČIDLO OTÁČEK 1 5112 ČIDLO OTÁČEK 2		
		512 OZUB. VĚNEC PRO SNÍMÁNÍ OTÁČEK			
		513 VENT. S ÚPRAVOU PRO SNÍMÁNÍ OT.			
		514 ROTAČNÍ ČIDLO OTÁČEK			
		515 ČIDLO TEPLOTY VE VINUTÍ	5151 KONEKTOR ČIDEL TEPLOTY ČIDLO TEPLOTY VE 5152 FÁZI U ČIDLO TEPLOTY VE 5153 FÁZI V ČIDLO TEPLOTY VE 5154 FÁZI W 5155 ČIDLO TEPLOTY R1 5156 ČIDLO TEPLOTY R2 5157 ČIDLO TEPLOTY R3 5158 ČIDLO TEPLOTY R4 ČIDLO TEPLOTY 5161 PŘEDNÍHO LOŽISKA ČIDLO TEPLOTY 5162 ZADNÍHO LOŽISKA		
			516 ČIDLO TEPLOTY LOŽISKA		
			517 ČIDLO BRZDOVÉHO SYSTÉMU		
		52 VENTILACE	521 CIZÍ VENTILACE		
			522 VLASTNÍ VENTILACE	5221 VENTILÁTOR NA PŘEDNÍ STRANĚ 5222 VENTILÁTOR NA ZADNÍ STRANĚ	
		53 SPOJKA	54 SBĚRNÉ ÚSTROJÍ (DC)	531 SPOJKA HLAVNÍ	
				532 SPOJKA VEDLEJŠÍ	
				533 KARDANOVÁ SPOJKA	
				534 KARDANOVÝ HŘÍDEL	
				535 PÍST KARDANOVÉ SPOJKY	
				536 KARDANOVÝ KŘÍŽ	
	537 LOŽISKO KARDANOVÉHO KLOUBU				
	538 UNÁŠEČ STRANA KARDAN. HŘÍDELE				
	539 UNÁŠEČ STRANA PŘEVOD. SKŘÍNĚ				
				541 KARTÁČOVÝ DRŽÁK 542 IZOLAČNÍ ROUBÍK 543 KARTÁČ 544 NOSIČ SBĚRNÉHO ÚSTROJÍ 545 OBJÍMKA ROUBÍKŮ	
	55 POVRCHOVÁ ÚPRAVA	551 NÁTĚRY			
	59 OSTATNÍ				

2.3 Rozklad pro konkrétní typ trakčního motoru

V následující tab. 2 je rozklad motoru konkrétního typu, kde byly vynechány položky z obecného rozkladu, které se u tohoto motoru nevyskytují. Byly přitom zachovány kódy uzlů na jednotlivých úrovních rozkladu odpovídající obecnému rozkladu.

Tab. 2: Přehled rozkladu konkrétního typu trakčního motoru

ROZKLAD TRAKČNÍHO MOTORU 2MLU 3638 K/4			
I. úroveň	II. úroveň	III. úroveň	IV. úroveň
1 ROTOR	11 HŘÍDEL PAKET ROTOR. 12 PLECHŮ 13 KLEC ROTORU (AC) POVRCHOVÁ 17 ÚPRAVA 16 VYVÁŽENÍ 19 OSTATNÍ	112 ZADNÍ KONEC 131 KRUH NAKRÁTKO 132 ROTOROVÉ TYČE 171 NÁTĚRY 161 VYVÁŽENÍ NA PŘEDNÍ STRANĚ 162 VYVÁŽENÍ NA ZADNÍ STRANĚ	
2 STATOR	22 PAKET STATOR. PLECHŮ 23 MEZIKUS 24 VINUTÍ STATORU 26 PŘÍVODNÍ KABELY POVRCHOVÁ 28 ÚPRAVA 29 OSTATNÍ	241 STATOROVÉ CÍVKY (AC) 242 PROPOJENÍ UVNITŘ MOTORU 261 KABEL FÁZE U 262 KABEL FÁZE V 263 KABEL FÁZE W 281 NÁTĚRY 282 IMPREGNACE	
3 ŠTÍTY	31 ŠTÍT PŘEDNÍ 32 ŠTÍT ZADNÍ 33 LOŽISKA POVRCHOVÁ 35 ÚPRAVA 39 OSTATNÍ	331 PŘEDNÍ LOŽISKO 332 ZADNÍ LOŽISKO	
5 PŘÍSLUŠENSTVÍ	51 ČIDLA 52 VENTILACE POVRCHOVÁ 55 ÚPRAVA 59 OSTATNÍ	511 ČIDLO OTÁČEK 512 OZUB. VĚNEC PRO SNÍMÁNÍ OTÁČEK 515 ČIDLO TEPOTY VE VINUTÍ 522 VLASTNÍ VENTILACE 551 NÁTĚRY	5151 KONEKTOR ČIDEL TEPLOTY ČIDLO TEPOTY VE FÁZI U 5152 ČIDLO TEPOTY VE FÁZI V 5153 ČIDLO TEPOTY VE FÁZI W 5154 VENTILÁTOR NA PŘEDNÍ STRANĚ 5221 VENTILÁTOR NA ZADNÍ STRANĚ 5222



ŠKODA ELECTRIC a.s.

3. Určení módů poruch a jejich četností

Rozkladu motoru bylo využito k pojmenování možných poruch na uzlech v nejnižší úrovni pro každý řádek rozkladu.

3.1 Možné poruchové stavy

Přehled možných poruchových stavů přiřazených jednotlivým uzlům je uveden v tab. 3. Pro omezený rozsah sborníku není prezentován seznam všech uvažovaných poruchových stavů, ale jen ukázka přístupu.



ŠKODA ELECTRIC a.s.

Tab. 3: Přehled uvažovaných módů poruch (ukázka přístupu)

OBECNÝ ROZKLAD TRAKČNÍHO MOTORU A MÓDY PORUCH									
I. úroveň		II. úroveň		III. úroveň		IV. úroveň		kód poruchy	mód poruchy - základní událost
1	ROTOR	11	HŘÍDEL	111	PŘEDNÍ KONEC			0000	poškození konce hřídele
				112	ZADNÍ KONEC			0000	poškození konce hřídele
		12	PAKET ROTOR. PLECHŮ					0003	uvolnění na hřídeli
		13	KLEC ROTORU (AC)	131	KRUH NAKRÁTKO			1005	roztažení kruhu nakrátko
								1006	utržení kruhu nakrátko v pájeném spoji
								1007	vada kruhu nakrátko
								1008	uvolnění zděře
				132	ROTOROVÉ TYČE			1009	přetržení rotorové tyče blízko pájeného spoje
		14	VINUTÍ ROTORU (DC)	141	VYROVNÁVACÍ SPOJKY			1010	porucha vyrovnávacích spojek
				142	VINUTÍ			1000	nízký izolační odpor
								1001	elektrický průraz na železo
								1002	závitový zkrat
								1004	porucha uvolněním klínu v drážce
		15	KOMUTÁTOR (DC)	151	LAMELOVÝ VĚNEC			1040	vypálené lamely
								1041	přetahaná měď
								1042	silné opotřebení
				152	MANŽETA			1001	elektrický průraz na železo
		16	POVRCHOVÁ ÚPRAVA	161	NÁTĚRY			3000	vada nátěru
				162	IMPREGNACE			1012	nedostatečné vytvrzení impregnace
		17	VYVÁŽENÍ	171	VYVÁŽENÍ NA PŘEDNÍ STRANĚ			0002	ztráta vyvážení
				172	VYVÁŽENÍ NA ZADNÍ STRANĚ			0002	ztráta vyvážení
		19	OSTATNÍ					3008	ostatní poruchy



ŠKODA ELECTRIC a.s.

Tab. 3: Přehled uvažovaných módů poruch (ukázka přístupu) - pokračování

OBECNÝ ROZKLAD TRAKČNÍHO MOTORU A MÓDY PORUCH									
I. úroveň		II. úroveň		III. úroveň		IV. úroveň		kód poruchy	mód poruchy - základní událost
2	STATOR	21	KOSTRA					0020	prasklina odlitku
		22	PAKET STATOR. PLECHŮ					0081	prasknutí svaru na paketu statoru
								0082	uvolnění paketu v kostře
		23	MEZIKUS					0020	prasklina odlitku
		24	VINUTÍ STATORU	241	STATOROVÉ CÍVKY (AC)			1000	nízký izolační odpor
								1001	elektrický průraz na železo
								1002	závitový zkrat
								1004	porucha uvolněním klínu v drážce
				242	PROPOJENÍ UVNITŘ MOTORU			1001	elektrický průraz na železo
								1003	vypálení spoje
		25	PÓLY (DC)	251	PÓLOVÉ CÍVKY POMOCNÉ			1000	nízký izolační odpor
								1001	elektrický průraz na železo
								1002	závitový zkrat
								1003	vypálení spoje
				252	PÓLOVÉ CÍVKY HLAVNÍ			1000	nízký izolační odpor
								1001	elektrický průraz na železo
								1002	závitový zkrat
								1003	vypálení spoje
				253	KOMPENZACE			1000	nízký izolační odpor
								1001	elektrický průraz na železo
								1003	vypálení spoje

Způsob volby kódování módů poruch je uveden v tab. 4.

Tab. 4: Přehled kódování módů poruch

první dělení	druhé dělení	kód módu poruchy	mód poruchy	
mechanická část	hřídel	0000	poškození konce hřídele	
		0001	poškození hřídele	
		0002	ztráta vyvážení	
		0003	uvolnění na hřídeli	
		0004	poškození ozubení	
	0005	poškození výstupního hřídele ozubeného kola		
	díly z ocelolitin	0020	prasklina odlitku	
		0021	poréznost odlitku	
		spojka	0040	chybné nasazení
			0041	porucha vedlejší spojky
		kardanová spojka	0060	poškození těsnění vnitř. prostoru kardanové spojky
			0061	poškození těsnění závěrného dílu
			0062	poškození evolventního drážkování
			0063	poškození drážky pro pero ložiskového domku
			0064	trhlinky na kardanovém hřídeli
			0065	poškození pístu kardanové spojky
	0066		prasklina na kardanovém kříži	
	0067		vymačkaný čep kardanového kříže	
	0068		únik maziva z kardanového kříže	
	0069		poškození pera ložiskového domku	
0070	vymačkání oběžné plochy ložiskového domku			
0071	poškození valivých elementů			
0072	jiné poškození ložiskového domku			
0073	poškození gufera u vnějšího kloubu			
0074	poškození křížového ozubení			
0075	trhlinky v oblasti křížového ozubení			
magnetický obvod	0080	uvolnění rotorového paketu na hřídeli		
	0081	prasknutí svaru na paketu statoru		
	0082	uvolnění paketu v kostře		
ložiska	0100	hlučnost ložiska		
	0101	zadření ložiska		
	0102	zadření labyrintů ložiska		
	0103	únik maziva z ložiska		
	0104	poškození těsnícího kroužku		
	odvzdušňovač	0120	únik oleje z odvzdušňovače převodovky	
		0121	neprůchodný odvzdušňovač	
závěs motoru	0140	porucha závěsu motoru		
	0141	popraskání konzoly motoru		
	0142	utržení konzoly motoru		
	0143	zrezavění konzoly motoru		
	0144	poškození pružného elementu		

Tab. 4: Přehled kódování módů poruch - pokračování

první dělení	druhé dělení	kód módu poruchy	mód poruchy	
elektrická část	vinutí	1000	nízký izolační odpor	
		1001	elektrický průraz na železo	
		1002	závitový zkrat	
		1003	vypálení spoje	
		1004	porucha uvolněním klínu v drážce	
		1005	roztažení kruhu nakrátko	
		1006	utržení kruhu nakrátko v pájeném spoji	
		1007	vada kruhu nakrátko	
		1008	uvolnění zděře	
		1009	přetržení rotorové tyče blízko pájeného spoje	
	1010	porucha vyrovnávacích spojek		
	1011	elektrický přeskok na železo		
	1012	nedostatečné vytvrzení impregnace		
	připojení motoru	1020	porucha silového konektoru	
		1021	mechanické poškození	
		1022	uvolnění šroubového spojení	
		1023	netěsnost víka svorkovnice	
		komutátor	1040	vypálené lamely
			1041	přetahaná měď
	1042		silné opotřebení	
	sběrací ústrojí	1060	opaly odlitku kartáčového držáku	
		1061	opaly přítlačného zařízení	
		1062	koróze přítlačného zařízení	
1063		mechanické poškození izolačního roubíku		
1064		hrubá dosedací plocha kartáče		
1065		opaly na hranách kartáče		
1066		odštípané hrany kartáče		
1067		nedostatečné zatemování lanek do kartáče		
1068		porucha natáčení nosiče sběrného ústrojí		
1069		koróze objímky roubíků		
1070	opaly objímky roubíků od přeskoků			
příslušenství	čidlo otáček	2000	vnitřní vada čidla	
		2001	znečištění čidla	
		2002	mechanické poškození nebo uvolnění čidla	
		2003	přerušování kabelu čidla	
		2004	ztráta stínění kabelu čidla	
		2005	mechanické poškození konektoru čidla	
		2006	ztráta spojení v konektoru čidla	
		2007	uvolnění ozubeného věnce	
		2008	poškození ložiska rotačního čidla	
		2009	uvolnění spojení rotačního čidla s hřídelí motoru	

Tab. 4: Přehled kódování módů poruch - pokračování

první dělení	druhé dělení	kód módu poruchy	mód poruchy
	čidlo teploty	2020	vadný konektor čidel teploty
		2021	porucha čidla teploty
		2022	el. průraz čidla teploty na vinutí
		2023	ztráta funkce čidla (přerušení přívodů)
		2024	el. průraz čidla teploty NB1 na železo
		2025	ztráta funkce čidla teploty NB1(přerušení přívodů)
		2026	el. průraz čidla teploty NB2 na železo
		2027	ztráta funkce čidla teploty NB2(přerušení přívodů)
		2028	el. průraz čidla teploty DB1 na železo
		2029	ztráta funkce čidla teploty DB1 (přerušení přívodů)
		2030	el. průraz čidla teploty DB2 na železo
		2031	ztráta funkce čidla teploty DB2 (přerušení přívodů)
Různé		3000	vada nátěru
		3001	únik oleje těsněním
		3002	porucha vstupního hrdla
		3003	porucha výstupního krytu
		3004	prasklý ventilátor
		3005	uvolnění ventilátoru na zadní straně
		3006	poškozený nátěr a rezavění motoru
		3007	uvolnění šroubových spojů
		3008	ostatní poruchy

3.2 Expertní odhad četností poruch pro konkrétní motor

V týmu jednotliví účastníci předkládali svoje predikce četnosti módů poruch. Přitom vycházeli ze zkušenosti, počtu zaznamenaných reklamací a u potenciálních poruch expertní odhady. Následující tabulka uvádí četnosti poruch, výpočet intenzity poruch, pravděpodobnosti poruch a pravděpodobnost bezporuchového provozu užitím exponenciálního rozložení pravděpodobnosti pro parametr $t = 1\,000\,000$ km.

Intenzity poruch byly stanovovány podílem četností poruch ku celkovému proběhu v km provozovaných asynchronních trakčních motorů obdobné velikosti a použití. Celkový zaznamenaný proběh těchto motorů činí celkem 759 175 000 km. Pravděpodobnosti bezporuchového provozu byly přeneseny do stromu poruch k základním událostem.

Následně byly provedeny výpočty odpovídající logickým hradlům až k vrcholové události. V takto doplněném stromu je vidět nejslabší uzel z hlediska spolehlivosti. Výsledky odhadu četnosti a výpočtu parametrů spolehlivosti jsou uvedeny v tab. 5. Opět pro omezený rozsah sborníku není prezentován seznam všech výsledků, ale jen ukázka přístupu.

Tab. 5: Přehled výsledků (ukázka přístupu)

2MLU 3638 K/4			pořadové číslo poruchy ordinal number of failure	počet výskytů poruchy number of failure	intenzita poruchy failure rate λ [km ⁻¹]	pravděpodobnost poruchy probabilities of failure $F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$	pravděpodobnost bezporuchového provozu probabilities of failure-free operation $R(t) = e^{-\lambda t}$
Rotor	Hřídel Shaft	poškození zadního konce hřídele	1	1	1,31722E-09	0,001316352	0,998683648
		shaft rear end damage					
	Paket rot. plechnů Rotor stack of lam.	uvolnění rotorového paketu na hřídeli	2	0	4,39073E-10	0,000438977	0,999561023
		loosening of stack of rotor laminations from the shaft					
	Kruh nakrátko End ring	roztažení kruhu nakrátko	3	0	4,39073E-10	0,000438977	0,999561023
		End ring extension					
		utržení kruhu nakrátko v pájeném spoji					
	End ring break in the soldered joint						
	vada kruhu nakrátko	5	0	4,39073E-10	0,000438977	0,999561023	
	End ring failure						
Tyč Bar	přetržení rotorové tyče blízko pájeného spoje	6	0	4,39073E-10	0,000438977	0,999561023	
	breaking of the rotor bar close to the soldered joint						
Vyvážení rotoru Rotor balancing	ztráta vyvážení na přední straně	7	1	1,31722E-09	0,001316352	0,998683648	
	balance loss at the front side						
	ztráta vyvážení na zadní straně	8	1	1,31722E-09	0,001316352	0,998683648	
	balance loss at the rear side						

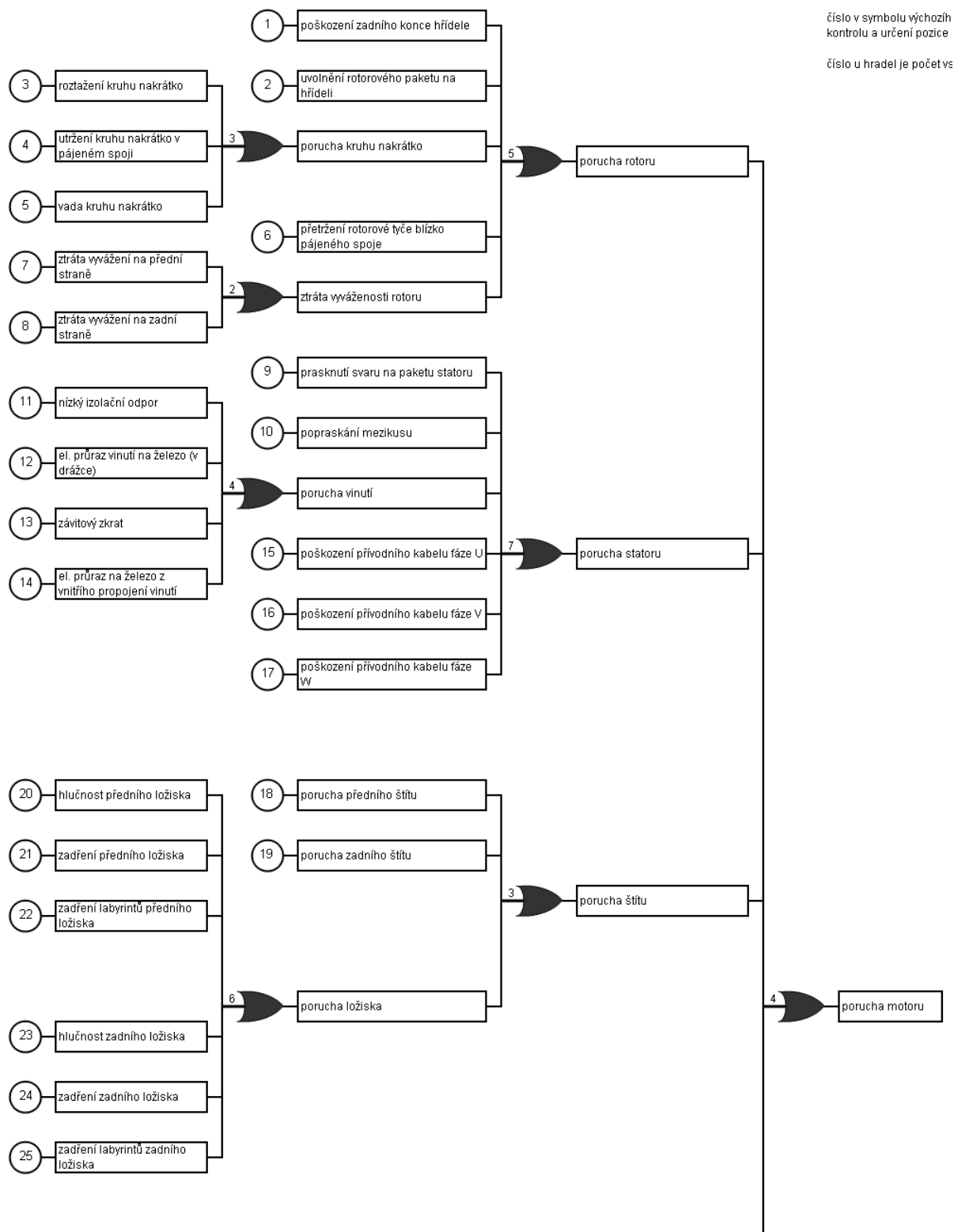
Tab. 5: Přehled výsledků (ukázka přístupu) - pokračování

2MLU 3638 K/4			pořadové číslo poruchy ordinal number of failure	počet výskytů poruchy number of failure	intenzita poruchy failure rate λ [km ⁻¹]	pravděpodobnost poruchy probabilities of failure $F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$	pravděpodobnost bezporuchového provozu probabilities of failure-free operation $R(t) = e^{-\lambda t}$
	Paket statorových plechů Stator stack of lamination	prasknutí svaru na paketu statoru	9	0	4,39073E-10	0,000438977	0,999561023
		weld crack on the stack of stator laminations					
Stator	Mezikus Spacer	popraskání mezikusu spacer cracking	10	0	4,39073E-10	0,000438977	0,999561023
		nízký izolační odpor low insulation resistance	11	4,5	5,92749E-09	0,005909954	0,994090046
	Vinutí Winding	el. průraz vinutí na železo (v drážce) winding-to-iron breakdown (in the slot)	12	1	1,31722E-09	0,001316352	0,998683648
		závitový zkrat Fault between turns	13	4	5,26888E-09	0,005255021	0,994744979
		el. průraz na železo z vnitřního propojení vinutí internal winding wiring- to-iron breakdown	14	2	2,63444E-09	0,002630972	0,997369028
	Přívodní kabely Supply cables	poškození přívodního kabelu fáze U supply cable fase U damage	15	1	1,31722E-09	0,001316352	0,998683648
		poškození přívodního kabelu fáze V supply cable fase V damage	16	1	1,31722E-09	0,001316352	0,998683648
poškození přívodního kabelu fáze W supply cable fase W damage		17	1	1,31722E-09	0,001316352	0,998683648	

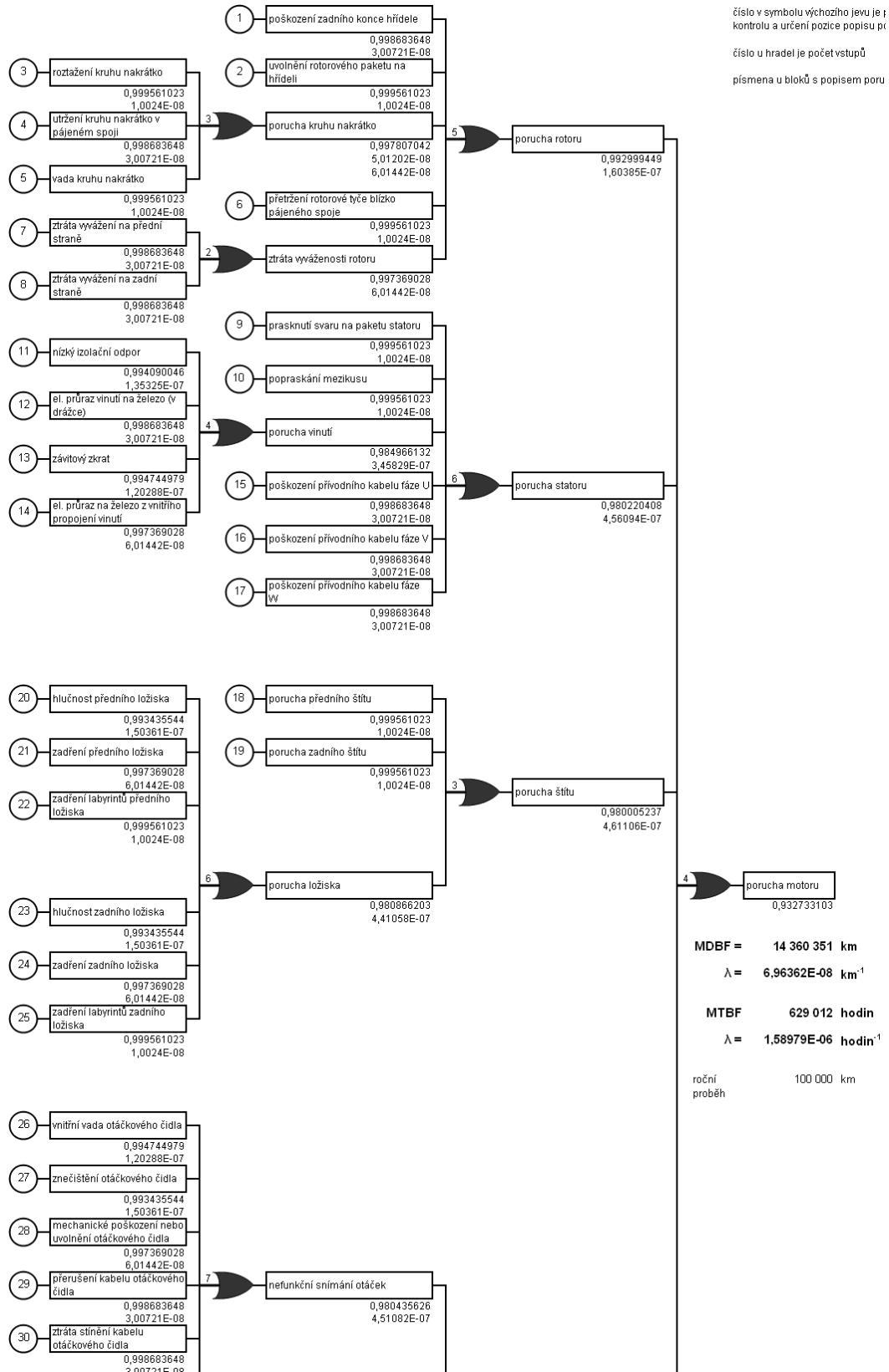
4. Strom poruchových stavů (FTA)

Strom poruchových stavů byl konstruován využitím rozkladu motoru na uzly a k nim přiřazeným módům poruch jako základních událostí. Byly užity značky uváděné v literatuře jak pro základní události tak pro logická hradla odpovídající charakteru analyzovaného systému. Trakční motor, až na jednu výjimku, má charakter sériového systému. Výjimkou jsou 3 nebo 4 teplotní čidla ve vinutí statoru, ale pro řízení motoru se používá jen údaj z jednoho a ostatní lze pokládat za záložní. V případě poruchy zapojeného teplotního čidla, řídicí systém pohonu nouzově použije údaj ze sousedního motoru v podvozku. Při odstávce vozidla se v konektoru přepojí vodič na fungující teplotní článek.

Analýza FTA byla založena v první fázi na sestavení logického modelu stromu poruch, viz obr. 4. Ve druhé fázi byl proveden výpočet ve stromu poruch, viz obr. 5.



Obr. 4: Struktura (model) stromu poruch



MDBF = 14 360 351 km
 $\lambda = 6,96362E-08 \text{ km}^{-1}$
 MTBF = 629 012 hodin
 $\lambda = 1,58979E-06 \text{ hodin}^{-1}$

roční proběh 100 000 km

Obr. 5: Výpočty ve stromu poruch

5. LCC trakčního motoru

Náklady životního cyklu motoru byly kvantifikovány pro preventivní údržbu, viz tab. 6 a pro údržbu po poruše, viz tab. 7. Opět pro omezený rozsah sborníku není prezentován seznam všech položek pro údržbu po poruše, ale jen ukázka přístupu.

Tab. 6: Preventivní údržba

Popis	MTTR	Počet prac.	Kat. prac.	Instrukce pro údržbu	Zařízení pro údržbu	Poznámka
	h		(G,E,M,S)			
Doporučený interval 1 - 10 000 km ± 10 %						
vizuální kontrola šroubových spojů, neporušenosti a dotažení průchodek, neporušenosti kabelů, kompletnosti motoru	0,5	1	G	Udržovací předpis EdPO448 a.00		
Doporučený interval 2 - 20 000 km ± 10 %						
vizuální kontrola šroubových spojů, neporušenosti a dotažení průchodek, neporušenosti kabelů, kompletnosti motoru, domazání obou ložisek tukem Shell Retinax LX2	1	1	G	Udržovací předpis EdPO448 a.00		
Doporučený interval 3 - 500 000 km ± 10 %						
činnosti podle Udržovacího předpisu EdPO448 a.00, body 8.5., 9.1. a 9.2.	60	2	G, E	Udržovací předpis EdPO448 a.00		

Tab. 7: Údržba po poruše (ukázka přístupu)

2MLU 3638 K/4		pořadové číslo činnosti	Popis činnosti	MTTR [min]	Počet pracovníků	Cena materiálu [USD]	Kategorie pracovníka (G,E,M,S)
Rotor	Hřídel	1	poškození zadního konce hřídele shaft rear end damage demontáž motoru, odstranění aretace na hřídeli, vytloučení hřídele, na popis činnosti při opravě novém hřídeli přebroušení průměru pod plechy podle změřeného průměru v paketu a požadovaného přesahu, montáž motoru	360	1,4	26+123	G
	Paket rot. Plechů	2	uvolnění rotorového paketu na hřídeli loosening of stack of rotor laminations from the shaft demontáž motoru, odstranění aretace na hřídeli, vytloučení hřídele, úprava povrchu pro žárový nástřik materiálu, přebroušení průměru pod plechy podle změřeného průměru v paketu a požadovaného přesahu, montáž motoru	360	1,4	26+123	G

Tab. 7: Údržba po poruše (ukázka přístupu) - pokračování

2MLU 3638 K/4		pořadové číslo činnosti	Popis činnosti	MTTR [min]	Počet pracovníků	Cena materiálu [USD]	Kategorie pracovníka (G,E,M,S)
Stator	Kruh nakrátko	3	demontáž motoru, přetočení kruhů, vyvážení rotoru, montáž motoru	470	1,4		G
		4	demontáž motoru, zopakování procesu pájení, nátěr, montáž motoru	490	1,2	404	G
		5	demontáž motoru, zopakování procesu pájení, nátěr, montáž motoru	490	1,2	404	G
	Rotorová tyč	6	demontáž motoru, otočení kruhů nakrátko, výměna rotorové tyče, začištění konců tyčí, připájení nových kruhů, vyvážení, montáž motoru	620	1,2	412	G
	Vyvážení rotoru	7	demontáž motoru, vyvážení rotoru, montáž motoru	420	1,2		G
		8	demontáž motoru, vyvážení rotoru, montáž motoru	420	1,2		G
	Paket statorových plechů	9	vybroušení, zavaření, začištění	50	1		G
	Mezikus	10	vybroušení, zavaření, začištění	40	1		G
	Vínutí	11	vysušení	120	1		G
		12	vytrhat vínutí, převinout, impregnovat, vyzkoušet	9500	1,4	1740	G,E
		13	vytrhat vínutí, převinout, impregnovat, vyzkoušet	9500	1,4	1740	G,E
		14	vytrhat vínutí, převinout, impregnovat, vyzkoušet	9500	1,4	1740	G,E

6. Informace z provozu

Získávání informací z provozu trakčních motorů je už v garančním provozu nesnadná záležitost a co teprve v pogarantičním provozu. Zatím společnost nezajišťovala přítomnost svého pracovníka v místě provozování motorů ani v době garance a informace o motorech dostávala od servisních pracovníků finalizující společnosti. Zde se jasně ukazuje nutnost zakotvit podmínky pro stanovování parametrů spolehlivosti už do smlouvy se zákazníkem v případě, že vznese požadavek na plnění některého a těchto parametrů. Domníváme se, že nejvhodnější formou by byl jakýsi "RAMS" dodatek ke smlouvě se zákazníkem podepsaný ale současně se smlouvou. Svého času jsme uvažovali o Servisní knize v podobě webové stránky do níž by provozovatelé exportovali relevantní data ze svých záznamů nebo informačního systému v předem stanovených intervalech (např. čtvrtletně). Parametry spolehlivosti nelze stanovit bez znalosti dob bezporuchového provozu všech motorů pro jeden typ vozidla.

7. Požadavky zákazníků

V tomto příspěvku jsou uvedeny dva přístupy k chápání spolehlivostních parametrů, se kterými jsme se při jednání se zákazníkem setkali.

7.1 Počet trakčních motorů na vozidle

Zcela pochopitelným požadavkem je hodnota MDTF nebo MTBF v níž je zahrnut počet motorů na jednom vozidle. Příklad jednomotorového pohonu je sólo trolejbus, dvumotorového kloubový trolejbus (ne každý) a vícemotorové jsou lokomotivy, jednotky metra, předměstské jednotky a různé varianty lehkých kolejových vozidel (LRV). Ve vlaku pražského metra je například 20 trakčních motorů (5 vozů po 4 motorech). Pak hodnota MDTF nebo MTTF motoru musí být tak vysoká, aby to z pohledu vozidla bylo přijatelné.

7.2 Počet trakčních motorů v obchodním případě

Argumentace zákazníka se opírala o úvahu, že v dodávce má být 680 motorů a při ročním proběhu 120 000 km najedou $680 \times 120\,000 = 81\,600\,000$ km za rok. Při hodnotě $MDTF = 5\,000\,000$ km by mohlo být ročně 16 motorů v opravě. Proto požadovali po ŠKODA hodnotu $MDTF = 20\,000\,000$ km, aby to byly jen 4 motory.