

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI**

**FAKULTA EKONOMICKÁ**

Diplomová práce

**Analýza a následná optimalizace vybraných  
podnikových procesů**

**Analysis and subsequent optimization of selected  
business processes**

David Ženíšek

Plzeň 2018

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta ekonomická

Akademický rok: 2017/2018

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. David ŽENÍŠEK**

Osobní číslo: **K15N0038P**

Studijní program: **N6209 Systémové inženýrství a informatika**

Studijní obor: **Systémy projektového řízení**

Název tématu: **Analýza a následná optimalizace vybraných podnikových procesů**

Zadávací katedra: **Katedra podnikové ekonomiky a managementu**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Charakterizujte vybraný podnikatelský subjekt.
2. Provedte analýzu vybraných podnikových procesů.
3. Na základě analýzy a vybrané metodiky vytvořte návrh pro dílčí zlepšení výkonnosti podnikových procesů.
4. Provedte analýzu nákladů na zavedení navrhovaných změn.
5. Provedte ekonomickou analýzu dopadu navrhovaných změn na efektivnost podnikových procesů a propočítejte návratnost investic konkrétních návrhů.



Rozsah grafických prací: **neuveden**  
Rozsah kvalifikační práce: **60 - 80 stran**  
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

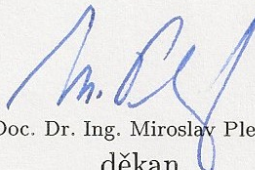
Seznam odborné literatury:

- **BASL, Josef.** *Modelování a optimalizace podnikových procesů: procesní řízení a modelování.* 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2002. 140 s. ISBN 80-708-2936-2.
- **HALEVI, Gideon.** *Handbook of production management methods: ABC/ABM (Activity-based costing/Activity-based management).* [Online-Ausg.]. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2001. 911 s. ISBN 07-506-5088-5.
- **PETRŮČEK, Tomáš.** *Procesní a hodnotové řízení firem a organizací - nákladová technika a komplexní manažerská metoda: ABC/ABM (Activity-based costing/Activity-based management).* 1. vyd. Praha: Linde, 2007. 911 s. ISBN 978-80-7201-648-8.
- **ŘEPA, Václav.** *Podnikové procesy: procesní řízení a modelování.* 2., aktualiz. a rozš. vyd. Praha: Grada, 2007. 281 s. ISBN 978-80-247-2252-8.
- **SAYER, Natalie J. a Bruce WILLIAMS.** *Lean for dummies.* Hoboken, N.J.: Wiley, 2007. 366 s. ISBN 978-0-470-09931-5.

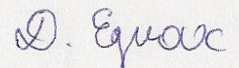
Vedoucí diplomové práce: **Ing. Martin Januška, Ph.D.**  
Katedra podnikové ekonomiky a managementu

Datum zadání diplomové práce: **23. října 2017**

Termín odevzdání diplomové práce: **23. dubna 2018**

  
Doc. Dr. Ing. Miroslav Plevný  
děkan



  
Doc. PaedDr. Dana Egerová, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 23. října 2017

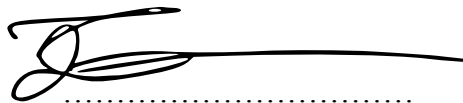
# Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma

*„Analýza a následná optimalizace vybraných podnikových procesů“*

vypracoval samostatně pod odborným dohledem vedoucího diplomové práce za použití pramenů uvedených v příložené bibliografii.

V Plzni dne .....**23.4.2018**.....

A handwritten signature in black ink, consisting of a stylized initial 'J' followed by a long horizontal line.

Podpis autora

## Poděkování

Děkuji panu Ing. Martinu Januškovi, Ph.D., vedoucímu této diplomové práce, za jeho přístup k vedení práce a jeho pohotové a věcné odpovědi. Také bych chtěl poděkovat panu Milanu Vitvarovi, mému konzultantovi ve společnosti Škoda Transportation a.s., a mým kolegům z oddělení RAMS/LCC za jejich rady a doporučení.

# Obsah

Úvod .....	7
1 ŠKODA TRANSPORTATION a.s. ....	9
1.1 Historie ŠKODA TRANSPORTATION a.s. ....	9
1.1.1 Skupina ŠKODA TRANSPORTATION a. s. ....	10
1.1.2 ŠKODA TRANSPORTATION a. s. ....	11
1.2 Organizační struktura .....	12
1.3 Produktové portfolio .....	13
1.3.1 Nízkopodlažní tramvaje .....	13
1.4 Trh kolejových vozidel .....	15
1.4.1 Full-servis .....	16
1.4.2 Life Cycle Cost .....	17
1.4.3 Normy a předpisy pro spolehlivost .....	18
3 Analýza procesů .....	19
3.1 Základní pojmy procesního modelování .....	19
3.2 Modelování podnikových procesů .....	22
3.3 BPMN (Business Process Modeling Notation) .....	22
3.4 Současný způsob tvorby technické dokumentace ve Škodě Transportation .....	26
3. Reliability-centered Maintenance .....	29
3.5 Představení Reliability-centered Maintenance .....	29
3.6 Historie údržby a Reliability-centered Maintenance .....	29
3.7 Metodika .....	31
3.7.1 Zahájení a plánování .....	33
3.7.2 Analýza funkčních poruch (FMEA) .....	35
3.7.3 Výběr úkolů .....	42
3.7.4 Implementace .....	51

3.7.5	Neustálé zlepšování.....	53
4	Zavádění Reliability-centered maintenance ve Škodě Transportation.....	54
4.1	RCM v hierarchii Škody Transportation .....	54
4.2	Kroky zavádění RCM ve Škodě Transportation.....	54
4.2.1	Optimalizovaný model procesu.....	56
4.3	Zdroje aktualizace po zavedení .....	59
4.4	Informační zdroje pro tvorbu optimalizace .....	59
4.5	Rizika spojená se zaváděním do Škody Transportation .....	61
4.6	Finanční vyčíslení přínosů.....	62
4.6.1	Náklady na zavedení .....	63
4.6.2	Výše úspory v oblasti Full-servis.....	64
4.7	Další přínosy pro Škodu Transportation.....	65
5	Zhodnocení zavedení.....	66
5.1	Zhodnocení návratnosti investice .....	66
5.2	Návratnost investice .....	67
5.3	Vnitřní výnosové procento .....	68
5.4	Bod zvratu.....	69
5.5	Závěrečné doporučení.....	70
	Závěr.....	71
	Seznam tabulek .....	73
	Seznam obrázků .....	74
	Seznam použitých zkratk.....	75
	Seznam použité literatury .....	76
	Seznam příloh.....	79

# Úvod

Zlepšování podnikových procesů je dnes považováno za nezbytné pro udržení konkurenceschopnosti, ba dokonce pro udržení se na trhu. Zákazníci žádají stále lepší produkty, služby a s nimi spojený servis, na což jsou firmy nuceny pohotově reagovat. Škoda Transportation je podnikem s mnohaletou zkušeností a tradicí v oblasti výroby prostředků hromadné dopravy, jenž se snaží jít s dobou a sleduje současné trendy.

Ve Škodě Transportation začaly náklady na údržbu a servis jimi prodávaných vozidel hrát v posledních letech stále větší roli. Je to zapříčiněno současným trendem, ve kterém zákazníci chtějí (a jsou ochotni zaplatit za) produkty, o které se nemusejí starat a které budou fungovat. Snaží se tedy outsourcovat servis a údržbu na lépe kvalifikovaného dodavatele, a to již při nákupu vozidel.

Náklady na údržbu ovlivňují její cenu, jež dnes hraje roli nejen v tom, kolik na tom podnik vydělá, ale také, a to je ještě podstatnější, zda vůbec dojde k prodeji vozidel, ke kterým je tento servis poskytován.

Otázka tedy zní, jakým způsobem nastavit údržbový proces, aby byl při zachování současné úrovně bezpečnosti ekonomicky co nejvýhodnější. Existuje řada přístupů k optimalizaci tohoto procesu, avšak na základě žádosti ze strany podniku se v této práci budeme zabývat možností nasazení metodiky Reliability-Centered-Maintenance (údržba zaměřená na bezporuchovosti, RCM), jež je světově známou a osvědčenou.

V první kapitole bude představena společnost Škoda Transportation (ŠTRN), její základní charakteristiky a historie. Podíváme se na její produktové portfolio a na současnou situaci na trhu kolejových vozidel.

Ve druhé kapitole bude popsána a vysvětlena základní terminologie procesů a představen současný stav procesu tvorby údržbové dokumentace, od které se pak údržba odvíjí.

Ve třetí kapitole se seznámíme s analýzou RCM, jejíž pomocí budeme chtít zlepšit současný stav údržby vozidel. Bude představen původ této metodiky, důvody pro její použití a způsob, jakým funguje. Tvorbu této analýzy si názorně ukážeme na příkladu trakčního motoru.

Čtvrtá kapitola pojedná o nasazení RCM do kontextu procesu tvorby údržbové dokumentace. Představí navržený způsob zavedení společně s nově navrženým



procesem tvorby údržbové dokumentace. Dále doporučíme informační zdroje pro zavádění RCM, zvážíme rizika a podíváme se na náklady a úspory spojené se zaváděním.

V závěrečné, páté kapitole provedeme zhodnocení návratnosti investice pomocí výpočtu NPV, stanovení vnitřního výnosového procenta IRR, návratnosti investice ROI, stanovíme bod zvratu a podáme závěrečné doporučení o nasazení RCM.

Cílem této práce je zhodnotit možnost zavedení Reliability Centered Maintenance (RCM) a tím optimalizovat způsob prováděného full-servisu vozidel. Tato práce pak může sloužit jako podklad k budoucímu rozhodnutí o nasazení RCM v podniku ŠTRN.

Zdrojem této práce je odborná literatura, normy, interní materiály a konzultace s pracovníky společnosti. Aby nedošlo k poškození společnosti, jsou některé údaje, jejichž publikování si ŠTRN nepřála (zejména při výpočtu ekonomické návratnosti), mírně zkreslené, či zobecněné na trh a nezabíhají příliš do podrobností. Hlavní přidanou hodnotou této práce je totiž představení způsobu nasazení RCM a vyhodnocení jeho přínosu.

# 1 ŠKODA TRANSPORTATION a.s.

Škoda Transportation je jeden z předních evropských výrobců vozidel pro městskou a železniční dopravu. Společnost se sídlem v Plzni má tradici dlouhou 150 let a pyšní se svým dynamickým růstem, sledováním aktuálních trendů a vlastním vývojem vozidel. Zákazníkům po celém světě dodává moderní elektrické lokomotivy, soupravy metra, nízkopodlažní tramvaje a další komponenty kolejových vozidel.

## 1.1 Historie ŠKODA TRANSPORTATION a.s.

Rozsáhlá strojírenská výroba Škodových závodů vznikla v roce 1859, kdy v Plzni hrabě Valdštejn-Vartenberk založil pobočku své slévárny a strojírný. V roce 1866 nastupuje na post hlavního inženýra ing. Emil Škoda, který následně v roce 1869 továrnu kupuje. Tento zdatný strojírenský odborník a dynamický podnikatel zakrátko závod rozšiřuje a zakládá moderní ocelárnu. Roku 1899 se Škodovy závody stávají akciovou společností a největší zbrojovkou Rakouska-Uherska. Během první světové války se výroba orientovala na armádní výrobky a Škodovy závody vlastnily většinové podíly řady tuzemských i zahraničních podniků s podobným zaměřením. Se vznikem Československa v roce 1918 začal podnik působit i v jiných oblastech průmyslu a zaměstnával přes 35 tisíc lidí. Začali se zde vyrábět parní, a později i elektrické lokomotivy, což by se dalo považovat za počátek nynější ŠKODA TRANSPORTATION a.s.

Roku 1923 je do obchodního rejstříku zapsána dnes světově proslulá ochranná známka okřídleného šípů v kruhu. Škoda postupně vyvíjí a zdokonaluje lokomotivy vlastní konstrukce až do okupace během 2. světové války.

Druhá světová válka znamenala velký zásah do rozvíjejících se a prosperujících Škodových závodů. Výroba lokomotiv se převedla na lokomotivy jednotné německé konstrukce a v dubnu 1945 byla leteckým bombardováním zničena velká část závodu.

S koncem 2. světové války a nástupem komunismu byl koncern zestátněn a postupně se oddělily některé části v čele s automobilkou v Mladé Boleslavi. Export směřuje převážně do zemí tehdejšího socialistického bloku. Dařilo se získávat objednávky především ze Sovětského svazu, ale také z Číny, Argentiny či Turecka..

V roce 1989 po privatizaci hledá podnik nové trhy a diverzifikuje výrobní programy. V roce 1995 byla firma zapsána do obchodního rejstříku jako ŠKODA DOPRAVNÍ TECHNIKA s.r.o. O pět let později se změnil název podniku na ŠKODA TRANSPORTATION s.r.o. a teprve od roku 2009 má firma svou současnou právní formu akciové společnosti. Hlavním předmětem činnosti společnosti je výroba, vývoj, montáž, rekonstrukce a opravy prostředků dopravní techniky.

Po privatizaci se majitel ŠKODY TRANSPORTATION opakovaně vystřídal. V letech 1995–2001 byla majitelem Škody Transportation společnost ŠKODA a.s., od roku 2003 pak ŠKODA HOLDING a.s., v roce 2011 pak společnost SKODA INDUSTRY (EUROPE), která se v roce 2013 přejmenovala na CEIL (CENTRAL EUROPE INDUSTRIES) LTD. V listopadu 2017 kupuje skupina PPF 100% podíl ve Škodě Transportation a další aktiva, mj. ochrannou známku Škoda. [23]

### 1.1.1 Skupina ŠKODA TRANSPORTATION a. s.

ŠKODA TRANSPORTATION a.s. působí jako výrobní a mateřská společnost zastřešující a spravující skupinu společností, zaměřujících se na dopravní strojírenství. Cílem firmy je poskytovat technologicky vyspělá řešení pro dopravu, která podporují udržitelný rozvoj.

Strategií skupiny je zhodnocování oboru dopravního strojírenství s cílem posilovat klíčové kompetence v tomto oboru, a to zejména pomocí podpory výzkumu a vývoje. Jen v průběhu uplynulých čtyř let společnost vyčlenila na výzkum a vývoj čtyři miliardy korun, díky čemuž mohla na trh přijít s novými produkty. Nejvýznamnějšími projekty vývoje v roce 2016 byl vývoj lokomotiv, dvoupodlažních vozů push pull a vývoj nízkopodlažních trolejbusů různých typů.

Do produktového portfolia skupiny TRANSPORTATION patří elektrické lokomotivy, nízkopodlažní tramvaje, metro, příměstské vlakové jednotky, trolejbusy, kompletní pohony pro dopravní systémy, trakční motory, motorové vozy a soupravy.

Tato skupina zahrnuje mateřskou ŠKODA TRANSPORTATION a.s., sedmnáct dceřiných společností a společných podniků s rozhodujícím vlivem (např. ŠKODA ELECTRIC a.s., ŠKODA VAGONKA, a.s. nebo PARS nova a.s.) a dvě přidružené společnosti pod podstatným vlivem. Řada těchto dceřiných společností sídlí v zahraničí (Finsku, Rusku, Maďarsku, Polsku, Německu, ale i USA) a má za cíl být blíže

k tamnímu trhu. Ve svých společnostech zaměstnává Škoda Transportation více než pět tisíc lidí.

Jak se skupině dařilo v posledních sedmi letech se můžeme podívat v tabulce níže. Aktiva se za posledních 5 let postupně snížila o 1,9 miliardy z 24,9 na 23. Tržby naopak vzrostly o téměř 15,7 % z 15,3 miliard na 17,7 miliardy, ale čistý zisk se zmenšil z 3,1 miliardy na téměř polovinu - 1,6 miliardy. [25]

Tab. č. 1: Výsledky hospodaření konsolidovaného celku Škoda Transportation, a.s.

Rok	2012	2013	2014	2015	2016
Aktiva (mld. Kč)	24,9	24,4	23,9	23,9	23,0
Tržby (mld. Kč)	15,3	14,6	16,4	18,3	17,7
EBIT (mld. Kč)	3,8	2,1	3,2	1,8	2,3
Čistý zisk (mld. Kč)	3,1	1,8	2,3	0,6	1,6

Zdroj: vlastní zpracování, 2018

Škoda Transportation si dále klade společenskou odpovědnost za jednu ze zásadních priorit. Dlouhodobě sponzoruje sportovní kluby, pořádá sportovní akce, snaží se podporovat vědu a inovaci a společně se Západočeskou univerzitou v Plzni provozuje Science centrum Techmania.

### 1.1.2 ŠKODA TRANSPORTATION a. s.

ŠKODA TRANSPORTATION a.s. se svým zaměřením na kolejová vozidla zastává ve skupině jednu z klíčových rolí, o čemž nasvědčují i výsledky hospodaření podniku vzhledem k výsledkům celé skupiny. V tabulce níže si můžeme všimnout, že aktiva se pohybují mezi 15,8 - 20,5 mld. Kč, tržby jsou mezi jsou většinu let přibližně 7 mld. Kč, EBIT se pohybuje mezi 1,2 a 3,4 mld. Kč a čistý zisk byl mezi 1 a 3,3 mld. Kč. Z tabulky č. 1 a č. 2 vyplývá, že ŠTRN tvoří hlavní část všech položek ve výsledku hospodaření. [25]

Tab. č. 2: Výsledky hospodaření Škoda Transportation, a.s.

Rok	2012	2013	2014	2015	2016
Aktiva (mld. Kč)	16,9	20,5	19,7	15,8	17,7
Tržby (mld. Kč)	6,3	6,6	6,8	10,3	7,7
EBIT (mld. Kč)	3,4	3,4	1,2	1,6	2,8
Čistý zisk (mld. Kč)	3,3	3,3	1,2	1,0	2,6

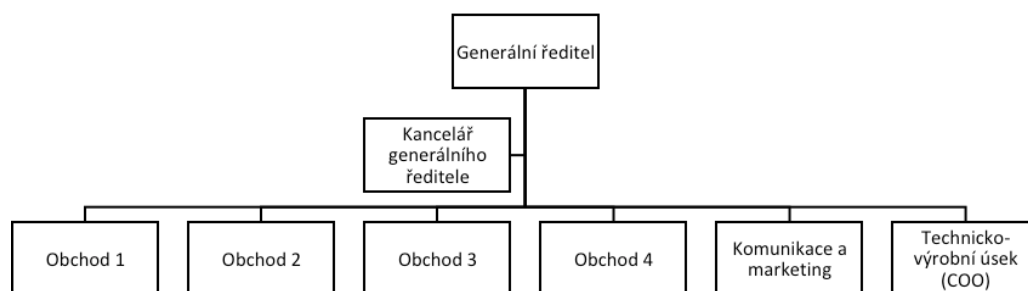
Zdroj: vlastní zpracování, 2018



## 1.2 Organizační struktura

ŠKODA TRANSPORTATION a.s. je společností s více jak 1.300 kmenovými zaměstnanci a 400 agenturními pracovníky. Organizační schéma znázorňuje liniovou organizační strukturu společnosti. Vrcholným představitelem je generální ředitel, kterému podléhají útvary: Obchod, Komunikace a marketing, Technicko-výrobní úsek. Každý úsek má svůj sekretariát a dále se dělí na menší pododdělení.

Obr. č. 1: Struktura podniku ŠTRN

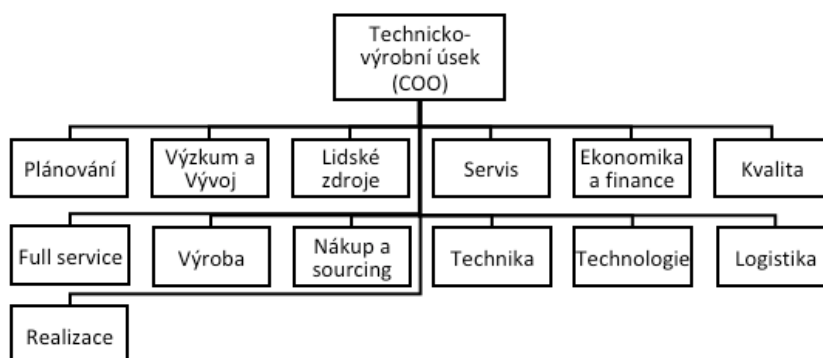


Zdroj: vlastní zpracování, 2018

Pod generálního ředitele spadají čtyři různá oddělení obchodu (každé se svým ředitelem), což je dáno tím, že každé oddělení se zabývá jinými trhy a jinými výrobky.

Specifickým podřízeným generálního ředitele je Technicko-výrobní ředitel (Chief Operation Officer - COO), kterému jsou podřízeni ředitelé těchto oddělení: Full servis Praha, Výroba, Nákup a sourcing, Technika, Realizace, Technologie, Logistika, Kvalita, Ekonomika a finance, Servis, Lidské zdroje, Výzkum a Vývoj, Plánování.

Obr. č. 2: Struktura technického úseku v ŠTRN



Zdroj: vlastní zpracování, 2018

## 1.3 Produktové portfolio

Podnik ŠKODA TRANSPORTATION a.s. od doby rozpadu Sovětského svazu (a stávajících trhů) diverzifikoval svůj výrobní program a rozšířil své aktivity také na pole městské hromadné dopravy.

Dnes nabízí špičková řešení výroby a vývoje nízkopodlažních tramvají, souprav metra a dalších vozidel pro dopravu. Společnost se zároveň soustředí na produkci vlaků různé koncepce a výrobu lokomotiv. Jedinečné know-how Škody Transportation navazuje na silnou tradici z minulosti, kdy byla společnost světově uznávaným dodavatelem elektrických lokomotiv, kterých za svoji historii vyrobila přes pět tisíc kusů. Dnešní výrobní program se zaměřuje na:

- Elektrické lokomotivy a jejich modernizaci
- Nízkopodlažní tramvaje
- Elektrické jednotky a soupravy push-pull
- Soupravy metra a jejich modernizaci
- Důležité komponenty kolejových vozidel
- Full-servis [26]

Účelem této práce je snížení nákladů na full-servis, který je momentálně prováděn předně u tramvají. Z tohoto důvodu tato práce zaměří na tramvaje.

### 1.3.1 Nízkopodlažní tramvaje

Nejnovějším a posledním stupněm vývoje tramvají ŠKODA je rodina moderních tramvají ForCity, které na rozdíl od předchozích typů disponují plně nízkopodlažním interiérem a podvozky s pohonem umístěným vně kol za účelem dosažení plné nízkopodlažnosti. Tuto platformu tvoří tramvaje s otočnými podvozky, neotočnými podvozky a jejich kombinace, s částečně i plně odpruženým pohonem a kapalinou nebo vzduchem chlazeným motorem. Výhodou řešení ForCity je množství variací, které umožňují vybrat řešení šité na míru. Kompletní návrh všech hlavních komponent mechanické a elektrické části i finální montáž, homologace, záruční i pozáruční servis jsou vlastním know-how Škody Transportation.

Tyto tramvaje se dělí na pět základních typů v závislosti na podvozcích:

- FORCITY CLASSIC
- FORCITY SMART

- FORCITY PLUS
- FORCITY ALFA
- ELEKTRA

Technické parametry modelu tramvaje se pak specifikují podle požadavků zákazníka:

- Jednosměrné/obousměrné provedení
- % nízkopodlažnosti
- Rozchod kolejí (950 – 1 524 mm)
- Maximální rychlost (60-80 km/h)
- Trolejové napětí
- Šířka vozidla
- Maximální výkon (kW)
- Podélná pevnost (kN)
- Počet článků tramvaje

Zatímco životnost vlaků je odhadována kolem 30 let, životnost tramvají je většinou uvažována do 20 let. Garanční servis v rozsahu záruky je sjednán ve smlouvě se zákazníkem, běžně se pohybuje kolem tří let. Garanční servis je zaměřen na odstraňování běžných závad vzniklých v provozu – na korektivní údržbu a opravy. Samozřejmostí je také poskytnutí podpory zákazníkovi v oblasti dodávek náhradních dílů.

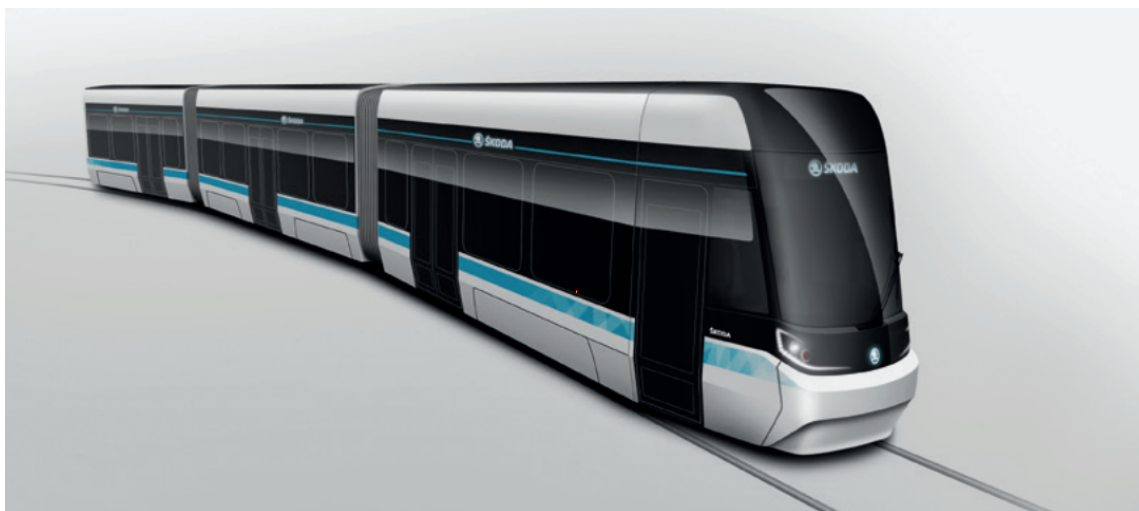
### 1.3.1.1 Typický představitel tramvají

V rámci této práce budeme uvažovat o nasazení RCM na pilotním projektu. Za pilotní projekt je nejvhodnější zvolit typického představitele skupiny, který je aktuální, a tedy ihned po nasazení začne tvořit úspory, a od kterého se RCM snadno odvodí i na ostatní produkty ve skupině. V našem případě bude tímto typickým představitelem tramvaj, jež je konstrukcí blízká tramvajím ostatním, která je právě aktuální, tedy je právě v provozu a je nadále jisté, že se bude vyrábět, a ke které je poskytován full-servis. Volbou správného typického představitele tramvaje docílíme snadného pozdějšího odvození analýzy na ostatní vozy, a zároveň budeme mít jistotu, že tramvaj bude hned po analýze nasazena do provozu s full-servisem, čímž docílíme brzkého návratu vynaložených nákladů.

Pro účely této práce zvolíme jako typického představitele tramvaj FORCITY SMART, 33 kusů již dnes jezdí v Helsinkách [27] a na kterou byla zároveň vysoutěžena zakázka

na dodávku 65 vozů do finského Tampere, včetně desetiletého full-servisu. FORCITY SMART (obrázek č. 3 a 4) je svým vzhledem a konstrukcí podobná ostatním modelům (nejedná se o žádný atipický model). Tento typický představitel je plně nízkopodlažní, má tři články a čtyři hnací (trakční) podvozky.

Obr. č. 3: Tramvaj FORCITY SMART



Zdroj: [24]

Obr. č. 4: Tramvaj Forcity Smart 2



Zdroj: [24]

## 1.4 Trh kolejových vozidel

Konkurence na trhu kolejových vozidel je poměrně široká. Nejčastějšími konkurenty Škody Transportation jsou švýcarská společnost Stadler, kanadský průmyslový koncern Bombardier Transportation, německý Siemens, španělská CAF, korejská Hyundai Rotem, polská PESA a francouzský Alstom.



Ačkoliv je na trhu tramvajových vozidel a příměstských jednotek Škoda Transportation řazena mezi nejlepší (oproti lokomotivám, kde se řadí spíše do průměru), nedaří se jí získávat objemné zakázky. To je nejspíše způsobené nabízenou customizací (úpravou na míru zákazníka), se kterou se vážou nemalé náklady, namísto prodeje formou modulů, jak tomu je například u firmy Siemens. Zatímco Siemens se uchází o velké zakázky, které také získává, ŠTRN vítězí v menších, více customizovaných zakázkách.

### 1.4.1 Full-servis

Dnešním evropským a světovým trendem v oblasti kolejových vozidel je komplexní péče a údržba vozidel – tzv. full-servis. Jako součást tohoto trendu se zodpovědnost přenáší z provozovatele na společnost zajišťující full-servis. Doba trvání (může být 5, 10, ale i více let) a rozsah přenesených odpovědností jsou dané smlouvou se zákazníkem. Ta garantuje každodenní dostupnost vozidel pro provoz. Full-servis prováděný Škodou Transportation může ručit nejen za preventivní a korektivní údržbu a opravy produktů, ale i za diagnostiku poruch a závad, čistotu interiéru a exteriéru vozidla, a to včetně odstraňování graffiti a následků vandalizmu. Firma rovněž spolupracuje s dodavateli na vývoji v oblasti náhrady zastarávajících náhradních dílů a v některých případech zajišťuje i výstavbu vozovny či depa. Cena full-servisu se liší dle počtu článků, počtu hnacích podvozků atd.

V současnosti zajišťuje Škoda Transportation full servis na 93 modernizovaných soupravách metra. U tramvají provádí Škoda full-servis v Plzni, v maďarském městě Miskolc, v italském Cagliari, ve finském Tampere a v tureckém městě Konya. Škoda Transportation nabízí vysokou kvalitu provedených prací, přesné dodržování servisních intervalů a rovněž i rychlost při navrácení opravených vozů zpět do provozu.

Pětiletá zakázka z roku 2013 na full-servis devíti vozů v Cagliari v hodnotě 87 milionů korun zahrnuje denní údržbu tramvají Škoda 06T po dobu pěti let s opcí na dalších pět let. Dále jsou součástí pravidelné kontrolní prohlídky, střední opravy a velká oprava při najetí 600 tisíc kilometrů. [4] Ve finském Tampere se podařilo v roce 2017 získat kontrakt v hodnotě 2,7 miliardy korun na 65 vozů typu Forcity Smart s desetiletým full-servisem. [27] Právě full-servis by byl zavedením RCM nejvíce ovlivněn a vedl by k hlavním úsporám.

## 1.4.2 Life Cycle Cost

Co zákazník nechce, za to nezaplatí. Tak zní mantra účastníků výběrových řízení a tendrů v jakémkoliv oboru. Donedávna zákazníci na trhu kolejových vozidel hleděli především na výši nabídky při určitých základních parametrech vozidla. S postupem času se však ukázalo, že hledět pouze na pořizovací cenu stroje není z dlouhodobého hlediska finančně a provozně racionální. Ukázalo se, že provozní náklady hrají zásadní roli u strojů, u nichž se očekává provozní životnost až 30 let. Náhle se stal podstatným fakt, kolik bude stát provoz vozidla na ujetý kilometr (€/km) a jaké budou celkové (kumulativní) náklady v celém životním cyklu. Jelikož se požadavek na tyto informace stával v zadání tendrů stále častějším, uchýlili se výrobci k analýze nákladů životního cyklu (Life Cycle Cost - LCC).

“Analýza nákladů životního cyklu je proces ekonomické analýzy pro posouzení celkových nákladů na pořízení, vlastnictví a vypořádání (likvidaci) produktu. Lze ji používat v celém životním cyklu produktu nebo v některých částech nebo kombinacích různých etap životního cyklu. Základním cílem analýzy nákladů životního cyklu je poskytovat vstupní údaje pro rozhodnutí činěná v jakékoliv etapě nebo ve všech etapách životního cyklu. Obecně lze celkové náklady vynaložené během životního cyklu produktu rozdělit na pořizovací náklady, vlastnické náklady a náklady na vypořádání.“  
[6, s. 10-11]

ŠTRN toho nebyla výjimkou, a proto roku 2009 vzniklo oddělení RAMS/LCC. Analýza se vypracovává již v první fázi nabídky. Kalkulace se opírá o informace z preventivní údržby a údržby při poruše.

Zohledňují se náklady na údržbu, náklady na samotný provoz vozidla, investiční náklady na pořízení zařízení pro údržbu, náklady na náhradní díly včetně nákladů na jejich skladování, hodinové sazby dělníků včetně nákladů na jejich ubytování a diety, inflace, zdanění apod. Výsledkem je číslo, které představuje cenu nákladů životního cyklu vztaženou na 1 km. [6]

Úspěšným zavedením RCM docílíme optimalizace údržbové strategie, tedy snížení nákladů na údržbu a zvýšení pohotovosti vozidel za dobu životnosti, což by vedlo k pozitivní změně ukazatelů LCC.

### 1.4.3 Normy a předpisy pro spolehlivost

ŠTRN se v současné době řídí normou IRIS (International Railway Industry Standard), jež je nadstavbou normy ISO 9001, zabývající se systémem managementu kvality. IRIS je rozšířena o specifické požadavky železničního průmyslu na výrobce železničních zařízení a prostředků. V současné době se však přechází na Standard kvality v železničním průmyslu - ISO/TS 22163:2017, který vyšel v květnu 2017 a na nějž je třeba přejít do září 2018.

Spolehlivostí se rozumí kombinace bezporuchovosti, pohotovosti, udržovatelnosti a bezpečnosti, odtud také pochází zkratka RAMS (Reliability, Availability, Maintainability, Safety), která charakterizuje dlouhodobou činnost systému. Spolehlivost se řídí českou technickou normou EN 50126-1:2001 Drážní zařízení – Stanovení a prokázání bezporuchovosti, pohotovosti, udržovatelnosti a bezpečnosti a ekvivalentem IEC 60812 Analysis techniques for system reliability – Procedure for failure mode and effects analysis (FMEA).

Stojí ještě za to podotknout, že různé země mají své vlastní normy, které dodavatelé musí plnit. Jako příklad můžeme zmínit Německo se svými DIN (die Deutsche Industrie Norm) či Rusko s normami GOST. [13]

## 3 Analýza procesů

Cílem této práce je podat návrh, jak zlepšit způsob tvorby údržbové dokumentace ve Škodě Transportation za pomoci metodologie RCM a tím docílit snížení nákladů na údržbu. Abychom mohli procesy týkající se tvorby údržbové dokumentace analyzovat, je potřeba si vymezit pojmy jako je proces, procesní modelování a procesní reengineering.

### 3.1 Základní pojmy procesního modelování

Proces lze definovat jako postupný tok materiálu, činností či informací, jenž transformuje vstupy na výstupy za účelem tvorby produktu, servisu či splnění nějakého úkolu, jenž má pro zákazníka přidanou hodnotu. [9]

Basl [1] uvádí, že každý proces je definován pomocí těchto základních atributů:

- Hranice - tedy začátek a konec.
- Vstupy - jsou iniciační událostí zahajující proces.
- Výstupy - jsou produktem procesu, který je doručen zákazníkovi.
- Majitel procesu - osoba odpovědná za efektivitu procesu.
- Zákazník - osoba, organizace nebo následující proces. Rozlišujeme dva typy zákazníků:
  - Vnějšího - zákazník, který platí za výstupy z procesu, ať už se jedná o zákazníka konečného (spotřebitele), či zákazníka, kterému slouží výstup procesu jako meziprodukt.
  - Vnitřního - zákazníkem je oddělení uvnitř podniku, či jiný proces.
- Zdroje - jsou pracovní prostředky, lidská práce a informace. Zdroje se oproti vstupům nespotřebovávají jednorázově, ale užívají se postupně.
- Regulátory/řízení - je systém pravidel, norem, zákonů, směrnic nutných pro realizaci požadovaného výstupu.

Rozklad procesů, též nazýván hierarchizace procesů, se odvíjí od složitosti podnikové reality i úhlu pohledu, obecně se však rozlišuje pět úrovní:

- Proces - transformace vstupů do konečného produktu prostřednictvím aktivit přidávajících tomuto produktu hodnotu.
- Subproces - ucelený sled funkcí, činností, pracovních úkonů.



- Činnost - ucelený sled operací, které jsou prováděny v rámci jednoho útvaru.
- Operace - jednotlivý souvislý pracovní úkon složený z kroků.
- Krok - jednotlivý logicky a časově souvislý pracovní úkon.

Jedním z nejčastěji používaných rozdělení procesů je dělení dle klíčivosti. Rozlišujeme zde procesy:

**Klíčové** - hodnototvorný proces zřízený k naplnění poslání firmy, ve kterém vzniká klíčová přidaná hodnota a za který je zákazník ochoten platit. Klíčovým procesem v ŠTRN byla ještě do nedávna pouze výroba kolejových vozidel. Dnes však jako klíčový proces lze zařadit i full-servis, který přináší zákazníkovi hodnotu provozuschopného vozidla bez starostí po dobu nasmlouvanou, za kterou je ochoten platit.

**Podpůrné** - zajišťují vnitřnímu zákazníkovi produkt/službu, kterou nelze zajistit externě bez ohrožení firmy. Rozlišujeme:

- Mezipodnikové procesy, jež zasahují do oblasti mimo firmu (logistické řetězce, financování, apod.).
- Řídící procesy, které jsou určeny k promítnutí strategie do firemního řízení (například plánování, controlling, apod.).
- Procesy řízení kvality, jež zajišťují dodržování klíčových zásad kvality (interní prověrky, validace, audit, ...).
- Kontrolní procesy, určené k zajištění a dodržení vedlejších zásad kvality (kontrola vstupů, kontrola výstupů, mezioperační kontrola).

**Vedlejší procesy** - zajišťují vnitřnímu zákazníkovi produkt/službu, kterou lze zajistit externě a vykonávat uvnitř z důvodu ekonomické výhodnosti. Dále je dělíme na:

- Procesy vyžádané shora, které tvoří výstup pro nadřízenou hospodářskou jednotku nebo státní administrativu (statistické průzkumy, atd.).
- Procesy dočasné, jež jsou časově podmíněny platností k řešení dílčí provozní potřeby (obvykle při realizaci projektu či výstavby).

V přístupu k optimalizaci podnikových procesů se v zásadě rozlišují dva základní přístupy. Jsou jimi:

1. Radikální zlepšování procesů, které předpokládá jednorázovou radikální změnu, nezbytnou pro takzvané “narovnání” procesů, které způsobí dramatickou změnu výkonnosti podniku. [1]

2. Do této oblasti lze přiřadit BPR (Business Process Reengineering), kdy dochází k radikálnímu zlepšování procesů.
3. Kontinuální zlepšování procesů (CPI - Continue Process Improvement), jež usiluje o postupnou změnu podnikových procesů, která je pro organizaci snáze aplikovatelná. Asi nejznámějšími přístupy jsou Kaizen, TQM (Total Quality Management) a TOC (Theory of Constraints). [22]

Jelikož se v případě nasazování RCM jedná o zlepšování spíše radikální, pojďme se nadále více zabývat BPR. Business Process Reinegeering se skládá ze dvou částí:

1. Procesní analýzy
2. Projektů změny

Procesní analýza se zabývá identifikací procesů a jejich návrhem. Dále slouží jako podpora pro měření výkonnosti procesů a následnou optimalizaci těchto procesů. Projekt změny je způsob implementace procesní orientace v podniku. V případě ŠTRN provedeme nejprve procesní analýzu, a následně pomocí projektu změny - nasazení RCM na typického představitele, tramvaj Forcity Smart, tento proces zavedeme a časem jej budeme rozšiřovat na další tramvajová a jiná vozidla.

Řepa, [21] ve své knize uvádí, že za nejdůležitější činnosti, které je třeba provést na počátku projektu při zlepšování (reengineeringu) procesů, považujeme:

1. Zajištění podpory vrcholovým vedením.
2. Rozšíření vědomí potřeby změny v organizaci.
3. Jasně určení rozsahu a hranic projektu.
4. Stanovení měřitelných cílů projektu.
5. Výběr členů týmu:
  - se zkušeností,
  - s odbornými schopnostmi,
  - s vůdcovskými schopnostmi,
  - s možností řádné účasti v projektu (časovými schopnostmi).
6. Vyškolení týmu.

## 3.2 Modelování podnikových procesů

Účelem modelu je formálně interpretovat realitu s ohledem na předem definovaný účel. Model procesu představuje sled vzájemně navazujících činností vytvářející přidanou hodnotu pro zákazníka. Základními prvky každého modelu podnikového procesu jsou:

- proces,
- činnost,
- podnět,
- vazba - návaznost.

Princip sémantické relativity nám říká, že každá činnost může být samostatně popsána jako proces. Záleží tedy na úrovni detailu modelu, do jakých podrobností, resp. úrovně činností se ponoříme. Jednotlivé činnosti probíhají na základě podnětů/důvodů. Vnější podmínky, které přicházejí z okolí procesu, nazýváme události. Vnitřním podnětem pak rozumíme situaci, v níž se daná činnost nachází, a označujeme jej jako stav procesu. [21]

Činnosti procesu jsou řazeny do vzájemných návazností, které činí z množiny činností definovanou strukturu. Tyto návaznosti jsou popsány pomocí vazeb. Uspořádání procesu může mít různou strukturu, od prosté posloupnosti přes variantnost až po paralelismus a jejich různé kombinace. Křížení vazeb a následný vznik paralelních větví nazýváme různě podle použité notace - uzly, křižovatky nebo brány.

Ke tvorbě procesních modelů slouží celá řada modelovacích technik. To, jakou techniku podnik používá, záleží na nástroji zvoleném pro podporu procesního řízení. Každá modelovací technika obecně zahrnuje dva závislé prvky - modelovací jazyk a metodu modelování. Modelovací jazyk používá k vizualizaci modelů grafickou notaci - soubor grafických symbolů.

Jedním z nejznámějších nástrojů pro grafickou reprezentaci firemních procesů v diagramech je Business Process Modeling Notation (BPMN), jenž bude v následující části práce popsán a použit pro popis procesu tvorby údržbové dokumentace.

## 3.3 BPMN (Business Process Modeling Notation)

BPMN je grafickou notací, tedy souborem grafických objektů a pravidel, která slouží k modelování procesů. Za jejím vznikem stojí Business Process Management Initiative

(BPMI), jejímž cílem bylo vytvořit notaci, která bude dobře čitelná všemi účastníky životního cyklu procesu (business analytici, techničtí vývojáři, analytici monitorující procesy atd.), a zároveň nabídne možnost modelovat i komplexní podnikové procesy.

Základním diagramem BPMN je Diagram podnikového procesu (Business Process Diagram - BPD), který je tvořen sítí grafických objektů, zejména aktivitami a zobrazením toku informací mezi nimi. Jednotlivé grafické objekty, nebo také elementy, jsou od sebe dobře rozlišitelné a můžeme je rozdělit do čtyř kategorií: plovoucí objekty (Flow Objects), propojovací objekty (Connecting Objects), dráhy a bazény (Swimlanes), artefakty (Artifacts). [21] Pojdme se teď na ně podívat blíže.

### Flow objects

Plovoucí objekty obsahují celkem tři základní elementy. Jsou jimi:

- událost (event),
- činnost (activity),
- brána (gateway).

Událostí rozumíme stav, který nastane během vykonávání procesu a který ovlivní jeho tok. Události mají konkrétní příčinu a také důsledek. Rozlišujeme tři typy událostí: počáteční, koncová a mezikrok. Počáteční událost proces zahajuje, může jí být například zpráva, pravidlo nebo čas. Koncová událost značí konec události a může jí být například zpráva nebo chyba. Mezikrok je událostí, jež je podstatná a nastává v průběhu procesu. Příkladem může být časová lhůta nebo neočekávané zprávy v rámci procesu.

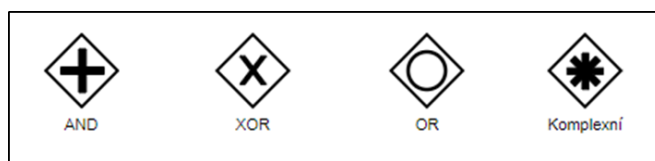
Obr. č. 5: Značení plovoucích objektů v BPMN



Zdroj: vlastní zpracování, 2018

Brána znázorňuje v procesu místo, kde se sházejí/rozcházejí různé alternativní či paralelní cesty - větve procesu. Brány se graficky znázorňují kosočtvercem a modelují primitivní logické větvení AND (paralelní), XOR (exkluzivní), a OR (inkluzivní), ale i netriviální podmínky označené jako komplexní.

Obr. č. 6: Bárny v BPMN

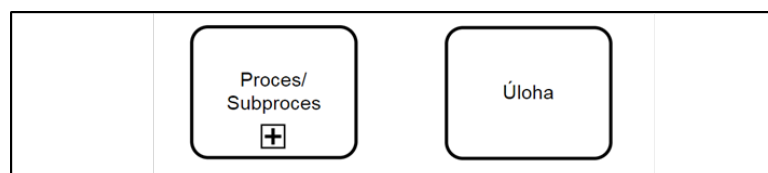


Zdroj: vlastní zpracování, 2018

Paralelní brána AND se používá tam, kde jde tok víc cestami najednou. Exklusivní brána XOR vytváří několik cest, ale tok procesu pokračuje pouze jednou z nich. Inkluzivní brána OR se používá tam, kde je možné pokračovat jednou nebo více cestami a kde se nakonec všechny cesty sbíhají do jedné. Posledním typem brány je komplexní brána, která se používá tam, kde není možné použít předchozí typy bran a kde probíhá dělení vícero cestami v několika branách.

Činností rozumíme aktivitu nebo úkol, který je v průběhu procesu vykonáván. Je značen čtyřúhelníkem se zaoblenými rohy. BPMN rozeznává tři druhy činností: procesy, podprocesy, úlohy.

Obr. č. 7: Zobrazení procesu/subprocesu a úlohy v BPMN



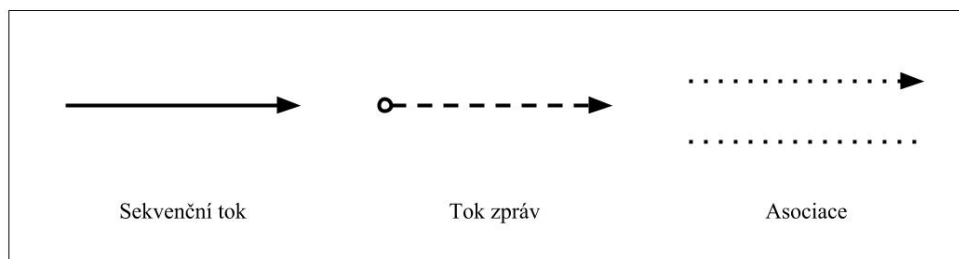
Zdroj: vlastní zpracování, 2018

### Connecting objects

Propojovací objekty, také nazývané jako toky vyjadřují pořadí, v jakém budou činnosti v rámci procesu prováděny, a tvoří nám tak strukturu procesního diagramu. Jako propojovací toky bývají používány sekvenční toky, toky zpráv a asociace. Sekvenční tok je symbolizován šipkou, která směřuje od zdrojového objektu k cílovému objektu (těmito objekty jsou Události, Činnosti nebo Uzly) a vyjadřují vztah následnosti zdrojového a cílového objektu. Tok zpráv znázorňuje přenos zprávy od jedné entity procesu k entitě jiné (entita se znázorňuje pomocí tzv. “Bazénu”, jenž si vysvětlíme v textu níže). Symbolem pro tok zprávy je přerušovaná šipka. Asociace se používá k prostému připojení informace nebo objektu k entitě procesu (včetně toku). Může to být například: připojení textu, znázornění připojení dokumentů či k připojení objektu,

který není entitou procesu. Asociace se obvykle značí pomocí tečkované čáry (neorientované) nebo šipky (orientované).

Obr. č. 8: Značení sekvenčního toku, toku zpráv a asociace v BPMN

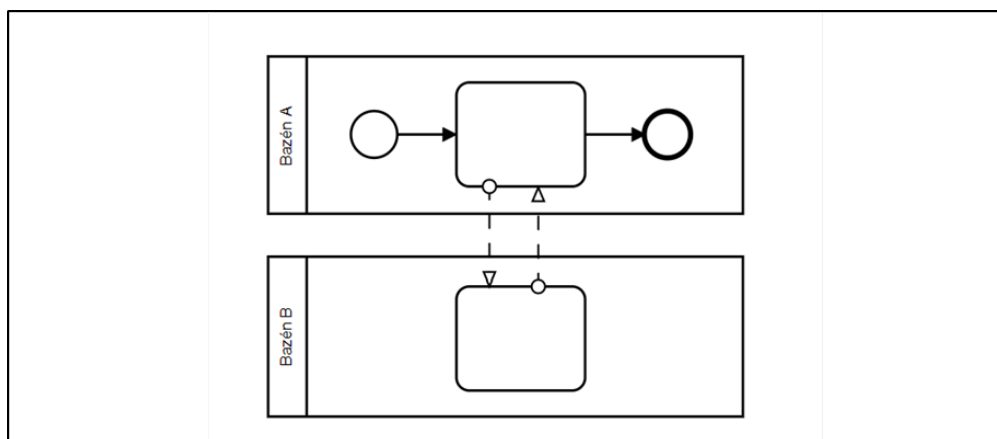


Zdroj: vlastní zpracování, 2018

### Swimmlines

Bazény a dráhy umožňují grafické oddělení entit - podniků a účastníků procesu. Bazén je souhrnem procesů zahrnujících vnitřek podniku. Dráhy, jak již název výstižně napovídá, nám rozdělují bazén a představují jednotlivé účastníky, kteří mají s procesem něco společného. Mezi jednotlivými dráhami, případně i bazény je vyjadřována koordinace činností pomocí posílaných zpráv.

Obr. č. 9: Bazén v BPMN



Zdroj: vlastní zpracování, 2018

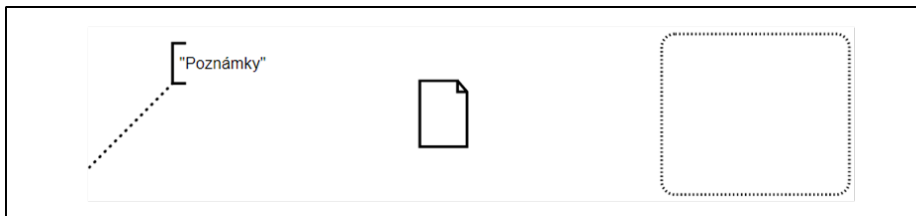
### Artefakty

Jako artefakty značíme upřesňující informace pro proces, které nemají vliv na jeho tok. BPMN 2.0 rozlišuje tři druhy artefaktů, a to sice:

- Annotace (poznámky) - poskytuje dodatečnou textovou informaci. Tento text je spojen asociací s jiným grafickým objektem.

- Datové objekty - reprezentuje data, se kterými činnosti pracují. Značí se obdélníkem s přehnutým rohem.
- Seskupení - seskupení činností z analytických či dokumentačních důvodů. Značí se obdélníkem kresleným přerušovanou čarou. [21]

Obr. č. 10: Značení datového objektu, anotace a seskupení v BPMN



Zdroj: vlastní zpracování, 2018

Pro tvorbu BPMN diagramů existuje celá řada softwarů, které lze použít. Některé jsou dostupné zdarma a online, jiné jsou placené a je třeba je instalovat. V této práci bylo použito nástroje bpmn.io, jehož omezená verze je zdarma na webu. Tento nástroj umožňuje tvorbu a úpravu BPMN 2.0 diagramů přímo na webu, je snadno použitelný, intuitivní a dostupný na všech typech zařízení.

### 3.4 Současný způsob tvorby technické dokumentace ve Škodě Transportation

Údržba v ŠTRN je, obdobně jako v leteckém průmyslu před příchodem RCM, založena na preventivní údržbě. Klíčovým nástrojem údržby je technická a údržbová dokumentace, jež jsou vytvářeny na Oddělení technické dokumentace pod Technickým úsekem společnosti a která má sloužit jako návod provádění údržby. [15]

Tato dokumentace je vytvářena především na základě technické dokumentace od dodavatelů, případně od ostatních oddělení uvnitř podniku. Dá se tedy říct, že dokumentace je z větší části tvořena překlápěním dokumentace nakupovaných dílů na úroveň vozidla.

Relativní jednoduchost a bezpečnost tohoto procesu má však zásadní nevýhody:

1. Dodavatel zpravidla neví, jak vozidlo díl zatěžuje. Předpisuje tedy neoptimální údržbu, ačkoliv by často intervaly mohly být výrazně delší. Kratší údržbové intervaly vedou k častějším kontrolám a častějším výměnám, které jsou zbytečně nákladné a neoptimální.

2. Dodavatel nezná dopady poruchy dílů na vozidlo jako celek, což vede k výrazně vyšším nákladům na údržbu, zejména pak, mohla-li by být údržba řešena korektivně. V případě kritického vlivu dílu na bezpečnost je naopak preferována důkladnější kontrola, což dodavatel nemusí brát v potaz.
3. Dodavatel nezná či nemusí mít zkušenosti s vlivem vozidla na dodávanou komponentu ve specifických operačních podmínkách vozidla.
4. Dodavatel nezná operační náklady spojené s údržbou dílů. Jím předepsaná prohlídka dílu může znamenat rozebrání značné části stroje, což na sebe váže náklady a čas.
5. Může se stát, že bude v zájmu dodavatele, aby byl díl měněn častěji a on tak realizoval větší obrat. Existuje tedy možnost, že dodavatel předpisuje zbytečně krátké intervaly údržby.

Výhodou na druhou stranu je, že při tvorbě údržbové dokumentace tímto způsobem je většina odpovědnosti v případě havárie způsobené nevhodnou údržbovou dokumentací přenášena na výrobce dílu na vozidle.

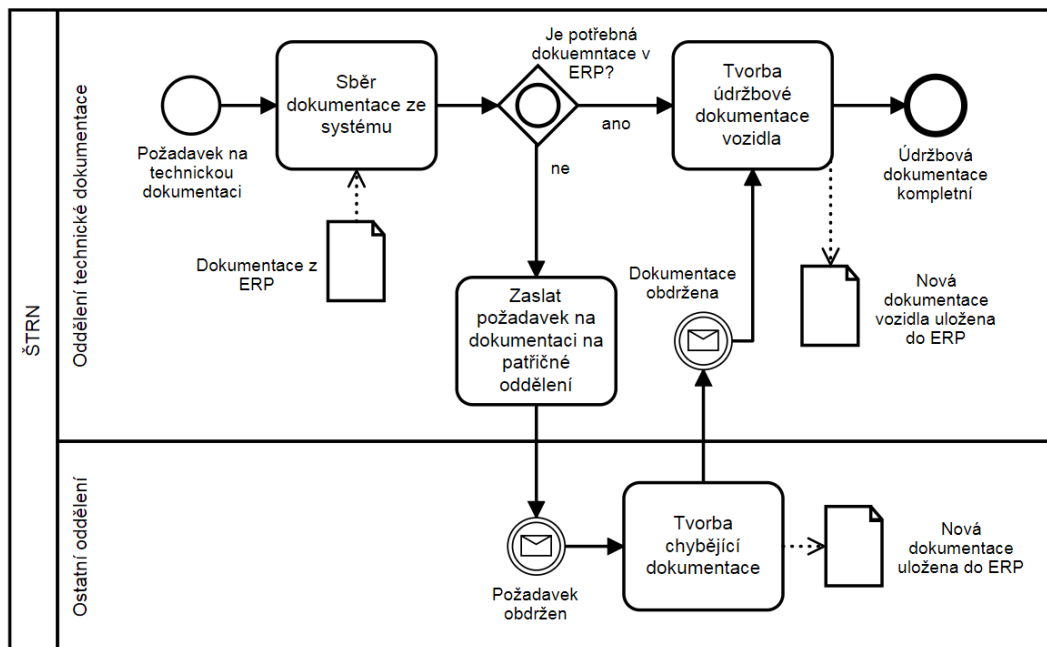
Na obrázku č. 11 je zobrazen současný proces tvorby údržbové dokumentace. Po přijetí požadavku na tvorbu technické dokumentace proběhne sběr dokumentace ze systému ERP. V případě, že veškerou potřebnou dokumentaci nalezneme, začne tvorba technické dokumentace, jejímž výstupem je údržbová dokumentace vozidla. Pokud však při sběru dokumentace zjistíme, že některé materiály nejsou dostupné, spojíme se s příslušným oddělením (může to být oddělení kvality, elektrických komponent, obchodní oddělení - pro kontaktování dodavatele, či nějaké jiné oddělení) a vyžádáme si chybějící dokumentaci. Po obdržení potřebné dokumentace se pak přechází k tvorbě údržbové dokumentace vozidla a po kompletaci je proces ukončen. Po dokončení procesu je dokumentace hotova a zpravidla již nebývá vylepšována, pouze občasně aktualizována, dojde-li ke změně nějaké komponenty na vozidle. Jak je z tohoto procesu evidentní, takto vytvořená dokumentace není příliš efektivní. [15]

Za zmínku dále stojí analýzy RAMS a LCC, které si ŠTRN nechává dělat a které byly představeny v první kapitole. Průběh vytváření měsíčních analýz RAMS a LCC si můžeme prohlédnout na obrázku č. 12. Po zahájení full-servisu, který provádí údržbu na základě technické dokumentace, vytvořené Oddělením technické dokumentace, probíhá zaznamenávání oprav a údržby pomocí technických hlášenek do ERP systému. Každý měsíc pak oddělení RAMS a LCC vytváří reporty z posbíraných hlášenek. Tyto reporty



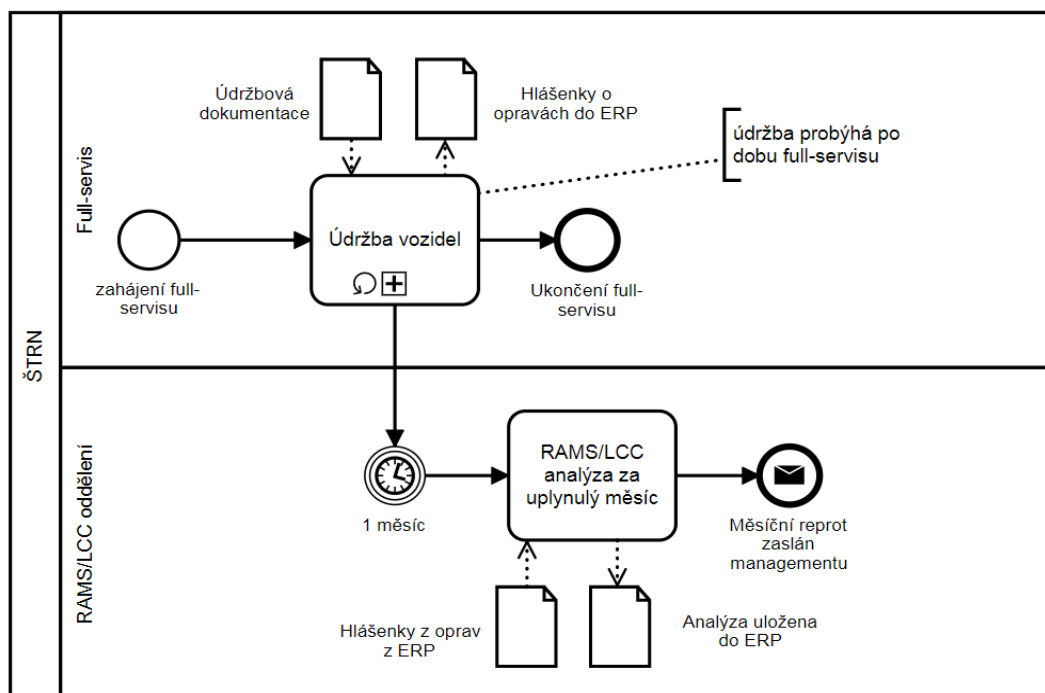
jsou využívány pouze za účelem zpřehlednění aktuálního stavu oprav, s nimi vázanými náklady a managementu. Reporty paradoxně nejsou využívány oddělením technické dokumentace, aby došlo k zlepšení předepisované údržby. [15]

Obr. č. 11: Proces tvorby údržbové dokumentace



Zdroj: vlastní zpracování, 2018

Obr. č. 12: Proces tvorby RCM/LCC analýz



Zdroj: vlastní zpracování, 2018

## 3. Reliability-centered Maintenance

V této kapitole se seznámíme s metodikou údržby založené na bezporuchovosti (Reliability-centered maintenance – RCM), jejíž pomocí budeme chtít zlepšit současný stav údržby vozidel. Bude představen původ této metodiky, důvody pro její použití a způsob, jakým funguje. Probereme zde také rozsah a způsob, jakým doporučíme metodiku nasadit. Ukázky analýzy budou provedeny na trakčním motoru tramvaje.

### 3.5 Představení Reliability-centered Maintenance

RCM (údržba zaměřená na bezporuchovost) je metodika, jejíž cílem je nalezení takové údržby, která je z dlouhodobého hlediska pro podnik finančně nejvýhodnější při dosahování vyžadované bezpečnosti (safety) a dostupnosti (availability). Výstupy analýzy obsahují údržbové činnosti, procesní změny nebo změny v designu za účelem minimalizace důsledků poruchy. Předtím, než se pustíme do práce s RCM, však bude dobré se nejprve podívat na vývoj údržby a na to, jak do něj RCM zapadá. [18] [17]

### 3.6 Historie údržby a Reliability-centered Maintenance

Od třicátých let minulého století se pohled na údržbu velmi změnil. Tento vývoj lze rozdělit do tří generací:

První generaci lze vymezit do období druhé světové války. Tehdy ještě nebyl průmysl vysoce mechanizován a na dobu nepoužitelného stavu se příliš nehledělo. Zařízení byla jednoduchá a obecně předimenzovaná, což je činilo bezporuchovými, snadno opravitelnými a nebylo tak třeba náročného servisu.

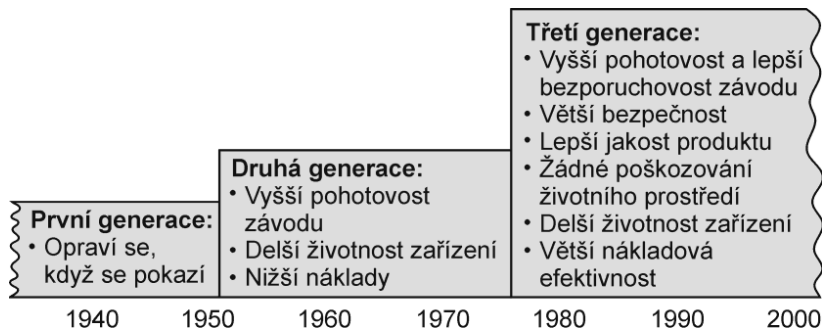
Druhá generace započala druhou světovou válkou, kdy došlo ke zvýšení mechanizace a rapidnímu růstu nákladů s ní spojených. Doba nepoužitelného stavu se stala ohniskem pozornosti, což vedlo ke vzniku preventivní údržby a systému plánování a řízení údržby.

S růstem komplexnosti strojů však začalo docházet k prudkému zvýšení kapitálu spojeného s údržbou. To vedlo pracovníky k hledání způsobu, jakým by mohli maximalizovat dobu životnosti při minimálních nákladech.

Třetí generaci lze datovat do poloviny sedmdesátých let, kdy došlo k impulzu v důsledku tří změn - nových očekávání, nového výzkumu a nové techniky.

- Nová očekávání: Obrázek č.13 ukazuje, jak se očekávání vyvíjela. Důvodem k tomu byl přechod z trhu prodávajícího na trh kupujícího. Bylo třeba vyrábět více, a to rychleji a kvalitněji. Konkurence tlačila ceny dolů a zákazník si mohl diktovat, jakou chce kvalitu.

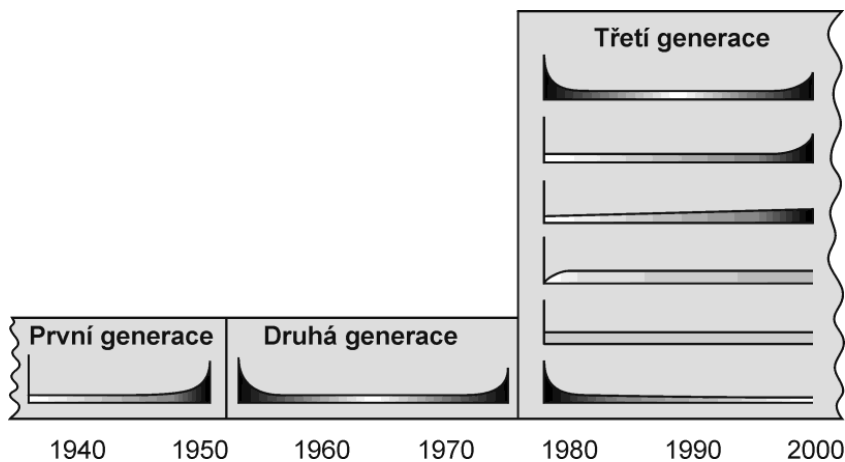
Obr. č. 13: Vzdávající očekávání na údržbu



Zdroj: [2]

- Nový výzkum: Nezávisle na větších očekáváních mění nový výzkum nejzákladnější názory na stárnutí a poruchy. Začíná být zřejmé, že spojitost mezi provozním stárnutím a pravděpodobností poruchy není tak vysoká, jak se předpokládalo. Obrázek č. 14 zobrazuje změnu pohledu na spojitost stárnutí a poruch. Teprve třetí generace odhaluje existenci šesti modelů poruch.

Obr. č. 14: Mění se pohledy na poruchu zařízení



Zdroj: [2]

Nové techniky: Nastal explozivní růst nových koncepcí a technik údržby. Nové vývojové trendy přinášejí nástroje pro podporu rozhodování, nové techniky údržby, zařízení pro navrhování s důrazem na bezporuchovost a udržovatelnost a velký posun

v myšlení organizace. Rozhodnutí, jakou techniku údržby bude použita, se stává klíčovým.

Prvním odvětvím, které systematicky čelilo problémům, bylo civilní letectví. Náklady spojené s údržbou při požadované bezpečnosti byly neúnosné, což vedlo k vypracování soustavy pro vývoj strategií, známé jako publikace ATA-MSG-3, mimo toto odvětví známé jako RCM. Později tuto metodiku nasadila americká armáda a dnes je přijímána a používána ve více než 1000 průmyslových místech na celém světě. [18]

### 3.7 Metodika

Dá se tedy říci, že RCM nejpřesněji vystihuje definice: “proces používaný ke stanovení, co musí být vykonáno k zajištění, aby nějaký fyzický majetek pokračoval ve vykonávání toho, co chtějí jeho uživatelé, ve svém současném provozním kontextu.” [7, s. 12]

Nowlan a Heap [18] stanovili sedm základních otázek o přezkoumávaném systému, které jsou klíčové pro stanovení optimálního údržbového programu. Cílem RCM je na tyto otázky odpovědět. Těmito otázkami jsou:

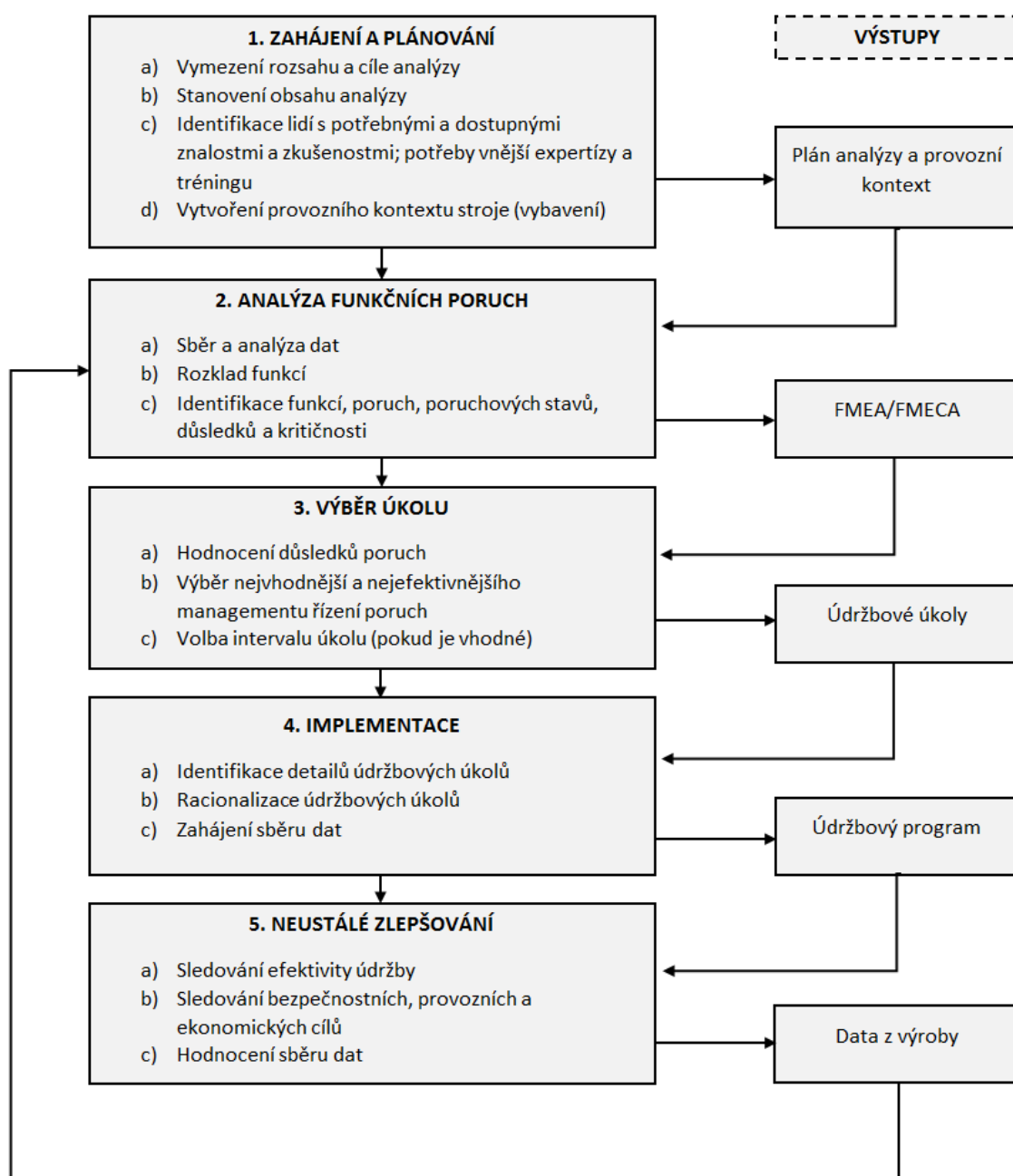
1. Jaké jsou funkce a s nimi sdružené normy výkonnosti majetku v jeho současném provozním kontextu?
2. Jakými způsoby dochází k poruše plnění jeho funkcí?
3. Jaké jsou příčiny každé funkční poruchy?
4. Co se stane, když k ní dojde?
5. V čem spočívá závažnost každé poruchy?
6. Co lze vykonat pro předpověď každé poruchy nebo pro její zabránění?
7. Co když nelze vhodný proaktivní úkol nalézt?

Nasazování RCM typicky probíhá pomocí zahajovacího projektu, který je prováděn na typickém představiteli výrobku. Tímto projektem v případě ŠTRN je dodávka 65 tramvají Forcity Smart (typického představitele) do Tampere. Po úspěšné implementaci se pak RCM rozšíří na celou skupinu výrobků, tedy všech typů tramvají a následně do dalších skupin výrobků, například tramvaje či příměstské jednotky, až pokryje požadované části portfolia.

Obecný postup zavádění RCM [17] si můžeme prohlédnout v obrázku č. 15 níže. V některé literatuře se tento proces dělí do dvou fází, a to sice první - Vývojové fáze

produktu, jenž obsahuje bod první Zahájení a plánování, až bod čtvrtý Implementace. V této fázi se vyvíjí program preventivní údržby, který umožňuje produktu dosáhnout inherentní spolehlivosti, bezpečnosti a to s minimálními náklady. V tomto případě jde převážně o teoretickou analýzu na základě algoritmů definovaných standardem, či daty z provozu příbuzných vozidel. Druhou fází je pak fáze In-service, kde může být implementován program „Age Exploration“, tedy sběr a vyhodnocování dat. Tento program sleduje servisní informace a vylepšuje navrženou údržbu.

Obr. č. 15: Přehled procesu RCM



Zdroj: vlastní zpracování, 2018

### 3.7.1 Zahájení a plánování

Úspěšné nasazení RCM závisí prvně na pečlivém plánování a přípravě. Klíčovými prvky jsou:

1. Definice a kvantifikace (je-li možná) cílů projektu (současný stav a žádoucí konečný stav)
2. Definice rozsahu platnosti a hranice projektu
3. Určí se účastníci projektu a jejich role
4. Naplánuje se školení účastníků a facilitátorů
5. Naplánuje se harmonogram, a to především datum, čas a místo konání všech zasedání
6. Naplánují se audity managementu pro doporučení RCM
7. Naplánuje se praktická realizace doporučení RCM (úkoly údržby, změny návrhu, změny provozních postupů)

Hlavními etapami fáze zahájení a plánování jsou podle IEC 60300-3-11 [11]: Application guide - Reliability centred maintenance z obrázku č. 15: předmětu analýzy, vymezení rozsahu a cíle analýzy, stanovení identifikace vhodných účastníků projektu, jejich kvalifikace a vzdělání a konečně stanovení operačního kontextu.

Předmětem analýzy je produkt/služba, jež chceme zlepšit. Definice cíle by pak měla udávat jasný stav, výstup, který je na konci očekáván. [10]. IEC 60300-3-11 nám doporučuje zvolit si jako základní cíle:

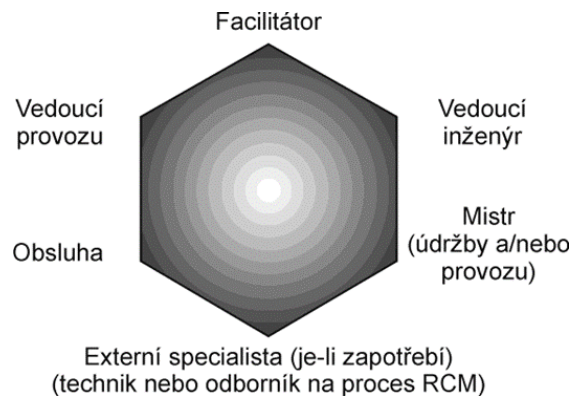
- Nastavení optimálních údržbových úkolů pro komponenty.
- Identifikovat příležitosti pro zlepšení designu.
- Zhodnotit, kde jsou současné údržbové úkoly neefektivní či nevhodné.

Rozsah platnosti a hranice projektu nám udávají, za jakých podmínek máme dospět k požadovaným výstupům. Řízení projektu je vždy o řízení tří oblastí, které spolu úzce souvisí. Jedná se sice o: čas, náklady a kvalitu, někdy nahrazenou rozsahem (v našem případě můžeme uvažovat o úrovni podrobnosti).

Abychom byli schopni odpovědět na Nowlanových a Heapových [18] sedm základních otázek, je třeba sestavit týmy s různorodými členy. Důvodem pro to je fakt, že jeden pracovník nemůže odpovědět na všechny otázky. Z tohoto důvodu provádějí přezkoumávání požadavků na údržbu malé týmy, které obsahují nejméně jednoho pracovníka z údržby a jednoho z provozu. Klíčem je, aby tyto členové měli zevrubné

znalosti o přezkoumávaném systému či subsystému a aby každý člen byl vyškolen v RCM. Typické složení skupiny pro přezkoumání RCM je uvedeno v obrázku č. 16.

Obr. č. 16: Složení skupiny pro přezkoumání RCM



Zdroj: [2]

Díky používání těchto skupin management získá systematický přístup ke znalostem a znaleckým posudkům každého člena skupiny. Navíc se členové skupiny naučí, jak majetek pracuje. Facilitátorem skupiny bude zaměstnanec oddělení RCM.

Jednou z možností při zavádění RCM je najmutí externích konzultantů. Řepa [21] uvádí následující způsoby využití:

1. Konzultanti jako vedoucí týmů nebo klíčový facilitátoři v týmu.
2. Konzultanti jako školitelé a koordinátoři školení členů týmu.
3. Konzultanti jako poradci a experti ve specifických a odborných otázkách, zejména technických a informačních.

V případě ŠTRN bude nejvhodnější využít konzultanty jako školitele, případně jako poradce ve specifických a odborných otázkách. Důvodem pro tuto volbu je, že chceme, aby bylo maximum zkušeností a know-how udrženo v podniku a využito pro další projekty.

Posledním krokem před zahájením analýzy funkčních poruch je stanovení provozního kontextu. Provozní kontext je dokument, který dává obecný přehled o fungování systému - jak je stroj provozován a jaké jsou jeho klíčové hodnoty. U složitějších produktů se pak doporučuje vytvořit úrovněvý rozpad systémů a ke každému přiřadit provozní kontext. Je třeba mít také na paměti, že plán údržby bude silně ovlivněn podmínkami (například přírodními), za kterých je stroj provozován. Jako příklad uvedeme, že stejná tramvaj bude mít jiný údržbový plán, bude-li jezdit v Turecku, kde

se teplota pohybuje mezi 4 až 30 °C a kde ročně najede 40.000 Km, a Helsinkami, kde se teplota během roku pohybuje mezi -5 až 17 °C a ročně najede tramvaj 50.000 Km.

### 3.7.2 Analýza funkčních poruch (FMEA)

RCM, jako nástroj udržovatelnosti, využívá FMEA (Analýza způsobů a důsledků poruch) jako nástroj spolehlivosti a vybírá z něj důležité informace pro udržovatelnost. FMEA je strukturovaná kvalitativní analýza, která slouží k identifikaci způsobů poruch systémů, jejich příčin a důsledků. Analýza způsobů, důsledků a kritičnosti poruch (FMECA) rozšiřuje metodu FMEA o odhad kritičnosti důsledků poruch a pravděpodobnosti jejich nastoupení. Analýzou se získá kompletní popis systému na spodní úrovni, a umožňuje tedy sledovat důsledky popisovaných způsobů poruch vzhledem k vyšším subsystémům i celkovému vozidlu.

Tato indukivní metoda je prováděna takzvaně bottom-up, tedy zdola nahoru, kdy se analyzuje, jaké mají lokální poruchy vliv na celý systém. Analýz způsobů a důsledků poruch rozlišujeme více druhů, jako základní rozlišení můžeme uvést:

1. Analýzu selhání funkce (functional failure) - zabývá se selháním funkce.
2. Analýzu selhání komponent (piece-part failure) - zabývá se selháním komponenty.
3. Analýzu selhání procesu - zabývá se selháním kroku v procesu. [28]

V úvodu kapitoly RCM jsme si jasně stanovili sedm základních otázek, které RCM pokládá a které se jasně vážou k funkcím. Zajímá nás totiž, proč určitá požadovaná funkce není splněna, nikoliv proč určitý komponent selhal. Z tohoto důvodu se budeme nadále zabývat analýzou selhání funkcí, které má systém či subsystém zastávat. [17]

**Postup** analýzy FMEA se skládá z následujících čtyř hlavních etap:

- 1) Stanovení základních pravidel provádění analýzy FMEA, plánování a vypracování harmonogramu, sestavení týmu.
- 2) Provedení analýzy FMEA s použitím vhodných prostředků.
- 3) Shrnutí a zpracování zprávy o analýze, včetně závěrů a doporučení.
- 4) Aktualizace analýzy FMEA.

Provedení analýzy FMEA je prováděno pomocí formuláře, který se liší svými kroky v závislosti na druhu prováděné analýzy. Pro účely funkční FMEA má formulář následující kroky:



- 1) Pomocí konstrukčního rozpadu rozebereme produkt na systémy a podsystémy dle námi požadované úrovně.
- 2) Stanovíme klíčové a vedlejší funkce.
- 3) Definuujeme funkční selhání, které nám říká, jakým způsobem se porucha projeví.
- 4) Identifikujeme způsoby poruchy, které vedou k selhání funkce.
- 5) Stanovíme dopad poruchy na úrovni lokální - subsystému či LRU, na úrovni systému a na úrovni vozidla jako celku. [17]

Běžně se ve formuláři FMEA dále stanovuje způsob detekce poruchy a závažnost poruchy (severity), avšak těch není pro účely RCM třeba. Bude se jimi později zabývat RCM decision worksheet. V tabulce níže si můžete prohlédnout, jak takový formulář bude vypadat. Pod formální částí záhlaví (vybarvené šedou barvou), jež obsahuje obecné informace k analýze, najdeme Funkci a její unikátní označení (číslem). K funkci se pak vtahují možná Funkční selhání s přiřazeným písmenkem a způsob poruchy s přiřazeným číslem vtahujícím se k funkci a funkčnímu selhání. Porucha pak bude mít například identifikační kód 1A1. Následující odstavce se pak zabývají dopadem poruchy. V pozdější části této práce si cvičně provedeme analýzu funkčních poruch na trakčním motoru.

Tab. č. 3: Formulář analýzy funkčních poruch RCM

Analýza funkčních poruch	Systém		Systém č.	Facilitátor:	Datum	List č.
	Subsystém:		Subsystém č.	Auditor:	Datum	z
Funkce	Funkční selhání (ztráta funkce)		Způsob poruchy	Dopad poruchy (co se stane, když to selže)		
				Lokální	System	Celek
1	A	1	.			

Zdroj: vlastní zpracování, 2018

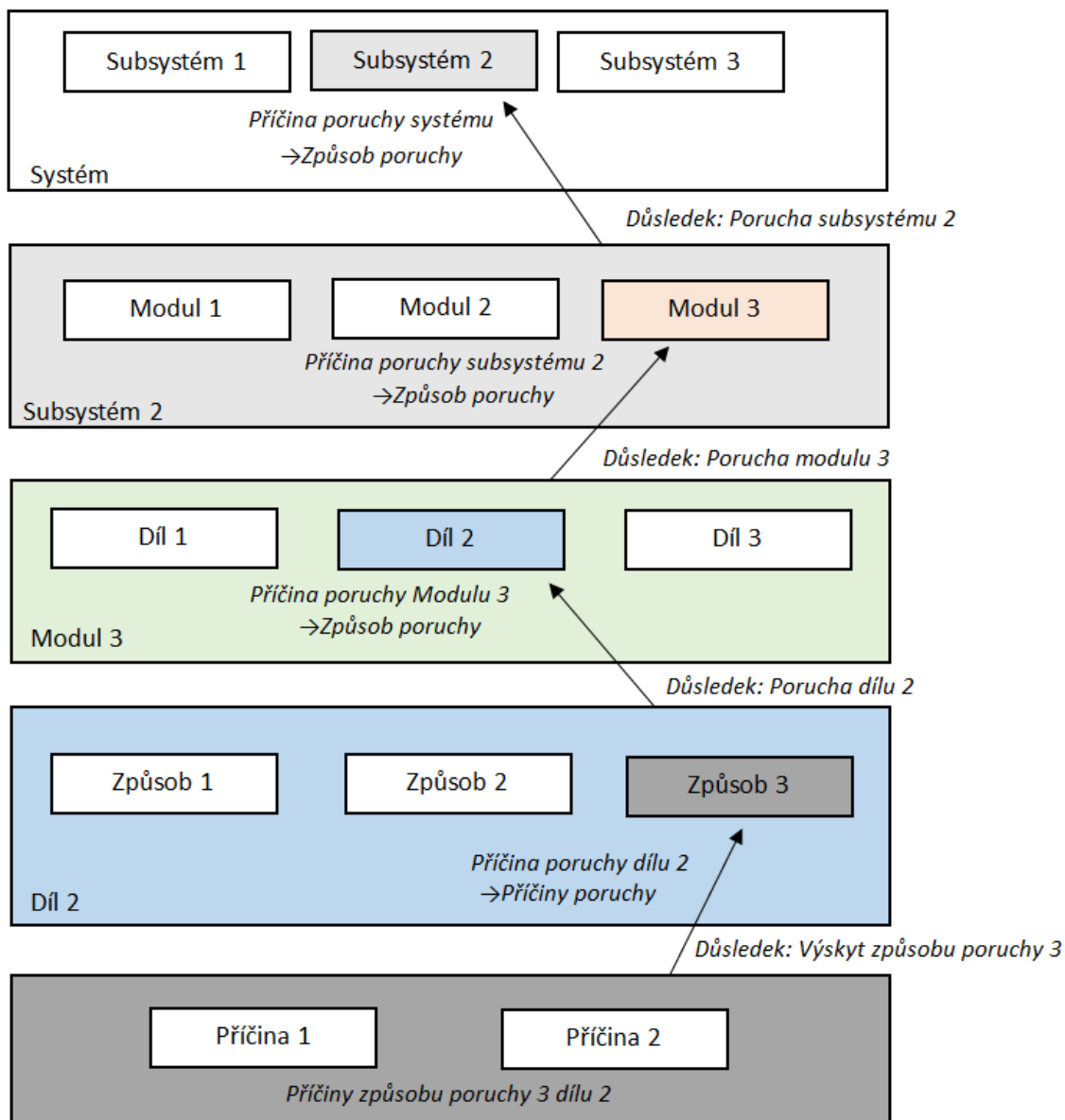
Podstatnou otázkou, kterou si musíme položit, je, do jakého detailu chceme analýzu provést. Analýza by měla být provedena dostatečně podrobně, aby umožnila zvolení vhodné strategie managementu řízení poruch, avšak zároveň by na sebe neměla vázat přehnané množství času (a tedy peněz) pro její realizaci. Nabízí se několik možností:

- Analýza na úrovni systému.
- Analýza na úrovni subsystému.

- Analýza na úrovni výměnných jednotek (LRU).
- Analýza na úrovni jednotlivých dílů.

Důsledek příčiny na jednom stupni rozčlenění se stává příčinou dalšího důsledku na vyšším stupni, viz obrázek č. 18. [7]

Obr. č. 17: Příčina a důsledek dle úrovně rozpadu



Zdroj: vlastní zpracování, 2018

ČSN EN 60812 [7] doporučuje volit stupeň rozčlenění dle návrhu a požadavků na výstup, zamýšlené údržby a stupně opravy. Pro účely RCM je jednoznačně nejvhodnější provádění FMEA na úrovni výměnných jednotek, nebo-li LRU (Line Replaceable Unit). LRU je definována jako údržbově významná položka, kterou lze po poruše vyjmout a vyměnit, nebo opravit na úrovni vozidla a obnovit tak jeho

provozoschopnost. Například v případě poruchy trakčního motoru dochází k výměně celého motoru, nikoliv rozebrání motoru a výměně zničeného rotoru. LRU je tedy motor, na němž nás zajímá, že se porouchal kvůli rotoru. Nemá tedy význam zabývat se příčinami selhání plnění funkce rotoru, nýbrž nás zajímá, že zničený rotor je příčinou toho, že trakční motor (LRU) neplní funkci pohonu dvojkolí.

Zásadním faktorem také je rozsah uváděných příčin poruch na námi zvolené úrovni. Faktem je, že příčin poruch pro určitý komponent může být nepřehledné množství. Pro účely RCM však postačí, zaměříme-li se na příčiny, které mají reálnou šanci na vznik.

### 3.7.2.1 Analýza funkčních poruch trakčního motoru

Při nasazování do praxe je klíčové vhodně rozložit tramvaj do systémů, subsystémů a LRU. Naštěstí pro nás však můžeme použít ČSN EN 15380-2 (Železniční aplikace - systém označování kolejových vozidel - Část 2: Výrobní skupiny) [24], která standardizovaně rozkládá vozidlo do osmnácti systémů a ty následně do subsystémů. Tento rozklad je užíván mezinárodně a jeho využitím docílíme snadné orientace pro zákazníka i naše techniky.

Jelikož by analýza celé tramvaje, systému i subsystému dalece překročila rozsah této práce, vytvoříme v této části práce cvičení na analýzu LRU trakčního motoru. Cílem tohoto cvičení je nastínit, jak by při nasazování měla analýza být prováděna a jaké by měly být výstupy. Tato analýza byla provedena a konzultována odborníkem na trakční motory. [16]

Trakční motor je LRU spadající pod trakční subsystém, skládající se z trakčního motoru a převodovky, který spadá pod systém “pojezdové ústrojí”. Tento rozpad si můžeme prohlédnout v tabulce č. 4 a obrázku č. 19.

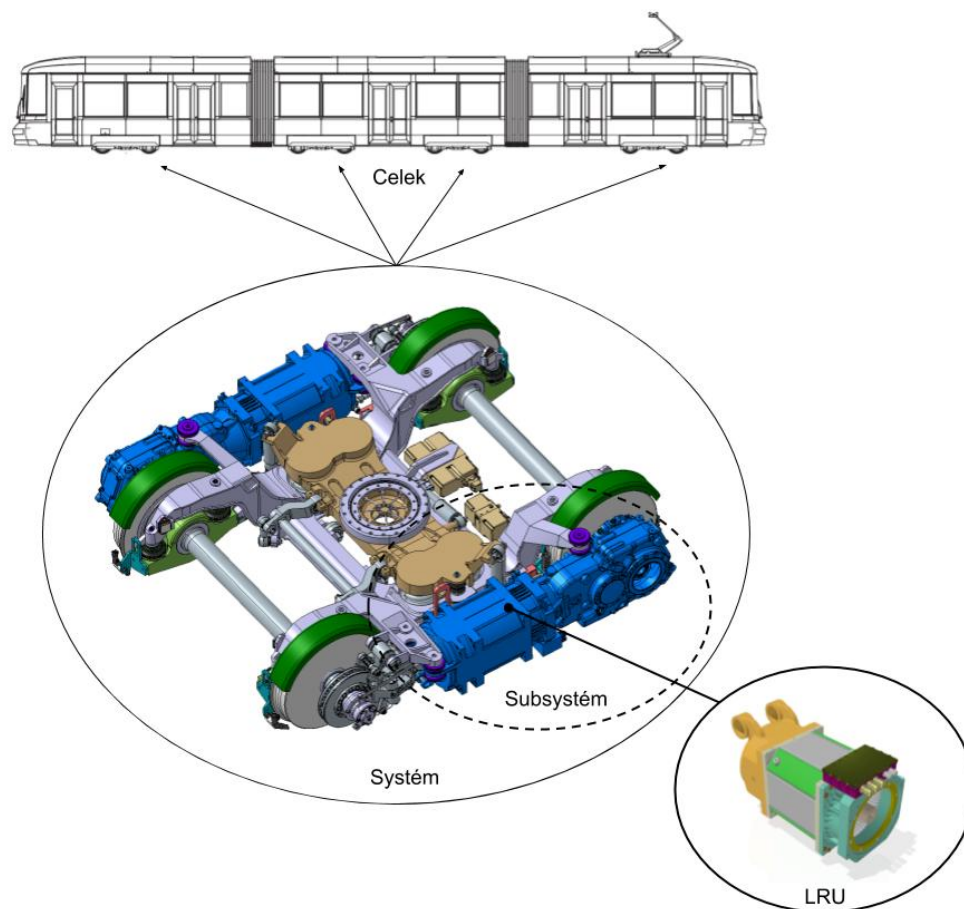
Tyto trakční motory jsou uchyceny na vnější straně rámu podvozku (obrázek č. 19). Počet motorů na tramvaji se třemi články, která bude dodávána do Tamapere, je 8. Na každém podvozku jsou dva trakční subsystémy. Výrobcem a dodavatelem motorů je ŠKODA ELECTRIC a.s.

Tab. č. 4: Rozpad na na LRU trakčního motoru dle ČSN EN 15380-2

System		Subsystem	LRU
Skříň vozidla			
Výstroj vozidla			
Vybavení interiéru			
<b>Pojzdové ústrojí</b>	Podvozek běžný		
Řízení KV	<b>Podvozek trakční</b>	Rám podvozku	
Pomocné pohony		Dvojkolí	
Monitoring a zabezpečení		Vypružení	
Osvětlení		Přenos trakčních sil	
Topení/Ventilace		Spojení se skříní	
Pomocné vybavení		Bezpečnostní prvky	
Dveře, vstupy		<b>Trakční subsystém</b>	Převodovka
Informační zařízení			<b>Trakční motor</b>
Brzda			
Tažné a nar. ústrojí			
Přepravní syst, kryty			
Elektrické rozvody			
Trakce			

Zdroj: vlastní zpracování, 2018

Obr. č. 18: Uložení trakčních motorů na tramvaji FORCITY SMART



Zdroj: vlastní zpracování, 2018

V tabulce č 5 si můžeme prohlédnout analýzu funkčních poruch LRU trakčního motoru, která byla vypracována do formuláře představeného v předchozí kapitole. Zde byly identifikovány 2 funkce, primární funkce - pohon/brždění jednoho kola - a sekundární funkce - informování (podávání hlášení) o svém stavu. Touto analýzou jsme stanovili 7 způsobů poruch, kterými mohlo dojít ke ztrátě funkce pohonu/brždění kola motorem. Způsoby poruchy byly: porucha rotoru, porucha statoru, porucha štítů, porucha ventilace, porucha čidla otáček, poškození svorkovnice a poškození kostry. U ztráty funkce “informování o svém stavu” jsme identifikovali dva způsoby poruchy - poruchu teplotního čidla a poruchu čidla otáček. Dopady na systém a celek vozidla se pak různí, například v případě poruchy rotoru dojde k provozu motoru s omezenou funkčností a tramvaj tak přichází plně či částečně o pohon jednoho kola na podvozku, naopak při poruše ventilace dochází k občasnému vypojení trakčního motoru z důvodu hrozícího fatálního přehřátí, což vede k výpadkům pohonu jednoho kola na podvozku.

Tab. č. 5: Analýza funkčních poruch trakčního motoru

Analýza funkčních poruch		Systém č. 5a Subsystém č. 6		Facilitátor: David Ženíšek Auditor: xxx		Datum 8. 2. 2018 Datum		List č. 1 z 1		
Funkce	Funkční selhání (ztráta funkce)	Způsob poruchy		Dopad poruchy (co se stane, když to selže)		Celek				
		Lokální	Systém							
1	Pohon/brzdění jednoho dvojkolí.	A	Ztráta pohonu dvojkolí a ztráta brzdění dvojkolí motorem.	1	Porucha rotoru ztráta vyváženosti rotoru, uvolnění rotorového paketu na hřídeli, porucha kruhu nakrátko, přetržení rotorové tyče blízko pájeného spoje.	1	Porucha rotoru	Rotor se netočí, rotor se točí nesprávně - kývání rotoru, nesprávné otáčky, nesprávný moment, nesouměrné magnetické pole, vibrace rotoru.	Motor kolo nepohání nebo nebrzdí, nebo s omezenou funkcí.	Tramvaj přichází úplně nebo částečně o pohon dvojkolí.
			2	Porucha statoru Prasknutí svaru na paketu statoru, porucha vinutí, porucha vnější a vnitřní izolace statoru.	2	Porucha statoru Rotor se netočí, rotor se točí nesprávně - kývání rotoru, nesprávné otáčky, nesprávný moment, nesouměrné magnetické pole.	2	Porucha statoru	Motor kolo nepohání nebo nebrzdí, nebo s omezenou funkcí.	Tramvaj přichází úplně nebo částečně o pohon dvojkolí.
			3	Porucha štítů Porucha předního štítu, porucha zadního štítu, porucha ložiska, lubrikace.	3	Porucha štítů Poškozený štít nepodporuje motor ve fungování.	3	Porucha štítů	Přehřívání motoru, ztráta výkonu motoru.	Tramvaj přichází úplně nebo částečně o pohon jednoho dvojkolí.
			4	Porucha ventilace únava materiálu nebo náhodné poškození některé ze součástí, vnik cizího tělesa do motoru, ucpaní ventilacího kanálu.	4	Porucha ventilace Porucha chlazení motoru.	4	Porucha chlazení motoru.	Motor se přehřívá, může dojít k jeho odpojení z důvodu hrozícího přehřátí.	Motor jednoho dvojkolí je dočasně odpojen z bezpečnostních důvodů.
			5	Porucha čidla otáček - únava materiálu nebo náhodné poškození některé ze součástí.	5	Porucha čidla otáček - únava materiálu nebo náhodné poškození některé ze součástí.	5	Čidlo neoptimalizuje práci motoru, nesprávné napájení motoru.	Motor funguje neefektivně, je značně namáhán.	Pohon dvojkolí lze ovládat jen omezeně.
			6	Poškození svorkovnice - únava materiálu, koroze, uvolnění šroubů nebo náhodné poškození některé ze součástí, poškození přírodního kabelu fáze U, V, VV.	6	Poškození svorkovnice - únava materiálu, koroze, uvolnění šroubů nebo náhodné poškození některé ze součástí, poškození přírodního kabelu fáze U, V, VV.	6	Svorkovnice neplní správně svou funkci, nesouměrné napájení, jiskření, zkrat napájecích fází.	Motor kolo nepohání nebo nebrzdí, nebo s omezenou funkcí, ztráta řízení motoru.	Tramvaj přichází úplně nebo částečně o pohon jednoho dvojkolí.
			7	Poškození kostry únava materiálu, koroze nebo náhodné mechanické poškození.	7	Poškození kostry únava materiálu, koroze nebo náhodné mechanické poškození.	7	Prasknutí součástí kostry, nedostatečné chlazení vlivem poškození žebrování, nedostatečná mechanická odolnost motoru.	Snižovaná životnost motoru.	Tramvaj není značně ohrožena s ohledem na míru poškození kostry.
2	Informuje o svém stavu.	A	Neinformuje o svém stavu.	1	Porucha teplotního čidla - únava materiálu nebo náhodné poškození některé ze součástí.	1	Čidlo nesepe při přehřátí motoru, nepřesně informuje o aktuálních údajích.	Řidič není informován o přehřívání motoru, motor se sam nevyvine při riziku přehřátí.	Možnost fatálního poškození přeřítím motoru jednoho dvojkolí.	Pohon tramvaje nelze efektivně ovládat.
			2	Porucha čidla otáček - únava materiálu nebo náhodné poškození některé ze součástí.	2	Porucha čidla otáček - únava materiálu nebo náhodné poškození některé ze součástí.	2	Čidlo nepracuje správně, nepřesné údaje o otáčkách pro řidiče i řidičí blok motoru.	Řidič není informován o práci motoru, motor není optimálně řízen.	

Zdroj: Vlastní zpracování 2018

### 3.7.3 Výběr úkolů

Třetí fází nasazování RCM je výběr údržbových úkolů. Tento výběr se podstatně liší od obecného modelu strategie údržby, jenž obvykle uvažuje o třech typech údržby, jimiž jsou:

1. Prediktivní údržba - kontrola, zda u něčeho nehrozí vznik poruchy.
2. Preventivní údržba - provádění generální opravy objektů či výměny součástí v pevných intervalech.
3. Údržba po poruše - opravit věci, když se zjistí, že hrozí vznik poruchy nebo již došlo k poruše.

RCM uvažuje v podstatě o čtyřech typech údržby, kdy k obvykle uvažovaným třem přidává ještě 4. Detekční typ údržby. Tento typ údržby je zaměřený na hledání poruchy u skrytých a neodhalitelných poruch, ovlivňujících pouze ochranná zařízení. [17]

Údržbové úkoly jsou v RCM děleny do dvou základních skupin: a) proaktivní úkoly a b) standardní zásahy.

**Proaktivní úkoly** jsou prováděné před tím, než dojde k poruše, aby se zabránilo objektu dostat se do poruchového stavu. Zahrnují:

- plánovaná obnova - generální oprava montážní sestavy při specifickém mezním stáří (nebo před ním) bez ohledu na jeho stav v čase;
- plánované vyřazení (výměna) - vyřazení objektu při specifikovaném mezním stáří (nebo před ním) bez ohledu na jeho stav v čase;
- údržba podle stavu - většina poruch upozorňuje na to, že se chystá vzniknout. Tato upozornění jsou známa jako potenciální poruchy, které naznačují probíhající proces vzniku poruchy. Do této kategorie patří všechny prediktivní údržby, údržby založené na stavu a monitorování stavu. V případě, že je technicky možné a ekonomicky ospravedlnitelné provést tento druh údržby, je automaticky volen jako způsob údržby, jelikož díl je skutečně využíván až do stavu, kdy je na čase jej vyměnit či opravit.

**Standardní zásahy** se zabývají poruchovými stavy a jsou voleny v případě, že jsou ekonomicky a bezpečnostně přijatelnější než preventivní zásahy. Mezi standardní zásahy patří:

- Hledání poruchy - provádění pravidelné kontroly skrytých funkcí za účelem nalezení poruchy;

- přepracování návrhu, známé jako “redesign” - provedení jednorázové změny zabudované způsobilosti systému, zahrnující modifikace hardwaru i změny postupů;
- běh do poruchy, známé také jako “žádná plánovaná údržba” (po poruše) – při tomto typu zásahu se nevynakládá žádné úsilí na předvídání nebo zabránění vzniku poruch. Po nastalé poruše jednoduše dojde k opravě.

Ted, když jsme si rozlišili druhy úkolů, pojdme se podívat, jak nejlépe zvolit údržbové úkoly. Za účelem volby proaktivního úkolu přišli autor RCM II [17] s rozhodovací logikou, s níž jsme pomocí jednoduchých otázek schopni identifikovat, jaký údržbový úkol zvolit. Tato logika je zobrazena v rozhodovacím diagramu RCM v obrázku č. 18.

Klíčovou otázkou při volbě úkolů je, jaké má poruchový stav důsledky. Pomocí tohoto diagramu nejprve identifikujeme, o jakou kategorii poruchy se jedná. RCM rozlišuje 5 kategorií způsobů poruch, o nichž je třeba uvažovat. Poruchy skryté, poruchy, jež mají vliv na zdraví a životní prostředí, poruchy, jež mají dopad na provozní schopnosti vozidla a konečně poruchy, jež nemají dopad na provozní schopnosti vozidla. V RCM rozhodovacím diagramu má každá z těchto kategorií přiřazené své písmenko (S - skryté, B - bezpečnost, Ž- životní prostředí, ohrožující provoz - P a poruchy neohrožující provoz N).

**Skryté poruchy**, jež nejsou evidentní, avšak samy nezpůsobují žádné nebezpečí. Příkladem na automobilu může být porucha detektoru kouře, která nás má upozornit na kouř ve vozidle. V případě poruchy kontrolky nedochází k žádnému ohrožení jako takovému, avšak v případě, kdy by nastala vícenásobná porucha, při které by byl porouchán detektor kouře a v zadním voze by došlo k poruše rozvodů, čímž by vznikl požár, může dojít k ohrožení cestujících, jelikož řidič nebude v čas reagovat. Pro tyto poruchy platí, že v případě, že se nevyplatí z technických či ekonomických důvodů provést údržbu dle stavu, plánovanou obnovu či plánovanou výměnu, je dalším defaultním krokem plánované hledání poruchy, následované redesignem v případě, že hledání poruchy nelze provést a násobná porucha by byla kritická pro bezpečnost či prostředí.

**Poruchy ohrožující zdraví a životní prostředí** jsou druhou a třetí skupinou poruch a jsou ošetřovány s nejvyšší obezřetností (ve formuláři jsou značeny v kategorii jako B a Z, později však při volbě proaktivního úkolu jsou značeny pouze jako B - ohrožující bezpečnost, jelikož logika volby údržbového úkolu je stejná). Jak již název napovídá,



tyto poruchy mohou ohrozit zdraví či životní prostředí, což se projeví mimořádně negativními dopady pro podnik, a to nejen finančními. U těchto úkolů je specifické, že jsou nastavovány tak, aby byl prakticky vyloučen vznik poruch, a tedy že údržba po poruše nepatří mezi možné údržbové úkoly. V případě tramvaje se jedná o poruchy, jež by ohrožovali zdraví cestujících, chodců či ostatních účastníků silničního provozu.

**Poruchy s negativním dopadem na provoz** jsou poruchy, které na sebe vážou zamezení provozních schopností. Jedná se o poruchy, díky kterým je vozidlo neprovozoschopné přes přijatelnou hranici, s čímž se vážou nepřijatelné náklady. Jedná se například o poruchu, jež způsobí, že vozidlo je neprovozoschopné kvůli dílu, jenž vyžaduje speciální, špatně dostupný servis. Na tramvaji by to mohla být porucha dílu, jenž bude muset být zaslán výrobcí na náročnou opravu, následkem čehož bude tramvaj stát několik týdnů v depu. Prioritou při výběru údržbových úkolů je opět tyto poruchy či jejich dopad minimalizovat, jelikož náklady na ně vázané jsou pro podnik nepřijatelné.

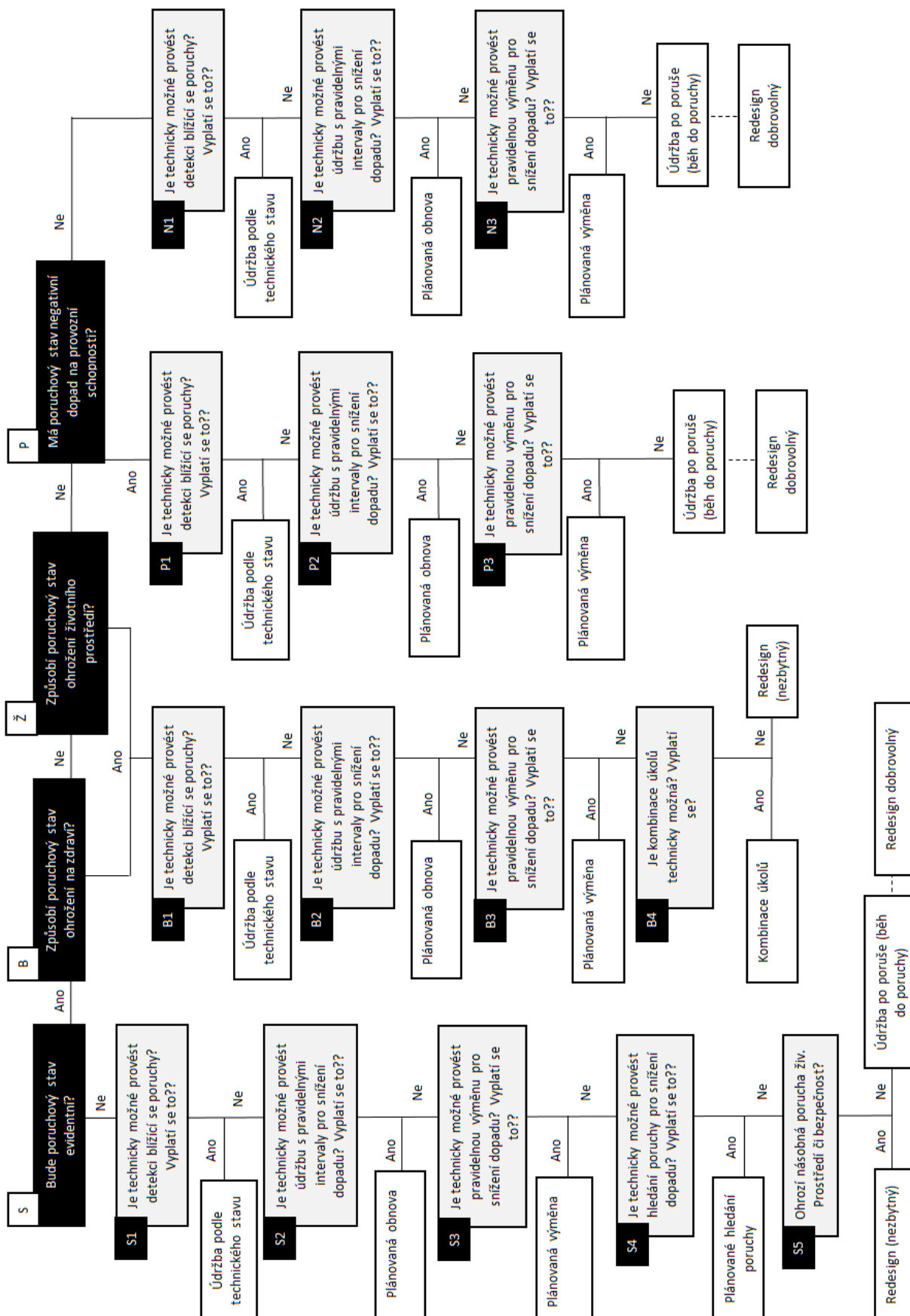
**Poruchy s neprovozním dopadem** jsou poruchy, jež nejsou kritické pro bezpečnost, životní prostředí, ani pro provoz vozidla. Tyto poruchy na sebe pouze vážou finanční prostředky, které chceme přiměřenou údržbou minimalizovat. Jedná se například údržbu, kde by porucha dílu byla snadno opravitelná, avšak velmi nákladná.

Jakmile identifikujeme, o kterou kategorii poruchy se jedná, logicky za sebou poskládanými otázkami se dopravujeme ke vhodnému údržbovému úkolu. První otázkou (v diagramu značenou jako S1/B1/P1/N1) u všech kategorií je, zda je technicky možné provést detekci blížící se poruchy a zda se to z ekonomického hlediska vyplatí. V případě že ano, je jasnou volbou údržba podle technického stavu. V případě že ne, je druhou otázkou (S2/B2/P2/N2), zda je možné provést údržbu s pravidelnými intervaly a zda se to ekonomicky vyplatí. Pokud ano, je nejvhodnějším úkolem plánovaná obnova, po které dojde k uvedení do plně provozuschopného stavu. Pakliže je odpověď opět ne, je možnost pravidelné výměny dílu, je-li to technicky a ekonomicky výhodné (S3/B3/P3/N3). V tomto případě opotřebovanou součástku nahradíme novou.

V případě, že není ekonomicky a technicky přijatelné provádět plánovanou výměnu, liší se další logika úkolů dle jejich kategorie. U poruch, které jsou skryté, se budeme rozhodovat, zda je možné a vyplatí se provést plánované hledání poruchy (S4). V případě že ne, volíme mezi redesignem, který je vhodný v případě ohrožení životního prostředí či bezpečnosti (S5), a údržbě po poruše. U poruch ohrožujících bezpečnost a životní prostředí dále volíme mezi kombinací předešlých úkolů (vyplatí-li se B4) a

redesignem. Konečně u zbývajících dvou kategorií (poruchy ohrožující provoz a poruchy neohrožující provoz), kde není vhodná výměna s pevným intervalem, volíme údržbu po poruše či případný redesign. [17]

Obr. č. 19: Rozhodovací diagram RCM pro volbu údržbového úkolu



Zdroj: Vlastní zpracování 2018

Pro zaznamenání vhodného údržbového úkolu, jeho specifikaci se používá RCM decision worksheet (rozhodovací formulář) [17]. Účelem tohoto formuláře je zaznamenat pomocí rozhodovacího diagramu vhodný druh údržbového úkolu, tento úkol popsat, stanovit interval, s jakým by oprava měla být prováděna, a určit odpovědnou osobu, která za provedení úkolu zodpovídá.

V záhlaví tohoto formuláře budou stejně jako ve formuláři FMEA obecné informace týkající se evidence. Bude tam název a číslo systému a subsystému, jména facilitátora (osoby zodpovědné za realizaci) a auditora (osoby odpovědné za správnost), data vyhotovení a kontroly a počet listů.

Samotný formulář má poté podobu tabulky (tabulka č. 6), ve které první sloupec, rozdělený do 4 podsloupců, odkazuje na funkci (F), funkční selhání (FS) a způsob poruchy (ZP) LRU. Následující sloupec identifikuje kategorii dopadu. Každý z těchto sloupců vychází z logiky rozhodovacího diagramu a zaznamenáváme do něj, zda na otázku odpovídá A - ano, nebo N - ne. Nejprve se ptáme, zda je porucha evidentní, jestliže není, jedná se o kategorii proch S - skrytých, dále se ptáme, zda má porucha vliv na B - bezpečnostních, Ž - životní prostředí nebo P - provozních. Zní-li odpověď na poslední sloupec ne (N), je kategorie automaticky považována za poruchu s neprovozním dopadem.

Následujících šest sloupců nám slouží k identifikaci typu údržbového úkolu. Pokračujeme v logickém toku otázek rozhodovacího diagramu, kde se postupně ptáme otázkami ano/ne, zda je vhodné provést některý z proaktivní způsobů údržby: 1. Údržbu dle technického stavu, 2. Plánovanou obnovu, 3. Plánovanou výměnu. Pakliže je odpověď na všechny tyto otázky “ne” (N) a jedná se o kategorii poruch s provozním a neprovozním dopadem, je řešením běh do poruchy či případný redesign.

Jedná-li se však o kategorii skrytých poruch (S) či poruch s vlivem na zdraví či životní prostředí (Z/Ž), ptáme se u kategorie S, zda je vhodné použít 4. Plánované hledání poruchy či 5. Redesign. Jeli odpověď všude “ne”, volíme údržbu po poruše. U kategorie Z, případně Ž se ptáme, zda je vhodná kombinace úkolů (B4). V případě odpovědi “ano” (A) volíme kombinaci úkolů, v případě že ne (N) volíme redesign.

Jakmile identifikujeme druh vhodného údržbového úkolu, přesně popíšeme, jak by měl být navržený úkol proveden. Tento popis nesmí být příliš vágní a obecný jako “kontrola ventilace”, naopak musí být dostatečně specifický, aby bylo z formuláře zjevné, jak má

být úkol proveden. Například “demontáž krytu ventilátoru, kontrola čistoty impulsního kotouče ventilátoru”.

Dalším sloupcem je sloupec zodpovídající otázku, jak často má být úkol prováděn. Hovoří tedy o intervalu údržbového úkolu, o kterém můžeme uvažovat v různých jednotkách. Tento interval může být uváděn v různých měrných jednotkách jako například provozní čas, ujeté kilometry, vyrobené kusy, počet použití, apod. Tyto intervaly se identifikují pomocí střední doby mezi poruchou MTBF, kterou můžeme zjistit různými způsoby. Třemi pravděpodobně nejvhodnějšími zdroji jsou:

1. Interní analýzy prováděné uvnitř podniku (v ŠTRN je to například oddělení RAMS/LCC).
2. Informace uváděné výrobcí komponent (jsou-li taková data dostupná).
3. Pomocí katalogů a další literatury, která uvádí standardní failure rate komponent (např.: *NSWC-11 Handbook of reliability prediction procedures for mechanical equipment*).

V případě tramvaje jsou obvykle jako vhodné jednotky voleny ujeté kilometry, případně roky provozu. Poslední sloupec formuláře nám specifikuje osobu, která by měla být za vykonávaný úkol zodpovědná. [17] Podobu formuláře si můžeme prohlédnout v následující tabulce.

Tab. č. 6: RCM Decision Worksheet

RCM Decision Worksheet			Systém:						Systém č.	Facilitátor:	Datum:	List č.									
			Subsystém:						Subsystém č.	Auditor:	Datum	Z									
Reference z analýzy funkčních poruch			Kategorie dopadu				Proaktivní úkoly			Standardní zásah			Navrhovaný úkol			Interval			Zodpovědná osoba		
							S1	S2	S3												
							B1	B2	B3												
							P1	P1	P3												
F	FS	ZP	S	Z	Ž	P	N1	N2	N3	S4	S5	B4									
1	A	1																			

Zdroj: vlastní zpracování, 2018

Jakmile je formulář vyplněn facilitátorem, je zaslán auditorovi, osobě s dostatečnými zkušenostmi a znalostmi, pro relevantní kontrolu tohoto dokumentu. Výstupem je tedy seznam úkolů, které je třeba provést.

### 3.7.3.1 Výběr údržbových úkolů na trakčním motoru

V tabulce č. 7 nalezneme vypracovaný RCM decision worksheet trakčního motoru, ve kterém byly indetnifikovány kategorie dopadu a doporučené údržbové úkoly. Jako interval byly použity ujeté kilometry, ve vzdálenosti mezi 25.000 Km, což odpovídá zhruba polovině roku provozu vozidla, do 1.200.000 Km, což odpovídá zhruba 24 letům používání. Jak již bylo dříve uvedeno, trakční motor je LRU, jehož opravu a náročnější údržbu provádí specializovaní technici ze Škody Electric. Údržbové úkoly, při kterých je třeba motor rozebrat (například repase rotoru či statoru) může provést pouze Škoda Electric, zatímco povrchové údržby a vizuální kontrolu provádí servisní technik.

Tab. č. 7: RCM Decision Worksheet trakčního motoru

RCM Decision Worksheet		Systém: Pojezdové ústrojí – podvozek trakční										Systém č.5a	Faciliátor: David Ženíšek	Datum: 20. 3. 2018	List č. 1		
		Subsystém: Trakční pohon										Subsystém č. 6	Auditor:	Datum	Z 1		
Reference z analýzy funkčních poruch		Kategorie dopadu					Proaktivní úkoly					Standardní zásah			Navrhovaný úkol	Interval	Zodpovědná osoba
F	FS	ZP	S	Z	Ž	P	N1	N2	N3	N3	N3						
1	A	1	A	N	N	A	N	A	N	A	A					643.000 Km	Škoda Electric
1	A	2	A	N	N	A	N	A	N	A						700.000 Km 1.200.000 Km	Škoda Electric Škoda Electric
1	A	3	A	N	N	A	N	A	N	A						57.000 Km 600.000 Km	Servisní technik Škoda Electric
1	A	4	A	N	N	N	A	N	A							25.000 Km 100.000 Km 552.000 Km	Servisní technik Servisní technik Škoda Electric
1	A	5	A	N	N	A	N	A	N	A						123.000 Km	Servisní technik
1	A	6	A	N	N	A	A	A	A							45.000 Km 100.000 Km	Servisní technik Servisní technik
1	A	7	A	N	N	A	A	A	A							234.000 Km	Servisní technik
2	A	1	A	N	N	A	N	A	N	N	A					123.000 Km	Škoda Electric
2	A	2	N	N	N	A	N	A	N	A						113.000 Km	Servisní technik

### 3.7.4 Implementace

Čtvrtou etapou nasazování RCM je implementace, během níž probíhá identifikace detailů údržbových úkolů a racionalizace údržbových úkolů. [17]

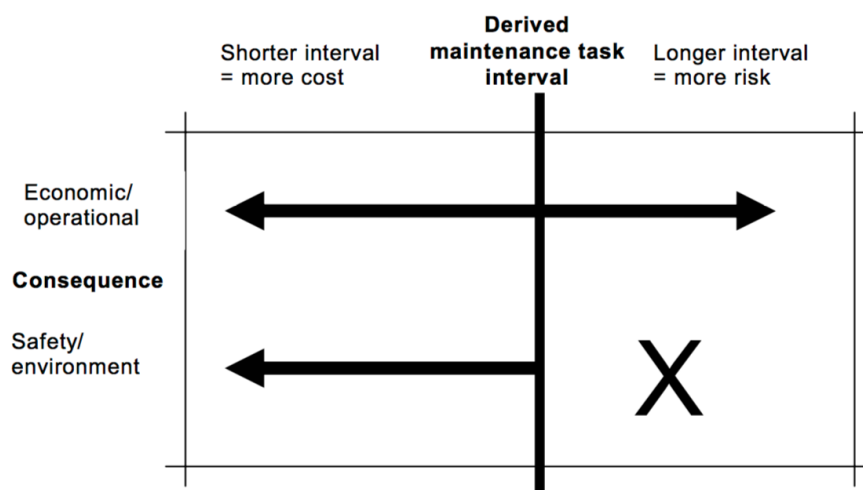
Identifikace detailů údržbových úkolů - úkoly generované RCM analýzou potřebují být před implementací blíže specifikovány, aby bylo možné je v praxi zavést. Tyto dodatečné informace mohou obsahovat:

- a. Čas potřebný pro provedení úkolu.
- b. Potřebné dovednosti pro provedení úkolu.
- c. Zdravotní a bezpečnostní rizika spojená s údržbou.
- d. Nebezpečné materiály.
- e. Potřebné testy a nástroje.
- f. Balení, způsob zacházení, skladování a transport.

Výstupem RCM analýzy mohou být úkoly, které mají mnoho rozdílných intervalů. Z tohoto důvodu může být nutné některé úkoly racionalizovat, aby byly odstraněny duplikace a intervaly byly seskupeny. Racionalizace je docílena konvertováním jednotlivých intervalů úkolů do skupin, díky nimž je vytvořen optimální údržbový rozvrh. Může dojít k tomu, že některé doporučené úkoly budou muset být zamítnuty a nahrazeny jinými, méně výhodnými, případně úkoly, které byly považovány za technicky či ekonomicky náročné, mohou být díky seskupování vybrány. Všechny tyto změny jsou pak společně s originální úkoly ukládány a evidovány. Obrázek č. 21 nám zobrazuje vztah rizika k nákladům spojeným s racionalizací. Při prodloužení intervalu mezi údržbami roste riziko poruchy, což je například u kategorií poruch ohrožujících zdraví či životní prostředí nepřijatelné, zatímco pro poruchy s pouze ekonomickým či provozním dopadem je tato volba možná. Naopak při volbě kratšího intervalu náklady rostou. Při nastavování údržbového programu je třeba brát v potaz řetězec právní odpovědnosti v případě havárie. Z tohoto důvodu je třeba u dílů a komponent, které jsou kritické pro bezpečnost a životní prostředí, silně uvážit volbu intervalů delších než předepsaných.



Obr. č. 20: Vztah rizika k nákladům spojeným s racionalizací údržbového úkolu



Zdroj: [17]

Výstupem této části je pak kompletní údržbový program, na jehož základě bude údržba prováděna. Program bude obsahovat postupy a podrobné informace k provádění údržbě a kontrolní seznamy.

V případě Trakčního motoru jsme úkoly rozdělili do čtyř skupiny. Vzhledem k tomu, že nejedná o poruchy, které mají pouze provozní a neprovozní důsledky, zvolili jsme seskupení úkolů do údržbových úkolů prováděných servisním technikem do intervalů 25, 50, 100.000 Km. Jednou za 600.000 Km pak provede Škodou Electric plánovanou obnovu motoru, tedy uvedení do stavu, díky kterému bude motor moci fungovat následujících 600.000 Km .

Tab. č. 8: Seskupení údržbových úkolů

Interval	Údržbový úkol	Zodpovědná osoba
25.000 Km	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vizuální kontrola ventilačních otvorů.</li> </ul>	Servisní technik
50.000 Km	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lubrikace 15 g tuku na jedno ložisko.</li> <li>• Vizuální kontrola dotažení šroubů.</li> </ul>	Servisní technik
100.000 Km	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Demontáž krytu ventilátoru, zkouška čidla otáček, kontrola čistoty impulsního kotouče, vyčištění ventilačních kanálů.</li> <li>• Kontrola funkčnosti teplotního čidla pomocí multimetru.</li> <li>• Vizuální kontrola stavu kompletnosti motoru.</li> <li>• Změřit izolační stav motoru za studena.</li> <li>• Demontáž krytu ventilátoru, zkouška čidla otáček.</li> </ul>	Servisní technik

600.000 Km	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Repase rotoru.</li> <li>● Repase statoru.</li> <li>● Repase ložiskových uzlů, výměna ložisek.</li> <li>● Demontáž a kompletní vyčištění.</li> </ul>	Škoda Electric
------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------

Zdroj: vlastní zpracování

### 3.7.5 Neustálé zlepšování

Jak již bylo uvedeno v předchozí části této práce, aby RCM dosáhlo svých cílů (optimalizace údržby z hlediska bezpečnosti, ekonomičnosti a provozu), je třeba jej rozvíjet. Je to živý dokument, který je během svého života aktualizován. Měl by být pravidelně přezkoumáván a upravován, aby odpovídal realitě.

Jakmile je údržbový program vytvořen a nasazen, dochází k pravidelnému sběru dat, na němž je založena zpětná vazba na RCM a vytvořený systém. Jakékoliv úpravy, nenadálé opravy, konfigurační změny či změny provozního kontextu jsou podnětem k RCM analýze, jejíž výstupem nutně nemusí být změna současného programu, avšak vede k zaznamenání a ke zohlednění. Při výrazných změnách vozu či operačního kontextu vozu je třeba podstatných změn v údržbovém programu.

Zpětná vazba z údržby (a provozu) je základním zdrojem pro aktualizaci údržbového programu, je však třeba mít vhodná a správná data. Informace, které je třeba sbírat, by měly obsahovat:

- Datum a čas vzniku poruchy.
- Příčiny vzniku poruchy.
- Dobu potřebnou pro údržbu.
- Efektivitu nastaveného úkolu (odhalil úkol nastávající poruchu?).
- Dobu/ujetou vzdálenost, kterou má daný díl za sebou.
- Náklady spojené s údržbou. [17]

Dále může být sledována degradace některých komponent. Díky sledování těchto ukazatelů pak můžeme přesněji stanovit některé intervaly či upravit nastavené údržbové úkoly. Toto sledování by mělo být prováděno za pomoci informačního systému. Vhodným předpisem pro vytvoření systému sledování dat z provozu je IEC 60300-3-2:2004 - Application guide - Collection of dependability data from the field. V následující kapitole si ukážeme, jak by se měl současný proces tvorby údržbové dokumentace upravit, aby do něj RCM zapadlo a aby byla prováděna jeho aktualizace.

## 4 Zavádění Reliability-centered maintenance ve Škodě Transportation

Cílem této kapitoly je představit, jak by mohla optimalizace procesu tvorby údržbové dokumentace vypadat. Probereme zavedení RCM do kontextu procesu tvorby údržbové dokumentace, a jaký by to na ŠTRN mělo vliv.

### 4.1 RCM v hierarchii Škody Transportation

Variant zavedení RCM je více. Aby bylo RCM nasazeno v rámci únosného časového rámce, rozhodl jsem se stanovit časovou hranici 1 roku, a to včetně rezervy dvou měsíci. Projekt zavedení by se tedy měl realizovat v rámci 1 roku od zahájení.

Jako nejvhodnější se proto, dle názoru pana Vitvara [12], který má zkušenosti se zaváděním RCM ve více podnicích, jeví zavedení RCM na projektu tramvaje týmem pěti specialistů proškolených v RCM a se znalostí specifického systému (elektronického, mechanického, atd.). Každý specialista pak bude mít na starosti systém dle své odbornosti a bude spolupracovat s odborníky na dané systémy. V takovém případě by implementace mohla realisticky trvat kolem 10 měsíců. 10 % tohoto času by mohla trvat příprava a plánování, nejnáročnější částí bývá funkční FEMA, jež zabere 40 % času, stanovení údržbových úkolů přibližně 30 %, racionalizace a implementace úkolů přibližně 20 % času. Následné neustálé zlepšování již pak probíhá jako ustálený proces.

Výstupem RCM je dokumentace, která vede k optimální údržbě při zachování bezpečnosti. Z tohoto důvodu by byl vhodný vznik týmu RCM který bude spadat pod Oddělení technické dokumentace.

### 4.2 Kroky zavádění RCM ve Škodě Transportation

V předchozí kapitole jsme si řekli, jak obecně probíhá zavádění RCM a jak konkrétně by vypadala analýza funkčních poruch, RCM Decision Worksheet a seskupování úloh. V této části si nastíníme konkrétní kroky, které bude třeba udělat pro zavedení RCM ve Škodě Transportation.

Prvním krokem celého zavedení bude rozhodnutí vedení společnosti Škoda Transportation o nasazení RCM. Pro toto rozhodnutí bude třeba vytvořit podrobnou analýzu současného stavu, varianty zavedení s předpokládanými rozpočty, cíli, časovým plánem a zodpovědnými osobami. Dále zvolíme vhodný pilotní projekt na typickém představiteli, jenž by se v dohledné době měl vyrábět a na nějž by byl Full-servis nasazen. V našem scénáři to bude nasazení RCM právě na dodávku 65 tramvají do Tampere. [27]

Jakmile je rozhodnuto o tom, že RCM podnik zavede, nastane krok druhý, iniciace. Management v této chvíli informuje zainteresované osoby, jimiž budou například vedoucí jednotlivých oddělení, vedoucí projektu, jenž byl vybrán jako pilotní, a další s projektem spojení lidé. Na projekt budou alokovány finance a přiřazeny pracovní hodiny, které může RCM tým čerpat. V hierarchii se vytvoří pod Oddělením technické dokumentace pododdělení RCM, kam se převedou potřební pracovníci, namísto nichž bude oddělení lidských zdrojů muset najít náhradu. Oddělení bude třeba přidělit prostor a náležité vybavení. Dále bude třeba provést úpravu procesu tvorby údržbové dokumentace v systému podnikových procesů, v matici odpovědností a vytvořit popis nových pozic, včetně jejich odpovědností a pravomocí. Na konci tohoto kroku se nasmlouvá konzultantská společnost, jež přinese pomocí školení a konzultací, do ŠTRN know-how a potřebné znalosti o RCM.

Jakmile je RCM tým sestaven a jsou mu přiděleny náležité prostory, vybavení a pravomoce, započne třetí krok nasazování - analýza. Tým RCM si projde praktickými školeními, na základě nichž zpracuje analýzu funkčních poruch. Tato analýza bude probíhat na pilotním projektu a bude tvořena RCM týmem na základě dat z RAMS/LCC oddělení, technické dokumentace a za pomoci konzultace pracovníků z relevantních oddělení. Výstupy této analýzy povedou buďto k redesignu kritických komponent, u nichž by údržbový program neměl kýžený efekt, nebo k vytvoření údržbových úkolů do RCM decision workseetu.

Čtvrtým krokem je implementace, tedy tvorba a racionalizace údržbových úkolů. Volba těchto úkolů probíhá ve spolupráci se servisními techniky a jinými odborníky, kteří mají potřebné znalosti a zkušenosti. Výstupem tvorby údržbových úkolů je RCM decision workseet. Úkoly identifikované v tomto worksheetu jsou následně rozděleny do skupin, pomocí nichž je sestaven údržbový program. Vyvořený program je pak předán oddělení Full-servis, který jej zavede do praxe. Zde by měla být podnikem stanovena podmínka,

aby tento krok byl dokončen těsně před nasazením prvních tramvají pilotního projektu u zákazníka. Tedy aby se mohla začít provádět údržba dle údržbového programu, jakmile v Tampere začnou jezdit první tramvaje a bude na ně prováděn Full-servis.

V pátém kroce je RCM již pouze zdokonalováno a vyhodnocováno. Full-servis již provádí údržbu na základě nastaveného programu a zaznamenává veškeré preventivní i defaultní zákroky na vozidle do systému. Data z oprav jsou pak analyzována oddělením RAMS/LCC, na jejichž základě provádí tým RCM optimalizaci údržbového programu pro Full-servis. Analýzy také poslouží vedení společnosti k vyhodnocení úspěšnosti RCM. Pro srovnání, tedy benchmarking, použijeme data z vozidel v provozu, tedy tramvají v Miskolci, Cagliari či Konye.

Jakmile je implementace hotova, pracuje RCM tým na zdokonalování současného programu a začíná rozjíždět RCM analýzu na dalším projektu. Nový projekt může být buďto velmi podobný tomu pilotnímu, tedy také tramvaj, na kterou bude stačit zjednodušeně odvodit RCM provedené v Tampere, nebo se může jednat o jinou kategorii vozidla, například metro. V takovém případě sice RCM odvodit nepůjde, nicméně RCM tým již bude mít dostatek zkušeností a práce by měla ubíhat podstatně plynuleji.

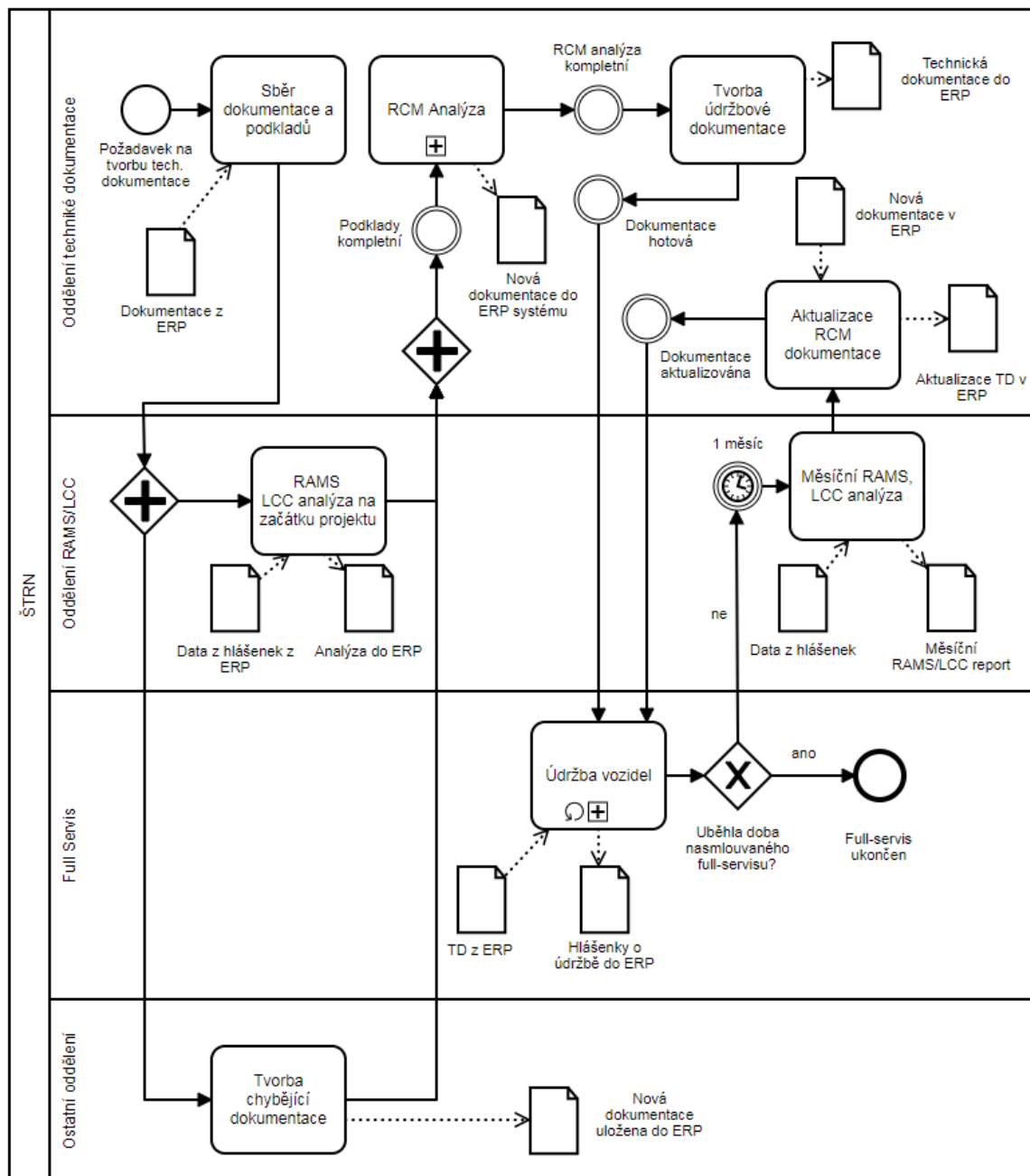
#### 4.2.1 Optimalizovaný model procesu

Předchozí kapitoly hovořily o tom, jak by měla RCM analýza vypadat a probíhat. Zásadní rozdíl mezi údržbou založenou na RCM a současným způsobem tvorby technické dokumentace a údržby je, že výstupem RCM je dynamický, v čase se vyvíjející dokument, který je aktualizován a který bere v potaz i data a zkušenosti z již prováděné údržby. Díky tomu RCM vede k maximálně efektivní údržbě. Současně prováděná údržba je na druhé straně založena na technické dokumentaci, která je statická a která je založena na tom, co předpisují dodavatelé, což vede k vysoké neefektivitě údržby.

Na základě výše uvedeného si můžeme na obrázku č. 22 porhlédnout navržený proces tvorby údržbové dokumentace. Proces začíná požadavkem na tvorbu technické dokumentace, který je zaslán na Oddělení technické dokumentace. Technická dokumentace provede sběr dostupné potřebné dokumentace z ERP systému a zašle požadavek na doplnění chybějící dokumentace příslušnými odděleními. Na oddělení RAMS/LCC na vytvoření RAMS a LCC analýzy vozidla. Tato analýza je tvořena

odvozením dat z již provozovaných vozidel na základě technických specifikací vozidla, které budeme vyrábět. Po získání veškeré technické dokumentace proběhne RCM analýza. Jakmile je RCM analýza hotová, vytvoří se kompletní údržbová dokumentace, která je předá Oddělení full-servis, které na jejím základě začne provádět údržbu vozidel. Oddělení RAMS/LCC pak každý měsíc sestaví z hlášenek o poruchách analýzu, na základě které dojde k aktualizaci RCM dokumentace, jež je předána Oddělení full-servis. Celý tento proces se pak opakuje, dokud nedojde k doběhnutí nasmlouvané doby full-servisu, což vede ke skončení poskytované údržby a tedy i k opakující se aktualizaci, díky čemuž je proces ukončen.

Obr. č. 21: BPMN model navrženého procesu tvorby údržbové dokumentace se zavedením RCM



Zdroj: vlastní zpracování, 2018

## 4.3 Zdroje aktualizace po zavedení

Hlavní činností po vytvoření úvodní RCM analýzy je správa a aktualizace RCM. Zdrojem pro aktualizace budou:

- Aktualizovaná dokumentace od dodavatelů (kterou spravuje Oddělení obchodu, případně Oddělení kvality) - údržbové manuály, FMEA/FMECA komponent, dokumentace výrobků.
- Data ze servisu zpracovaná od RAMS/LCC - FMEA/FMECA vozidel, analýzy spolehlivosti, zprávy ze servisních hlášení a jiné formy reportů.
- Nejnovější dokumentace, manuály a příručky spolehlivosti dílů.
- Informace o nastaveném RCM údržbovém programu od oddělení:
  - Full-Servis - zpětná vazba na údržbové manuály
  - Kvality - zpětná vaba na údržbové manuály
  - Technologie - aktualizace v technologických postupech, které mají vliv na údržbu
  - Konstrukce - aktualizace a komunikace kolem doporučeného redesignu
  - Nákup - změny v nakupovaných dílech

## 4.4 Informační zdroje pro tvorbu optimalizace

Jelikož tato práce má sloužit jako výchozí dokument při rozhodování o zavedení RCM a zavádění samotnému, uvedeme zde informační zdroje, týkající RCM. Tyto zdroje můžeme rozdělit do dvou skupin. Zaprvé zdroje, které obsahují obecné informace o zavádění RCM obecně.

- Literatura o RCM:
  - Knihy zabývající se problematikou RCM, zejména *Reliability-Centered Maintenance II* od Johna Moubraie.
  - Normy a standardy, například:
    - ***IEC 60300-3-11 - Dependability management - Part 3-11: Application guide - Reliability centred maintenance***
    - ***SAE JA1011 - Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes***



- *SAE JA1012 - A Guide to the Reliability-Centered Maintenance (Rcm) Standard*
  - *MSG-3 - Maintenance Program Development Document. Air Transport Association*
  - *MIL-HDBK-2173, Department of Defense Handbook: Reliability-Centered Maintenance (RCM) Requirements for Naval Aircraft, Weapons Systems, and Support Equipment*
  - *NASA RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE (RCM) GUIDE FOR FACILITIES AND COLLATERAL EQUIPMENT*
- Studie a publikace o zavedení RMC v jiných podnicích. V Česku například publikované zprávy od ČSJ - České společnosti pro jakost.
  - Školení a školicí materiály.
  - Konzultace s odborníkem či jinou firmou, kde je již RCM zavedené.

Druhou skupinou jsou zdroje, které obsahují specifické informace pro tvorbu RCM, tedy tvorbu samotného programu (identifikaci komponent, intenzity poruch, atd.). Ty zde dále rozdělit na a) interní, které jsou již v podniku b) externí, které je možné dohledat mimo podnik. Interními jsou:

- Znalosti pracovníků a odborníků v podniku.
- Již existující FMEA/FMECA vozidla, podobného vozidla.
- Data ze servisu a další reporty/analýzy zpracované oddělením RAMS/LCC.
- Existující dokumentace k vozidlu, podobnému vozidlu - současné údržbové manuály, výkresy, kusovníky a další dokumentace.

Externími pak jsou:

- Dodatečná dokumentace k dílům a komponentám od dodavatelů. Například FMEA/FMECA, spolehlivostní analýzy a podobně.
- Katalogy a příručky o spolehlivosti komponent, ve kterých je dohledatelná i intenzita poruch (failure rate). Například:
  - *MIL-HDBK-338B - Electronic Reliability Design Handbook,*
  - *MIL-HDBK-217- Reliability Prediction of Electronic Equipment,*
  - *NPRD 2011 - Nonelectronic Parts Reliability Data,*

- *RDH 376 - Reliability Design Handbook,*
- *NSWC-11 Handbook of reliability prediction procedures for mechanical equipment.*
- Konzultace s odborníkem či profesionální firmou.

## 4.5 Rizika spojená se zaváděním do Škody Transportation

Se zavedením RCM se pojí značná rizika, které je třeba mít na paměti při přípravě, realizaci a nasazení. Jako nejpodstatnější bychom mohli zmínit:

### **Vhodný pilotní projekt**

Při volbě pilotního projektu, na kterém RCM bude nasazeno je třeba pečlivě vybírat, aby byl zvolen vhodný typický představitel, jenž je konstrukčně blízký osatným vyráběným modelům. V ideálním případě by mělo být nasazení provedeno na tramvaji, na níž je právě uzavřena smlouva dodávky s full-servisem. V této práci byla zvolena nízkopodlažní tramvaj Forcity Smart, která má být dodávána v počtu 65 vozů s desetiletým full-servisem do Tampere, což se jeví jako ideální příklad.

### **Viditelné přínosy (čísla)**

Pro vedení společnosti ŠTRN je podstatné vidět výsledky nově zavedeného systému v číslech. Přínosy implementace však nemusí být hned zřejmé nebo se v počátcích mohou jevit jako nízké vzhledem k vynaloženému úsilí. Aby mělo RCM šanci být úspěšně nasazeno, je třeba mít podporu vedení od počáteční analýzy, úpravy současného procesu tvorby údržbové dokumentace až po zavedení do full-servisu.

### **Nastavení systémových procesů**

Implementace systému ve ŠTRN může být úspěšná, nicméně bez standardizace, udržování a podpory systému nedosáhne RCM v ŠTRN zdaleka takových výsledků, jak by mohlo. Proto je třeba společně s analýzou RCM optimalizovat proces tvorby údržbové dokumentace. Nasazený systém je pak třeba udržovat a rozvíjet. Požadavky zákazníků se časem budou rozvíjet, a právě tak se bude muset rozvíjet i námi nasazený systém.

### **Rozsah a detail analýzy**

Bude-li analýza příliš rozsáhlá a detailní, bude velmi obtížné a nákladné ji úspěšně zavést a udržovat aktuální. Naopak provedeme-li analýzu jen povrchovou a příliš ji

uspěcháme, přijdeme o mnohé z klíčových benefitů, které RCM poskytuje. Výsledek pak bude nejspíše velmi podobný tomu, s čím jsme začínali. V této práci jsme pro pilotní projekt doporučili analýzu na úrovni LRU. V případě, že by se úroveň ukázala nevhodnou, je možné na další projekt volit podrobnější či obecnější analýzu.

### **Pověřené osoby**

Jedním z nejméně efektivních způsobů nasazení RCM je pověření jednoho člověka jeho realizací. Jednotlivec nikdy nebude mít dostatečné vědomosti ohledně funkce, poruchových stavů, příčin a důsledků, kterých je třeba. Z tohoto důvodu doporučujeme na RCM dedikovat 5 full-time specialistů na různé systémy. Ti pak budou zodpovědní za sestavetavení skupin, se kterými se bude RCM analýza provádět.

## **4.6 Finanční vyčíslení přínosů**

Jak již bylo zmíněno v předchozí části této práce, klíčovým aspektem při rozhodování o zavádění nových praktik v jakémkoliv podniku je jeho finanční přínos či návratnost. V případě RCM jsou finančním přínosem úspory na údržbě, jejichž výše se liší dle odvětví. V případě zavedení RCM ve vodárenském průmyslu v Americe došlo k úsporám převyšujícím 25 % nákladů na údržbu [8], ve společnosti Česká Rafinérská byly mezi 11-15 % [2]. Literatura obvykle uvádí úsporu mezi 30-50 %, někdy však i více. Za zmínku také stojí, že před 6 lety byla ŠTRN oslovena nejmenovanou švédskou firmou, jež garantovala snížení údržbových nákladů alespoň o jednu třetinu pomocí zavedení RCM. [12]

Na základě výše uvedených zkušeností z jiných firem budeme v této práci předpokládat úsporu v bezpečné výši 10 % na údržbě. Aby bylo možné nastínit, zda se nám investice vyplatí, budeme ve výpočtech uvažovat pouze o přínosech formou úspor ve Full-Servisu, jenž tvoří největší podíl úspor. Zvýšení prodeje tramvají, snížení nákladů na garanční servis a další benefity zavedení RCM nebudeme uvažovat. Toto základní stanovení návratnosti investice by při pozitivním výsledku mělo podat dostačující důkaz, že zavedením RCM by ŠTRN profitovala, a při negativním výsledku je třeba se úsporami podrobněji zabývat.

Pojďme se tedy nejprve podívat na fakta o prodejích a cenách s tramvajemi spojenými, následně odhadneme výši investice a nakonec rozhodneme pomocí NPV, zda by se zavedení RCM mohlo vyplatit.

#### 4.6.1 Náklady na zavedení

Jak bylo již zmíněno v předchozím textu, budeme předpokládat, že pro zavedení RCM bude potřeba pěti specialistů, které získáme z řad našich zaměstnanců. Budeme předpokládat, že hrubá mzda těchto zaměstnanců bude 40.000 Kč měsíčně, což pro podnik znamená měsíční (při připočtení 35 % za sociální a zdravotní pojištění, které zaměstnavatel odvádí) náklady 54.000 Kč měsíčně za zaměstnance. Celkem tedy náklady na mzdy 5 zaměstnanců RCM za první rok budou:

$$5 * 12 * 54.000 = 3.240.000 \text{ Kč.}$$

Do dalších let budeme na základě dat od ČSÚ [3] uvažovat meziroční růst mezd 5 %.

Ačkoliv zaměstnance ŠTRN přijmeme z vlastních řad, nelze se vyhnout nákladům spojeným se získáním nových lidí na obsazení uvolněných pozic. Noví zaměstnanci jsou nežádka získávání přes personální společnosti, které si účtují kolem trojnásobku hrubé mzdy [10], a přes zaměstnance, kteří získávají odměnu ve výši cca 1,5 násobku hrubé mzdy. Pro výpočet budeme uvažovat, že jeden úspěšný kandidát se nám ozval sám na inzerát, dva doporučili zaměstnanci a dva jsme získali přes personální společnost. Výše nákladů na získání zaměstnanců je tedy:

$$(1,5 + 1,5 + 3 + 3) * 35.000 = 315.000 \text{ Kč.}$$

Ostatní náklady, které se vážou se vznikem týmu RCM, jako jsou pořízení techniky, přidělení prostoru, IT práv, školení a další, stanovíme na 400.000 Kč v prvním roce, 200.000 Kč v letech dalších.

Celkové náklady v 1. roce tedy spočítáme jako: mzdové náklady + náklady na získání nových zaměstnanců + ostatní náklady.

Náklady v dalších letech vypočítáme jako: mzdové náklady \*  $1,05^{(i-1)}$  + ostatní náklady

Náklady v 1. roce budou:  $3.240.000 + 315.000 + 400.000 = 3.955.000 \text{ Kč,}$

náklady v 2. Roce budou:  $3.240.000 * (1,05)^{(2-1)} + 200.000 = 3.602.000 \text{ Kč,}$

náklady ve 3. Roce budou  $3.240.000 * (1,05)^{(3-1)} + 200.000 = 3.772.100 \text{ Kč,}$

a tak dále. Výši výdajů si pak můžeme prohlédnout v tabulce č. 9.

Tab. č. 9: Výdaje na RCM

Rok	Výdaje za RCM
0	3.955.000 Kč
1	3.602.000 Kč
2	3.772.100 Kč
3	3.950.705 Kč
4	4.138.240 Kč
5	4.335.152 Kč

Zdroj: vlastní zpracování, 2018

#### 4.6.2 Výše úspory v oblasti Full-servis

Během posledních pár let se ŠTRN dařilo a v průměru prodala (a vyrobila) přibližně 100 tramvají ročně, přičemž se každoročně vážně uchází o 7-10 nabídek, z nichž u méně než 20 % ŠTRN uspěje. Full servis, který je při vyčíslení úspor pomocí RCM klíčový, se podává téměř při každé nabídce, avšak využije ho pak přibližně jedna třetina zadavatelů. Obvykle jej zadávají, protože chtějí porovnat vlastní náklady a mít tak benchmark pro svou údržbu. Je tedy reálné, že pokud by v případě zavedení RCM došlo ke zlevnění full-servisu, jenž by byl lepší/levnější než u konkurence či zadavatele tendru, získala by ŠTRN více zakázek. [13]

Standardní cena full-servisu se pohybuje kolem 1,5-2 eur na ujetý kilometr, přičemž za rok se ujede mezi 50.000 km (tramvaje v Itálii) a 55.000 km (tramvaje v Praze). Budeme-li uvažovat ve středních hodnotách 1,75 eura/km, 52.500 km/rok a kurzu 26 Kč/euro, vyjde nám cena full-servisu za tramvaj 2.388.750 Kč za rok. Budeme-li dále uvažovat, že marže v oboru kolejových vozidel je přibližně 15 % vyjdou nám přibližné náklady na údržbu tramvaje 2.030.438 Kč ročně. Očekávané úspory RCM jsou 10 %, což znamená, že bychom ročně měli být schopni uspořit 203.044 Kč na jedné tramvaji, na které je full-servis řízen pomocí RCM. [14]

Jako dobu potřebnou pro provedení RCM analýzy jsme stanovili 1 rok. To pro nás znamená, že během prvního roku od investice nám nevzniknou žádné úspory.

Abychom se vyhnuli zbytečnému generování nákladů, budeme RCM nasazovat zároveň s realizací objednávky do Tampere tak, aby údržbový program byl vytvořen a nasazen s dodáním první dodávky vozů. Objednávka do Tampere je podepsána na dodávku 19 vozů a třemi opcemi na dodání dalších 46 vozů. V této práci budeme počítat s tím, že

vozy se budou dodávat vždy na začátku měsíce v dodávce o velikosti 4 vozů za měsíc. Nová opce se pak bude realizovat na začátku roku třetího a pátého. Dodávka tramvají tedy proběhne v roce 1, 3, 5 a 7 o velikosti 19, 16,16 a 14 vozů. Výsledné úspory v prvních pěti letech výroby si můžeme prohlédnout v tabulce č. 10. Podrobný výpočet je uveden v příloze A.

Tab. č. 10: Úspory Full-servisu

Rok	Úspora na údržbě
0	0 Kč
1	3.248.704 Kč
2	3.857.836 Kč
3	6.700.452 Kč
4	7.106.540 Kč
5	9.949.156 Kč

Zdroj: vlastní zpracování 2018

## 4.7 Další přínosy pro Škodu Transportation

V předchozí části jsme vyčíslili, kolik by zavedení RCM na pilotním projektu tramvají ve Finsku mohlo ušetřit. Bylo by však také vhodné zmínit další přínosy, které se zavedením RCM souvisí a které ve výpočtech zahrnuté nebyly:

1. Lepší standardizace zásahů a nastavení údržby.
2. Snížení nákladů na garanční servis.
3. Lepší kontrola a sledování rizik a bezpečnosti.
4. Pokles nákladů na údržbu a zvýšení pohotovosti vozidla během jeho životnosti, což pozitivně ovlivní hodnoty LCC a RAMS analýzy, které jsou klíčové při výběrových řízeních. Dá se tedy předpokládat, že v důsledku vzroste konkurenceschopnost ŠTRN, a tedy i počet zakázek, které ŠTRN získá.
5. Dá se očekávat, že analýza RCM povede k redesignu některých přehlížených nevhodných komponent, což dlouhodobě povede k růstu kvality
6. Zavedením RCM se podnik dostane k více zakázkám, jelikož tato analýza se postupně dostává do požadavků zadavatelů tendrů.

## 5 Zhodnocení zavedení

V této kapitole provedeme zhodnocení návratnosti investice pomocí čisté současné hodnoty NPV, ROI, IRR a bodu zvratu. Následně provedeme závěrečné doporučení ohledně zavedení RCM.

### 5.1 Zhodnocení návratnosti investice

Abychom zjistili, zda se nám investice vyplatí, využijeme metodu oceňování investic pomocí čisté současné hodnoty (NPV - net present value). NPV je ve firemní praxi nejčastěji používaným nadstavbovým dynamickým investičním kritériem, které pracuje s předpokladem rozdílu současné hodnoty všech budoucích diskontních příjmů a výdajů generovaných posuzovaným investičním projektem během jeho ekonomického životního cyklu. Je-li NPV kladná, generuje nám investiční projekt přidanou hodnotu, jelikož pokrývá nejen náklady vloženého kapitálu, nýbrž i zhodnocuje majetek firmy. Čím je tedy NPV vyšší, tím lépe. [20]

NPV vypočítáme jako:

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t}$$

kde:

NPV ... Net present value (čistá současná hodnota),  
CF ... generovaný peněžní tok v jednotlivých letech,  
n ... počet let životnosti,  
r ... diskontní úroková míra,  
t ... rok, ve kterém dochází úročení.

Cash flow získáme rozdílem výdajů a úspor. Jelikož nás zajímá, v jakém roce začne NPV nabývat kladných hodnot, a ŠTRN očekává, že doba návratnosti investice by měla být do šesti let, stanovíme  $n = 10$ . Diskontní úroková míra nám reprezentuje ušlou příležitost. Její výši stanovíme na 5 %. O roku, kdy dochází k investici a nemáme žádný příjem, uvažujeme jako o roku 0, proto  $t$  začíná od nuly.

V tabulce 11 si můžeme prohlédnout roční výsledné hodnoty výdajů, úspor, CF, NPV a konečně kumulovaného NPV. Z výpočtů nám jasně vyplývá, že investice se nám navrátí

během 4. roku od zahájení projektu, nebo-li ve 3. roce od nasazení tramvají do provozu. Po pěti letech provozu tramvají nám RCM ušetří přes deset milionů korun.

Tab. č. 11: Ročních výsledných hodnot výdajů, úspor, CF a NPV

Rok	Výdaje za RCM	Úspora na údržbě	CF	NPV	Kumul. NPV
0	3.955.000 Kč	0 Kč	-3.955.000 Kč	-3.955.000 Kč	-3.955.000 Kč
1	3.602.000 Kč	3.248.704 Kč	-353.296 Kč	-320.450 Kč	-4.275.450 Kč
2	3.772.100 Kč	3.857.836 Kč	85.736 Kč	74.062 Kč	-4.201.388 Kč
3	3.950.705 Kč	6.700.452 Kč	2.749.747 Kč	7.774.702 Kč	3.573.314 Kč
4	4.138.240 Kč	7.106.540 Kč	2.968.300 Kč	2.325.741 Kč	5.899.055 Kč
5	4.335.152 Kč	9.949.156 Kč	5.614.004 Kč	4.398.719 Kč	10.297.774 Kč

Zdroj: vlastní zpracování

Celková úspora při uvažování o snížení nákladů na údržbu ve výši 10 % na 65 vozech při desetiletém full-servisu činí 131.978.600 Kč.

## 5.2 Návratnost investice

Návratnost investice (anglicky Return on Investment - ROI) je pravděpodobně nejpoužívanější a nejjednodušší finanční ukazatel návratnosti investice, který vyjadřuje čistý zisk nebo čistou ztrátu vůči vynaloženým nákladům. Narozdíl od vnitřního výnosového procenta, která nám udává výnosnost investice v průběhu jejího života (se zohledněním časové hodnoty peněz), nám návratnost investice stanovuje celkovou výnosnost investice na jejím konci. Jinými slovy ROI nepočítá s diskontovaným cash flow. ROI vypočteme jako podíl čistého zisku (v našem případě čisté úspory) a celkových nákladů. [26]

$$\text{ROI} = (\text{celková úspora} - \text{celkové náklady}) / \text{celkové náklady} * 100 [\%]$$

V případě naší investice do zavedení RCM vychází ROI = 29,93 %, tedy téměř 30 %. Na základě tohoto výsledku můžeme investici opět doporučit. Ačkoliv je ROI nejsnáze interpretovatelný a často používaný, pro naše účely se podíváme i na vnitřní výnosové procento, které počítá s diskontem.



## 5.3 Vnitřní výnosové procento

Vnitřní výnosové procento (anglicky Internal Rate of Return - IRR) je chápáno jako vnitřní relativní míra výnosnosti během životního investičního cyklu, vyjádřená v %. Jednoduše stanovuje, kolik procent na hodnoceném projektu vyděláme, uvážíme-li časovou hodnotu peněz. Výpočet IRR má své matematické zákonitosti, které jej omezují pouze na použití v případě, že peněžní toky mají záporné hodnoty na začátku hodnocené investice a všechny následující peněžní toky se přibližují (svým součtem) výsledné kladné hodnotě. Toto omezení však naše investice splňuje, a tak je můžeme použít. [20]

IRR je takovým diskontem, u kterého vyjde při dosazení do vzorce pro čistou časovou hodnotu peněz  $NPV = 0$ . Vypočteme jej tedy pomocí vzorce NPV, kde však místo původního  $r$  počítáme IRR, které je pro nás ve vzorci neznámá a kde  $NPV = 0$ .

$$0 = \frac{CF_0}{(1 + IRR)^0} + \frac{CF_1}{(1 + IRR)^1} + \frac{CF_2}{(1 + IRR)^2} + \frac{CF_3}{(1 + IRR)^3} + \dots + \frac{CF_t}{(1 + IRR)^t}$$
$$0 = NPV = \sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1 + IRR)^t}$$

Kde:

IRR ... Vnitřní výnosové procento

NPV ... Net present value (čistá současná hodnota),

CF ... generovaný peněžní tok v jednotlivých letech,

n ... počet let životnosti,

t ... rok, ve kterém dochází úročení.

Pro výpočet vnitřního výnosového procenta využijeme funkci "Míra výnosnosti" (=MÍRA.VÝNOSNOSTI(CF 0. roku + CF 1. roku + CF 2. roku ...)) programu Excel. Výsledná hodnota pro naši investici je  $IRR = 27 \%$ , což lze hodnotit jako velmi pozitivní výsledek, vzhledem k tomu, že stanovené  $r$  (požadovaná minimální míra výnosnosti) =  $12 \%$ , splňuje výsledná hodnota požadavek více než dvojnásobně.

## 5.4 Bod zvratu

Bod zvratu (anglicky Break Even point), nám vyjadřuje bod, ve kterém se náklady na investici vyrovnají jejím příjmům a zisk je roven nule. Jinými slovy je to bod vyrovnání, od kterého projekt již negeneruje ztrátu a od kterého začíná generovat zisk. Tento bod může být vyjádřen v počtu kusů, které je třeba prodat (nebo vyrobit), ceně za výrobek, kterou je třeba stanovit nebo také v čase (dnech, týdnech nebo letech), po jakém přestane být projekt ztrátovým. [20]

Zahraniční literatura [19] rozlišuje dva způsoby stanovení bodu zvratu. Tím prvním je tzv. Účetně stanovený bod zvratu (Accounting break-even), kdy neuvažujeme o diskontu a který se používá spíše na krátkodobé projekty. Druhým způsobem stanovení bodu zvratu je pak pomocí pomoci čisté současné hodnoty (NPV break-even), kde bereme v úvahu diskont. Jelikož u naší investice nás zajímá stav během prvních pěti let nasazení, což lze považovat za delší dobu, bude pro nás klíčový bod zvratu stanovený pomocí čisté současné hodnoty.

V našem případě bude management zajímat, v jakém roce začne kumulovaná čistá současná hodnota nabývat kladných hodnot. Pro odpověď se podívejme do tabulky č. 12, kde jsou opět uvedeny hodnoty CF, kumulovaného CF, NPV a kumulovaného NPV. Jak si můžeme povšimnout, kumulované NPV začne nabývat kladných hodnot v pátém roce provozování full servisu, respektive v šestém od zahájení nasazování RCM. Za zmínku také stojí, že pokud bychom neuvažovali o diskontu a použili první způsob stanovení bodu zvratu, vyšel by nám jako zlomový již rok čtvrtý.

Tab. č. 12: Stanovení bodu zvratu pomocí NPV

Rok	CF	Kumul.CF	NPV	Kumul. NPV
0	-3.955.000 Kč	-3.955.000 Kč	-3.955.000 Kč	-3.955.000 Kč
1	-353.296 Kč	-4.308.296 Kč	-315.443 Kč	-4.270.443 Kč
2	85.736 Kč	-4.222.560 Kč	68.348 Kč	-4.202.095 Kč
3	2.749.747 Kč	-1.472.813 Kč	1.957.216 Kč	-2.244.879 Kč
4	2.968.300 Kč	1.495.487 Kč	1.886.408 Kč	-358.471 Kč
5	5.614.004 Kč	7.109.490 Kč	3.185.536 Kč	<b>2.827.066 Kč</b>

Zdroj: vlastní zpracování 2018

Srovnáme-li pak kumulované záporné NPV čtvrtého roku s NPV roku pátého, můžeme konstatovat, že projekt začne být ziskový během prvního kvartálu pátého roku.

## 5.5 Závěrečné doporučení

Na základě provedené finanční analýzy vyplývá, že se zavedení RCM na Full-servis tramvají v Tampere vyplatí a povede k vysokým úsporám. V souhrnné tabulce č. 13 si můžeme prohlédnout, že v prvních pěti letech provozu tramvají dosáhne úspora na Full-servisu čisté současné hodnoty téměř tři milionů Kč. Návratnost investice bude téměř 30 % a vnitřní výnosové procento, které bere v úvahu časovou hodnotu peněz, je 27 %, což je více jak dvojnásobek požadovaných 12 %. Bod zvratu nastane až v posledním, pátém roce uvažovaného období, nicméně vezmeme-li v potaz, že Full-servis bude 10 let na každou z tramvají, lze i tento ukazatel považovat za velmi pozitivní.

Tab. č. 13: Souhrnná tabulka finanční analýzy

Ukazatel	Hodnota
Kumulovaná čistá současná hodnota	2.827.066 Kč
Návratnosti investice ROI	29,93 %
Vnitřní výnosové procento	27 %
Bod zvratu stanovený pomocí čisté současné hodnoty	5. rok

Zdroj: vlastní zpracování 2018

Zahájení pilotního projektu na typickém představiteli, tramvaji Škoda Forcity Smart, a následné rozšíření RCM do celého produktového portfolia by vedlo k úsporám a růstu kvality, bezpečnosti a provozuschopnosti vozidel. Podnik by získal konkurenční výhodu, jež by mu mohla pomoci získat více zakázek a lepší renomé na trhu kolejových vozidel. Z tohoto důvodu můžeme zavedení RCM do podniku Škody Transportation vřele doporučit.

# Závěr

Tato diplomová práce se zabývala analýzou a následnou optimalizací podnikového procesu. Účelem této práce bylo na žádost Škody Transportation zhodnotit možnost zavedení Reliability Centered Maintenance (RCM) a tím optimalizovat způsob prováděného Full-servisu vozidel. V případě, že by pak bylo nasazení RCM managementem ŠTRN zvažováno, či by bylo rozhodnuto o zavedení RCM, může tato práce sloužit jako vstupní dokument, podklad, který metodiku představí, nastíní, jakým způsobem by mohla být nasazena v kontextu tohoto podniku a jeho procesů, a konečně jaké by byly ekonomické důsledky a s nimi spojená rizika.

V první kapitole této práce byla představena společnost ŠTRN, její historie, organizační struktura a produktové portfolio se zaměřením na tramvaje. Následně jsme se podívali na dnešní trendy a vývoj trhu kolejových vozidel a normy a předpisy, jimiž se spolehlivost v oblasti kolejových vozidel řídí.

Druhá kapitola nás uvedla do tématu procesního řízení a optimalizace. Byly definovány základní pojmy a postupy v mapování procesů a zavádění procesních změn. Následně byl představen nástroj BPMN, pomocí kterého byl zmapován současný proces tvorby údržbové dokumentace, na kterém je údržba založena. Na konci této kapitoly je pak zmapován a popsán současný proces tvorby údržbové dokumentace.

Třetí kapitola se zabývá metodikou RCM. V práci je přestaven stručný historický kontext vzniku této metodiky, jeho principy a způsob zavedení a samotná metodika. Bylo probráno zahájení a plánování, analýza funkčních poruch také známou jako FMEA, výběr údržbových úkolů, implementace a následný proces neustálého zlepšování. Zároveň byl představen způsob, jakým bychom doporučili RCM v ŠTRN zavést. Jelikož se jedná o velmi rozsáhlou analýzu a plošné nasazení by bylo nad možnosti podniku, doporučujeme zavedení pomocí zahajovacího projektu na modelu vozů, na něž byla nedávno uzavřena smlouva do finského Tampere. Tento model tramvaje je typickým představitelem, ze kterého bude později snadné odvodit analýzu na jiná vozidla. Zároveň díky tomu, že je uzavřena smlouva na 65 vozů včetně Full-servisu na 10 let, je jistota, že nasazení nám bude hned po dokončení přinášet úspory nákladů.

Ve čtvrté kapitole jsem se podívali, jak by se zavedení RCM na startovacím projektu projevilo v podniku jako takovém. Byl představen návrh optimalizace procesu tvorby údržbové dokumentace, doporučeny informační zdroje, ze kterých by podnik měl vycházet při nasazování RCM. Dále byla stanovena rizika, náklady a úspory spojené se zavedením.

V závěrečné páté kapitole bylo provedeno zhodnocení návratnosti investice za pomoci výpočtu finančního ukazatele čisté současné hodnoty (NPV). Výpočet nám ukázal, že při nasazení RCM na Full-servis v Tampere by se nám investice měla navrátit během pátého roku od zahájení nasazování, případně během šestého roku od zahájení RCM. Čistá současná hodnota ušetřených peněz po pěti letech provozu Full-servisu na tramvaji v Tampere činila necelé tři miliony Kč. Vnitřní výnosové procento vyšlo 27 % (oproti požadavku 12 %), což nás vedlo k závěru, že zavedení RCM by pro ŠTRN bylo přínosem a lze jej doporučit.

Cílem této práce bylo zhodnotit možnost zavedení RCM a tím optimalizovat způsob prováděného Full-servisu. Práce postupně představila podnik, analyzovala jeho proces tvorby údržbové dokumentace a údržby, navrhla dílčí zlepšení pomocí RCM, představila náklady, které se se zavedením vážou a provedla ekonomickou analýzu návratnosti investice. Výstupem této práce je dokument, který může Škodě Transportation sloužit jako podklad pro rozhodování o zavedení RCM.

## Seznam tabulek

Tab. č. 1: Výsledky hospodaření konsolidovaného celku Škoda Transportation, a.s.....	11
Tab. č. 2: Výsledky hospodaření Škoda Transportation, a.s.....	11
Tab. č. 3: Formulář analýzy funkčních poruch RCM.....	36
Tab. č. 4: Rozpad na na LRU trakčního motoru dle ČSN EN 15380-2.....	39
Tab. č. 5: Analýza funkčních poruch trakčního motoru .....	41
Tab. č. 6: RCM Decision Worksheet.....	48
Tab. č. 7: RCM Decision Worksheet trakčního motoru .....	50
Tab. č. 8: Seskupení údržbových úkolů.....	52
Tab. č. 9: Výdaje na RCM .....	64
Tab. č. 10: Úspory Full-servisu .....	65
Tab. č. 11: Ročních výsledných hodnot výdajů, úspor, CF a NPV .....	67
Tab. č. 12: Stanovení bodu zvratu pomocí NPV .....	69
Tab. č. 13: Souhrnná tabulku finanční analýzy .....	70

# Seznam obrázků

Obr. č. 1: Struktura podniku ŠTRN.....	12
Obr. č. 2: Struktura technického úseku v ŠTRN .....	12
Obr. č. 3: Tramvaj FORCITY SMART .....	15
Obr. č. 4: Tramvaj Forcity Smart 2 .....	15
Obr. č. 5: Značení plovoucích objektů v BPMN.....	23
Obr. č. 6: Bárny v BPMN.....	24
Obr. č. 7: Zobrazení procesu/subprocesu a úlohy v BPMN.....	24
Obr. č. 8: Značení sekvenčního toku, toku zpráv a asociace v BPMN .....	25
Obr. č. 9: Bazén v BPMN .....	25
Obr. č. 10: Značení datového objektu, anotace a seskupení v BPMN .....	26
Obr. č. 11: Proces tvorby údržbové dokumentace .....	28
Obr. č. 12: Proces tvorby RCM/LCC analýz .....	28
Obr. č. 13: Vzdávající očekávání na údržbu .....	30
Obr. č. 14: Měnicí se pohledy na poruchu zařízení.....	30
Obr. č. 15: Přehled procesu RCM .....	32
Obr. č. 16: Složení skupiny pro přezkoumání RCM.....	34
Obr. č. 18: Příčina a důsledek dle úrovně rozpadu.....	37
Obr. č. 19: Uložení trakčních motorů na tramvaji FORCITY SMART.....	40
Obr. č. 20: Rozhodovací diagram RCM pro volbu údržbového úkolu .....	46
Obr. č. 21: Vztah rizika k nákladům spojeným s racionalizací údržbového úkolu.....	52
Obr. č. 22: BPMN model navrženého procesu tvorby údržbové dokumentace se zavedením RCM.....	58

# Seznam použitých zkratek

a.s.	Akciová společnost
BPMN	Business Process Model and Notation
BZ	Bod Zvratu
CF	Cash Flow
č.	číslo
ČSN	Česká technická norma
DIN	Die Deutsche Industrie Norm
ERP	Enterprise Resource Planning
FMEA	Failure Mode and Effect Analysis
FMECA	Failure mode, Effects and Criticality Analysis
IEC	International Electrotechnical Commission
IRR	Internal Rate of Return
Kč	Koruna česká
Km	Kilometr
LCC	Life Cycle Costs
LRU	Line-replacable Unit
NPV	Net Present Value
Obr.	Obrázek
RAMS	Reliability, Availability, Maintainability, Safety
RCM	Reliability-centered Maintenance
ROI	Return on Investment
ŠTRN	Škoda Transportation
Tab.	Tabulka
TD	Technická dokumentace



# Seznam použité literatury

- [1] BASL, Josef. *Modelování a optimalizace podnikových procesů: procesní řízení a modelování*. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2002, 140 s. ISBN 80-708-2936-2.
- [2] ČESKÁ SPOLEČNOST PRO JAKOST. *MATERIÁLY Z XXI. SETKÁNÍ ODBORNÉ SKUPINY PRO SPOLEHLIVOST: Zkušenosti s údržbou zaměřenou na bezporuchovost (RCM)* [online]. ČSJ, Praha, 2005 [cit. 2018-04-17]. Dostupné z: [http://www.csq.cz/fileadmin/user\\_upload/Spolkova\\_cinnost/Odborne\\_skupiny/Spolehli\\_vost/Sborniky/21\\_Zkusenosti\\_RCM.pdf](http://www.csq.cz/fileadmin/user_upload/Spolkova_cinnost/Odborne_skupiny/Spolehli_vost/Sborniky/21_Zkusenosti_RCM.pdf)
- [3] Český statistický úřad. *Mzdy a náklady práce* [online]. Český statistický úřad, 9. 3. 2018 [cit. 2018-04-02]. Dostupné z: [https://www.czso.cz/csu/czso/prace\\_a\\_mzdy\\_prace](https://www.czso.cz/csu/czso/prace_a_mzdy_prace)
- [4] ČIANEWS. *Plzeňská škodovka získala zakázku na full servis v Cagliari na Sardinii* [online]. Praha, 08. 11. 2013 [cit. 2018-04-02]. Dostupné z: <http://www.cianews.cz/cs/w45428-plzenska-skodovka-ziskala-zakazku-na-full-servis-v-cagliari-na-sardinii>
- [5] ČSN EN 15380-2 *Železniční aplikace - systém označování kolejových vozidel - Část 2: Výrobní skupiny*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2006. Třídící znak 280081.
- [6] ČSN EN 60300-3-3. *Management spolehlivosti – Část 3-3: Pokyn k použití – Analýza nákladů životního cyklu*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005. Třídící znak 01 0690.
- [7] ČSN EN 60812. *Techniky analýzy bezporuchovosti systémů - Postup analýzy způsobů a důsledků poruch (FMEA)*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2007. Třídící znak: 010675.
- [8] FYNN Christopher, BASSON Marius. *Applicability of Reliability-Centered Maintenance in the Water Industry*. USA: American Water Works Assn; Pap/Cdr edition (February 1, 2007), 2007. ISBN 978-1583214879.
- [9] HALEVI, Gideon. *Handbook of production management methods: ABC/ABM (Activity-based costing/Activity-based management)*. [Online-Ausg.]. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2001, 911 s. ISBN 07-506-5088-5.

- [10] Hospodářské noviny. *Jak si vybrat správnou personální agenturu* [online]. Hospodářské noviny, 12. 3. 2012 [cit. 2018-04-02]. Dostupné z: <https://archiv.ihned.cz/c1-55016630-jak-si-vybrat-spravnou-personalni-agenturu>.
- [11] IEC 60300-3-11:2009. *Dependability management - Part 3-11: Application guide - Reliability centred maintenance*. INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION, Swizerland, 2009. ISBN 978-2-88910-098-9
- [12] Interview s Milanem VITVAREM, Vedoucím pracovníkem oddělení RAMS/LCC skupin ve Škodě Transportation. Plzeň 14. 2. 2018.
- [13] Interview s Ing. Daliborem Dědičem, Manažerem kvality projektů ve Škodě Transportation. Plzeň 25. 3. 2018.
- [14] Interview s Ing Petrem Fleischhansem, provozní ekonomem oddělení Full-servis. Plzeň 28. 2. 2018.
- [15] Interview s Ing Jindřichem BLAŽKEM, Vedoucím oddělení technické dokumentace. Plzeň 19. 1. 2018.
- [16] Interview s Ing. Jiřím HARATKEM, Autorem diplomové práce, zaměřující se na trakční motory. Plzeň 19. 1. 2018.
- [17] MOUBRAY, John. *Reliability-Centered Maintenance Second Edition*, 2. vyd. Industrial Press, Inc., 1997, 448 s. ISBN: 978-0831131463.
- [18] Nowlan F. S. and Heap H. *Reliability-centered Maintenance. National technical Information Service*. US Department of Commerce, 1978, Springfield, Virginia ISBN 978-1234322571.
- [19] NTU Taiwan. *Sensitivity Analysis: Accounting vs NPV Break Even Point* [online]. NTU Taiwan 9. 7. 2017 [cit. 2018-04-17]. Dostupné z: [http://homepage.ntu.edu.tw/~jryanwang/course/Financial%20Management%20\(undergraduate%20level\)/FM\\_Ch09.pdf](http://homepage.ntu.edu.tw/~jryanwang/course/Financial%20Management%20(undergraduate%20level)/FM_Ch09.pdf).
- [20] PETŘÍK, Tomáš. *Procesní a hodnotové řízení firem a organizací - nákladová technika a komplexní manažerská metoda: ABC/ABM (Activity-based costing/Activity-based management)*. 1. vyd. Praha: Linde, 2007, 911 s. ISBN 978-80-7201-648-8.
- [21] ŘEPA, Václav. *Podnikové procesy: procesní řízení a modelování*. 2 vyd., aktualiz. a rozš. vyd. Praha: Grada, 2007, 281 s. ISBN 978-80-247-2252-8.

- [22] SAYER, Natalie J. a Bruce WILLIAMS. *Lean for dummies*. Hoboken, N.J.: Wiley, 2007, 366 s. ISBN 978-0-470-09931-5.
- [23] Škoda Transportation. *Historie Škody Transportation* [online]. Plzeň: Škoda Transportation a.s., 2017 [cit. 2018-04-02]. Dostupné z: <https://www.skoda.cz/historie/>.
- [24] Škoda Transportation. *Katalog tramvají* [online]. Plzeň: Škoda Transportation a.s., 2018 [cit. 2018-04-02]. Dostupné z: <https://www.skoda.cz/data/catalog/6/41/425.pdf>.
- [25] Škoda Transportation. *Konsolidovaná výroční zpráva Škody Transportation 2016* [online]. Plzeň: Škoda Transportation a.s., 2016 [cit. 2018-04-02]. Dostupné z: <https://www.skoda.cz/article-files/850-skoda-transportation-konsolidovana-vyrocnizprava-2016-cz.pdf>.
- [26] Škoda Transportation. *Profil skupiny Škoda Transportation* [online]. Plzeň: Škoda Transportation a.s., 2018 [cit. 2018-04-02]. Dostupné z: <https://www.skoda.cz/article-files/85-katalog-profil-spolecnosti-cz.pdf>.
- [27] Škoda Transportation. *Tisková zpráva: Skupina Škoda Transportation dodá nové tramvaje do Finského Tampere* [online]. Plzeň: Škoda Transportation a.s., 2018 [cit. 2018-04-02]. Dostupné z: <https://www.skoda.cz/skupina-skoda-transportation-doda-nove-tramvaje-do-finskeho-tampere/>.
- [28] WOLF D. F.: *FMEA – Analýza možnosti vzniku vad a jejich následků*. Česká společnost pro jakost, Praha 1993, ISBN 80-02-00968-1.

# Seznam příloh

**Příloha A:** Výše úspor při zavedení RCM

## Příloha A

### Výše úspor při zavedení RCM

Rok 1			Rok 2			Rok 3		
Počet vozů v provozu	Měsíc	Úspora	Počet vozů v provozu	Měsíc	Úspora	Počet vozů v provozu	Měsíc	Úspora
4	1	67 681 Kč	19	1	321 486 Kč	23	1	389 168 Kč
8	2	135 363 Kč	19	2	321 486 Kč	27	2	456 849 Kč
12	3	203 044 Kč	19	3	321 486 Kč	31	3	524 530 Kč
16	4	270 725 Kč	19	4	321 486 Kč	35	4	592 212 Kč
19	5	321 486 Kč	19	5	321 486 Kč	35	5	592 212 Kč
19	6	321 486 Kč	19	6	321 486 Kč	35	6	592 212 Kč
19	7	321 486 Kč	19	7	321 486 Kč	35	7	592 212 Kč
19	8	321 486 Kč	19	8	321 486 Kč	35	8	592 212 Kč
19	9	321 486 Kč	19	9	321 486 Kč	35	9	592 212 Kč
19	10	321 486 Kč	19	10	321 486 Kč	35	10	592 212 Kč
19	11	321 486 Kč	19	11	321 486 Kč	35	11	592 212 Kč
19	12	321 486 Kč	19	12	321 486 Kč	35	12	592 212 Kč
Úspora celkem		3 248 704 Kč	Úspora celkem		3 857 836 Kč	Úspora celkem		6 700 452 Kč

Rok 4			Rok 5		
Počet vozů v provozu	Měsíc	Úspora	Počet vozů v provozu	Měsíc	Úspora
35	1	592 212 Kč	39	1	659 893 Kč
35	2	592 212 Kč	43	2	727 574 Kč
35	3	592 212 Kč	47	3	795 256 Kč
35	4	592 212 Kč	51	4	862 937 Kč
35	5	592 212 Kč	51	5	862 937 Kč
35	6	592 212 Kč	51	6	862 937 Kč
35	7	592 212 Kč	51	7	862 937 Kč
35	8	592 212 Kč	51	8	862 937 Kč
35	9	592 212 Kč	51	9	862 937 Kč
35	10	592 212 Kč	51	10	862 937 Kč
35	11	592 212 Kč	51	11	862 937 Kč
35	12	592 212 Kč	51	12	862 937 Kč
Úspora celkem		7 106 540 Kč	Úspora celkem		9 949 156 Kč

# Abstrakt

ŽENÍŠEK, David. Analýza a následná optimalizace vybraných podnikových procesů. Plzeň, 2018. 79 s. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni. Fakulta ekonomická.

**Klíčová slova:** Analýza funkčních poruch, FEMA, optimalizace, podnikové procesy, údržba zaměřená na bezporuchovost, RCM.

Předložená práce se zabývá analýzou a následnou optimalizací procesu tvorby údržbové dokumentace pomocí metodiky Reliability-centered Maintenance (RCM). Práce představuje způsob zavedení údržby zaměřené na bezporuchovost do podnikových procesů podniku Škoda Transportation, pomocí pilotního projektu tramvají dodávaných do Tampere. Práce ukazuje, že zavedení RCM by pro podnik bylo přínosem, a to z hlediska bezpečnostního, provozního a ekonomického. Investice by dosáhla po šesti letech od zavedení vnitřního výnosového procenta 27 % a čistou současnou hodnotou téměř tři miliony Kč. Výstupy této práce mohou sloužit podniku jako podklad pro skutečné zavedení RCM.

# Abstract

ZENISEK, David. Analysis and subsequent optimization of selected business processes. Plzen, 2018. 79 s. Diploma Thesis. University of West Bohemia. Faculty of Economics.

**Key words:** Business processes Function failure analysis, FMEA, optimization, Reliability-centered maintenance, RCM.

The diploma thesis focuses on analysis and optimization of the maintenance documentation creation process, using Reliability-centered Maintenance methodology. It introduces the RCM and implements it in Skoda Transportation's business processes on the pilot project of trams supplied to Tampere. Results of the thesis show that RCM implementation would be beneficial for the company from safety, operational and economical point of view. The investment would achieve the internal revenue rate of 27% and net present value of three million after six years. The outcome of this thesis serves as the ground for the real implementation of RCM in Skoda Transportation.