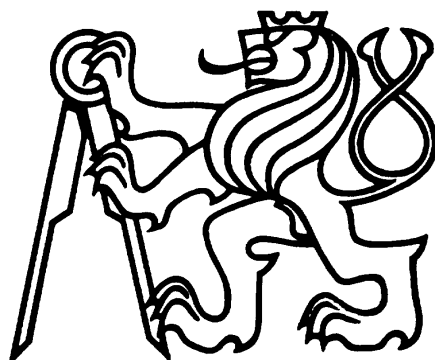


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE  
FAKULTA DOPRAVNÍ



Diplomová práce

Prověření části SZZ z hlediska servisních nákladů  
a spolehlivosti

Praha 2015

Bc. Stanislav Rýznar



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní  
d ě k a n  
Konviktská 20, 110 00 Praha 1

**K617 ..... Ústav logistiky a managementu dopravy**

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE** (PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

**Bc. Stanislav Rýznar**

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

**N 3710 – LO – Logistika, technologie a management dopravy**

Název tématu (česky): **Prověření části SZZ z hlediska servisních nákladů  
a spolehlivosti**

Název tématu (anglicky): **Checking the Station Interlocking in Terms of Maintenance  
Cost and Reliability**

### **Zásady pro vypracování**

Při zpracování diplomové práce se řiďte osnovou uvedenou v následujících bodech:

- Úvod do teorie spolehlivosti
- Teorie nákladů životního cyklu
- Analýza vybraného zabezpečovacího zařízení
- Stanovení servisních nákladů
- Stanovení optimální úrovně spolehlivosti

Rozsah grafických prací: určí vedoucí diplomové práce dle charakteru tématu

Rozsah průvodní zprávy: minimálně 55 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)

Seznam odborné literatury: ČSN EN 50126-1. Drážní zařízení - Stanovení a prokázání bezporuchovosti, pohotovosti, udržovatelnosti a bezpečnosti (RAMS) - Část 1: Základní požadavky a generický proces.

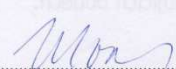
ČSN IEC 50 (191). Mezinárodní elektrotechnický slovník. Kapitola 191: Spolehlivost a jakost služeb.

FUCHS, Pavel. Využití spolehlivosti v provozní praxi.

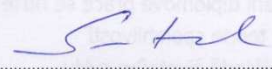
Vedoucí diplomové práce: **Ing. Karel Baudyš, Ph.D.**

Datum zadání diplomové práce: **30. června 2014**  
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

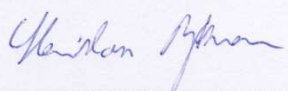
Datum odevzdání diplomové práce: **31. května 2015**  
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia  
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

  
prof. Ing. Petr Moos, CSc.  
vedoucí  
Ústavu logistiky a managementu dopravy



  
prof. Dr. Ing. Miroslav Svítek  
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.

  
Stanislav Rýznar  
jméno a podpis studenta

V Praze dne.....30. června 2014

### **Prohlášení**

Nemám závažný důvod proti užívání tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 25.5 2015 .....

*Uweilon Nyarun*  
.....

podpis

## **Poděkování**

Na tomto místě bych rád poděkoval především vedoucímu diplomové práce Ing. Karlu Baudyšovi, Ph.D. za odborné vedení, konzultace a cenné rady při zpracování diplomové práce.

Dále bych také rád poděkoval Mgr. Martinu Vlčkovi, Ph.D. ze společnosti AŽD Praha s. r. o. za poskytnutí potřebných informací a čas věnovaný konzultacím ohledně problematiky spolehlivosti zabezpečovacích zařízení a pomoc při modelování predikce spolehlivosti.

V neposlední řadě bych také rád poděkoval všem, kteří mi poskytli cenné rady a informace při zpracování této diplomové práce a všem, kteří mě po celou dobu studia podporovali.

## **Abstrakt**

Název práce: Prověření části SZZ z hlediska servisních nákladů a spolehlivosti  
Autor: Bc. Stanislav Rýznar  
Obor: Logistika, technologie a management dopravy  
Druh práce: Diplomová práce  
Vedoucí práce: Ing. Karel Baudyš, Ph. D.

Cílem diplomové práce je stanovit výši servisních nákladů části staničního zabezpečovacího zařízení ESA a provést analýzu spolehlivosti dle jedné z platných mezinárodních metodik. Práce se v teoretické části zabývá teorií spolehlivosti, teorií životního cyklu a metodami pro modelování a predikci spolehlivosti. V praktické části se práce zabývá stanovením servisních nákladů, predikcí spolehlivosti a otázkou, zda je vhodné vzhledem k výši servisních nákladů a potřebné investici do vývoje usilovat o zvýšení spolehlivosti.

## **Klíčová slova**

Spolehlivost, životní cyklus, predikce spolehlivosti, servisní náklady, staniční zabezpečovací zařízení.

## **Abstract**

Title: Checking the Station Interlocking in Terms of Maintenance Cost and Reliability  
Author: Bc. Stanislav Rýznar  
Branch: Logistics, Technology and Management in Transportation  
Document type: Master's thesis  
Thesis advisor: Ing. Karel Baudyš, Ph. D.

The thesis aims to determine the amount of service costs of the station interlocking equipment ESA and to analyze the reliability according to one of valid international methodologies. The theoretical part deals with the theory of reliability, life cycle theory and methods for modeling and prediction of reliability. The practical part deals with the determination of the cost of service, reliability predictions and question whether it is appropriate to increase reliability due to the amount of service costs and the necessary investment in developing strive.

## **Keywords**

Reliability, life cycle, prediction of reliability, service cost, interlocking system.

## Seznam použitých zkratk

BZKS	Bezpečný zdroj kmitavých signálů
CJM	Centrální jednotka místní
DPS	Deska plošných spojů
EIP	Electronic Interface Panel (Panel elektronických rozhraní)
ESA	Elektronické stavědlo AŽD
HW	Hardware
IO	Integrovaný obvod
KSZZ	Komunikační systém zabezpečovacího zařízení
LCC	Life Cycle Cost (Náklady životního cyklu)
MDT	Mean Down Time (Střední doba nepoužitelného stavu)
MRT	Mean Repair Time (Střední doba opravy)
MTBF	Mean Time Between Failures (Střední doba provozu mezi poruchami)
MTTR	Mean Time To Repair (Střední doba do obnovy)
MUT	Mean Up Time (Střední doba použitelného stavu)
PMI-1	Point Machine Interface (Jednotka ovládání přestavníků)
PNR	Panel nezabezpečených rozhraní
PRR	Panel reléových rozhraní
PRV	Panel reléových vazeb
RAMS	Reliability (Spolehlivost), Availability (Pohotovost), Maintainability (Udržovatelnost), Safety (Bezpečnost)
STP	Skříň technologických počítačů
SW	Software
SZZ	Staniční zabezpečovací zařízení
SZZ – ETB	Staniční zabezpečovací zařízení v bezpečné variantě
SZZ – ETS	Staniční zabezpečovací zařízení ve spolehlivé variantě
TBF	Time Between Failures (Doba provozu mezi poruchami)
TPC	Technologický počítač
TTF	Time To Failures (Doba do první poruchy)
TTR	Time To Repair (Doba do obnovení)
ZPC	Zadávací počítač



## Obsah

Zadání .....	2
Prohlášení.....	3
Poděkování.....	4
Abstrakt.....	5
Abstract .....	6
Seznam použitých zkratk .....	7
Úvod.....	11
1. Teorie spolehlivosti.....	13
1.1 Definice spolehlivosti.....	13
1.1.1 Inherentní spolehlivost .....	13
1.2 Spolehlivost zařízení .....	13
1.3 Základní pojmy spolehlivosti.....	14
1.3.1 Objekt .....	14
1.3.2 Vlastnosti objektu .....	14
1.3.3 Jevy a stavy.....	14
1.3.4 Veličiny .....	14
1.4 Ukazatele spolehlivosti .....	14
1.4.1 Bezporuchovost .....	15
1.4.2 Životnost.....	17
1.4.3 Udržovatelnost a zajištěnost údržby.....	17
1.4.4 Bezpečnost.....	17
1.4.5 Pohotovost .....	17
1.5 Způsob výpočtu ukazatelů spolehlivosti .....	18
1.5.1 Náhodný pokus .....	18
1.5.2 Náhodný jev.....	18
1.5.3 Pravděpodobnost .....	18
1.5.4 Náhodná proměnná.....	19
1.5.5 Distribuční funkce .....	19
1.5.6 Hustota pravděpodobnosti .....	20
1.5.7 Intenzita náhodného jevu.....	21
1.6 Základní typy struktur systémů.....	21
1.6.1 Sériové zapojení systému .....	21

1.6.2 Paralelní zapojení systému .....	21
1.6.3 Smíšené zapojení systému .....	22
2. RAMS .....	23
2.1 RAMS drah .....	23
2.2 Etapy životního cyklu .....	24
3. Modelování a predikce spolehlivosti .....	27
3.1 IEC TR 62380 .....	28
3.2 FIDES guide 2009 Edition A September 2010 .....	29
3.3 MIL – HDBK – 217F .....	30
4. Ekonomické náklady na spolehlivost .....	32
4.1 Teorie nákladů životního cyklu .....	32
4.2 Analýza nákladů životního cyklu .....	32
4.3 Vliv spolehlivosti na náklady životního cyklu .....	33
5. Struktura servisních nákladů .....	35
5.1 Náklady na preventivní údržbu .....	35
5.2 Náklady na nápravnou údržbu .....	35
6. Analýza staničního zabezpečovacího zařízení .....	37
6.1 SZZ obecně .....	37
6.1.1 ESA 11 .....	37
6.1.2 ESA 22 .....	38
6.1.3 ESA 33 .....	38
6.1.4 ESA 44 .....	38
6.2 Diagnostika poruchy .....	38
6.2.1 Poruchy zařízení .....	39
6.3 Skříně technologických počítačů .....	40
6.3.1 Funkce skříně technologických počítačů .....	43
6.3.2 Jednotka komparátoru .....	44
6.3.3 Napájení skříně technologických počítačů .....	45
7. Stanovení servisních nákladů .....	46
7.1 Podklady k výpočtu .....	46
7.2 Poruchy ve skříně STP .....	47
7.3 Doba obnovy po poruchách .....	49
7.4 Náklady na údržbu .....	50

7.4.1 Náklady na preventivní údržbu .....	50
7.4.2 Náklady na nápravnou údržbu .....	50
8. Predikce spolehlivosti .....	54
8.1 Predikce spolehlivosti komparátoru dle IEC TR 62380 .....	54
8.1.1 Intenzita poruch rezistorů .....	56
8.1.2 Intenzita poruch kondenzátorů .....	57
8.1.3 Intenzita poruch diod .....	58
8.1.4 Intenzita poruch tlumivek .....	59
8.1.5 Intenzita poruch tranzistorů .....	60
8.1.6 Intenzita poruch IO .....	60
8.1.7 Intenzita poruch optočlenů .....	61
8.1.8 Intenzita poruch transformátorů .....	62
8.1.9 Intenzita poruch pojistek .....	62
8.1.10 Intenzita poruch svorek .....	63
8.1.11 Intenzita poruch DPS .....	63
8.1.12 Celková intenzita poruch komparátoru .....	64
9. Stanovení optimální úrovně spolehlivosti .....	67
9.1 Vytipování problémových prvků .....	67
9.2 Návrh na odstranění poruch .....	67
Závěr .....	70
Seznam použité literatury .....	73
Seznam obrázků .....	75
Seznam tabulek .....	76
Seznam grafů .....	77
Seznam příloh .....	78
Přílohy .....	79

## Úvod

Diplomová práce se zabývá rozбором staničního zabezpečovacího zařízení ESA<sup>1</sup>, resp. jeho řídicí části, z hlediska servisních nákladů a spolehlivosti. SZZ<sup>2</sup> ESA slouží k zabezpečení a řízení železničního provozu ve stanicích s kolejovým rozvětvením nebo bez něj. Výrobcem je společnost AŽD Praha s. r. o.<sup>3</sup>

Část staničního zabezpečovacího zařízení, která byla vybrána pro účely diplomové práce, je skříň technologických počítačů STP. Skříň STP je součástí počítačového ovládání staničního zabezpečovacího zařízení ESA 11, ESA 33 a ESA 44. Pomocí skříně STP je realizována řídicí počítačová část SZZ ESA. Důvodem výběru této části byly výsledky analýzy poruch SZZ ESA, která byla provedena za účelem vytipování skupin náhradních dílů, které se výrazně podílejí na poruchovosti zařízení. Analýzou bylo zjištěno, že majoritní poruchy vykazují skříň technologických počítačů STP, napájení, PRV, PRR, vnitřní prvky a ZPC, přičemž průměrná procentuální hodnota počtu poruch za posledních 10 let je u skříně STP přibližně dvojnásobná oproti ostatním uvedeným kategoriím.

Je známo, že se zvyšující se spolehlivostí rostou pořizovací náklady, na druhou stranu dochází k poklesu provozních nákladů a nákladů na údržbu zařízení. Dosažení vysoké úrovně spolehlivosti je velmi nákladný proces. Každá příčina poruchy odhalená a opravená ve fázi vývoje je nesrovnatelně levnější než pátrání po příčině poruchy a její oprava v pozdější fázi životního cyklu zařízení (v provozu). Platí také skutečnost, že čím dříve je ve vývoji zařízení identifikována příčina poruchy a zajištěna její oprava, tím levnější tento proces je. Z těchto důvodů je nutné usilovat o co nejvyšší úroveň spolehlivosti zařízení již od začátku jeho vývoje. Znamená to především identifikaci příčin poruch a zajištění nápravných opatření v co možná nejranější fázi vývoje zařízení.

K předpovědi a přezkoumání ukazatelů spolehlivosti a bezporuchovosti se používají prediktivní analýzy. Analýza spolehlivosti se provádí především v předvýrobních etapách životního cyklu zařízení, tedy v etapách návrhu a vývoje, volby koncepce a stanovení požadavků. Predikce bezporuchovosti je důležitou činností při řešení problematiky spolehlivosti systémů. Analýza odhalí kritické prvky systému, tzn. ty nejméně spolehlivé. Na základě výsledků prediktivní analýzy lze provést návrh na opatření a zvýšení spolehlivosti analyzovaného systému.

Tato diplomová práce se v teoretické části zabývá teorií spolehlivosti, životním cyklem drážních zařízení, metodami pro modelování a predikci spolehlivosti, teorií nákladů životního cyklu a vlivem spolehlivosti na náklady životního cyklu.

V praktické části se práce zabývá strukturou servisních nákladů, analýzou staničního zabezpečovacího zařízení ESA, analýzou poruch v SZZ ESA, analýzou skříně STP a analýzou poruch, které se ve skříně STP vyskytují. Cílem diplomové práce je stanovit

---

<sup>1</sup> ESA: Elektronické stavědlo AŽD (zkratka je odvozena z prvních písmen)

<sup>2</sup> SZZ: Staniční zabezpečovací zařízení

<sup>3</sup> „AŽD Praha je významným ryze českým dodavatelem a výrobcem zabezpečovací, telekomunikační, informační a automatizační techniky, zejména se zaměřením na oblast kolejové a silniční dopravy včetně telematiky a dalších technologií.“ [21]

výši servisních nákladů na pravidelnou údržbu, stanovit výši servisních nákladů na nápravnou údržbu po poruchách HW, SW, jednotek komparátorů, větráků a ostatních druhů poruch, provést analýzu spolehlivosti jednotky komparátoru technologických počítačů TPC dle jedné z platných mezinárodních metodik, vytipovat problémové prvky skříně STP, tzn. prvky s největší pravděpodobností výskytu a četností poruch, zjistit, zda je vhodné vzhledem k výši servisních nákladů a nutné investici do vývoje usilovat o zvýšení spolehlivosti jednotky komparátoru, případně vývoje nové jednotky s vyšší spolehlivostí.

V kalkulaci servisních nákladů na pravidelnou údržbu a nákladů na nápravnou údržbu po poruchách není předmětem výpočtu vyčíslení nákladů konkrétního SZZ. Cílem je vytvoření metodiky výpočtu pro zařízení tohoto typu. Hodnoty servisních nákladů na materiál, které do výpočtu vstupují, jsou hypotetické a od skutečných hodnot se mohou lišit. Stejně tak byly upraveny počty poruch, které se ve skříně STP vyskytují. Po dosazení skutečných nákladů a skutečných počtů poruch do vzorců pro výpočty budou výsledné hodnoty odpovídat reálně vynaloženým nákladům.

Při zpracování diplomové práce jsem vycházel především ze skript Ing. Pavla Fuchse, CSc., které se problematikou spolehlivosti důkladně zabývají. Další hojně využitou literaturou byly za prvé normy ČSN EN pro určování a ověřování ukazatelů spolehlivosti železničních zabezpečovacích zařízení, stanovení a prokázání bezporuchovosti, pohotovosti, udržovatelnosti a bezpečnosti (RAMS) a mezinárodní elektrotechnický slovník, za druhé mezinárodně uznávané metodiky pro predikci spolehlivosti elektronických prvků. V neposlední řadě jsem také vycházel z mé bakalářské práce, která se zabývá teorií spolehlivosti, stanovením nákladů na životní cyklus modelového staničního zabezpečovacího zařízení ESA a vlivem spolehlivosti na náklady životního cyklu.

## 1. Teorie spolehlivosti

Spolehlivost systému (výrobku, stroje apod.) chápeme jako schopnost plnit požadovanou funkci bez poruchy po stanovenou dobu a v daných provozních podmínkách. Vysoká spolehlivost systému je požadována zejména u systémů, na jejichž správné funkci závisí chod kritických aplikací nebo dokonce lidské životy. Příkladem takových systémů jsou lékařské přístroje, elektrárenská zařízení, letecké vybavení, zabezpečovací zařízení, apod.

*„Teorie spolehlivosti dává možnost vyjadřovat spolehlivost kvantitativně z experimentálních dat, předpovídat spolehlivost pomocí matematických modelů, nalézt kritické součásti nejvíce ovlivňující spolehlivost celého systému a hledat cesty ke zvýšení spolehlivosti.“ [13]*

*„Základem teorie spolehlivosti je statistika, teorie pravděpodobnosti a matematická statistika. V současné době je teorie spolehlivosti značně propracovaná a běžně aplikovaná v různých odvětvích výroby a ostatní lidské činnosti.“ [6].*

### 1.1 Definice spolehlivosti

Spolehlivost je definována jako: *„Obecná schopnost výrobku plnit požadované funkce po stanovenou dobu a v daných podmínkách, která se vyjadřuje dílčími vlastnostmi, jako jsou bezporuchovost, životnost, opravitelnost, pohotovost apod.“ [6]*

*„V této definici je již spolehlivost pojímána jako obecná vlastnost. Není redukována jen na bezporuchovost, ale uvažuje další vlastnosti. Spolehlivost je tedy definována jako obecná vlastnost, která má svoje další dílčí vlastnosti, pro které také byly definovány konkrétní číselné ukazatele.“ [6]*

#### 1.1.1 Inherentní spolehlivost

*„Je spolehlivost „vložená“ do objektu v průběhu jeho návrhu a výroby. Nezahrnuje zhoršující se vlivy provozních podmínek, podmínek prostředí, způsobů údržby, lidského faktoru apod.“ [6]*

Inherentní spolehlivost tedy můžeme prokazovat nebo ověřovat pouze ve „sterilním“ prostředí laboratoří a při pečlivém dodržení provozních a údržbářských režimů formou laboratorních zkoušek spolehlivosti.

### 1.2 Spolehlivost zařízení

Spolehlivost zařízení je zásadně ovlivněna volbou koncepce, použitím součástkové základny, použitím prostředků pro realizaci, tedy rozhodnutími provedenými v prvních fázích etapy životního cyklu. V dalších etapách životního cyklu je již zlepšení obtížné a nákladné.

Zařízení s vyšší spolehlivostí je charakteristické delší dobou vývoje a technické přípravy výroby. Delší dobou do první poruchy, delší dobou mezi poruchami a kratší dobou obnovy.

Bodový odhad střední doby obnovy provozuschopnosti MTTR (Mean Time To Repair) se vypočítá z hodnot TTR:

$$MTTR = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n TTR_i [\text{hod}] \quad (1)$$

Bodový odhad střední doby provozu mezi poruchami MTBF (Mean Time Between Failures) se vypočítá z hodnot TBF:

$$MTBF = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k TBF_j [\text{hod}] \quad (2)$$

Kde:

$TTR_i$  Time To Repair – doba obnovy provozuschopnosti

$TBF_i$  Time Between Failures – doba provozu mezi poruchami

## 1.3 Základní pojmy spolehlivosti

### 1.3.1 Objekt

„Objekty, jejichž spolehlivost se posuzuje, mohou být výrobky nebo služby. V případě výrobku (nejčastější objekt hodnocení spolehlivosti) je vyšetřovaným objektem systém (soustava) nebo její prvek (komponenta, součást). Vyšetřovaný objekt může plnit jednu nebo více funkcí. Hodnocení spolehlivosti se vztahuje vždy k plnění požadované funkce. Z hlediska udržitelnosti lze vyšetřované objekty dále dělit na opravované a neopravované. U opravovaného objektu je obnova funkceschopnosti zajištěna jeho opravou. V případě neopravovaného objektu je obnova funkce, kterou objekt vykonává, zajištěna výměnou porouchaného prvku za nový.“ [6]

### 1.3.2 Vlastnosti objektu

„Zpravidla nejčastěji sledovanou vlastností objektu je jeho spolehlivost (obecně) vyjádřená dílčími vlastnostmi jako je pohotovost, bezporuchovost, udržitelnost a zajištěnost údržby.“ [6]

### 1.3.3 Jevy a stavy

„U vyšetřovaného objektu lze definovat řadu stavů a jevů. Nejčastěji je objekt charakterizován dvěma stavy: provozuschopným stavem a stavem poruchy. K těmto základním stavům dále přistupuje stav prostoje, kdy objekt v době používání není v provozu. Porucha je jev, při kterém přechází vyšetřovaný objekt z provozuschopného stavu do stavu poruchy. Naopak obnova je jev spočívající v obnovení schopnosti objektu plnit po poruše požadované funkce.“ [6]

### 1.3.4 Veličiny

Sledované veličiny jsou zpravidla čas nebo doba výskytu sledovaného jevu např. doba mezi poruchami, doba obnovy atd.

## 1.4 Ukazatele spolehlivosti

„Ukazateli se v pravděpodobnostním pojetí spolehlivosti rozumí funkce nebo hodnota používaná pro popis náhodné proměnné nebo náhodného procesu.“ [6] Ukazateli

spolehlivosti jsou zejména bezporuchovost, životnost, udržovatelnost a zajištěnost údržby, pohotovost.

#### **1.4.1 Bezporuchovost**

„Vyjadřuje schopnost objektu (prvku, subsystému, systému) plnit v daných podmínkách a daném časovém intervalu požadovanou funkci.“ [8] Rozlišujeme bezporuchovost neobnovovaných a obnovovaných objektů. Bezporuchovost vyjadřujeme pravděpodobností bezporuchového provozu, intenzitou poruch apod.

##### **1.4.1.1 Bezporuchovost neobnovovaných objektů**

Neobnovované objekty jsou takové, které se po poruše neopravují, ale vyměňují za nové (např. součástky apod.).

„Intenzita poruch neobnovovaných výrobků je pro inženýrskou praxi jedním z nejvýznamnějších ukazatelů, které umožňují kvantifikovat spolehlivost výrobku.“ [9]

Za předpokladu exponenciálního rozdělení pravděpodobnosti bezporuchového provozu je intenzita poruch neobnovovaných objektů dána vztahem:

$$\lambda = \frac{1}{\text{MTTF}} \text{ [hod}^{-1}\text{]} \quad (3)$$

Kde:

$\lambda$  Intenzita poruch neobnovovaných objektů

MTTF Střední doba provozu do poruchy

##### **1.4.1.2 Bezporuchovost obnovovaných objektů**

Obnovované objekty jsou ty, jejichž provozuschopnost je po poruše obnovována opravou. Jedná se zpravidla o systém, který je složený z více druhů součástí. Náhodnou veličinou je v tomto případě doba mezi dvěma poruchami.

Za předpokladu exponenciálního rozdělení pravděpodobnosti bezporuchového provozu je intenzita poruch obnovovaných objektů dána vztahem:

$$\Lambda = \frac{1}{\text{MTBF}} \text{ [hod}^{-1}\text{]} \quad (4)$$

Kde:

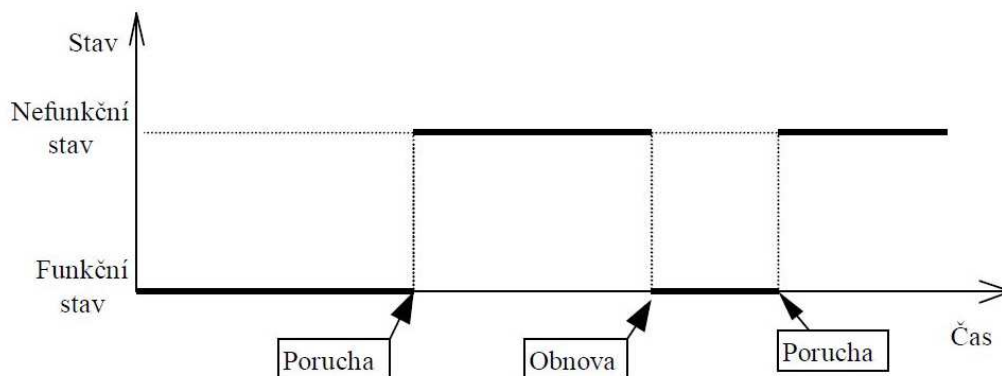
$\Lambda$  Intenzita poruch obnovovaných objektů

MTBF Střední doba provozu mezi poruchami

##### **1.4.1.3 Proces obnovy**

Systém se v libovolném okamžiku může nacházet v jednom ze dvou stavů. Ve funkčním stavu provozu nebo v nefunkčním stavu poruchy. Přechody mezi těmito stavy se náhodně střídají. Tento proces je označován jako prostý proces obnovy a je znázorněn na obrázku 1.



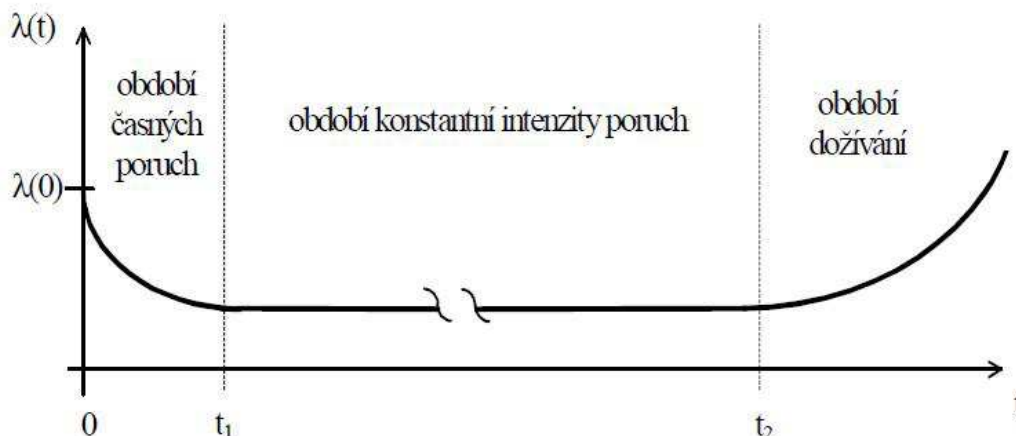


Obrázek 1: Prostý proces obnovy. Zdroj: [6]

Většina technických systémů patří do kategorie obnovovaných objektů, ve které je systém po poruše opravován. Obnova je definována jako obnovení provozuschopnosti systému dle daných technických podmínek. K poruše a obnově systému může docházet několikrát během doby jeho životnosti. Do procesu obnovy spadá také údržba systému. Systém se z hlediska spolehlivosti nachází v bezporuchovém nebo poruchovém stavu.

#### 1.4.1.4 Intenzita poruch

Hodnota intenzity poruch  $\lambda(t)$  popř.  $\Lambda(t)$  není v čase konstantní, ale mění se během doby životnosti systému. Časový průběh má charakteristickou podobu tzv. vanové křivky, která je rozdělená na tři období a je znázorněna na obrázku 2.



Obrázek 2: Časový průběh intenzity poruch. Zdroj: [6]

- Období časných poruch je charakteristické poruchami, které vznikají v důsledku vad materiálu, technologické nedokonalosti a v důsledku nedodržení technologické kázně. Intenzita poruch je zpočátku vysoká a má klesající tendenci.

- Období konstantní intenzity poruch je úsek normálního provozu, ve kterém probíhá technický život zařízení. Poruchy v tomto období vznikají náhodně, hodnota  $\lambda(t)$  je minimální, s přibývajícím časem mírně roste.
- Období dožívání, ve kterém se začnou objevovat poruchy vlivem opotřebení a dlouhé doby provozu. Náklady na opravy neúnosně vzrůstají a provoz se stává neekonomickým. Intenzita poruch se zvyšuje.

#### 1.4.2 Životnost

„Životnost je způsobilost plnit požadované funkce do mezního stavu stanoveného technickými podmínkami (předepsaná údržba a opravy). Číselné vyjádření je např. pomocí střední doby používání nebo středního technického života.“ [13]

„Životnost je tedy provozní doba vyjádřená počtem provozních hodin, cyklů, počtem zatížení, počtem funkcí nebo kalendářní dobou. Zde není započítávána pravděpodobnost. Životnost můžeme dělit na životnost morální a technickou, přičemž se obě mohou, ale nemusí, značně lišit.“ [13]

#### 1.4.3 Udržovatelnost a zajištěnost údržby

„Schopnost objektu v daných podmínkách používání setrvat ve stavu nebo se vrátit do stavu, v němž může plnit požadovanou funkci, jestliže se údržba provádí v daných podmínkách a používají se stanovené postupy a prostředky.“ [6]

#### 1.4.4 Bezpečnost

„Vlastnost objektu při plnění požadovaných funkcí být ve stavu, ve kterém je riziko ohrožení zdraví, života osob, životního prostředí nebo poškození majetku omezeno na přijatelnou úroveň.“ [15]

Zajištění požadované úrovně bezpečnosti je obecně založeno na identifikaci, analýze, hodnocení a ošetřování rizik. Rizikem se obecně rozumí kombinace četnosti nebo pravděpodobnosti výskytu specifikované nebezpečné události a vzniku následků.

#### 1.4.5 Pohotovost

„Vyjadřuje schopnost systému nacházet se v daném časovém okamžiku a v daných podmínkách v provozuschopném stavu.“ [8] Základním ukazatelem je součinitel pohotovosti, který udává pravděpodobnost provozuschopnosti objektu v každém okamžiku při ustáleném provozním stavu.

Součinitel pohotovosti  $A$  je dán vztahem:

$$A = \frac{MUT}{(MUT + MDT)}; 0 \leq A \leq 1 \quad (5)$$

Kde:

MUT Střední doba použitelného stavu

MDT Střední doba nepoužitelného stavu

Případně:

$$A = \frac{MTBF}{(MTBF + MTTR)}; 0 \leq A \leq 1 \quad (6)$$

Kde:

MTBF Střední doba provozu mezi poruchami

MTTR Střední doba do obnovy

Pozn.: V tomto vztahu není rozlišováno mezi pravidelnou preventivní údržbou a nápravnou údržbou, která je nutná k obnově provozuschopnosti vlivem poruchy.

## 1.5 Způsob výpočtu ukazatelů spolehlivosti

*„Základním východiskem kvantitativního hodnocení spolehlivosti je skutečnost, že většina vlastností, které jsou u sledovaných objektů hodnoceny, má pravděpodobnostní, resp. stochastický charakter. Ukazatele spolehlivosti, jako kvantitativní míry těchto vlastností, jsou tedy náhodného charakteru a jsou úzce spjaty s rozdělením pravděpodobnosti náhodné proměnné. Proto je dále uvedeno několik základních informací z oblasti teorie pravděpodobnosti a matematické statistiky, nutných pro orientaci v dané problematice.“ [6]*

### 1.5.1 Náhodný pokus

*„Takový pokus, který je možné neomezeně mnohokrát opakovat, ale jeho výsledek není jednoznačně předurčen podmínkami pokusu a náhodně se mění přesto, že podmínky pokusu jsou zachovány. Jinými slovy řečeno, i při stejných podmínkách pokusu, mohou být výsledky pokusu různé. Např. stejné součástky se při stejném zatížení porouchají po rozdílné době provozu.“ [6]*

### 1.5.2 Náhodný jev

*„Kterýkoliv jev z množiny všech možných výsledků náhodného pokusu. Výsledky náhodného pokusu musí být vzájemně neslučitelné (nemůže současně nastat výskyt více než jednoho jevu) a úplné (musí nastat právě jeden z nich). Tyto možné výsledky náhodného pokusu jsou nazývány elementárními jevy. Příkladem náhodného jevu je výsledek hodu hrací kostkou, přičemž množinou všech možných výsledků (tj. elementárních jevu) je množina všech celých čísel 1 až 6.“ [6]*

### 1.5.3 Pravděpodobnost

*„Zjednodušeně míra relativní četnosti náhodného jevu v případě provedení nekonečného počtu náhodných pokusů (jejichž výsledkem je výskyt uvedeného náhodného jevu).“ [6]*

Relativní četnost náhodného jevu je dána vztahem:

$$p(A) = \frac{n(A)}{n} \quad (7)$$

Kde:

$n(A)$  je počet výskytů jevu  $A$  v  $n$  pokusech

*„Je zřejmé, že při opakovaném provádění série téhož pokusu, bude výsledek série (tj. relativní četnost sledovaného jevu) kolísat v jistých mezích kolem určité pevné hodnoty, přičemž tyto meze se s rostoucím počtem pokusů v sérii stále zužují. Tato zákonitost vede k závěru, že objektivní možnost nastoupení náhodného jevu lze vyjádřit jedním pevným číslem, které nazýváme pravděpodobností.“ [6]*

#### 1.5.4 Náhodná proměnná

*„Zjednodušeně taková proměnná, jejíž každá hodnota je jednoznačně určena výsledkem náhodného pokusu a která současně může nabývat libovolné hodnoty z definovaného oboru hodnot, vždy však pouze s určitou pravděpodobností. Tuto pravděpodobnost lze vyjádřit jistou zákonitostí rozdělení pravděpodobnosti, popsanou např. distribuční funkcí, hustotou pravděpodobnosti apod.“ [6]*

#### 1.5.5 Distribuční funkce

*„Každá náhodná proměnná je charakterizována především svojí distribuční funkcí (Cumulative Distribution Function - CDF). Distribuční funkcí náhodné proměnné  $X$  v intervalu  $(-\infty; \infty)$  rozumíme funkci  $F(x)$ .“ [6]*

Distribuční funkce je definována vztahem:

$$F(x) = P(X \leq x) \quad (8)$$

Vlastnosti distribuční funkce jsou:

$$0 \leq F(x) \leq 1, \text{ neklesjící a zleva spojitá funkce} \quad (9)$$

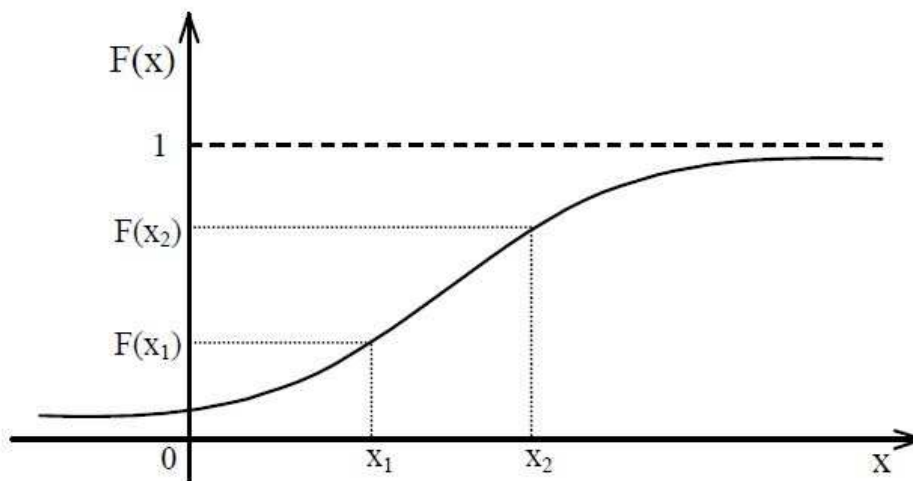
$$\lim_{x \rightarrow -\infty} F(x) = 0 \quad (10)$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} F(x) = 1 \quad (11)$$

*„Na základě uvedených vlastností distribuční funkce lze také odvodit důležitý vztah pro pravděpodobnost toho, že náhodná proměnná nabude hodnoty z jistého intervalu  $x \in (x_1, x_2)$ .“ [6]*

$$P(x_1 < X \leq x_2) = F(x_2) - F(x_1) \quad (12)$$

„Tento vztah říká, že pravděpodobnost toho, že náhodná proměnná nabude hodnoty z daného intervalu, je rovna rozdílu hodnot distribuční funkce  $F(x)$  v krajních bodech tohoto intervalu, viz obrázek 3.“ [6]



Obrázek 3: Distribuční funkce spojité náhodné proměnné. Zdroj: [6]

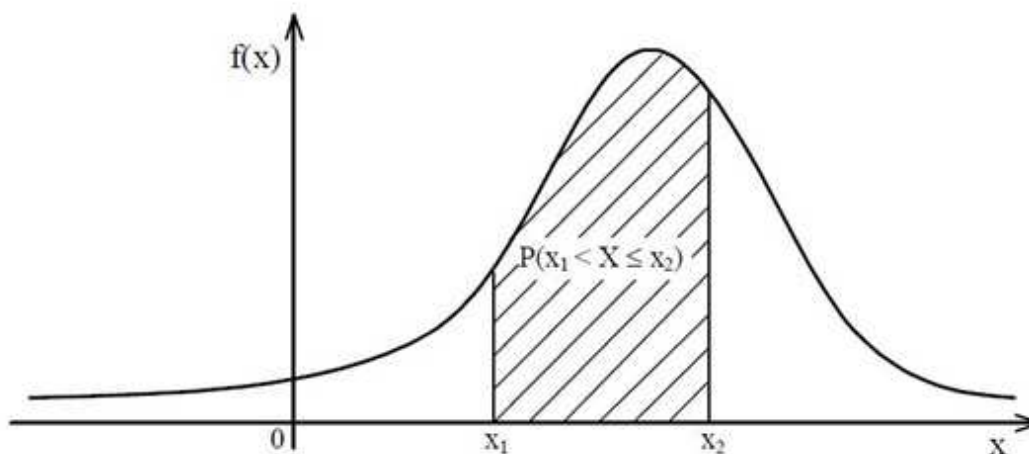
### 1.5.6 Hustota pravděpodobnosti

„Zákon rozdělení pravděpodobnosti spojité náhodné proměnné může být také vyjádřen pomocí hustoty pravděpodobnosti (Probability Density Function - PDF), která charakterizuje tzv. rozdělení spojitého typu.“ [6]

Hustotu pravděpodobnosti náhodné proměnné vyjadřuje vztah:

$$f(x) = \frac{dF(x)}{dx} \quad (13)$$

Graf hustoty pravděpodobnosti vypovídá o tom, kterých hodnot náhodná proměnná nabývá často (s vyšší pravděpodobností) a kterých méně často, viz obrázek 4.



Obrázek 4: Hustota pravděpodobnosti spojité náhodné proměnné. Zdroj: [6]

### 1.5.7 Intenzita náhodného jevu

„Intenzita náhodného jevu (hazard function) je definována jako podmíněná pravděpodobnost toho, že jev nastane během nekonečně malého intervalu  $dx$  za podmínky, že do okamžiku  $x$  jev nenastal.“ [6]

Tuto podmíněnou pravděpodobnost vyjadřuje vztah:

$$h(x) = \frac{f(x)}{1 - F(x)} \quad (14)$$

„Intenzita jevu může být v závislosti na hodnotě náhodné proměnné konstantní nebo proměnná.“ [6]

„Intenzita náhodného jevu je ve spolehlivosti velmi často používána. Je-li náhodným jevem porucha, jedná se o intenzitu poruch (označovanou symbolem  $\lambda$ ), pokud je náhodným jevem oprava, jde o intenzitu oprav (označovanou symbolem  $\mu$ ).“ [6]

### 1.6 Základní typy struktur systémů

Z hlediska spolehlivosti je možné typy technických systémů rozdělit na tyto základní struktury:

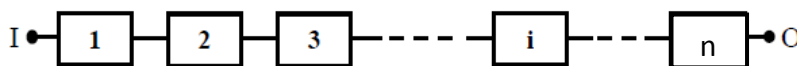
- sériové zapojení systému,
- paralelní zapojení systému,
- smíšené (sérioparalelní) zapojení systému.

#### 1.6.1 Sériové zapojení systému

„Sériový systém se nachází v bezporuchovém stavu, jsou-li v daném okamžiku současně v bezporuchovém stavu všechny jeho prvky. V poruchovém stavu se sériový systém nachází tehdy, je-li v daném okamžiku v poruchovém stavu alespoň jeden jeho prvek.“ [6]

Pravděpodobnost bezporuchového provozu sériového systému  $R_S$  je závislá na počtu prvků systému a na úrovni bezporuchovosti jednotlivých prvků  $R_i$ . Tuto závislost vyjádříme vztahem:

$$R_S(t) = \prod_{i=1}^n R_i(t) \quad (15)$$



Obrázek 5: Blokové schéma sériově zapojeného systému. Zdroj: [6]

#### 1.6.2 Paralelní zapojení systému

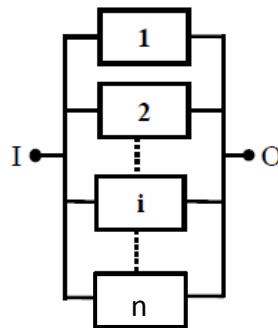
„Paralelní strukturou nazýváme takové funkční uspořádání systému, pro které bez ohledu na jeho konkrétní konstrukční a technologické provedení platí, že k poruše

„systému (ukončení jeho schopnosti plnit požadované funkce) dojde až při současné poruše všech jeho prvků objektu.“ [6]

„Paralelní systém se tedy nachází v bezporuchovém stavu tehdy, je-li v bezporuchovém stavu alespoň jeden jeho prvek. Analogicky se paralelní systém nachází v poruchovém stavu tehdy a jen tehdy, jsou-li v poruchovém stavu současně všechny jeho prvky.“ [6]

Bezporuchovost jednotlivých prvků paralelně zapojeného systému vyjadřujeme jako  $R_i$ . Pravděpodobnost bezporuchového provozu celého paralelního systému  $R_p$  vyjádříme vztahem:

$$R_p(t) = 1 - \prod_{i=1}^n \{1 - R_i(t)\} \quad (16)$$



Obrázek 6: Blokové schéma paralelně zapojeného systému. Zdroj: [6]

### 1.6.3 Smíšené zapojení systému

„Smíšené zapojení systému vznikne kombinací sériových a paralelních zapojení prvků nebo kombinací skupin prvků. Výpočet ukazatelů bezporuchovosti takového zapojení vychází z rozkladu systému na skupiny prvků v sériovém nebo paralelním zapojení.“ [19]

## 2. RAMS

Stanovením a prokázáním bezporuchovosti, pohotovosti, udržovatelnosti a bezpečnosti (RAMS) drážních zařízení se zabývá norma ČSN EN 50126-1<sup>4</sup>.

*„Tato evropská norma poskytuje provozovatelům dráhy a drážnímu průmyslu v Evropské unii proces, který umožní zavedení důsledného přístupu k managementu bezporuchovosti, pohotovosti, udržovatelnosti a bezpečnosti, označovaného zkratkou RAMS. Procesy pro specifikaci a prokázání požadavků na RAMS jsou základními položkami této normy. Cílem této evropské normy je podpořit obecně chápání a přístup k managementu RAMS.“ [2]*

*„Tuto evropskou normu může provozovatel dráhy a drážní průmysl systematicky používat ve všech etapách životního cyklu systému drážního zařízení pro vytvoření požadavků na RAMS specifických pro dráhy a pro dosažení shody s těmito požadavky. Úrovně systémového přístupu definované touto evropskou normou usnadňují hodnocení vzájemného působení RAMS mezi prvky složitých drážních zařízení.“ [2]*

*„Tato evropská norma platí:*

- pro specifikaci a prokázání RAMS u všech drážních zařízení a na všech úrovních použití těchto zařízení, podle toho, co přichází v úvahu, od kompletních tratí, i pro jednotlivé a kombinované systémy a složky těchto hlavních systémů, včetně těch, které obsahují software; zejména:*
- pro nové systémy,*
- pro nové systémy začleněné do stávajících systémů provozovaných už před vypracováním této normy, ačkoliv toto neplatí všeobecně pro jiná hlediska stávajícího systému,*
- pro modifikace stávajících systémů provozovaných už před vypracováním této normy, přestože toto neplatí všeobecně pro jiná hlediska stávajícího systému,*
- ve všech příslušných etapách životního cyklu daného použití*
- pro použití provozovateli dráhy a drážním průmyslem.“ [2]*

### 2.1 RAMS drah

*„RAMS charakterizuje dlouhodobou činnost systému a je dosahován použitím vžitých technických koncepcí, metod, nástrojů a postupů během celého životního cyklu systému. RAMS systému lze charakterizovat jako kvalitativní a kvantitativní ukazatel stupně, po který se lze spolehnout, že systém (nebo subsystémy a složky, z nichž se skládá) funguje tak, jak je stanoveno, a že je použitelný, tak bezpečný. RAMS je v kontextu této evropské normy kombinací bezporuchovosti, pohotovosti, udržovatelnosti a bezpečnosti.“ [2]*

*„Cílem drážního systému je bezpečně dosáhnout stanovené úrovně drážní dopravy v daném čase. RAMS drah popisuje důvěryhodnost, s jakou systém může zaručit dosažení tohoto cíle. RAMS drah má zřejmý vliv na to, jak kvalitně je služba poskytována*

---

<sup>4</sup> ČSN EN 50126-1, Drážní zařízení – Stanovení a prokázání bezporuchovosti, pohotovosti, udržovatelnosti a bezpečnosti (RAMS) – Část 1: Základní požadavky a generický proces.



zákazníkovi. Jakost služeb je ovlivňována i jinými charakteristikami týkajícími se funkčnosti a výkonnosti, např. frekvencí a pravidelností poskytování služeb a strukturou tarifu.“ [2]

## 2.2 Etapy životního cyklu

„Životní cyklus systému tvoří posloupnost etap, z nichž každá zahrnuje úkoly, pokrývající celou dobu existence systému, od počáteční koncepce až po vyřazení z provozu a likvidaci. Životní cyklus poskytuje strukturu pro plánování, management, kontrolu a sledování všech aspektů systému, včetně RAMS, během postupu jednotlivými etapami. Cílem je dodat v dohodnuté době správný výrobek za správnou cenu. Koncepce životního cyklu má pro úspěšné použití této normy základní význam.“ [2]

Životní cyklus systému dle ČSN EN 50126-1 je znázorněn na obrázku 7. Jednotlivé etapy a s nimi spojené všeobecné úkoly životního cyklu jsou uvedeny níže, všechny úkoly spojené s danou etapou viz přílohu 1.

1. Koncepce:
  - stanoví se rozsah a účel drážního projektu,
  - definuje se koncepce drážního projektu,
  - provede se finanční analýza a studie proveditelnosti,
  - stanoví se management.
2. Definice systému a podmínky použití:
  - stanoví se charakteristika zadání systému,
  - připraví se popis systému,
  - určí se strategie provozu a údržby,
  - určí se pracovní podmínky,
  - určí se podmínky údržby,
  - určí se vliv omezení daných stávající infrastrukturou.
3. Analýza rizika:
  - provede se analýza rizika spojeného s projektem.
4. Požadavky na systém:
  - provede se analýza požadavků,
  - specifikuje se systém (celkové požadavky),
  - specifikuje se okolní prostředí,
  - definují se kritéria předvedení a přejímky (celkové požadavky),
  - stanoví se plán validace,
  - stanoví se požadavky na management, jakost a organizaci,
  - zavede se postup řízení změny.
5. Rozdělení požadavků na systém:
  - rozdělí se požadavky na systém,
    - specifikují se požadavky na subsystém a složky,
    - definují se kritéria přejímky subsystému a složek.
6. Návrh a zavedení:
  - provede se plánování,
  - provede se návrh a vývoj,

- provede se analýza návrhu a zkoušení,
  - provede se ověření návrhu,
  - provede se realizace a validace,
  - provede se návrh prostředků logistické podpory.
7. Výroba:
- provede se plánování výroby,
  - vyrábí se,
  - vyrábí se a vyzkoušejí se montážní skupiny složek,
  - připraví se dokumentace,
  - stanoví se výcvik.
8. Instalace:
- sestaví se systém,
  - instaluje se systém.
9. Validace systému:
- uvede se do provozu,
  - zahájí se zkušební doba provozu,
  - provede se výcvik.
10. Přejímka systému:
- provedou se postupy převjímký vycházející z kritérií převjímký,
  - shromáždí se podklady pro převjímký,
  - zahájí se provoz,
  - pokračuje se ve zkušební době provozu (přichází-li to v úvahu).
11. Provoz a údržba:
- dlouhodobý provoz systému,
  - provádí se průběžná údržba,
  - provádí se průběžný výcvik.
12. Sledování výkonnosti:
- shromáždí se statistická data z chování v provozu,
  - posuzují se a analyzují shromážděná data,
  - realizují se nápravná opatření ve vývoji a výrobě plynoucí ze zaznamenaných dat (poruch).
13. Modifikace a regenerace:
- zavedou se postupy žádosti o změnu,
  - zavedou se postupy modifikace a regenerace.
14. Vyřazení z provozu a likvidace:
- naplňuje se vyřazení z provozu a likvidace,
  - provede se vyřazení z provozu,
  - provede se likvidace.

*„Na základě této normy byla vytvořena metodika určování RAMS pro zabezpečovací systémy vyráběné společností AŽD Praha s. r. o. Podle této metodiky je v AŽD zajišťován uznáný a realizovatelný systém pro stanovování, ověřování a upřesňování parametrů RAMS nově vyvíjených i dříve vyvinutých zabezpečovacích zařízení.“ [18]*



Obrázek 7: Životní cyklus systému dle normy ČSN EN 50126-1. Zdroj: [2]

### 3. Modelování a predikce spolehlivosti

*„Prediktivní analýzy spolehlivosti se používají k přezkoumání a k předpovědi ukazatelů bezporuchovosti, pohotovosti, udržitelnosti a bezpečnosti systému. Analýzy spolehlivosti se provádí zejména v etapě volby koncepce a stanovení požadavků, v etapě návrhu a vývoje a v etapě provozu a údržby a to především pro vyhodnocení a stanovení ukazatelů spolehlivosti a pro posouzení zda byly splněny specifikované požadavky.“ [6]*

*„Analýza spolehlivosti systému je proces, jehož podstatou je získávání, zkoumání a uspořádávání informací specifických a významných pro daný systém a potřebných pro rozhodování o něm a o stanovených cílech. Zkoumání probíhá obvykle na modelu systému. Konečným produktem tohoto procesu je soubor informací o vlastnostech modelu systému. Model může být v průběhu analýzy modifikován. V souladu s touto definicí je primárním cílem analýzy systému získávání informací o něm. Analýza musí být provedena podle jasně stanovených pravidel a postupu tak, aby proces analýzy byl opakovatelný a vždy vedl ke stejným výsledkům (dvě nezávisle provedené analýzy jednoho systému nemohou dospět ke vzájemně rozporným výsledkům).“ [6]*

Predikce bezporuchovosti je důležitou činností při řešení problematiky spolehlivosti systémů. Predikce bezporuchovosti stanovuje číselnou hodnotu vybraného ukazatele bezporuchovosti. Tato hodnota se stanovuje zpravidla v okamžiku, ve kterém nemáme k dispozici provozní údaje o reálném chování systému. Predikce bezporuchovosti se používá především v předvýrobních etapách životního cyklu vybraného systému.

Predikce bezporuchovosti systémů se provádí především pro tyto účely:

- posouzení navrženého konstrukčního řešení z hlediska bezporuchovosti,
- porovnání různých variant konstrukčních řešení,
- posouzení vlivu konstrukčních změn na bezporuchovost,
- zjištění případných problémů souvisejících s bezporuchovostí,
- zjištění příčin vzniku poruch.

Nejvíce používaným způsobem predikce bezporuchovosti systémů je využití databází bezporuchovosti prvků a metodik predikce bezporuchovosti prvků. Níže jsou uvedeny mezinárodně uznávané databáze a metodiky, které se v současné době používají, zejména v oblasti elektrotechniky a strojírenství. Tyto metodiky jsou především využívány k predikci těchto ukazatelů bezporuchovosti:

- intenzity poruch ( $\lambda$ ),
- střední doby provozu mezi poruchami (MTBF).

Konečné rozhodnutí o použití dané metodiky predikce bezporuchovosti je ovlivněno zejména účelem, pro který je predikce prováděna. Volba metodiky také závisí na konkrétní situaci, zkušenostech a možnostech analytika, který danou predikci bude provádět nebo provádí.

Pro porovnání a účely diplomové práce byly vybrány následující metodiky:

- IEC TR 62380 Reliability Data Handbook – Universal model for reliability prediction of electronics components, PCBs and equipment,
- FIDES 2009 Edition A September 2010 Reliability Methodology for Electronic Systems,
- MIL-HDBK-217F, Military Handbook: Reliability Prediction of Electronic Equipment.

V současné době neexistují české překlady výše uvedených metodik. Kapitoly 3.1, 3.2 a 3.3, které popisují princip těchto metodik, jsou volně přeloženy z anglických originálů.

### **3.1 IEC TR 62380**

Mezinárodní technická zpráva IEC TR 62380 Reliability Data Handbook – Universal model for reliability prediction of electronics components, PCBs and equipment (Příručka dat o bezporuchovosti – Obecný model pro predikci bezporuchovosti elektronických prvků, desek plošných spojů a příslušenství) byla vydána Mezinárodní elektrotechnickou komisí IEC v roce 2004 a vychází z francouzské telekomunikační normy UTE C 80-810.

Tato metodika pro výpočet spolehlivosti elektronických a optických prvků je důležitým krokem vpřed ve srovnání se staršími metodikami. Výpočtové modely berou přímo v úvahu vliv životního prostředí. Vlivy teploty, které působí na zařízení a je obtížné je vyhodnotit, jsou nahrazeny teplotním faktorem. Tyto modely uvažují stavy trvalého provozu, přerušovaného provozu (cykly zapnutí/vypnutí) a pohotovostního stavu (nečinnosti). Míra poruchovosti vztahující se k pájeným komponentům, je zahrnuta v míře poruchovosti komponent jako takových.

Metodika poskytuje prvky pro výpočet míry poruchovosti použitých elektronických součástek. Díky uvedení ovlivňujících faktorů, je snazší provádět optimalizaci bezporuchovosti zařízení.

Výpočet predikce spolehlivosti pro neredundantní zařízení je prvním krokem v jakékoliv kompletní studii spolehlivosti. Predikce spolehlivosti jsou založeny na mnoha předpokladech, z nichž všechny musí být ověřeny (např. volba typu komponenty). Studie spolehlivosti položky s sebou nese nejen ověření těchto předpokladů, ale také optimalizaci její spolehlivosti (kvalifikace komponentů a montážních procesů, minimalizace rizik a externích poruch).

Vzhledem k tomu, že se četnost poruch jednotlivých komponent předpokládá konstantní, četnost poruch neredundantní, lze výslednou četnost poruch získat součtem jednotlivých složek. V příručce jsou uvedeny intenzity poruch součástek osazených na desce plošných spojů, intenzita poruch samotné desky plošných spojů musí být přičtena.

Zkušební zkušenosti ukázaly, že spolehlivostní složka je silně ovlivněna mechanickými a klimatickými podmínkami životního prostředí, stejně tak jako elektrickými podmínkami

prostředí (zbytkové přetížení). Tento faktor je proto v této metodice také zahrnut. Faktor je založen na pozorováních a uvedené hodnoty byly pro klimatické a mechanické prostředí zařazeny do deseti typů prostředí.

### **3.2 FIDES guide 2009 Edition A September 2010**

Metodika FIDES Guide 2009 Edition A September 2010 – Reliability Methodology for Electronic Systems (Metodika spolehlivosti pro elektronické systémy) je v současné době nejnovější metodikou pro predikce spolehlivosti. Příručku FIDES Guide lze v současné době volně stáhnout z webu. Metodiku vypracovalo konsorcium francouzských průmyslových podniků leteckého a zbrojního průmyslu FIDES Group, pod dohledem DGA<sup>5</sup>. Skupina FIDES se skládá z podniků:

- Airbus France,
- Eurocopter, Nexter Electronics,
- MBDA France,
- Thales Systèmes Aéroportés SA,
- Thales Avionics,
- Thales Corporate Services SAS,
- Thales Underwater Systems.

FIDES Guide 2009 nahradil FIDES Guide 2004 (vydanou pod UTE jako UTE-C 80811). Tato aktualizace bere v úvahu technologický vývoj pro zvýšení rozsahu a vylepšení. Vůdčím principem těchto změn bylo vytvoření dokumentu, jehož použití bude praktické a univerzální jak jen to bude možné. Všechny kapitoly příručky FIDES Guide 2004 jsou revidovány do příručky FIDES Guide 2009 Edition A. FIDES Guide 2009 přináší celou řadu drobných vylepšení. Tato vylepšení pocházejí převážně ze zpětné vazby uživatelů, a to zejména od členů metodiky Maintenance and Development Structure, a Working Group of the Institut de Maîtrise des Risques - IMdR (Údržba a rozvoj struktury, pracovní skupina Institut de Maîtrise des Risques).

Metodika FIDES byla vyvinuta za pomoci dat z oblasti letectví, vojenství a dat od výrobců. Cílem metodiky, je umožnit realistickou predikci bezporuchovosti elektronických systémů, včetně systémů, které pracují v náročných podmínkách (např. vojenské a letecké systémy).

Globální elektronická spolehlivostní inženýrská metodika FIDES, se skládá ze dvou částí:

- prediktivní spolehlivostní hodnotící příručka,
- řízení procesu spolehlivosti a průvodce auditem.

Cílem metodiky FIDES je nejprve provést realistické zhodnocení spolehlivosti elektronických výrobků, včetně systémů, které se potýkají s nepříznivým nebo naopak

---

<sup>5</sup> Délégation Générale pour l'Armement - French Ministry of Defence (Francouzské ministerstvo obrany)

neagresivním prostředím (skladování), a za druhé poskytnout konkrétní nástroj pro konstrukci a kontrolu této spolehlivosti.

Hlavní charakteristiky metodiky jsou:

- existence modelů, a to jak pro elektrické, elektronické a elektromagnetické komponenty, a pro součásti plošných spojů,
- zohlednění všech technologických a fyzikálních faktorů, které mají vliv na spolehlivost,
- právě s přihlédnutím k profilu života,
- s ohledem na elektrické, mechanické a teplotní přetížení,
- s ohledem na selhání týkající se vývoje, výroby, provozu a procesu údržby,
- s možností dělat rozdíly mezi několika dodavateli jediného komponentu.

Metodiku FIDES lze použít ve všech oblastech využívajících elektroniku. FIDES pokrývá prvky, jako jsou:

- integrované obvody,
- polovodiče,
- piezoelektrické prvky,
- rezistory,
- termistory,
- potenciometry,
- kondenzátory,
- transformátory,
- relé,
- desky plošných spojů
- konektory.

Metodika FIDES zahrnuje vnitřní poruchy zařízení, které vyplývají z jeho specifikace, konstrukce, výroby a volby způsobu dodání. Dále bere v úvahu také poruchy vyplývající z vývoje, výroby, elektrických, mechanických a teplotních přetížení způsobených vlivem provozu. Hodnoty všech faktorů a vstupních dat potřebných pro predikci spolehlivosti se určují z doporučení, tabulek a vztahů uvedených v příručce FIDES.

### **3.3 MIL – HDBK – 217F**

Metodika MIL – HDBK – 217F – Military Handbook: Reliability Prediction of Electronic Equipment (Vojenská příručka – Predikce bezporuchovosti elektronických zařízení) je vojenská norma vydána Ministerstvem obrany USA ve Washingtonu DC v roce 1961. Metodika byla od doby svého vzniku několikrát revidována. Poslední revize byla provedena v roce 1995, tím byl další vývoj metodiky ze strany ministerstva obrany USA ukončen a metodika se tak postupem času stává zastaralou.

MIL – HDBK – 217F je v současné době jednou z nejpoužívanějších metodik predikce spolehlivosti. Metodika byla primárně vyvinuta pro predikce bezporuchovosti vojenských elektronických systémů. Postupem času se však použití metodiky rozšířilo i do mnoha nevojenských oblastí.

Základní hodnoty veličin intenzity poruch, které jsou potřebné pro další odhady, jsou uvedeny v příručce. Tyto hodnoty byly získány pomocí odhadů, které byly založeny na statistických analýzách skutečných poruch vyskytujících se v provozu. Metodika obsahuje odhady pro generické typy elektronických prvků, jako jsou:

- rezistory,
- kondenzátory,
- indukční prvky,
- relé,
- polovodiče,
- integrované obvody,
- elektronky,
- lasery,
- spínače,
- konektory,
- spojovací a propojovací prvky,
- žárovky,
- elektronické filtry
- pojistky.



## 4. Ekonomické náklady na spolehlivost

Praxí bylo dokázáno, že pro provozovatele je neekonomický nákup levného a méně spolehlivého zařízení. Provozovatel zařízení s nižší spolehlivostí zaplatí celkově vyšší náklady v průběhu celého životního cyklu na prostojích a mimogarančních opravách, které jsou nutné pro obnovení provozuschopnosti.

*„Dále je potvrzeno, že vyšší finanční prostředky vložené do výzkumu, vývoje a technické přípravy výroby, přinášejí několikanásobné úspory provozních nákladů z důvodu vyšší spolehlivosti zařízení. Takové zařízení je charakteristické delší dobou vývoje a technické přípravy výroby. Delší dobou do první poruchy, delšími dobami mezi jednotlivými poruchami a kratší dobou obnovy provozuschopnosti po poruše.“ [18]*

### 4.1 Teorie nákladů životního cyklu

Náklady životního cyklu, zkráceně nazývané LCC<sup>6</sup> představují celkové náklady, které během doby své životnosti zařízení spotřebuje. *„Jedná se o náklady, které se musí vynaložit během celkové doby životnosti zařízení. Celkové náklady představují pořizovací náklady, vlastnické náklady (náklady na údržbu a provoz) a náklady na vypořádání (likvidaci).“ [18]*

*„Pro moderního provozovatele je vhodné, aby při úvahách o koupi nového produktu prováděl analýzu nákladů na životní cyklus. LCC by pro něj měly být jedním z rozhodujících ekonomických ukazatelů při koupi nového produktu. Vyspělí provozovatelé sledují náklady na životní cyklus jako základní ukazatel při rozhodování o volbě dodavatele nového zařízení. Analýza LCC má zabránit tomu, aby byl nakoupen levný produkt, který je následně v provozu velmi drahý nebo aby byl nakoupen příliš drahý produkt, jehož nevelké provozní přednosti nevyváží jeho vysokou pořizovací cenu.“ [18]*

*„V praxi je obvykle nejvýhodnější varianta s nejnižšími LCC, pokud jsou tyto náklady jediným kritériem. V některých případech však může být sledováno více faktorů a z tohoto důvodu nemusí být varianta s nejnižšími LCC vhodná, resp. vítězná.“ [18]*

### 4.2 Analýza nákladů životního cyklu

*„Analýza nákladů životního cyklu je proces ekonomické analýzy zaměřený na posouzení celkových nákladů na pořízení a vlastnictví, jakož i na vypořádání (likvidaci) produktu. Tato analýza poskytuje důležité vstupní údaje při procesu rozhodování v etapách návrhu, vývoje, používání a vypořádání produktu. Dodavatelé produktu mohou optimalizovat své návrhy vyhodnocením alternativ a provedením studií optimalizace nákladů a přínosů. Mohou vyhodnotit různé strategie provozu, údržby a vypořádání (aby pomohli uživatelům produktu) za účelem optimalizace nákladů životního cyklu (LCC – Life Cycle Cost). Analýza nákladů životního cyklu se může též efektivně použít při vyhodnocování nákladů spojených se specifickou činností, například při vyhodnocování vlivů různých koncepcí/přístupů údržby, při řešení problémů týkajících se specifikace části produktu nebo při řešení problémů týkajících se pouze vybrané etapy nebo etap životního cyklu produktu.“ [4]*

---

<sup>6</sup> LCC – Life Cycle costs

„Analýza nákladů životního cyklu se nejefektivněji používá v počáteční etapě návrhu k optimalizaci základního přístupu k návrhu. Může se však též aktualizovat a použít během následných etap životního cyklu k zjištění oblastí s významnou nejistotou a rizikem.“ [4]

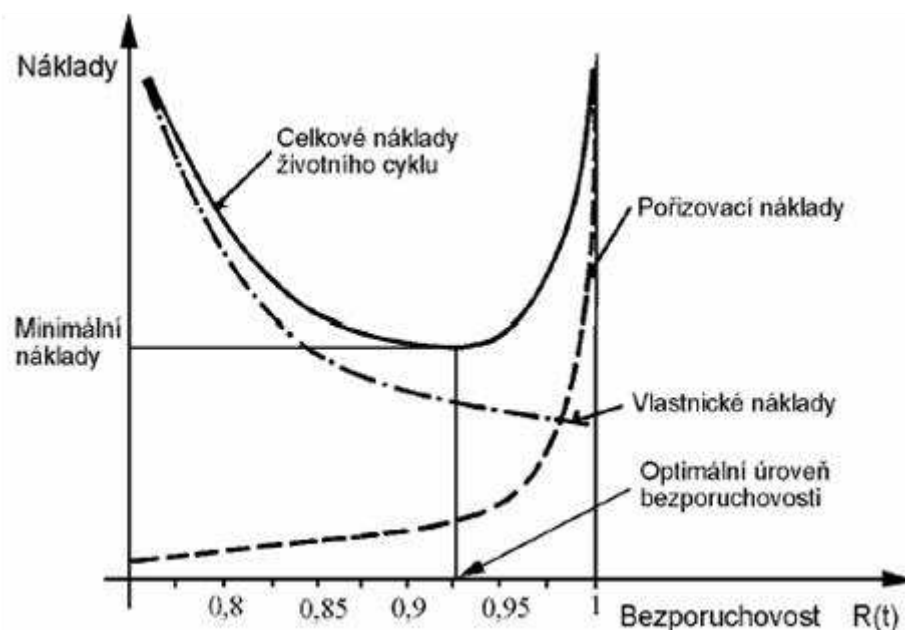
„Nutnost oficiálního použití procesu analýzy životního cyklu u produktu obvykle závisí na požadavcích zákazníka nebo na požadavcích uvedených ve smlouvě. Analýza nákladů životního cyklu však poskytuje užitečné vstupní údaje pro libovolný proces, ve kterém se činí rozhodnutí o návrhu. Má proto být v maximální možné míře nedílnou součástí procesu návrhu, aby mohly být optimalizovány znaky produktu a jeho náklady.“ [4]

„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 nebo v některých částech nebo kombinacích různých etap životního cyklu.“ [4]

„Důležitým cílem vypracování modelu LCC je zjistit náklady, které mohou mít velký dopad na náklady LCC nebo mohou být předmětem zvláštního zájmu pro specifickou aplikaci. Stejně důležité je zjistit náklady, které mohou ovlivňovat náklady LCC pouze v malém rozsahu.“ [4]

### 4.3 Vliv spolehlivosti na náklady životního cyklu

Ze závislosti pořizovacích a vlastnických nákladů je patrné, že pořizovací náklady zařízení rostou se zvyšující se spolehlivostí (např. vlivem použití kvalitnější součástkové základny, optimalizací poruch atd.) Provozní náklady zařízení se zvyšující se spolehlivostí naopak klesají. Tato závislost je znázorněna na obrázku 8.



Obrázek 8: Stanovení minimálních nákladů životního cyklu. Zdroj: [6]

Celkové náklady životního cyklu tedy vykazují určité minimum, které stanovuje optimální hodnotu spolehlivosti, na kterou má být dané zařízení navrženo. Minimum celkových nákladů tak určuje spolehlivost, která je z hlediska pořizovacích i provozních nákladů optimální pro výrobce i provozovatele systému.

## 5. Struktura servisních nákladů

Pro účel diplomové práce byla vytvořena následující metodika výpočtu servisních nákladů. Náklady na údržbu lze rozdělit na:

- náklady na preventivní údržbu,
- náklady na nápravnou údržbu.

### 5.1 Náklady na preventivní údržbu

Náklady na preventivní údržbu zahrnují náklady na provedení pravidelné údržby v předem daných intervalech, podle předepsaných kritérií. Pravidelná údržba slouží ke snížení pravděpodobnosti výskytu poruch a k zamezení nefunkčnosti zařízení. Náklady na preventivní údržbu se dají dobře plánovat z důvodu předem daného rozsahu a intervalu provedení údržby. Náklady na preventivní údržbu zahrnují náklady na materiál spotřebovaný při údržbě a cenu práce servisního pracovníka, případně pracovníků, včetně nákladů na výjezd.

Náklady na preventivní údržbu  $N_{PREVU}$  lze popsat následujícím vztahem:

$$N_{PREVU} = N_{MATP} + N_{PRACP} \quad (17)$$

Kde:

$N_{MATP}$  Náklady na materiál spotřebovaný při preventivní údržbě

$N_{PRACP}$  Náklady na pracovníky/ka provádějící/ho preventivní údržbu

Náklady na preventivní údržbu  $N_{PREVU}$ , s podrobně rozlišenými náklady na pracovníky provádějící tuto údržbu  $N_{PRACP}$ , lze popsat následujícím vztahem:

$$N_{PREVU} = N_{MATP} + (P_{Km/opr.} \cdot N_{1Km}) + (N_{1PRACP} \cdot P_{PRACP} \cdot MRT) \quad (18)$$

Kde:

$N_{MATP}$  Náklady na materiál spotřebovaný při preventivní údržbě

$P_{Km/opr.}$  Průměrný počet km na 1 opravu

$N_{1Km}$  Náklady na 1 km

$N_{1PRACP}$  Náklady na 1 pracovníka provádějícího preventivní údržbu

$P_{PRACP}$  Počet pracovníků provádějících preventivní údržbu

$MRT$  Mean Repair Time (Střední doba opravy)

### 5.2 Náklady na nápravnou údržbu

Náklady na nápravnou údržbu představují veškeré náklady související se zjišťováním příčin poruch a jejich následným odstraněním opravou. Náklady na nápravnou údržbu zahrnují náklady na materiál spotřebovaný při údržbě a cenu práce servisního pracovníka, případně pracovníků, včetně nákladů na výjezd.

Náklady na nápravnou údržbu mají náhodný charakter. Při náhlé poruše zařízení může docházet k následným škodám, které ztěžují odhad očekávaných nákladů údržby.

Náklady na nápravnou údržbu  $N_{NAPRU}$  lze popsat následujícím vztahem:

$$N_{NAPRU} = N_{MATN} + N_{PRACN} \quad (19)$$

Kde:

$N_{MATN}$  Náklady na materiál spotřebovaný při nápravné údržbě

$N_{PRACN}$  Náklady na pracovníky/ka provádějící/ho nápravnou údržbu

Náklady na nápravnou údržbu  $N_{NAPRU}$ , s podrobně rozlišenými náklady na pracovníky provádějící tuto údržbu  $N_{PRACN}$ , lze popsat následujícím vztahem:

$$N_{NAPRU} = N_{MATN} + (P_{Km/opr.} \cdot N_{1Km}) + (N_{1PRACN} \cdot P_{PRACN} \cdot MRT) \quad (20)$$

Kde:

$N_{MATN}$  Náklady na materiál spotřebovaný při nápravné údržbě

$P_{Km/opr.}$  Průměrný počet km na 1 opravu

$N_{1Km}$  Náklady na 1 km

$N_{1PRACN}$  Náklady na 1 pracovníka provádějícího nápravnou údržbu

$P_{PRACP}$  Počet pracovníků provádějících nápravnou údržbu

$MRT$  Mean Repair Time (Střední doba opravy)

Pozn.: Náklady způsobené vlivem prostojů a neschopností zařízení plnit požadované funkce, mohou pro provozovatele představovat finanční ztrátu nebo nutnost vynaložení dalších mimořádných nákladů. Tyto náklady je však velmi obtížné vyčíslit, mohou to být např. náklady na zpoždění vlaků, odstranění nehody apod. Další náklady, které je obtížné vyčíslit, mohou představovat náklady na ztrátu image nebo náklady spojené se ztrátou zákazníků, vlivem nespolehlivosti zařízení.

## 6. Analýza staničního zabezpečovacího zařízení

Cílem této části diplomové práce je všeobecné seznámení se staničním zabezpečovacím zařízením ESA. Níže jsou popsány jednotlivé typy tohoto zařízení, z hlediska postupného vývoje. V další části textu následuje seznámení s diagnostikou poruch a jednotlivými poruchami z hlediska skupiny náhradních dílů a poruchami z hlediska příčin, které se na SZZ ESA vyskytují.

Analýzou poruch SZZ ESA dle skupin náhradních dílů bylo zjištěno, že majoritní poruchy vykazují skříň technologických počítačů STP, napájení, PRV, PRR, vnitřní prvky a ZPC, přičemž průměrná procentuální hodnota počtu poruch za posledních 10 let je u skříně STP přibližně dvojnásobná oproti ostatním uvedeným kategoriím. Z tohoto důvodu jsem se rozhodl v diplomové práci zaměřit na tuto část SZZ. Minimalizací počtu poruch skříně STP lze dosáhnout nižších servisních nákladů. Úvahou nad zvýšením spolehlivosti skříně STP, resp. jednotky komparátoru se podrobně zabývá kapitola 9.

Největší podíl poruch ve skříně STP představují poruchy nakupovaného HW (tzn. HDD, základové desky apod.). Druhé místo zauímají chyby a poruchy SW. Na třetím místě jsou poruchy jednotek komparátorů technologických počítačů. Čtvrté místo zauímají poruchy větráků skříně STP, resp. větráků v jednotlivých komponentech skříně. Další místa zauímají ostatní druhy poruch, které se ve skříně STP vyskytují. Tato kategorie byla pro další účely práce nazvána jako ostatní. Jednotlivé druhy poruch z této kategorie jsou vyjmenovány na začátku kapitoly 7.

### 6.1 SZZ obecně

Staniční zabezpečovací zařízení ESA je elektronické stavědlo, vyvinuté a vyráběné společností AŽD Praha s. r. o. Jedná se o staniční zabezpečovací zařízení 3. kategorie<sup>7</sup>. Vývoj probíhá od poloviny 90. let. Stavědlo ESA 11 koncepčně vychází ze stavědel typu SZZ – ETS<sup>8</sup> s reléovou prováděcí částí a poloelektronického stavědla SZZ – ETB<sup>9</sup>. SZZ ESA zajišťuje stavění vlakové nebo posunové jízdní cesty ve stanicích s kolejovým rozvětvením nebo bez něj. Současně také zajišťuje bezpečnou jízdu vlaku nebo posunového dílu v obvodu stanice po celou dobu průjezdu. Jednotlivé typy stavědla ESA jsou následující:

#### 6.1.1 ESA 11

*„Staniční zabezpečovací zařízení ESA 11 slouží k zabezpečení a řízení provozu ve stanicích s kolejovým rozvětvením i bez něj. ESA 11 je elektronické stavědlo s analogovým rozhraním k venkovním prvkům zabezpečovacího zařízení. To znamená, že prakticky všechny logické funkce stavědla jsou vykonávány počítačovou částí. Elektronické a/nebo reléové spínače jsou použity jako spínače výkonového signálu k návěstním žárovkám, přestavníkům, kolejovým obvodům, pomocným stavědlům,*

<sup>7</sup> SZZ 3. kategorie: Zařízení, které má návěstidla závislá na poloze všech pojížděných a odvratných výhybek a výkolejek, provádí kontrolu volnosti jízdní cesty a kontroluje, zda není postavena žádná současně zakázaná jízdní cesta.

<sup>8</sup> SZZ – ETS: Staniční zabezpečovací zařízení ve spolehlivé variantě

<sup>9</sup> SZZ – ETB: Staniční zabezpečovací zařízení v bezpečné variantě

*elektromagnetickým zámkům a navazujícím reléovým zařízením.“ [22] SZZ ESA 11 dále existuje v modifikacích pro provoz metra, důlní dráhy nebo vlečky.*

#### **6.1.2 ESA 22**

SZZ ESA 22 byl vývojový mezičlánek mezi SZZ – ETB a SZZ ESA 11. Jednalo se o plně elektronické stavědlo. Prováděcí úroveň zařízení byla tvořena specializovanými panely bezkontaktního rozhraní, panelem hlavních návěstidel, panelem dodatečného kódování a dalšími panely. Toto řešení se však ukázalo pro další vývoj elektronických stavědel jako nevýhodné. ESA 22 byla v roce 2000 nasazena ve stanicích Moravský Písek a Rohatec, v současné době již však není v provozu.

#### **6.1.3 ESA 33**

*„Staniční zabezpečovací zařízení ESA 33 slouží k zabezpečení a řízení provozu ve stanicích s kolejovým rozvětvením i bez něj. ESA 33 je nástupcem SZZ - typu ESA 11 a jedná se již o plně elektronické stavědlo s bezkontaktním rozhraním k venkovním prvkům zabezpečovacího zařízení. Všechny řídicí, kontrolní a logické funkce stavědla jsou vykonávány počítači na základě požadavků dopravních pracovníků a stavu technologického celku. Elektronická bezkontaktní rozhraní jsou použita jako spínače výkonového signálu k návěstním žárovkám, přestavníkům, kolejovým obvodům, pomocným stavědlům, elektromagnetickým zámkům a navazujícím reléovým zařízením.“ [23]*

#### **6.1.4 ESA 44**

SZZ ESA 44 je plně elektronické stavědlo umožňující bezkontaktní ovládání převážné části vnitřních i vnějších prvků staničního zabezpečovacího zařízení. Stavědlo ESA 44 je tvořeno zadávací úrovní, řídicí úrovní, prováděcí úrovní a vnějšími prvky zabezpečovacího zařízení. Obsluha zařízení je prováděna prostřednictvím zadávací úrovně, která může být tvořena až několika zadávacími pracovišti s možností vzdáleného připojení. Řídicí úroveň stavědla ESA 44 je realizovaná technologickými počítači (TPC), které vykonávají logické funkce. Čtyři technologické počítače jsou spolu se servisními počítači umístěny ve skříni technologických počítačů (STP). Prováděcí úroveň zařízení je realizována pomocí panelů EIP. Vnější prvky jako jsou návěstidla, přestavníky atd. jsou ovládány pomocí panelu PMI-1.

### **6.2 Diagnostika poruchy**

*„Diagnostika je důležitým prostředkem pro zjišťování stavu zařízení. Pomocí diagnostiky dochází k rozboru příčin poruch, které se vyskytují během provozu. Vzniklé poruchy jsou zaznamenávány, tříděny a archivovány v databázích. Z rozboru jejich příčin vyplývají mnohá nesmírně cenná fakta a informace. Jedná se zejména o návrhy směřující ke změnám konstrukce dotyčného zařízení. To nastává v případě, že opakující se poruchy ukazují nedostatky v tomto směru. Diagnostika je pak nositelkou zlepšení zařízení vedoucích k eliminaci prvků a částí, které byly příčinou opakovaných poruch. V této oblasti může diagnostika ukázat i na nedostatky ve vlastní výrobě, poukáže-li na opakující se poruchy, které lze charakterizovat jako následek chybného výrobního procesu. Rozbor zde pak vyústí v doporučení následných změn v technologickém procesu výroby zařízení. Stejně tak se výsledků rozboru poruch využívá i ve smyslu úprav pracovního prostředí,*

v němž zařízení pracuje. To se děje tehdy, jestliže opakované poruchy signalizují přetěžování zařízení ze strany parametrů provozního prostředí. Instrukce diagnostiky pak vedou ke krokům odstraňujícím tento zátěžový faktor.“ [12] Důvodem zavedení diagnostiky do složitých elektronických zařízení byla skutečnost, že až 90 % času obnovy provozuschopnosti je vynakládáno na lokalizaci poruchy a pouze 10 % stačí na vlastní opravu.

### 6.2.1 Poruchy zařízení

„Problematice spolehlivosti zařízení je ve společnosti AŽD Praha s. r. o. věnována zvýšená pozornost. Program spolehlivosti AŽD je založen na predikci spolehlivosti nově vyvíjených zařízení a na sledování a vyhodnocování spolehlivostních parametrů z provozu. Poruchovost vyráběných zařízení je vyhodnocována na základě provozních údajů v pravidelných pololetních intervalech. Účelem uvedených analýz je kromě informační hodnoty i zpětná vazba na řešitele jednotlivých zařízení a z ní plynoucí podněty k odstraňování příčin poruch ve vývoji, výrobě i provozu. Tímto se firma snaží snižovat náklady na životní cyklus vyráběných zařízení a zlepšovat jejich konkurenceschopnost. Vyhodnocení poruchovosti vychází z analýzy protokolů o vadách, které jsou vystavovány pracovníky jednotlivých divizí servisu, popř. záznamů od provozovatele. Protokoly o odstranění vad, které jsou podkladem k vyhodnocení poruchovosti a sledují poruchovost dle kategorií stanovených divizí servisu (dle typu zařízení, příčiny poruchy, způsobu odstranění poruchy, skupin náhradních dílů, použitého SW, míry omezení provozu, záruky, jednotlivých instalací, vyměněných součástí atd.). Dle těchto kategorií je prováděna i jejich analýza.“ [18]

Tabulka 1: Poruchy SZZ z hlediska příčin

Atmosférický vliv
Chyby komunikace
Chyby HW
Chyby obsluhy
Chyby programového vybavení
Chyby údržby
Mechanické chyby
Montážní chyby
Opotřebení
Projektové chyby
Servisní činnost
Systémové chyby návrhu
Úmyslné poškození
Výrobní chyby
Ostatní

Zdroj: AŽD Praha s. r. o.



V tabulkách 1 a 2 jsou skupiny sledovaných poruch rozděleny z hlediska příčin poruchy a podle skupin náhradních dílů u SZZ ESA všeobecně. Sledované skupiny náhradních dílů se pro různé typy SZZ ESA v některých kategoriích liší.

Tabulka 2: Poruchy SZZ z hlediska skupiny náhradních dílů

BZKS
CJM
EIP
KSZZ
Napájení
Ovládací prvky
PNR
PRR
PRV
Přepěťové ochrany
Skříň STP
Vnější prvky
Vnitřní prvky
Výhybkový program
Zobrazovací prvky
ZPC
Ostatní

Zdroj: AŽD Praha s. r. o.

Pozn.: Vysvětlení jednotlivých zkratk viz seznam použitých zkratk.

### 6.3 Skříň technologických počítačů

Následující popis skříně technologických počítačů STP, je proveden dle interních materiálů společnosti AŽD Praha s. r. o. Jedná se o dokument s označením T 80 190: Technický popis – Skříň technologických počítačů STP 05.

Skříň STP je součástí počítačového ovládacího staničního zabezpečovacího zařízení ESA 11, ESA 33 a ESA 44. Pomocí skříně STP je realizována řídicí počítačová část SZZ ESA. Skříň je vybavena příslušným hardwarem a softwarem. Softwarové vybavení skříně tvoří systémy ETS PharLap<sup>10</sup> a WINDOWS XP. Blokové schéma skříně STP je uvedeno na obrázku 11.

Ovládací SZZ ESA je prováděno ze zadávací úrovně SZZ, kterou tvoří zadávací počítače ZPC. Zadávací počítače ZPC jsou propojeny s technologickými počítači TPC skříně STP.

<sup>10</sup> ETS PharLap – operační systém reálného času pro vestavné systémy



Obrázek 9: Skříň STP, pohled zepředu. Zdroj: Autor

Technologické počítače TPC pracují jako systém se složenou bezpečností zálohou v uspořádání 2 ze 2. Jsou propojeny s výkonnou úrovní zařízení ESA. Z výkonné úrovně přijímají informace z navazujících technologií a posílají do ní povely.

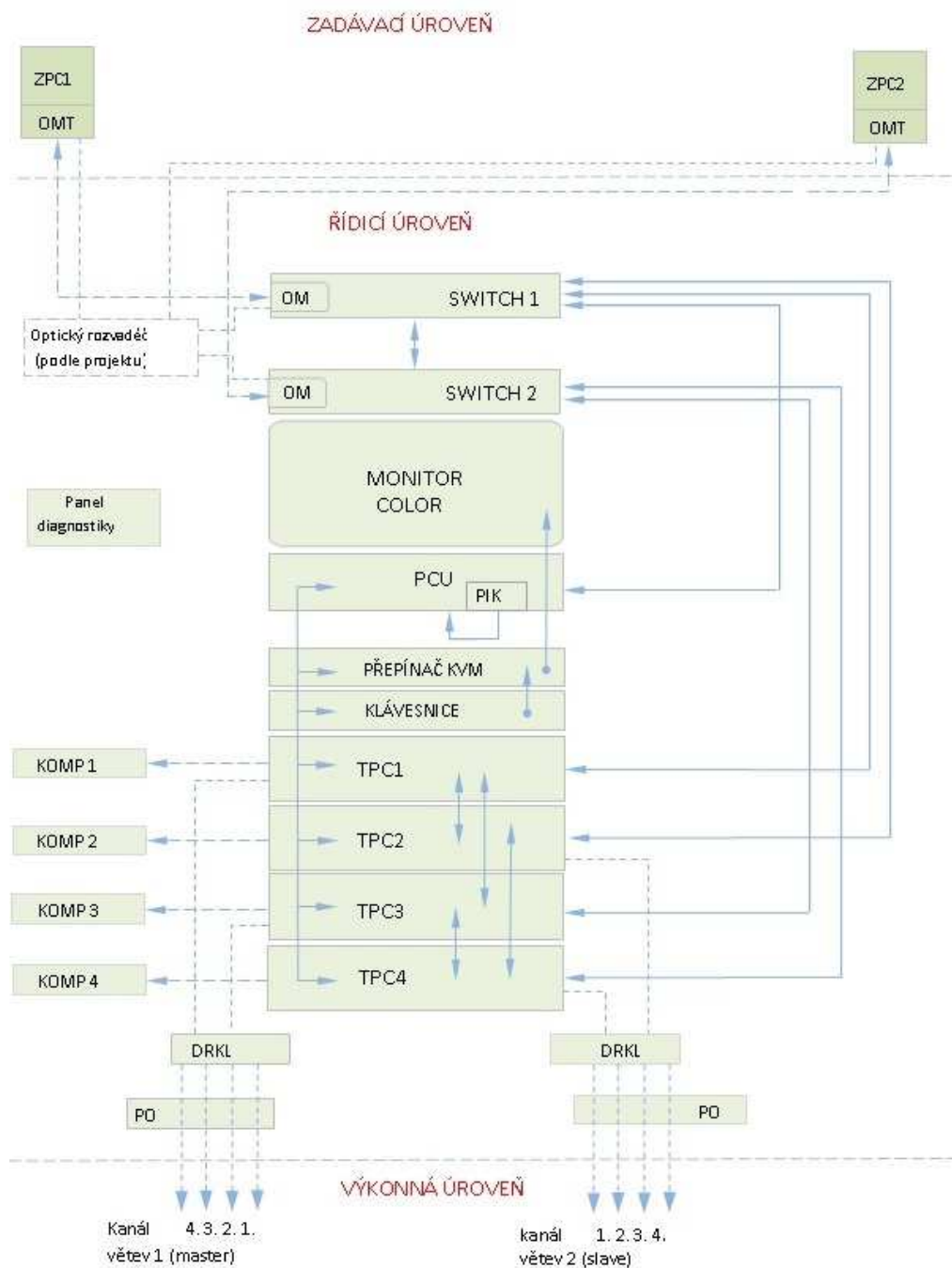
Výkonná úroveň je tvořena příslušnými typy Panelů prováděcích počítačů elektronických (PPE), které vytvářejí rozhraní mezi řídicí úrovní SZZ na jedné straně a reléovou úrovní SZZ, případně navazujícími zařízeními či venkovními prvky na straně druhé. Výkonná úroveň je opět systém se složenou bezpečností v uspořádání 2 ze 2, tomu odpovídá i propojení řídicí a výkonné úrovně.



Obrázek 10: Skříň STP, pohled zezadu. Zdroj: Autor

Skříň STP obsahuje čtyři technologické počítače – TPC1 až TPC4 a počítač údržbáře PCU. Vždy jedna dvojice počítačů (TPC1 – TPC2 nebo TPC3 – TPC4) pracuje v aktivním režimu a zbývající dvojice pracuje jako záloha. Počítače jsou zapojeny do tří fyzicky oddělených datových sítí nazývaných T-LAN, Z-LAN a PENET. Počítače v síti Z-LAN jsou propojeny pomocí dvou SWITCH (1 a 2). Moduly DRKL sloužící k fyzickému rozdělení komunikačních linek sítě PENET, která propojuje skříň STP s výkonnou úrovní SZZ. Komunikační linky sítě PENET jsou chráněny pomocí modulů přepětových ochran.

Počítač PCU, který má funkce počítače zadávací úrovně SZZ, slouží pracovníkům údržby a servisu. Obsahuje čtečku identifikační karty PIK.



Obrázek 11: Blokové schéma skříně STP. Zdroj: AŽD Praha s. r. o.

Klávesnici s polohovacím zařízením a barevný monitor je možné připojovat pomocí přepínače KVM k libovolnému počítači TPC1 až TPC4 a zadávacímu počítači pro údržbu PCU

Skříň obsahuje optický rozvaděč, přes který je skříň připojena optickým kabelem se zadávací úrovní SSZ.

### 6.3.1 Funkce skříně technologických počítačů

Skříň STP obsahuje dvě dvojice technologických počítačů TPC. Jedna dvojice TPC je aktivní, druhá dvojice je záložní – pro případ poruchy aktivní dvojice TPC. Záložní



dvojice TPC může pracovat v režimu tzv. „studené“ nebo „horké“ zálohy. Podstatným znakem funkce technologických počítačů TPC skříně STP je jejich práce v systému se složenou bezpečností v uspořádání 2 ze 2. TPC ve dvojici tvoří bezpečnostní jádro stavědla. Počítače ve dvojici mají odlišné programové vybavení.

V režimu „horká záloha“ zpracovává aktivní i záložní (pasivní) dvojice TPC stejné úkoly. Záložní (pasivní) dvojice pouze nezpracovává obslužné úkony od zadávací úrovně a nevysílá data (povely) do výkonné úrovně. Záložní (pasivní) dvojice počítačů přebírá v případě výpadku aktivní dvojice její funkci.

### 6.3.2 Jednotka komparátoru

K jednotlivým počítačům TPC jsou připojeny komparátory KOMP, které slouží ke zjištění chybně pracující dvojice TPC. Detailní foto jedné ze čtyř jednotek komparátoru je uvedeno níže na obrázku 12.



Obrázek 12: Jednotka komparátoru skříně KOMP. Zdroj: Autor

Jednotky komparátoru KOMP technologických počítačů TPC1 – TPC4 slouží k odepnutí chybně pracujících dvojice TPC. Každý správně pracující počítač vysílá do komparátoru kontrolní signály. Podmínkou vysílání těchto signálů z počítače je i správná funkce druhého počítače ve dvojici (zjišťuje se v síti LAN). Hardwarový komparátor vyhodnocuje kontrolní signály. Pokud komparátor zjistí nesoulad s nastaveným vzorem, zajistí odpojení příslušného počítače od síťového napájení (prostřednictvím odpojovacích relé umístěných mimo skříň STP). Následně je odpojen od napájení i druhý z dvojice technologických počítačů.

### **6.3.3 Napájení skříně technologických počítačů**

Napájení skříně STP je zajištěno z dlouhodobé zálohy napájení SZZ (AC 230 V  $\pm$  10 %, 50 Hz). Ve skříně napájení SZZ jsou vytvořeny přípojky z rozvodu zajištěné sítě pro napájení skříně STP. Skříň STP je napájena napětím AC 230 V / 50 Hz a DC 24 V. Napájení napětím 230 V / 50 Hz je zajištěno ze tří samostatných přívodů.

Stejnoseměrné napětí 24 V zajišťuje napájení komparátorů, indikačních prvků skříně a odepínacích obvodů umístěných mimo skříň. Přívod stejnosměrného napětí 24 V je ve skříně rozdělen na tři samostatně jištěné obvody.

## 7. Stanovení servisních nákladů

V této části diplomové práce je proveden výpočet servisních nákladů skříně STP. Cílem výpočtu servisních nákladů není vyčíslení nákladů konkrétního SZZ, ale vytvoření metodiky výpočtu pro zařízení tohoto typu. V následujících kapitolách jsou vyčísleny tyto servisní náklady:

- náklady na preventivní údržbu,
- náklady na nápravnou údržbu:
  - průměrné náklady jedné opravy HW,
  - průměrné náklady jedné opravy komparátoru,
  - průměrné náklady jedné opravy ventilátorů,
  - průměrné náklady jedné opravy SW,
  - průměrné náklady jedné opravy (ostatní).

Kategorie poruch nazvaná ostatní zahrnuje nápravu poruch způsobených atmosférickými vlivy, výrobními chybami, chybami obsluhy, projekčními vadami, přípravnými pracemi pro servis a ostatními druhy poruch a chyb, které se ve skříně STP vyskytují.

### 7.1 Podklady k výpočtu

V tabulce 3 jsou uvedeny základní údaje potřebné pro další výpočty. Hodnoty servisních nákladů na materiál potřebných pro jednotlivé druhy oprav jsou hypotetické a od skutečných servisních nákladů na materiál se mohou lišit.

Tabulka 3: Základní údaje potřebné pro výpočet

Doba životnosti zařízení	20 let
Průměrný počet km/ 1 oprava <sup>11</sup>	50 km
Mzdové náklady na 1 pracovníka/ 1 hodinu	500,- Kč
Náklady na 1km (cca)	6,- Kč
Počet pracovníků provádějících nápravnou údržbu	1
Počet pracovníků provádějících pravidelnou údržbu	2
Doba opakování preventivní údržby	5 let
Průměrná doba preventivní údržby	8 hod.
Náklady na materiál při 1 opravě HW	10 000,-Kč
Náklady na materiál při 1 opravě komparátoru	10 000,-Kč
Náklady na materiál při 1 opravě větráků	3 000,-Kč
Náklady na materiál při 1 opravě SW	0,-Kč
Náklady na materiál při 1 opravě (ostatní)	5 000,-Kč

Zdroj: Autor

<sup>11</sup> Hodnota stanovena na základě zkušeností z velkého počtu oprav

Stejným způsobem byly upraveny počty poruch, které se ve skříni STP vyskytují. Po dosažení skutečných nákladů a počtů poruch do vzorců pro výpočet budou výsledné hodnoty odpovídat reálně vynaloženým nákladům.

V tabulce 4 jsou uvedeny deklarované počty fungujících instalací SZZ ESA v letech 2008 – 2013.

Tabulka 4: Počty instalací SZZ deklarované v letech 2008 – 2013

Zařízení	2008	2009	2010	2011	2012	2013
ESA11	135	188	208	208	213	231
ESA33	19	48	70	70	81	87
ESA44	0	0	0	0	1	6
<b>Celkem</b>	<b>154</b>	<b>236</b>	<b>278</b>	<b>278</b>	<b>294</b>	<b>318</b>

Zdroj: AŽD Praha s. r. o.

## 7.2 Poruchy ve skříni STP

V tabulce 5 jsou uvedeny jednotlivé typy a počty poruch, které se dle servisních záznamů vyskytly v letech 2008 – 2013 ve skříni STP. Počty jednotlivých druhů poruch se od skutečných hodnot liší a pro účely této práce byly upraveny. Poruchy byly pro další výpočty rozděleny do níže uvedených kategorií. Typy poruch, které zahrnuje kategorie ostatní, jsou uvedeny na začátku kapitoly 7.

Tabulka 5: Poruchy ve skříni STP

Rok	Poruchy HW	Poruchy kompar.	Poruchy větráků	Poruchy SW	Ostatní	Celkem za rok
2008	48	28	16	24	192	308
2009	76	26	16	47	310	475
2010	91	18	14	29	163	315
2011	97	33	15	49	82	276
2012	83	24	20	19	72	218
2013	82	42	9	64	74	271
<b>Poruch celkem</b>	<b>477</b>	<b>171</b>	<b>90</b>	<b>232</b>	<b>893</b>	<b>1863</b>
<b>Průměrný počet poruch</b>	<b>80</b>	<b>29</b>	<b>15</b>	<b>39</b>	<b>149</b>	<b>311</b>
<b>% z celkového počtu poruch</b>	<b>25,60</b>	<b>9,18</b>	<b>4,83</b>	<b>12,45</b>	<b>47,93</b>	<b>100,00</b>

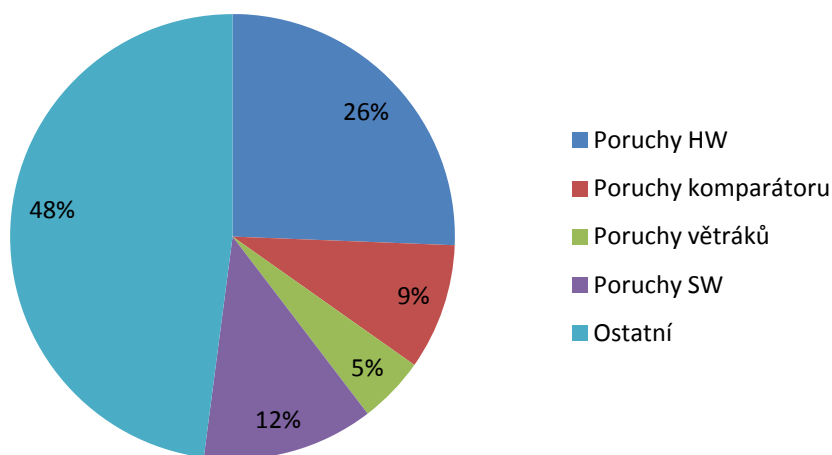
Zdroj: AŽD Praha s. r. o.

Z tabulky 5 a grafu 1 je patrné, že největší podíl poruch ve skříni STP způsobují poruchy z kategorie ostatní. Následují poruchy HW, třetí jsou chyby SW, čtvrté jsou poruchy komparátoru a poslední poruchy větráků. Ve 48 % poruch kategorie ostatní se



jednotlivé typy poruch patřící do této kategorie vyskytují s nízkou četností v jednotlivých letech.

Graf 1: Poruchy ve skříni STP



Zdroj: Autor

V tabulce 6 jsou jednotlivé typy poruch přepočítány na jedno zařízení dle deklarovaného počtu funkčních instalací. Z výpočtu je patrné, kolik poruch se průměrně vyskytne na jedné skříni STP za rok.

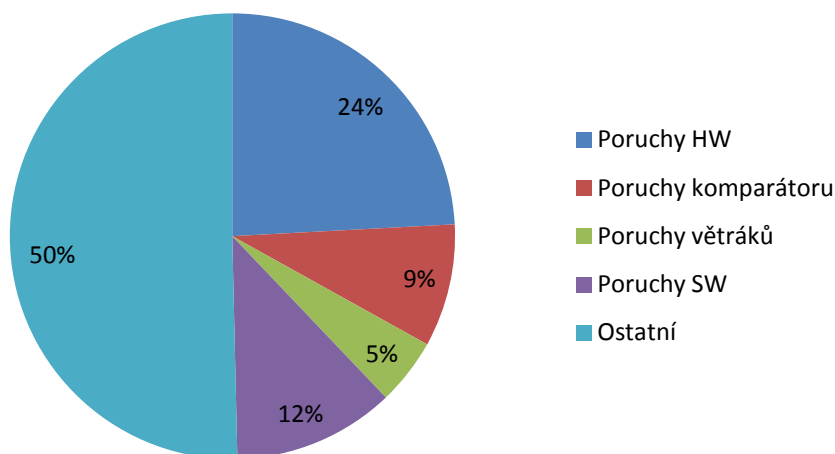
Tabulka 6: Poruchy ve skříni STP přepočítané na jedno zařízení

Rok	Poruchy HW	Poruchy kompar.	Poruchy větráků	Poruchy SW	Ostatní	Celkem za rok
2008	0,26	0,15	0,09	0,13	1,02	1,64
2009	0,28	0,10	0,06	0,17	1,15	1,76
2010	0,29	0,06	0,04	0,09	0,52	1,01
2011	0,31	0,11	0,05	0,16	0,26	0,88
2012	0,25	0,07	0,06	0,06	0,22	0,66
2013	0,23	0,12	0,03	0,18	0,21	0,76
<b>Poruch celkem</b>	<b>1,62</b>	<b>0,60</b>	<b>0,32</b>	<b>0,79</b>	<b>3,38</b>	<b>6,71</b>
<b>Průměrný počet poruch</b>	<b>0,27</b>	<b>0,10</b>	<b>0,05</b>	<b>0,13</b>	<b>0,56</b>	<b>1,12</b>
<b>% z celkového počtu poruch</b>	<b>24,15</b>	<b>8,92</b>	<b>4,82</b>	<b>11,75</b>	<b>50,37</b>	<b>100,00</b>

Zdroj: Autor

Z tabulky 6 a grafu 2 je patrné, že při přepočítání na jedno zařízení opět tvoří největší podíl poruch ve skříni STP poruchy z kategorie ostatní. Stejně tak následují poruchy HW, chyby SW, poruchy komparátoru a poruchy větráků.

Graf 2: Poruchy ve skříni STP přepočítané na jedno zařízení



Zdroj: Autor

### 7.3 Doba obnovy po poruchách

V tabulce 7 jsou uvedeny střední doby opravy MRT (Mean Repair Time) po poruchách skříně STP. Tyto hodnoty se liší od hodnot střední doby do obnovy MTTR (Mean Time to Repair), které jsou delší a představují celkovou dobu potřebnou pro obnovu funkce zařízení, tj. včetně logistického a dopravního zpoždění. Hodnota MRT představuje pouze samotnou dobu opravy dané poruchy.

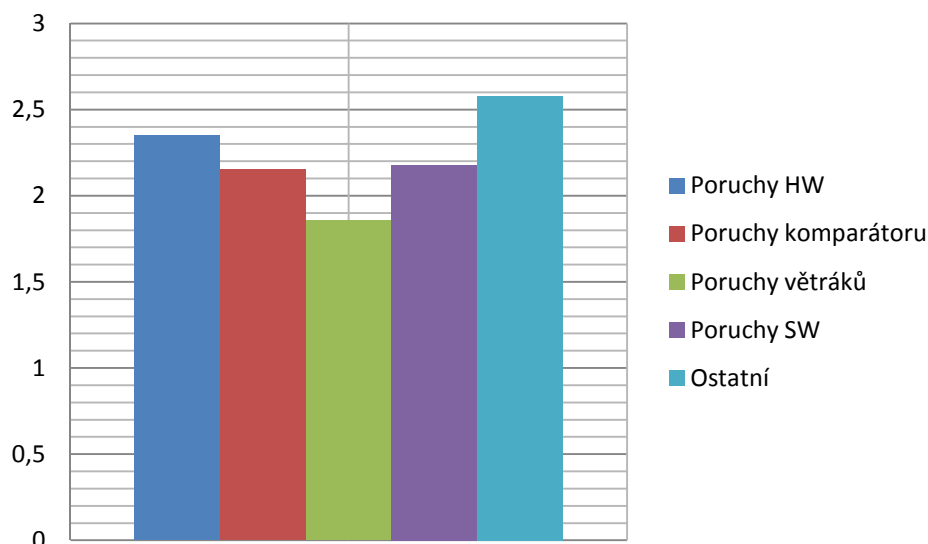
Tabulka 7: Střední doby opravy MRT po poruchách [h]

Rok	Poruchy HW	Poruchy kompar.	Poruchy větráků	Poruchy SW	Ostatní
2008	2,03	1,95	1,68	2,75	1,41
2009	2,66	1,93	1,44	1,85	2,83
2010	2,08	2,47	1,49	1,53	1,37
2011	2,70	2,26	1,44	2,37	2,53
2012	2,30	2,20	3,03	1,66	3,44
2013	2,32	2,11	2,06	2,91	3,90
<b>Doby obnovy celkem</b>	<b>14,09</b>	<b>12,92</b>	<b>11,14</b>	<b>13,07</b>	<b>15,48</b>
<b>Průměrná doba obnovy</b>	<b>2,35</b>	<b>2,15</b>	<b>1,86</b>	<b>2,18</b>	<b>2,58</b>

Zdroj: Autor

Z tabulky 7 a grafu 3 je patrné, že nejkratší dobu obnovy vyžaduje oprava větráků. S téměř shodným průměrným časem následují doby obnovy po poruchách komparátoru a chybách SW. Čtvrté následují doby obnovy po poruchách HW a nejdelší čas obnovy vykazuje kategorie ostatních poruch.

Graf 3: Střední doba opravy MRT po poruchách [h]



Zdroj: Autor

## 7.4 Náklady na údržbu

Ve výpočtu nákladů na údržbu je uvažováno s rozdělením nákladů na preventivní údržbu a nákladů na nápravnou údržbu po poruchách.

### 7.4.1 Náklady na preventivní údržbu

Náklady na preventivní údržbu jsou vynakládány každých 5 let provozu zařízení. Preventivní údržbu provádí obvykle 2 pracovníci. Doba preventivní údržby uvažujeme 8 hodin. Mzdové náklady 500,- Kč/hod. na jednoho pracovníka. Náklady na materiál nejsou v tomto výpočtu zohledněny.

Náklady na preventivní údržbu  $N_{PREVU}$ :

$$N_{PREVU} = N_{MATP} + N_{PRACP} \quad (\text{viz } 17)$$

$$N_{PREVU} = N_{MATP} + (P_{Km/opr.} \cdot N_{1Km}) + (N_{1PRACP} \cdot P_{PRACP} \cdot MRT) \quad (\text{viz } 18)$$

$$N_{PREVU} = 0 + (50 \cdot 6) + (500 \cdot 2 \cdot 8) = 8\,300, -Kč$$

### 7.4.2 Náklady na nápravnou údržbu

Výpočty náklady na nápravnou údržbu  $N_{NAPRU}$  jsou provedeny dle vztahu 19 resp. 20. Ve výpočtu je uvažováno s průměrným počtem 50 km/ 1 opravu, mzdovými náklady na 500,- Kč na 1 pracovníka/ 1 hodinu, náklady 6,- Kč na 1 km a náklady na materiál pro příslušnou kategorii poruch, viz tabulku 3. Doby obnovy pro stanovení

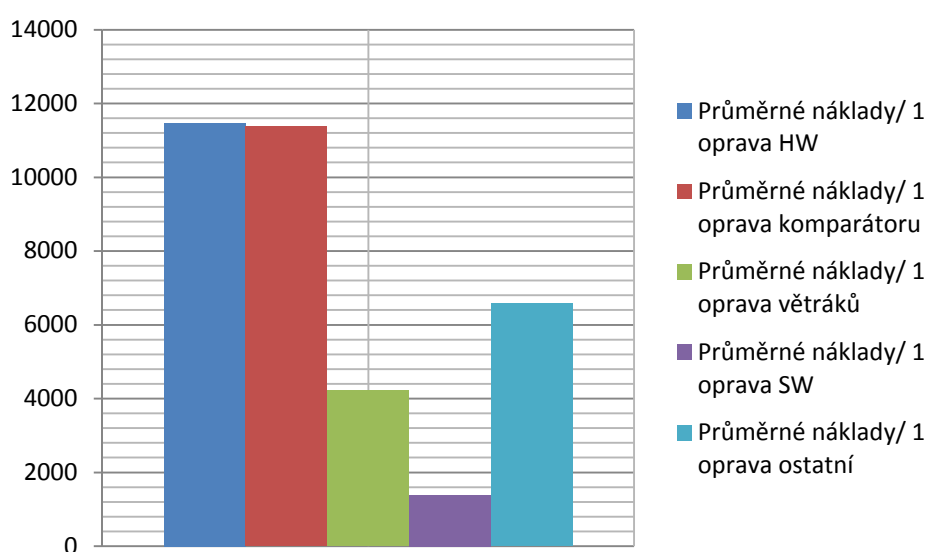
nákladů na nápravnou údržbu vychází z tabulky 7. Vypočítané náklady na jednu nápravnou údržbu  $N_{NAPRU}$  dle typu poruchy jsou uvedeny v tabulce 8 a grafu 4. Příklad výpočtu nákladů na nápravnou údržbu  $N_{NAPRU}$  poruch HW viz přílohu 2, příklad 1.

Tabulka 8: Průměrné náklady na jednu opravu

	Poruchy HW [Kč]	Poruchy komp. [Kč]	Poruchy větráků [Kč]	Poruchy SW [Kč]	Ostatní [Kč]
Průměr/ 1 oprava	11 474	11 377	4 228	1 389	6 590

Zdroj: Autor

Graf 4: Průměrné náklady na jednu opravu



Zdroj: Autor

Z tabulky 8 a grafu 4 je patrné, že nejvyšší servisní náklady na jednu opravu představují náklady na poruchy HW. Téměř stejnou částku je nutné vynaložit na jednu opravu poruchy komparátoru. Náklady na materiál v těchto kategoriích jsou stanoveny na 10 000,- Kč, viz tabulku 3. Následují poruchy kategorie ostatní, ve kterých je uvažováno s náklady 5 000,- Kč na materiál v porovnání s předešlými kategoriemi. Čtvrté jsou poruchy větráků s náklady 3 000,- Kč potřebnými na materiál a poslední jsou náklady na opravu chyb SW, kde je uvažováno s 0,- Kč náklady na materiál.

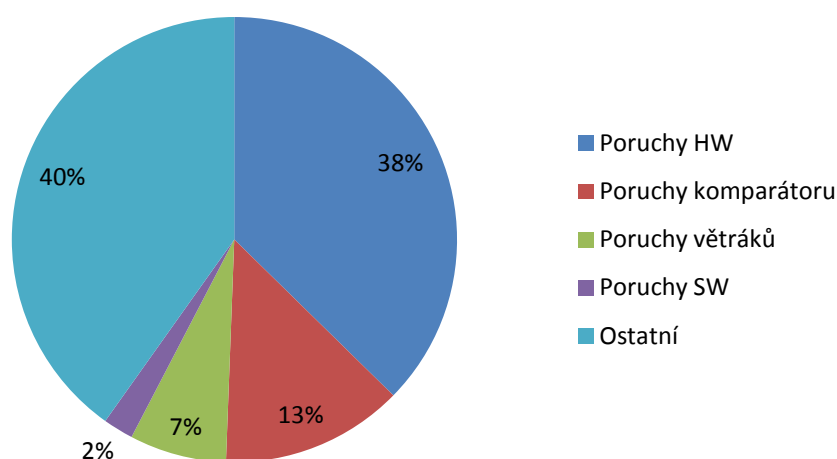
Celkové náklady na nápravnou údržbu  $N_{NAPRU}$  jsou uvedeny v tabulce 9 a grafu 6. Výpočty vychází z nákladů na jednu opravu uvedených v tabulce 8 a počtů poruch v jednotlivých letech uvedených v tabulce 5. Průměrné náklady na jednu opravu jsou vynásobeny počtem poruch dané kategorie v příslušném roce.

Tabulka 9: Náklady na nápravnou údržbu  $N_{NAPRU}$

Rok	Poruchy HW [Kč]	Poruchy kompar. [Kč]	Poruchy větráků	Poruchy SW [Kč]	Ostatní [Kč]	Náklady na poruchy za rok [Kč]
2008	550 760	318 546	183 586	33 340	1 265 211	2 351 444
2009	872 036	295 793	183 586	65 290	2 042 789	3 459 496
2010	1 044 149	204 780	160 638	40 285	1 074 111	2 523 965
2011	1 112 994	375 430	172 112	68 069	540 350	2 268 956
2012	952 355	273 040	229 483	26 394	474 454	1 955 727
2013	940 881	477 820	103 267	88 906	487 633	2 098 509
<b>Celkem</b>	<b>5 473 177</b>	<b>1 945 410</b>	<b>1 032 675</b>	<b>322 286</b>	<b>5 884 551</b>	<b>14 658 100</b>
<b>Průměr</b>	<b>912 196</b>	<b>324 235</b>	<b>172 112</b>	<b>53 714</b>	<b>980 758</b>	<b>2 443 016</b>

Zdroj: Autor

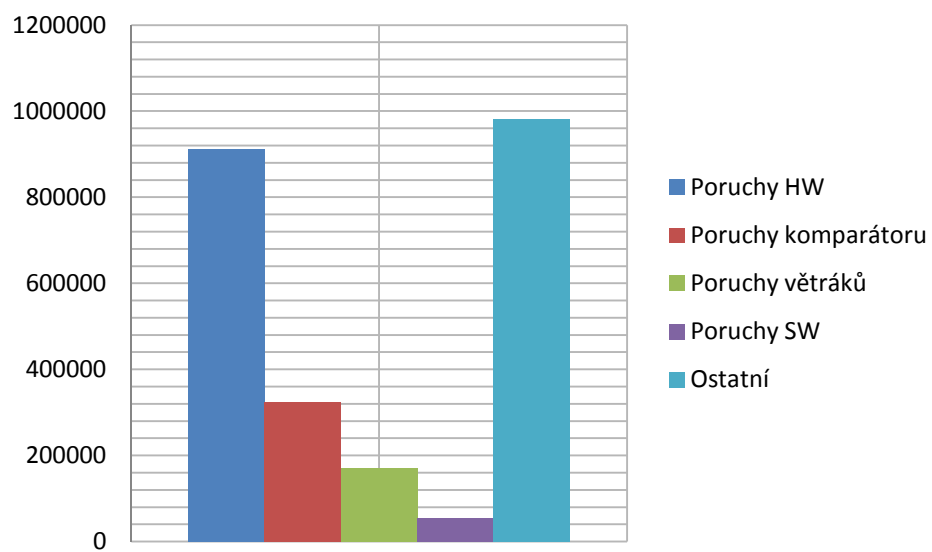
Graf 5: Podíl průměrných nákladů na nápravnou údržbu  $N_{NAPRU}$



Zdroj: Autor

Z tabulky 9, grafu 5 a 6 je patrné, že nejvyšší průměrné servisní náklady na opravy představují náklady poruch z kategorie ostatní. Těsně je následují průměrné servisní náklady vynaložené na poruchy HW. Zhruba třetinové jsou průměrné servisní náklady, které je nutné vynaložit na opravy poruch komparátoru. Následují průměrné servisní náklady vynaložené na opravy poruch větráků a nejnižší jsou průměrné servisní náklady vynaložené na opravu chyb SW.

Graf 6: Průměrné náklady na opravy v letech 2008 – 2013



Zdroj: Autor

## 8. Predikce spolehlivosti

V této části diplomové práce je provedena predikce spolehlivosti jednotky komparátoru KOMP blíže popsané v kapitole 6.3.2. Predikce je provedena dle metodiky IEC TR 62380. Tato metodika byla vybrána, protože její výsledky, dle našich zkušeností nejvíce odpovídají skutečnosti. Dle této metodiky je v současné době v AŽD Praha s. r. o. prováděna predikce spolehlivosti nových zařízení.

Ostatní metodiky predikce spolehlivosti, jako jsou např. databáze NPRD – 95 nebo databáze EPRD – 97, které jsou celosvětově velmi rozšířené, neumožňují takovou míru zohlednění ovlivňujících faktorů. Databáze obsahují údaje o intenzitách poruch velkého množství elektrických, elektromechanických a mechanických prvků (NPRD – 95) a údaje o intenzitách poruch elektronických prvků (EPRD – 97).

V současné době je nejrozšířenější metodou predikce spolehlivosti využití vojenské metodiky MIL – HDBK – 217F. Tato metodika však není od roku 1995 dále aktualizována a postupem času se stává zastaralou.

Nejnovější metodiky jako např. FIDES, poskytují k predikci odlišné přístupy, které mají odstranit nedostatky MIL – HDBK – 217F. Limitující faktory použití těchto metodik mohou být vysoké pořizovací náklady potřebného software a nedostatečné prověření v praxi z důvodu krátké doby jejich používání.

### 8.1 Predikce spolehlivosti komparátoru dle IEC TR 62380

Predikce spolehlivosti komparátoru byla provedena pomocí specializovaného softwaru Windchill Quality Solutions. V tabulkách 10 a 11 jsou uvedeny vstupní hodnoty nutné pro výpočet. Výsledné hodnoty intenzit poruch a pro jednotlivé typy součástí jsou uvedeny v tabulkách 12 – 21.

Predikce byla provedena pro dva pracovní profily používané v AŽD Praha s. r. o. pro predikce dle IEC TR 62380. Prvním je pracovní profil “Stanice s klimatizací – skříň bez nucené ventilace“. V těchto podmínkách standardně skříň STP pracuje. Jedná se o klimatizovanou místnost stavědlové ústředny. V tabulkách s výsledky predikce je tento profil značen jako P1.

Tabulka 10: Vstupní hodnoty profil P1

Teplota vzduchu	22 °C
Teplota zařízení	40 °C
Jmenovité zatížení součástí	50 %
Počet cyklů za rok	365

Zdroj: Autor

Pro porovnání, jak se změní hodnoty intenzity poruch, byl proveden výpočet také pro druhý pracovní profil “Domek u trati – skříň bez nucené ventilace“. V tomto případě

jsou podmínky pro činnost jakéhokoliv zařízení méně příznivé (otřesy, výkyvy teplot). V tabulkách s výsledky predikce je tento profil značen jako P2.

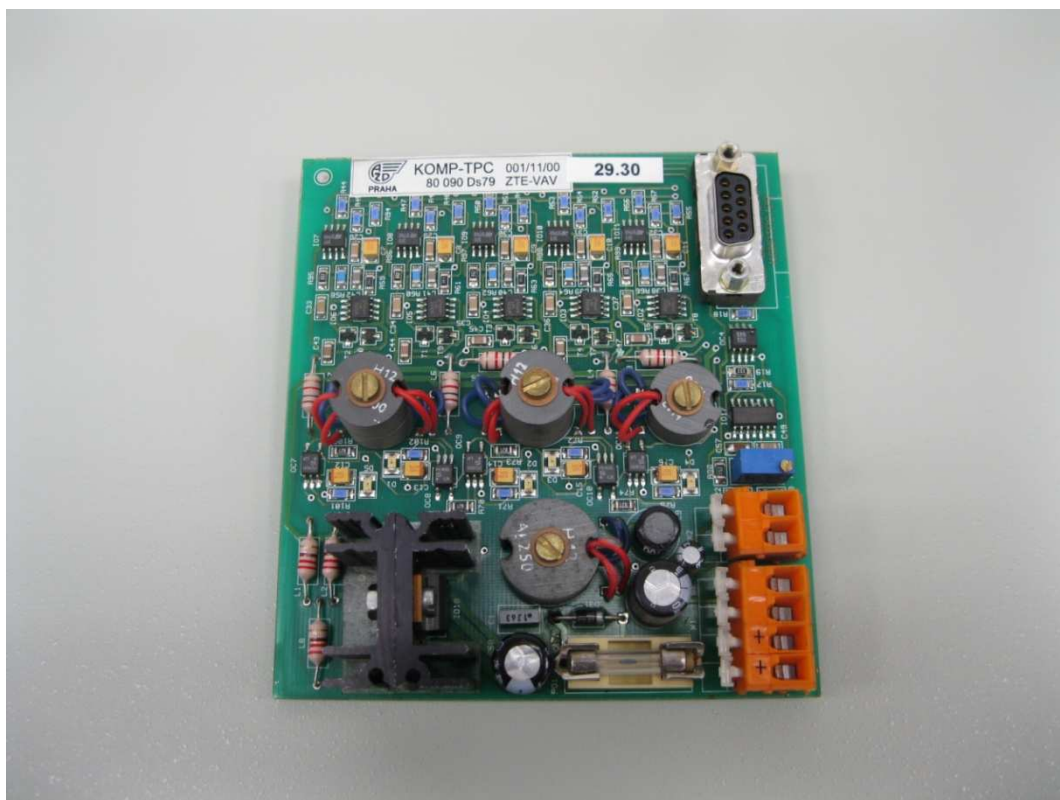
Tabulka 11: Vstupní hodnoty profil P2

Teplota vzduchu	30 °C
Teplota zařízení	45 °C
Jmenovité zatížení součástek	50 %
Počet cyklů za rok	365

Zdroj: Autor

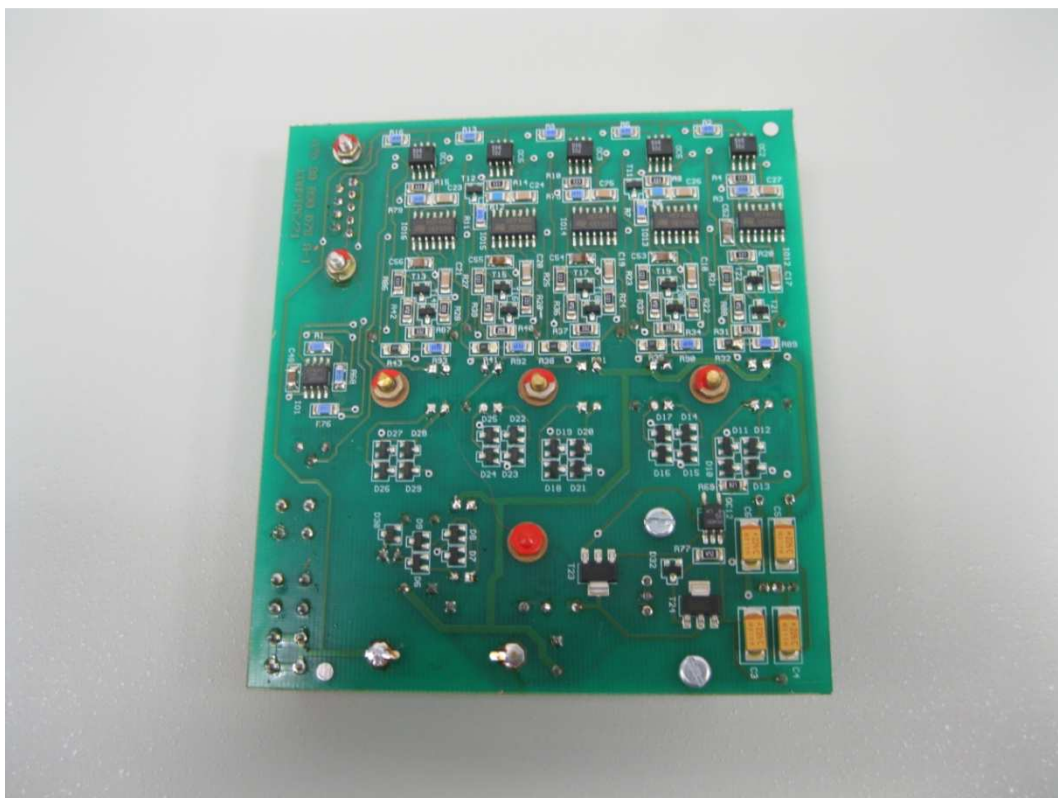
Predikce spolehlivosti je rozdělena dle typu jednotlivých součástek. Poruchovost jednotlivých součástek je závislá na celé řadě faktorů. Metodika IEC TR 62380 uvádí pro každou skupinu hodnotu základní hodnotu intezity poruch. Obvykle je to hodnota, která bere vnitřní teplotu jako referenční. Je známo, že teplota má na spolehlivost některých prvků významný vliv. Tato hodnota je poté násobena počtem ovlivňujících faktorů. Tento zjednodušený empirický výraz zohledňuje více významných faktorů ovlivňujících podmínky použití. Hlavními ovlivňujícími faktory jsou:

- a) vliv teploty (faktor  $\pi_t$ ,  $\pi_w$ ),
- b) vliv zvláštních napětí (faktor  $\pi_u$  pro tyristory a Zenerovy diody,  $\pi_A$  pro elektrolytické kondenzátory,  $\pi_Y$  pro relé a  $\pi_i$  pro konektory,
- c) vliv napětí mezi vstupem a výstupem tranzistorů a optočlenů (faktor  $\pi_s$ ).



Obrázek 13: Výsledná deska jednotky komparátoru, strana A. Zdroj: Autor





Obrázek 14: Výsledná deska jednotky komparátoru, strana B. Zdroj: Autor

Na obrázku 13 a 14 je zobrazena výsledná deska jednotky komparátoru. Jedná se o oboustranný plošný spoj. Deska je osazena jak klasickými součástkami, tak součástkami typu SMD (surface mount device – povrchová montáž zařízení).

Pozn.: Intenzita poruch  $\lambda = 1 \cdot 10^{-9} \text{ h}^{-1}$  se při vyjadřování bezporuchovosti elektronických komponentů běžně označuje jako 1 FIT (Failures in Time). Jeden FIT tedy představuje jednu poruchu na  $10^9$  hodin.

### 8.1.1 Intenzita poruch rezistorů

Matematický model pro výpočet intenzity poruch rezistorů:

$$\lambda = 0,1 \cdot \left( \left[ \frac{\sum_{i=1}^y (\pi_t)_i \cdot \tau_i}{\tau_{on} + \tau_{off}} \right] + 1,4 \cdot 10^{-3} \cdot \left[ \sum_{i=1}^j (\pi_n)_i \cdot (\Delta T_i)^{0,68} \right] \cdot 10^{-9} / \text{h} \right) \quad (21)$$

Kde:

- $(\pi_t)_i$  Teplotní faktor (teplota na povrchu)
- $\tau_i$  Pracovní doba (počet cyklů)
- $\tau_{on}$  Doba zapnuto (v provozu)
- $\tau_{off}$  Doba vypnuto (ve stavu nečinnosti)
- $(\pi_n)_i$  Faktor výkyvů teploty
- $(\Delta T_i)$  Teplotní rozdíl

Tabulka 12: Intenzity poruch rezistorů jednotky komparátoru

Typ	Hodnota	Počet	$\lambda$ P1 [FIT]	$\lambda$ P2 [FIT]
Rezistor SMD 1206 RC01	100K	1	0,027	0,038
Rezistor SMD 1206 RC01	6K8	17	0,027	0,038
Rezistor SMD 1206 RC01	22K	7	0,027	0,038
Rezistor SMD 1206 RC01	33K	16	0,027	0,038
Rezistor SMD 1206 RC01	68R	1	0,027	0,038
Rezistor SMD 1206 RC01	1K5	1	0,027	0,038
Rezistor SMD 1206 RC01	3K3	10	0,027	0,038
Rezistor SMD 1206 RC01	220K	5	0,027	0,038
Rezistor SMD 1206 RC02H	4K7	6	0,027	0,038
Rezistor SMD 1206 RC01	10K	15	0,027	0,038
Rezistor SMD 1206 RC01	39K	5	0,027	0,038
Rezistor SMD 1206 RC01	820E	5	0,027	0,038
Rezistor SMD 1206 RC01	5K6	5	0,027	0,038
Rezistor SMD 1206 RC01	1K	1	0,027	0,038
Rezistor SMD 1206 RC01	8K2	1	0,027	0,038
Trimr SPECTROL 64Y	2K	1	0,170	0,283
$\Sigma$		<b>96</b>	<b>2,815</b>	<b>3,998</b>

Zdroj: Autor

Pozn.: příklad výpočtu intenzity poruch rezistoru viz přílohu 2, příklad 2.

### 8.1.2 Intenzita poruch kondenzátorů

Matematický model pro výpočet intenzity poruch kondenzátorů:

$$\lambda = 0,1 \cdot \left( \left[ \frac{\sum_{i=1}^y (\pi_t)_i \cdot \tau_i}{\tau_{on} + \tau_{off}} \right] + 1,4 \cdot 10^{-3} \cdot \left[ \sum_{i=1}^j (\pi_n)_i \cdot (\Delta T_i)^{0,68} \right] \cdot 10^{-9} /h \right) \quad (22)$$

Kde:

- $(\pi_t)_i$  Teplotní faktor (teplota na povrchu)
- $\tau_i$  Pracovní doba (počet cyklů)
- $\tau_{on}$  Doba zapnuto (v provozu)
- $\tau_{off}$  Doba vypnuto (ve stavu nečinnosti)
- $(\pi_n)_i$  Faktor výkyvů teploty
- $(\Delta T_i)$  Teplotní rozdíl

Tabulka 13: Intenzity poruch kondenzátorů jednotky komparátoru

Typ	Hodnota	Počet	$\lambda$ P1 [FIT]	$\lambda$ P2 [FIT]
Kondenzátor CF-RM5 MKS 2	220MKF/16V	1	0,822	1,124
Kondenzátor CE-RM2 5X11	33MKF/35V	1	0,822	1,124
Kondenzátor CE-RM5 D10x13	470MKF/16V	1	0,822	1,124
Kondenzátor CE-RM5 D10x13	220N/100V	1	0,173	0,235
Kondenzátor SMD CT-6032	22M/16V	4	0,882	1,373
Kondenzátor SMD CT-3528	6M8/16V	10	0,882	1,373
Kondenzátor SMD CC-1206 X7R	100N/50V	22	0,100	0,152
Kondenzátor SMD CC-1206 NP0	4N7/50V	5	0,100	0,152
Kondenzátor SMD CC-1206 X7R	220P/50V	5	0,100	0,152
Kondenzátor SMD CC-1206 X7R	2N2/50V	1	0,100	0,152
Kondenzátor SMD CC-1206 X7R	150N/50V	6	0,100	0,152
$\Sigma$		<b>57</b>	<b>18,887</b>	<b>28,757</b>

Zdroj: Autor

### 8.1.3 Intenzita poruch diod

Matematický model pro výpočet intenzity poruch diod:

$$\lambda = \left( \{ \pi_U \cdot \lambda_0 \} \cdot \left\{ \frac{\sum_{j=1}^y (\pi_t)_i \cdot \tau_i}{\tau_{on} + \tau_{off}} \right\} + \left\{ \left( 2,75 \cdot 10^{-3} \cdot \sum_{i=1}^z (\pi_n)_i \cdot (\Delta T_i)^{0,68} \right) \cdot \lambda_B \right\} + \{ \pi_I + \pi_{EOS} \} \right) \cdot 10^{-9} / h \quad (23)$$

Kde:

- $\pi_U$  Faktor doby použití (trvale – ano/ne)
- $\lambda_0$  Základní intenzita poruchy
- $(\pi_t)_i$  Teplotní faktor (teplota na povrchu)
- $\tau_i$  Pracovní doba (počet cyklů)
- $\tau_{on}$  Doba zapnuto (v provozu)
- $\tau_{off}$  Doba vypnuto (ve stavu nečinnosti)
- $(\pi_n)_i$  Faktor výkyvů teploty
- $(\Delta T_i)$  Teplotní rozdíl
- $\lambda_B$  Základní intenzita poruchy dle typu diody
- $\pi_I$  Faktor související s použitím diody (rozhraní)
- $\pi_{EOS}$  Faktor vztahující se k elektrickému přepětí

Tabulka 14: Intenzity poruch diod jednotky komparátoru

Typ	Hodnota	Počet	$\lambda$ P1 [FIT]	$\lambda$ P2 [FIT]
Dioda DO41	1N4007	1	0,798	1,624
LED dioda SMD 1206	LED – zelená	5	20,959	20,959
Dioda SMD SOT23	BAS19	24	0,797	1,624
Dioda ZENEROVA SMD SOT23	BZX84C10	1	1,128	2,041
Dioda ZENEROVA SMD SOT23	BZX84C30	1	1,128	2,041
<b><math>\Sigma</math></b>		<b>32</b>	<b>126,977</b>	<b>149,477</b>

Zdroj: Autor

#### 8.1.4 Intenzita poruch tlumivek

Matematický model pro výpočet intenzity poruch tlumivek:

$$\lambda = \lambda_0 \cdot \left( \left[ \frac{\sum_{j=1}^y (\pi_t)_i \cdot \tau_i}{\tau_{on} + \tau_{off}} \right] + 7 \cdot 10^{-3} \cdot \left[ \sum_{i=1}^z (\pi_n)_i \cdot (\Delta T_i)^{0,68} \right] \right) \cdot 10^{-9} / h \quad (24)$$

Kde:

- $\lambda_0$  Základní intenzita poruchy
- $(\pi_t)_i$  Teplotní faktor (teplota na povrchu)
- $\tau_i$  Pracovní doba (počet cyklů)
- $\tau_{on}$  Doba zapnuto (v provozu)
- $\tau_{off}$  Doba vypnuto (ve stavu nečinnosti)
- $(\pi_n)_i$  Faktor výkyvů teploty
- $(\Delta T_i)$  Teplotní rozdíl

Tabulka 15: Intenzity poruch tlumivek jednotky komparátoru

Typ	Hodnota	Počet	$\lambda$ P1 [FIT]	$\lambda$ P2 [FIT]
Tlumivka	TL 220UH	3	0,615	1,048
Tlumivka	TL 1000UH	5	0,615	1,048
Tlumivka radiální	09P-682J	1	0,615	1,049
<b><math>\Sigma</math></b>		<b>9</b>	<b>5,535</b>	<b>9,433</b>

Zdroj: Autor

### 8.1.5 Intenzita poruch tranzistorů

Matematický model pro výpočet intenzity poruch tranzistorů:

$$\lambda = \left( \{ \pi_S \cdot \lambda_0 \} \cdot \left\{ \frac{\sum_{j=1}^y (\pi_t)_i \cdot \tau_i}{\tau_{on} + \tau_{off}} \right\} + \left\{ \left( 2,75 \cdot 10^{-3} \cdot \sum_{i=1}^z (\pi_n)_i \cdot (\Delta T_i)^{0,68} \right) \cdot \lambda_B \right\} + \{ \pi_I + \pi_{EOS} \} \right) \cdot 10^{-9} /h \quad (25)$$

Kde:

$\pi_S$	Faktor využití
$\lambda_0$	Základní intenzita poruchy
$(\pi_t)_i$	Teplotní faktor (teplota na povrchu)
$\tau_i$	Pracovní doba (počet cyklů)
$\tau_{on}$	Doba zapnuto (v provozu)
$\tau_{off}$	Doba vypnuto (ve stavu nečinnosti)
$(\pi_n)_i$	Faktor výkyvů teploty
$(\Delta T_i)$	Teplotní rozdíl
$\lambda_B$	Základní intenzita poruchy dle typu tranzistoru
$\pi_I$	Faktor související s použitím tranzistoru (rozhraní)
$\pi_{EOS}$	Faktor vztahující se k elektrickému přepětí

Tabulka 16: Intenzity poruch tranzistorů jednotky komparátoru

Typ	Hodnota	Počet	$\lambda$ P1 [FIT]	$\lambda$ P2 [FIT]
Tranzistor SMD SOT-23 N-SIPMOS	BSS138	5	0,747	1,559
Tranzistor SMD SOT-23 P-DMOS	BSS84	5	0,747	1,559
Tranzistor SMD SOT-23 NPN	BC846B	12	0,802	1,629
Tranzistor SMD SOT-223 N-HEXFET	IRFL110	1	2,530	5,288
Tranzistor SMD SOT-223 P-HEXFET	IRFL9110	1	2,530	5,288
<b><math>\Sigma</math></b>		<b>24</b>	<b>22,154</b>	<b>45,714</b>

Zdroj: Autor

### 8.1.6 Intenzita poruch IO

Matematický model pro výpočet intenzity poruch integrovaných obvodů:

$$\lambda = \left( \{ \lambda_1 \cdot N \cdot e^{-0,35 \cdot \alpha} \cdot \lambda_2 \} \cdot \left\{ \frac{\sum_{j=1}^y (\pi_t)_i \cdot \tau_i}{\tau_{on} + \tau_{off}} \right\} + \left\{ \left( 2,75 \cdot 10^{-3} \cdot \pi_\alpha \cdot \sum_{i=1}^z (\pi_n)_i \cdot (\Delta T_i)^{0,68} \right) \cdot \lambda_3 \right\} + \{ \pi_I + \pi_{EOS} \} \right) \cdot 10^{-9} /h \quad (26)$$

Kde:

$\lambda_1$	Intenzita poruchy pro bázi tranzistoru IO
$\lambda_2$	Intenzita poruchy v závislosti na typu IO
$N$	Počet tranzistorů IO
$\alpha$	Teplotní faktor IO
$(\pi_t)_i$	Teplotní faktor (teplota na povrchu)
$\tau_i$	Pracovní doba (počet cyklů)
$\tau_{on}$	Doba zapnuto (v provozu)
$\tau_{off}$	Doba vypnuto (ve stavu nečinnosti)
$(\pi_n)_i$	Faktor výkyvů teploty
$(\Delta T_i)$	Teplotní rozdíl
$\lambda_3$	Intenzita poruchy dle typu pouzdra IO
$\pi_I$	Faktor související s použitím IO (rozhraní)
$\pi_{EOS}$	Faktor vztahující se k elektrickému přepětí

Tabulka 17: Intenzity poruch IO jednotky komparátoru

Typ	Hodnota	Počet	$\lambda$ P1 [FIT]	$\lambda$ P2 [FIT]
Integrovaný obvod	TA7815S	1	10,245	13,012
Timer SMD SO8	TS555D	6	12,414	15,140
Komparátor SMD SO8	LM311D	5	12,511	15,345
Integrovaný obvod SMD SO14-SOT108-1	HEF4013BT	6	13,017	16,412
<b><math>\Sigma</math></b>		<b>18</b>	<b>225,571</b>	<b>279,049</b>

Zdroj: Autor

### 8.1.7 Intenzita poruch optočlenů

Matematický model pro výpočet intenzity poruch optočlenů:

$$\lambda = \left( \{2,2 \cdot \pi_S\} \cdot \left\{ \frac{\sum_{j=1}^y (\pi_t)_i \cdot \tau_i}{\tau_{on} + \tau_{off}} \right\} + \left\{ \left( 2,75 \cdot 10^{-3} \cdot \sum_{i=1}^z (\pi_n)_i \cdot (\Delta T_i)^{0,68} \right) \cdot \lambda_B \right\} + \{ \pi_I + \pi_{EOS} \} \right) \cdot 10^{-9} / h \quad (27)$$

Kde:

$\pi_S$	Faktor využití
$(\pi_t)_i$	Teplotní faktor (teplota na povrchu)
$\tau_i$	Pracovní doba (počet cyklů)
$\tau_{on}$	Doba zapnuto (v provozu)
$\tau_{off}$	Doba vypnuto (ve stavu nečinnosti)
$(\pi_n)_i$	Faktor výkyvů teploty
$(\Delta T_i)$	Teplotní rozdíl
$\lambda_B$	Intenzita poruchy dle typu optočlenu
$\pi_I$	Faktor související s použitím optočlenu (rozhraní)

$\pi_{EOS}$  Faktor vztahující se k elektrickému přepětí

Tabulka 18: Intenzity poruch optočlenů komparátoru

Typ	Hodnota	Počet	$\lambda$ P1 [FIT]	$\lambda$ P2 [FIT]
Optočlen SMD SO8	HCPL-0701	6	5,737	10,010
Optočlen SMD MF5	PC400T	6	2,927	4,313
<b><math>\Sigma</math></b>		<b>12</b>	<b>51,992</b>	<b>85,938</b>

Zdroj: Autor

### 8.1.8 Intenzita poruch transformátorů

Matematický model pro výpočet intenzity poruch transformátorů:

$$\lambda = \lambda_0 \cdot \left( \left[ \frac{\sum_{j=1}^y (\pi_t)_i \cdot \tau_i}{\tau_{on} + \tau_{off}} \right] + 7 \cdot 10^{-3} \cdot \left[ \sum_{i=1}^z (\pi_n)_i \cdot (\Delta T_i)^{0,68} \right] \right) \cdot 10^{-9} /h \quad (28)$$

Kde:

- $\lambda_0$  Základní intenzita poruchy
- $(\pi_t)_i$  Teplotní faktor (teplota na povrchu)
- $\tau_i$  Pracovní doba (počet cyklů)
- $\tau_{on}$  Doba zapnuto (v provozu)
- $\tau_{off}$  Doba vypnuto (ve stavu nečinnosti)
- $(\pi_n)_i$  Faktor výkyvů teploty
- $(\Delta T_i)$  Teplotní rozdíl

Tabulka 19: Intenzity poruch transformátorů jednotky komparátoru

Typ	Hodnota	Počet	$\lambda$ P1 [FIT]	$\lambda$ P2 [FIT]
Transformátor	KOMP-TPCI	5	4,630	7,901
Transformátor	KOMP-TPCII	1	4,630	7,901
<b><math>\Sigma</math></b>		<b>6</b>	<b>27,780</b>	<b>47,406</b>

Zdroj: Autor

### 8.1.9 Intenzita poruch pojistek

Matematický model pro výpočet intenzity poruch pojistek:

$$\lambda = \lambda_0 \cdot 10^{-9} /h \quad (29)$$

Kde:

- $\lambda_0$  Základní intenzita poruchy

Tabulka 20: Intenzity poruch pojistek jednotky komparátoru

Typ	Hodnota	Počet	$\lambda$ P1 [FIT]	$\lambda$ P2 [FIT]
Pojistka	T 315L 5x20	1	10,000	10,000
<b><math>\Sigma</math></b>		<b>1</b>	<b>10,000</b>	<b>10,000</b>

Zdroj: Autor

### 8.1.10 Intenzita poruch svorek

Matematický model pro výpočet intenzity poruch svorek:

$$\lambda = \lambda_0 \cdot \pi_t \cdot \pi_C \cdot \pi_M \cdot \pi_i \cdot \left( 1 + 2,7 \cdot 10^{-3} \cdot \left[ \sum_{i=1}^j (\pi_n)_i \cdot (\Delta T_i)^{0,68} \right] \right) \cdot 10^{-9}/h \quad (30)$$

Kde:

- $\lambda_0$  Základní intenzita poruchy
- $\pi_t$  Teplotní faktor
- $\pi_C$  Počet kontaktů
- $\pi_M$  Faktor materiálu povrchové úpravy kontaktů
- $\pi_i$  Faktor intenzity proudu
- $(\pi_n)_i$  Faktor výkyvů teploty
- $(\Delta T_i)$  Teplotní rozdíl

Tabulka 21: Intenzity poruch svorek jednotky komparátoru

Typ	Hodnota	Počet	$\lambda$ P1 [FIT]	$\lambda$ P2 [FIT]
Svorka Wago	255-404	4	1,212	1,773
Svorka Wago	255-402	2	1,212	1,773
Konektor Harting	9 pin	1	2,572	3,762
<b><math>\Sigma</math></b>		<b>7</b>	<b>9,844</b>	<b>14,400</b>

Zdroj: Autor

### 8.1.11 Intenzita poruch DPS

Vztah pro výpočet intenzity poruch desky plošných spojů:

$$(A + B) \cdot 10^{-9} /h \quad (31)$$

Kde:

- A Spoje a součástky
- B Deska plošných spojů



$$A = \sum \lambda_s + \sum \lambda_f + \left( 1 + 3 \cdot 10^{-3} \cdot \left[ \sum_{i=1}^j (\pi_n)_i \cdot (\Delta T_i)^{0,68} \right] \right) \cdot \sum \lambda_d \quad (32)$$

Kde:

- $\lambda_s$  Intenzita poruch vrstvy
- $\lambda_f$  Intenzita poruch otvoru
- $(\pi_n)_i$  Faktor výkyvů teploty
- $(\Delta T_i)$  Teplotní rozdíl
- $\lambda_d$  Intenzita poruch ostatních spojů

$$B = 5 \cdot 10^{-3} \cdot \pi_t \cdot \pi_c \cdot \left[ N_t \sqrt{1 + \frac{N_t}{S}} + N_p \frac{1 + 0,1\sqrt{S}}{3} \cdot \pi_L \right] \cdot \left( 1 + 3 \cdot 10^{-3} \cdot \left[ \sum_{i=1}^j (\pi_n)_i \cdot (\Delta T_i)^{0,68} \right] \right) \quad (33)$$

Kde:

- $\pi_t$  Teplotní faktor
- $\pi_c$  Faktor počtu vrstev
- $N_t$  Celkový počet otvorů
- $S$  Plocha desky
- $N_p$  Počet vrstev
- $\pi_L$  Faktor vlivu vzdálenosti otvorů
- $(\pi_n)_i$  Faktor výkyvů teploty
- $(\Delta T_i)$  Teplotní rozdíl

Tabulka 22: Intenzita poruch DPS

Typ	Hodnota	Počet	$\lambda$ P1 [FIT]	$\lambda$ P2 [FIT]
DPS	-	1	0,997	1,707
$\Sigma$		1	<b>0,997</b>	<b>1,707</b>

Zdroj: Autor

### 8.1.12 Celková intenzita poruch komparátoru

V tabulkách 23 a 24, grafech 7 a 8 jsou uvedeny celkové výsledky predikce spolehlivosti jednotky komparátoru KOMP dle metodiky IEC TR 62380. Predikce byla provedena pro oba pracovní profily P1 a P2. Jedná se o součty hodnot intenzit poruch jednotlivých typů součástek, uvedených v tabulkách 12 – 22.

Z celkových výsledků predikce spolehlivosti je patrné, že největší pravděpodobnost výskytu poruch v obou profilech vykazují integrované obvody a LED diody. Tento fakt je nejlépe vidět na grafech 7 a 8.

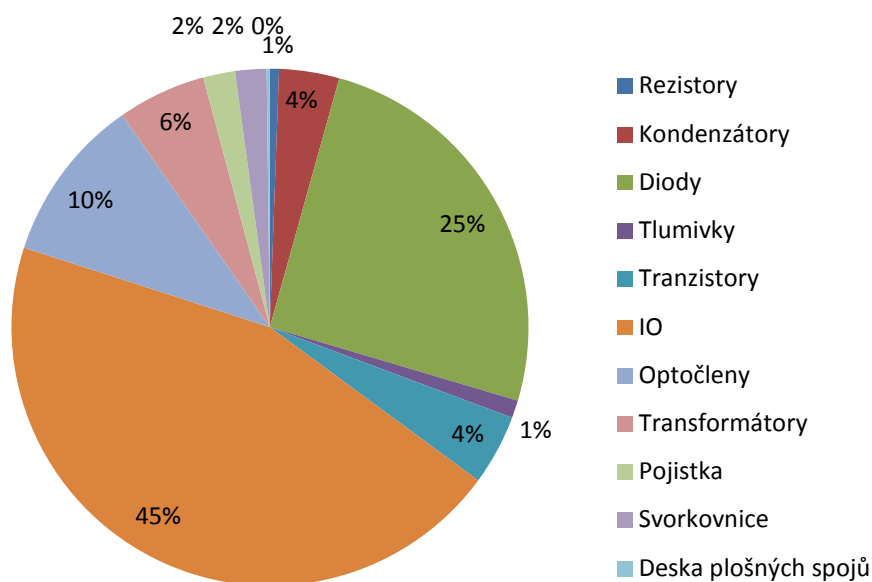
Hodnota celkové intenzity poruch vzrostla z 502,552 FIT v případě P1 na 675,879 FIT v případě P2. Střední doba provozu mezi poruchami je v případě profilu P1 odhadnuta na 1 989 843 hodin, v případě profilu P2 činí odhad 1 479 554 hodin.

Tabulka 23: Celková intenzita poruch jednotky komparátoru, profil P1

Typy součástek	$\lambda$ P1 [FIT]
Rezistory	2,815
Kondenzátory	18,887
Diody	126,977
Tlumivky	5,535
Tranzistory	22,154
IO	225,571
Optočleny	51,992
Transformátory	27,780
Pojistka	10,000
Svorkovnice	9,844
Deska plošných spojů	0,997
<b>Celková intenzita poruch</b>	<b>502,552</b>
<b>MTBF [hod]</b>	<b>1 989 843</b>

Zdroj: Autor

Graf 7: Podíl intenzit poruch dle profilu P1



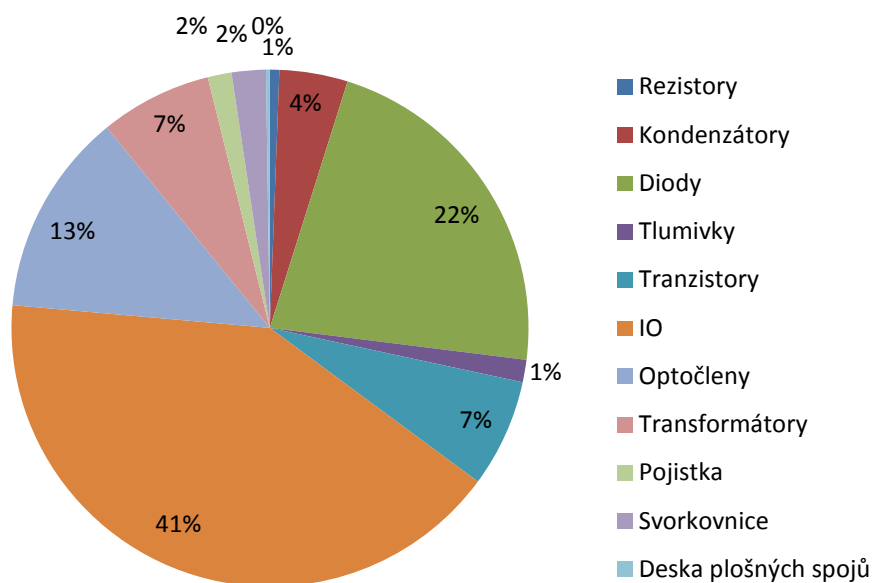
Zdroj: Autor

Tabulka 24: Celková intenzita poruch jednotky komparátoru, profil P2

Typy součástek	$\lambda$ P2 [FIT]
Rezistory	3,998
Kondenzátory	28,757
Diody	149,477
Tlumivky	9,433
Tranzistory	45,714
IO	279,049
Optočleny	85,938
Transformátory	47,406
Pojistka	10,000
Svorkovnice	14,400
Deska plošných spojů	1,707
<b>Celková intenzita poruch</b>	<b>675,879</b>
<b>MTBF [hod]</b>	<b>1 479 554</b>

Zdroj: Autor

Graf 8: Podíl intenzit poruch dle profilu P2



Zdroj: Autor

## 9. Stanovení optimální úrovně spolehlivosti

Dosažení vysoké úrovně spolehlivosti je velmi nákladný proces. Je známo, že každá příčina poruchy odhalená a opravená ve fázi vývoje, je nesrovnatelně levnější než pátrání po příčině poruchy a její oprava v pozdější fázi životního cyklu zařízení (v provozu). Platí také skutečnost, že čím dříve je ve vývoji zařízení identifikována příčina poruchy a zajištěna její oprava, tím levnější tento proces je. Z těchto důvodů je nutné usilovat o co nejvyšší úroveň spolehlivosti zařízení již od začátku jeho vývoje. Znamená to především identifikaci příčin poruch a zajištění nápravných opatření v co možná nejranější fázi vývoje zařízení.

### 9.1 Vytipování problémových prvků

Ze servisních podkladů a tabulky 5 je patrné, že největší podíl poruch skříně STP představují poruchy z kategorie ostatní. Tato kategorie zahrnuje nápravu poruch způsobených atmosférickými vlivy, výrobními chybami, chybami obsluhy, projekčními vadami, přípravnými pracemi pro servis a ostatními druhy poruch a chyb, které se ve skříně STP vyskytují.

Druhou nejvyšší četnost vykazují poruchy nakupovaného HW. Jedná se především o poruchy HDD, základových desek, Flash pamětí, CD ROMů, Switchů, HUBů atd.

Třetí nejvyšší četnost poruch představují poruchy SW. V této kategorii nejsou uvažovány žádné náklady na materiál při opravě poruch. Oprava poruchy zpravidla spočívá v nastavení nebo přeinstalování systému.

Čtvrtou nejvyšší četnost poruch vykazují poruchy jednotky komparátoru technologických počítačů TPC1 – TPC4. Z hlediska AŽD Praha s. r. o. je tato kategorie zajímavá tím, že se jedná o prvek přímo vyráběný firmou. Dle výsledků predikce spolehlivosti komparátoru v kapitole 8 představují integrované obvody z tabulek 17 a 18 a LED diody z tabulky 14 součástky s největší pravděpodobností výskytu poruch. Častou závadou jednotky komparátoru bylo také mechanické poškození některého z jader transformátorů uvedených v tabulce 19. Tato jádra praskala již při nepatrném kontaktu s cizím předmětem. Problém se podařilo vyřešit plastovým krytem umístěným přes namontované jednotky komparátoru.

Poslední kategorií z hlediska četnosti poruch zaujímají poruchy větráků ve skříně STP. Jedná se jednak o větráky umístěné přímo v horní desce skříně, které zajišťují vnitřní ventilaci. Za druhé se jedná o větráky různých komponent uvnitř skříně (Switch, HUB, PC).

### 9.2 Návrh na odstranění poruch

Jednotlivé typy poruch v kategorii ostatní se vyskytují s velmi nízkou četností a samotné tak představují nepříliš vysoké servisní náklady. V těchto případech nemá investice do ještě vyšší spolehlivosti opodstatnění. Jednalo by se o velké finanční prostředky na nápravu poruch v řádu jednotek. Návrh investice by byla velice nízká.

Snížení počtu poruch HW je možné dosáhnout nákupem dražších HW komponentů s vyšší spolehlivostí, případně nákupem dražších sestav, které spolehlivější HW obsahují. Otázkou je, zda vyšší nákupní cena těchto komponent neúměrně nezvýší prodejní cenu zařízení. V tomto případě je vhodné uvažovat o zvýšení spolehlivosti nakupovaného HW a porovnat jakým způsobem, se vyšší cena komponent promítne do pořizovací ceny nového zařízení. Průměrné roční servisní náklady této kategorie činí 912 196,- Kč při počtu 80 poruch za rok. O tuto částku teoreticky mohou klesnout průměrné servisní náklady na nápravnou údržbu skříně STP.

V kategorii poruch SW nejsou uvažovány žádné náklady na materiál při opravě těchto poruch. To snižuje průměrnou cenu jednotlivých oprav a cena tak zahrnuje pouze práci servisního technika a náklady na výjezd. Snaha o zvýšení spolehlivosti v této kategorii by pravděpodobně byla neúměrně vysoká. Průměrná cena jedné opravy SW byla vykalkulována na 1 389,- Kč při počtu poruch 39 za rok.

V případě jednotky komparátoru se jedná o poruchy výrobku AŽD Praha s. r. o. V tomto případě je z hlediska firmy možné uvažovat o zvýšení spolehlivosti současného komparátoru, případně o vývoji nového. Otázkou je, zda se vyplatí investice do zvýšení spolehlivosti a za jak dlouhou dobu se vložené finanční prostředky navrátí. Dle vstupních hodnot uvedených v kapitole 7 byla průměrná cena jedné opravy jednotky komparátoru vyčíslena na 11 377,- Kč. Průměrná cena servisních nákladů na nápravnou údržbu jednotek komparátoru v letech 2008 – 2013 byla vyčíslena na 324 235,- Kč při počtu 29 poruch za rok. Ostatní roční průměrné servisní náklady na nápravnou údržbu jednotky komparátoru v letech 2008 – 2013, které je teoreticky možné eliminovat, jsou uvedeny níže v tabulce 25.

Tabulka 25: Náklady na nápravnou údržbu poruch komparátoru

Rok	Počty poruch komparátoru	Náklady na nápravnou údržbu poruch komparátoru [Kč]
2008	28	318 546
2009	26	295 793
2010	18	204 780
2011	33	375 430
2012	24	273 040
2013	42	477 820
<b>Celkem</b>	<b>171</b>	<b>1 945 410</b>
<b>Průměrně</b>	<b>29</b>	<b>324 235</b>

Zdroj: Autor

V případě jakýchkoliv úprav jednotky komparátoru by bylo třeba zjistit pravou příčinu vzniku poruch. Do této kategorie jsou promítnuty i poruchy jednotky komparátoru, které tzv. “přichází z venku“ a pravá příčina vzniku poruch tedy není přímo v tomto prvku (např. vlivem přepětí, úderem blesku). V případě rozhodnutí o vývoji nové jednotky komparátoru, by se např. vývojová investice v hodnotě 500 000,- Kč teoreticky vrátila již

během druhého roku provozu zařízení. Tento proces však v praxi potrvá déle vlivem postupné výměny starých jednotek za nové. Nelze také předpokládat, že poruchovost nových jednotek bude nulová a podaří se tak ušetřit veškeré servisní náklady uvedené v tabulce 25. V tomto případě se jako vhodnější jeví varianta zachování současného řešení jednotky komparátoru KOMP.

Snížení počtu poruch a servisních nákladů v kategorii větráků by spočívalo stejně jako u kategorie poruch HW v nákupu dražších větráků s vyšší spolehlivostí, případně nákupem dražších komponent, které jsou lepšími větráky vybaveny. Také v této kategorii by bylo vhodné zjistit, jakým způsobem se vyšší cena větráků případně celých komponent promítne do pořizovací ceny nového zařízení a rozhodnout, zda je vhodné o zvýšení spolehlivosti usilovat. Servisní náklady v této kategorii byly při zadaných vstupních hodnotách vykalkulovány na 4 228,- Kč za jednu opravu. Počet poruch byl pouze 15 za rok. Také v tomto případě se jako vhodnější jeví varianta zachování současného řešení.

## Závěr

Cílem diplomové práce bylo prověřit část staničního zabezpečovacího zařízení ESA z hlediska servisních nákladů a spolehlivosti. Předmětem analýzy byla skříň technologických počítačů STP, pomocí které je realizována řídicí počítačová část SZZ ESA.

Za největší přínosy této práce považuji stanovení střední doby opravy po poruchách (MRT – Mean Repair Time), stanovení výše servisních nákladů na pravidelnou údržbu, stanovení průměrných nákladů na jednu opravu po poruše a na všechny opravy po poruchách. Dále odhalení druhů a počtů poruch v řídicí části SZZ ESA, stanovení intenzity poruch a průměrné doby provozu mezi poruchami jednotky komparátoru technologických počítačů a vytipování problémových prvků jednotky komparátoru.

Ze servisních podkladů je patrné, že ve skříni technologických počítačů se v letech 2008 – 2013 průměrně vyskytlo 311 poruch za rok. Střední doba opravy po poruchách MRT činí 2,22 hod.

Výše servisních nákladů na pravidelnou údržbu byla stanovena na 8 300,- Kč, tato částka je bez nákladů na materiál. Kalkulace servisních nákladů na nápravnou údržbu stanovila průměrnou cenu jedné opravy včetně nákladů na materiál na 11 474,- Kč (porucha HW), 11 377,- Kč (porucha jednotky komparátoru), 4 228,- Kč (porucha větráků), 1 389,- Kč (porucha SW) a 6 590,- Kč (porucha z kategorie ostatní).

V případě ročních průměrných nákladů na nápravnou údržbu v letech 2008 – 2013, včetně nákladů na materiál, jsou výsledky kalkulace následující: 912 196,- Kč na poruchy HW, 324 235,- Kč na poruchy jednotek komparátoru, 172 112,- Kč na poruchy větráků, 53 714,- Kč na poruchy SW a 980 758,- Kč na ostatní poruchy.

Dle rozdělení poruch na jednotlivé druhy vykazují největší podíl poruchy kategorie ostatní. Tato kategorie zahrnuje poruchy způsobené atmosférickými vlivy, výrobními chybami, chybami obsluhy, projekčními vadami, přípravnými pracemi pro servis a ostatními druhy poruch a chyb, které se ve skříni STP vyskytují. Druhou nejvyšší četnost vykazují poruchy nakupovaného HW. Zde se jedná o nakupované prvky, jako jsou HDD, flash disky, základové desky apod. Třetí nejvyšší četnost poruch vykazují poruchy SW. Čtvrtou nejvyšší četnost poruch vykazují poruchy jednotky komparátoru technologických počítačů TPC. Poslední kategorií z hlediska četnosti poruch, zaujímají poruchy větráků ve skříni STP. Jedná se o větráky umístěné přímo v horní desce skříně, které zajišťují vnitřní ventilaci, ale také o větráky různých komponent uvnitř skříně.

V praxi bylo dokázáno, že pro provozovatele je neekonomický nákup levného a méně spolehlivého zařízení. Tento provozovatel zaplatí celkově vyšší náklady v průběhu celého životního cyklu na prostojích a mimogarančních opravách, které jsou nutné pro obnovení provozuschopnosti. Pro moderního provozovatele je vhodné, aby při úvahách o koupi nového zařízení zohlednil jeho optimální úroveň spolehlivosti. Tato skutečnost má zabránit tomu, aby bylo nakoupeno levné zařízení, které je následně v provozu velmi drahé nebo aby bylo nakoupeno příliš drahé zařízení, jehož nevelké provozní náklady nevyváží

jeho vysokou pořizovací cenu. Optimální úroveň spolehlivosti je určena minimální hodnotou celkových nákladů na životní cyklus zařízení. Na tuto úroveň spolehlivosti má být dané zařízení navrženo. Minimum celkových nákladů tak určuje spolehlivost, která je z hlediska pořizovacích i provozních nákladů optimální jak pro výrobce, tak provozovatele systému. V případě návrhů na odstranění poruch a zvýšení spolehlivosti jsou závěry v jednotlivých kategoriích poruch následující:

Jednotlivé typy poruch v kategorii ostatní se vyskytují s velmi nízkou četností, a samotné tak představují nepříliš vysoké servisní náklady. V těchto případech nemá investice do zvýšení spolehlivosti opodstatnění. Jednalo by se o vložení velkých finančních prostředků na odstranění několika poruch a úspora servisních nákladů by byla minimální.

Snížení počtu poruch HW je možné dosáhnout nákupem dražších HW komponentů s vyšší spolehlivostí, případně nákupem dražších sestav, které spolehlivější HW obsahují. V případě návrhu na zvýšení spolehlivosti v této kategorii by bylo vhodné nejprve vykalkulovat, jakým způsobem se vyšší cena nakupovaných komponent promítne do pořizovací ceny nového zařízení, a poté rozhodnout. Průměrné servisní náklady v této kategorii mohou teoreticky klesnout až o 912 196,- Kč za rok, a je tedy vhodné tuto variantu zvážit.

V kategorii poruch SW nejsou uvažovány žádné náklady na materiál při opravě těchto poruch. To snižuje průměrnou cenu jednotlivých oprav, a cena tak zahrnuje pouze práci servisního technika a náklady na výjezd. Servisní náklady na jednu opravu SW byly stanoveny na 1 389,- Kč. Snaha o zvýšení spolehlivosti v této kategorii by tedy pravděpodobně byla neúměrně vysoká.

Snížení počtu poruch a servisních nákladů v kategorii větráků by spočívalo stejně jako u kategorie poruch HW v nákupu dražších větráků s vyšší spolehlivostí, případně nákupem dražších komponent, které jsou lepšími větráky vybaveny. Vzhledem k tomu, že tato kategorie vykazuje poměrně nízký počet poruch a servisní náklady v této kategorii byly při zadaných vstupních hodnotách vykalkulovány na 4 228,- Kč za jednu opravu, se jako vhodné jeví zachování současné úrovně spolehlivosti.

V případě jednotky komparátoru technologických počítačů se jedná přímo o poruchy výrobku společnosti AŽD Praha s. r. o. Dle vstupních hodnot byla průměrná cena jedné opravy jednotky komparátoru vyčíslena na 11 377,- Kč. Průměrná cena servisních nákladů na nápravnou údržbu jednotek komparátoru v letech 2008 – 2013 činila 324 235,- Kč. O tuto částku by teoreticky mohly klesnout servisní náklady na nápravnou údržbu v případě zvýšení spolehlivosti jednotky komparátoru.

Pro účely vytipování součástí s nejvyšší pravděpodobností výskytu poruch byla provedena predikce spolehlivosti dle metodiky IEC TR 62380. Predikce byla provedena pro dva pracovní profily používané v AŽD Praha s. r. o. Prvním je pracovní profil P1 “Stanice s klimatizací – skříň bez nucené ventilace“. V těchto podmínkách standardně skříň STP pracuje a jedná se o klimatizovanou místnost stavební ústředny. Predikce pro druhý profil P2 “Domek u trati – skříň bez nucené ventilace“ byla provedena



pro porovnání, jak se změní hodnoty intenzit poruch jednotlivých součástí. V případě druhého profilu jsou podmínky pro činnost zařízení méně příznivé (otřesy, výkyvy teplot). Z celkových výsledků predikce spolehlivosti je patrné, že největší pravděpodobnost výskytu poruch v obou profilech vykazují integrované obvody a LED diody. Hodnota celkové intenzity poruch vzrostla z 502,552 FIT v případě P1 na 675,879 FIT v případě P2. Střední doba provozu mezi poruchami je v případě profilu P1 odhadnuta na 1 989 843 hodin, v případě profilu P2 činí odhad 1 479 554 hodin.

V případě jakýchkoliv úprav jednotky komparátoru by bylo třeba zjistit pravou příčinu vzniku poruch. Do této kategorie jsou promítnuty i poruchy jednotky komparátoru, které tzv. “přichází z venku“ a pravá příčina vzniku poruch tedy není přímo v tomto prvku (např. vlivem přepětí, úderem blesku). Nelze také předpokládat, že poruchovost nových jednotek bude nulová, a podaří se tak ušetřit veškeré servisní náklady. V tomto případě se jako vhodnější jeví varianta zachování současného řešení jednotky komparátoru KOMP.

Věřím, že výsledky této práce budou dalším přínosem pro řešení problematiky spolehlivosti a přispějí svým dílem ke zvýšení spolehlivosti nejen zabezpečovacích zařízení, ale také k vyšší bezpečnosti železniční dopravy.

## Seznam použité literatury

- [1] ČSN 34 2617. *Určování a ověřování ukazatelů spolehlivosti železničních zabezpečovacích zařízení*. Praha: Český normalizační institut, prosinec 1992. 16 stran.
- [2] ČSN EN 50126-1. *Drážní zařízení – Stanovení a prokázání bezporuchovosti, pohotovosti, udržitelnosti a bezpečnosti (RAMS) – Část 1: Základní požadavky a generický proces*. Praha: Český normalizační institut, červen 2001. 72 stran.
- [3] ČSN IEC 50(191). *Mezinárodní elektrotechnický slovník. Kapitola 191: Spolehlivost a akost' služeb*. Praha: Český normalizační institut, září 1993. 168 stran.
- [4] ČSN EN 60300-3-3. *Management spolehlivosti – Analýza nákladů životního cyklu*. Praha: Český normalizační institut, červen 2005. 60 stran.
- [5] ČSN EN 61703. *Matematické výrazy pro ukazatele bezporuchovosti, pohotovosti, udržitelnosti a zajištění údržby*. Praha: Český normalizační institut, září 2002. 52 stran.
- [6] FUCHS, Pavel. *Využití spolehlivosti v provozní praxi*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2002. 127 stran.
- [7] FIDES 2009 Edition A September 2010. *Reliability Methodology for Electronic Systems*. FIDES group. 2004. 465 stran.
- [8] GREGORA, Stanislav. OUŘEDNÍČEK Jan, *Elektrotechnika a zabezpečovací technika v dopravní infrastruktuře*. Pardubice: Univerzita Pardubice, květen 2005. 128 stran. ISBN 80-7194-768-7.
- [9] KEJZLAR, Milan. *Metodika určování RAMS pro zabezpečovací systémy AŽD*. Valašské Meziříčí: AŽD Praha s. r. o. – Závod Technika, 2004.
- [10] KEJZLAR, Milan. *Spolehlivost systému a náklady na jeho životní cyklus*, Valašské Meziříčí: AŽD Praha s. r. o. – Závod Technika, 2004.
- [11] IEC TR 62380 *Reliability data handbook – Universal model for reliability prediction of electronics components, PCBs and equipment*. International Electrotechnical Commission, srpen 2004. 90 stran.
- [12] MENTLÍK, Václav. *Diagnostika elektrických zařízení*. Praha: BEN – technická literatura, 2008. 440 stran. ISBN 978-80-7300-232-9.
- [13] MENTLÍK, Václav. *Spolehlivostní aspekty elektrotechnologie*. Praha: BEN – technická literatura, 2011. 120 stran. ISBN 978-80-7300-412-5.
- [14] MIL – HDBK – 217F, *Military Handbook: Reliability Prediction of Electronic Equipment*. WASHINGTON DC: Department of Defense. 1961. 205 stran.
- [15] MYKYSKA, Antonín. *Bezpečnost a spolehlivost technických systémů*. Praha: ČVUT, 2004. 206 stran, ISBN 80-01-02868-2.

[16] NOVOVIČOVÁ, Jana. *Pravděpodobnost a matematická statistika*. Praha: ČVUT, 1999. 154 stran. ISBN 80-01-01980-2.

[17] O'CONNOR, Patrick. *Practical Reliability Engineering*, Chichester: Wiley, 2002. 513 stran. ISBN 0-470-84463-9.

[18] RÝZNAR, Stanislav. *Stanovení nákladů životního cyklu staničního zabezpečovacího zařízení*. Praha, 2013. Bakalářská práce. ČVUT, Fakulta dopravní. Ústav ekonomiky a managementu dopravy a telekomunikací. Vedoucí bakalářské práce Marek Honců. 59 stran.

[19] STARÝ, Ivan. *Spolehlivost systémů*. Praha: ČVUT, 1998. 120 stran. ISBN 80-01-01756-7.

[20] ŠAJNER, Vladimír. *Náklady na životní cyklus zařízení – jejich monitoring a zahrnování do ekonomických výpočtů*. Brno: Odborná konference doktorského studia, 2003.

#### Elektronické dokumenty:

[21] *O AŽD Praha/ Kdo jsme*, [online], datum aktualizace není uvedeno, [cit. 2015-02-28]. Dostupný na WWW: <<http://www.azd.cz/o-azd-praha/kdo-jsme/>>

[22] *Produkty/ Systémy pro kolejovou dopravu -I*, [online], datum aktualizace není uvedeno, [cit. 2015-02-28]. Dostupný na WWW: <<http://www.azd.cz/admin/files/Dokumenty/pdf/Produkty/Kolejove/02-ESA-11.pdf>>

[23] *Produkty/ Systémy pro kolejovou dopravu -I*, [online], datum aktualizace není uvedeno, [cit. 2015-02-28]. Dostupný na WWW: <<http://www.azd.cz/admin/files/Dokumenty/pdf/Produkty/Kolejove/01-ESA-33.pdf>>

## Seznam obrázků

Obrázek 1: Prostý proces obnovy .....	16
Obrázek 2: Časový průběh intenzity poruch.....	16
Obrázek 3: Distribuční funkce spojitě náhodné proměnné.....	20
Obrázek 4: Hustota pravděpodobnosti spojitě náhodné proměnné .....	20
Obrázek 5: Blokové schéma sériově zapojeného systému .....	21
Obrázek 6: Blokové schéma paralelně zapojeného systému .....	22
Obrázek 7: Životní cyklus systému dle normy ČSN EN 50126-1 .....	26
Obrázek 8: Stanovení minimálních nákladů životního cyklu .....	33
Obrázek 9: Skříň STP, pohled zepředu.....	41
Obrázek 10: Skříň STP, pohled zezadu .....	42
Obrázek 11: Blokové schéma skříně STP.....	43
Obrázek 12: Jednotka komparátoru skříně KOMP.....	44
Obrázek 13: Výsledná deska jednotky komparátoru, strana A.....	55
Obrázek 14: Výsledná deska jednotky komparátoru, strana B.....	56

## Seznam tabulek

Tabulka 1: Poruchy SZZ z hlediska příčin .....	39
Tabulka 2: Poruchy SZZ z hlediska skupiny náhradních dílů .....	40
Tabulka 3: Základní údaje potřebné pro výpočet .....	46
Tabulka 4: Počty instalací SZZ deklarované v letech 2008 – 2013.....	47
Tabulka 5: Poruchy ve skříní STP .....	47
Tabulka 6: Poruchy ve skříní STP přepočítané na jedno zařízení .....	48
Tabulka 7: Střední doby opravy MRT po poruchách [h].....	49
Tabulka 8: Průměrné náklady na jednu opravu .....	51
Tabulka 9: Náklady na nápravnou údržbu $N_{NAPRU}$ .....	52
Tabulka 10: Vstupní hodnoty profil P1 .....	54
Tabulka 11: Vstupní hodnoty profil P2 .....	55
Tabulka 12: Intenzity poruch rezistorů jednotky komparátoru .....	57
Tabulka 13: Intenzity poruch kondenzátorů jednotky komparátoru.....	58
Tabulka 14: Intenzity poruch diod jednotky komparátoru .....	59
Tabulka 15: Intenzity poruch tlumivek jednotky komparátoru .....	59
Tabulka 16: Intenzity poruch tranzistorů jednotky komparátoru .....	60
Tabulka 17: Intenzity poruch IO jednotky komparátoru .....	61
Tabulka 18: Intenzity poruch optočlenů komparátoru.....	62
Tabulka 19: Intenzity poruch transformátorů jednotky komparátoru.....	62
Tabulka 20: Intenzity poruch pojistek jednotky komparátoru.....	63
Tabulka 21: Intenzity poruch svorek jednotky komparátoru.....	63
Tabulka 22: Intenzita poruch DPS.....	64
Tabulka 23: Celková intenzita poruch jednotky komparátoru, profil P1 .....	65
Tabulka 24: Celková intenzita poruch jednotky komparátoru, profil P2 .....	66
Tabulka 25: Náklady na nápravnou údržbu poruch komparátoru .....	68

## Seznam grafů

Graf 1: Poruchy ve skříní STP .....	48
Graf 2: Poruchy ve skříní STP přepočítané na jedno zařízení .....	49
Graf 3: Střední doba opravy MRT po poruchách [h].....	50
Graf 4: Průměrné náklady na jednu opravu .....	51
Graf 5: Podíl průměrných nákladů na nápravnou údržbu $N_{NAPRU}$ .....	52
Graf 6: Průměrné náklady na opravy v letech 2008 – 2013 .....	53
Graf 7: Podíl intenzit poruch dle profilu P1 .....	65
Graf 8: Podíl intenzit poruch dle profilu P2 .....	66

## **Seznam příloh**

Příloha 1: Úkoly spojené s etapami životního cyklu dle normy ČSN EN 50126-1

Příloha 2: Příklad výpočtu průměrných servisních nákladů na nápravnou údržbu  $N_{NAPRU}$  po poruše HW, příklad výpočtu intenzity poruch rezistoru (typ SMD 1206 RC01, profil P1)

## **Přílohy**



## Příloha 1

Úkoly spojené s etapami životního cyklu dle normy ČSN EN 50126-1, Drážní zařízení – Stanovení a prokázání bezporuchovosti, pohotovosti, udržitelnosti a bezpečnosti (RAMS) – Část 1: Základní požadavky a generický proces.

Etapa životního cyklu	Všeobecné úkoly spojené s etapou	Úkoly RAM spojené s etapou	Úkoly bezpečnosti spojené s etapou
1. Koncepce	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stanoví se rozsah a účel drážního projektu</li> <li>• Definuje se koncepce drážního projektu</li> <li>• Provede se finanční analýza a studie proveditelnosti</li> <li>• Stanoví se management</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Přezkoumají se dříve dosažené vlastnosti RAM</li> <li>• Uváží se důsledky RAM na projekt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Přezkoumají se dříve dosažené vlastnosti spojené s bezpečností</li> <li>• Uváží se dopady bezpečnosti na projekt</li> <li>• Přezkoumá se koncepce bezpečnosti a cíle bezpečnosti</li> </ul>
2. Definice systému a podmínky použití	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stanoví se charakteristika zadání systému</li> <li>• Připraví se popis systému</li> <li>• Určí se strategie provozu a údržby</li> <li>• Určí se pracovní podmínky</li> <li>• Určí se podmínky údržby</li> <li>• Určí se vliv omezení daných stávající infrastrukturou</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zhodnotí se údaje z minulých zkušeností z RAM</li> <li>• Provede se předběžná analýza RAM</li> <li>• Stanoví se koncepce RAM</li> <li>• Určí se podmínky dlouhodobého provozu a údržby</li> <li>• Určí se vliv omezení daných stávající infrastrukturou na RAM</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zhodnotí se údaje z minulých zkušeností týkajících se bezpečnosti</li> <li>• Provede se předběžná analýza nebezpečí</li> <li>• Stanoví se plán bezpečnosti (celkový)</li> <li>• Definují se kritéria přípustnosti rizika</li> <li>• Určí se vliv omezení daných stávající infrastrukturou na zabezpečení</li> </ul>
3. Analýza rizika *	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Provede se analýza rizika spojeného s projektem</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Provede se analýza nebezpečí systému a analýza rizika týkajícího se bezpečnosti</li> <li>• Vytvoří se záznamy o nebezpečí</li> <li>• Provede se hodnocení rizika</li> </ul>

<p>4. Požadavky na systém</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Provede se analýza požadavků</li> <li>• Specifikuje se systém (celkové požadavky)</li> <li>• Specifikuje se okolní prostředí</li> <li>• Definují se kritéria předvedení a přejímky (celkové požadavky)</li> <li>• Stanoví se plán validace</li> <li>• Stanoví se požadavky na management, jakost a organizaci</li> <li>• Zavede se postup řízení změny</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Specifikují se požadavky na RAM systému (celkově)</li> <li>• Definují se kritéria přejímky RAM (celkově)</li> <li>• Definuje se funkční struktura systému</li> <li>• Stanoví se program RAM</li> <li>• Stanoví se management RAM</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Specifikují se požadavky na bezpečnost systému (celkově)</li> <li>• Definují se kritéria přejímky týkající se bezpečnosti (celkově)</li> <li>• Definují se funkční požadavky spojené s bezpečností</li> <li>• Stanoví se management bezpečnosti</li> </ul>
<p>5. Rozdělení požadavků na systém</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rozdělí se požadavky na systém <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Specifikují se požadavky na subsystém a složky</li> <li>○ Definují se kritéria přejímky subsystému a složek</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rozdělí se požadavky na RAM systému <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Specifikují se požadavky na subsystém a složky RAM</li> <li>○ Definují se kritéria přejímky subsystému a složek RAM</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rozdělí se cíle a požadavky na bezpečnost systému <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Specifikují se požadavky na bezpečnost pro subsystémy a složky</li> <li>○ Definují se kritéria přejímky týkající se bezpečnosti pro subsystémy a složky</li> </ul> </li> <li>• Aktualizuje se plán bezpečnosti systému</li> </ul>
<p>6. Návrh a zavedení</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Provede se plánování</li> <li>• Provede se návrh a vývoj</li> <li>• Provede se analýza návrhu a zkoušení</li> <li>• Provede se ověření návrhu</li> <li>• Provede se realizace a validace</li> <li>• Provede se návrh prostředků logistické podpory</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zavede se program RAM přezkoumáním, analýzou, zkoušením a posouzením dat zahrnující: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Bezporuchovost a pohotovost</li> <li>○ Údržbu a udržovatelnost</li> <li>○ Optimální koncepci údržby</li> <li>○ Logistickou podporu</li> </ul> </li> <li>• Zahájí se řízení programu zahrnující: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Management programu RAM</li> <li>○ Kontrolu subdodavatelů a dodavatelů</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zavede se plán bezpečnosti přezkoumáním, analýzou, zkoušením a posouzením údajů týkajících se: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Záznamů o nebezpečí</li> <li>• Hodnocení analýzy nebezpečí a rizika</li> </ul> </li> <li>• Odůvodnění rozhodnutí v návrhu týkajícího se bezpečnosti</li> <li>• Zahájí se řízení programu zahrnující: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Management bezpečnosti</li> <li>○ Řízení subdodavatelů a dodavatelů</li> </ul> </li> <li>• Připraví se generický důkaz bezpečnosti</li> <li>• Připraví se (přichází-li to v úvahu) důkaz bezpečnosti pro generické použití</li> </ul>

7. Výroba	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Povede se plánování výroby</li> <li>• Vyrábí se</li> <li>• Vyrábí se a vyzkoušejí se montážní skupiny složek</li> <li>• Připraví se dokumentace</li> <li>• Stanoví se výcvik</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Provede se prověření namáhání vlivy okolního prostředí</li> <li>• Provede se zkoušení zdokonalení RAM</li> <li>• Zahájí se systém hlášení poruch a opatření k nápravě (FRACAS)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zavede se plán bezpečnosti přezkoumáním, analýzou, zkoušením a hodnocením údajů</li> <li>• Použijí se záznamy o nebezpečí</li> </ul>
8. Instalace	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sestaví se systém</li> <li>• Instaluje se systém</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zahájí se výcvik pracovníků údržby</li> <li>• Stanoví se obstarávání náhradních dílů a nástrojů</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stanoví se program instalace</li> <li>• Zavede se program instalace</li> </ul>
9. Validace systému (včetně přejímky týkající se bezpečnosti a uvedení do provozu)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uvede se do provozu</li> <li>• Zahájí se zkušební doba provozu</li> <li>• Provede se výcvik</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Provede se předvedení RAM</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stanoví se program uvádění do provozu</li> <li>• Zavede se program uvádění do provozu</li> <li>• Připraví se důkaz bezpečnosti pro specifické použití</li> </ul>
10. Přejímka systému	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Provedou se postupy přejímky vycházející z kritérií přejímky</li> <li>• Shromáždí se podklady pro přejímku</li> <li>• Zahájí se provoz</li> <li>• Pokračuje se ve zkušební době provozu (přichází-li to v úvahu)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zhodnotí se předvedení RAM</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zhodnotí se důkaz bezpečnosti pro specifické použití</li> </ul>
11. Provoz a údržba	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dlouhodobý provoz systému</li> <li>• Provádí se průběžná údržba</li> <li>• Provádí se průběžný výcvik</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Průběžný nákup náhradních dílů a nástrojů</li> <li>• Provede se průběžná údržba zaměřená na bezporuchovost a logistickou podporu</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Provede se průběžná údržba zaměřená na bezpečnost</li> <li>• Provede se průběžné sledování bezpečnosti a udržování záznamů o nebezpečí</li> </ul>
12. Sledování výkonnosti	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Shromáždí se statistická data z chování v provozu</li> <li>• Získají se, analyzují se a posoudí se data</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Shromáždí se, analyzují se, vyhodnotí se a použijí se statistická data týkající se výkonnosti a RAM</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Shromáždí se, analyzuje se, vyhodnotí se a použijí se statistická data týkající se výkonnosti a bezpečnosti</li> </ul>
13. Modifikace a regenerace	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zavedou se postupy žádosti o změnu</li> <li>• Zavedou se postupy modifikace a regenerace</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uváží se dopady RAM na modifikaci a regeneraci</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uváží se dopady bezpečnosti na modifikaci a regeneraci</li> </ul>

14. Vyřazení z provozu a likvidace	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Naplánuje se vyřazení z provozu a likvidace</li> <li>• Provede se vyřazení z provozu</li> <li>• Provede se likvidace</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Žádná činnost týkající se RAM</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stanoví se plán bezpečnosti</li> <li>• Provede se analýza nebezpečí a hodnocení rizika</li> <li>• Zavede se plán bezpečnosti</li> </ul>
------------------------------------	--	---	--

Zdroj: ČSN EN 50126

Poznámka 1 Činnost řízení změny nebo managementu konfigurace platí pro všechny etapy projektu.

Poznámka 2 Činnosti ověřování a validace platí ve většině etap životního cyklu a jsou zahrnuty v hlavním textu.

Poznámka 3 Pro RAM je termín „program RAM“ běžně používaný a je přijatý touto normou. Pro bezpečnost je termín „plán bezpečnosti“ běžně používaný a je přijatý touto normou.

Poznámka 4 Je třeba vzít na vědomí, že rozsah platnosti této normy je omezen na RAMS a netýká se všech činností zajištění systému. Je však nutné zajistit synchronizaci mezi etapami RAMS a etapami spojenými s projektem a z hlediska RAMS se dohodnout na podmínkách pro přechod od jedné etapy ke druhé.

Poznámka Činnosti v rámci etap 9 a 10 mohou být v závislosti na uvažovaném použití integrovány

\* Analýzu rizika může být nutné opakovat v několika stádiích

## Příloha 2

Příklad 1: výpočet průměrných servisních nákladů na nápravnou údržbu  $N_{NAPRU}$  po poruše HW:

$$N_{NAPRU} = N_{MATN} + N_{PRACN}$$

$$N_{NAPRU} = N_{MATN} + (P_{Km/opr.} \cdot N_{1Km}) + (N_{1PRACN} \cdot P_{PRACN} \cdot MRT)$$

$$N_{NAPRU} = 10\,000 + (50 \cdot 6) + (500 \cdot 1 \cdot 2,35)$$

$$N_{NAPRU} = 11\,474, - K\check{c}$$

Příklad 2: výpočet intenzity poruch rezistoru (typ SMD 1206 RC01, profil P1):

$$\lambda = 0,1 \cdot \left( \left[ \frac{\sum_{i=1}^y (\pi_t)_i \cdot \tau_i}{\tau_{on} + \tau_{off}} \right] + 1,4 \cdot 10^{-3} \cdot \left[ \sum_{i=1}^j (\pi_n)_i \cdot (\Delta T_i)^{0,68} \right] \cdot 10^{-9} /h \right)$$

$$\lambda = 0,1 \cdot \left( \left[ \frac{e^{1740 \left( \frac{1}{303} - \frac{1}{273+42,5} \right) \cdot 1}}{1 + 0} \right] + 1,4 \cdot 10^{-3} \cdot [365^{0,76} \cdot 10^{0,68}] \cdot 10^{-9} /h \right)$$

$$\lambda = 0,027 \cdot 10^{-9} /h$$

$$\lambda = 0,027 \text{ FIT}$$