

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ

# BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

ANALÝZA SPOLEHLIVOSTI VYPÍNAČŮ PRO PŘENOSOVÉ A DISTRIBUČNÍ SÍTĚ

Autor práce: Václav Novák

Vedoucí práce: Ing. Vladimír Vajnar

Plzeň 2018

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2017/2018

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Václav NOVÁK**  
Osobní číslo: **E15B0221P**  
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**  
Název tématu: **Analýza spolehlivosti vypínačů pro přenosové a distribuční sítě**  
Zadávací katedra: **Katedra technologií a měření**

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

1. Zpracujte přehled základní teorie spolehlivosti používané v elektroenergetice.
2. Popište spolehlivostní aspekty vypínačů pro úrovně nad 52 kV.
3. Analyzujte a vyhodnoťte průzkumy provozní spolehlivosti provedené světovou asociací CIGRE.
4. Zhodnoťte trend v historickém vývoji spolehlivosti vypínačů.
5. Stanovte obecné závěry pro navrhování a provoz vypínačů.



Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah kvalifikační práce: 30 - 40 stran

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

1. Technické brožury CIGRE
2. Databáze IEEE Xplore Digital Library
3. Tůma, Rusek, Martínek, Goňo, Chemišinec: Spolehlivost v elektroenergetice. Praha, Conte, 2006
4. Bárta, Vostracký: Spínací přístroje velmi vysokého napětí. SNTL Praha, 1983.


Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Vladimír Vajnar**

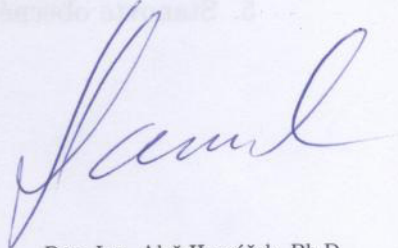
Regionální inovační centrum elektrotechniky

Datum zadání bakalářské práce: 10. října 2017

Termín odevzdání bakalářské práce: 7. června 2018

  
Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.  
děkan



  
Doc. Ing. Aleš Hamáček, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 10. října 2017

# Abstrakt

Bakalářská práce je zaměřena na problematiku spolehlivosti vypínačů přenosové a distribuční sítě. Cílem této práce bylo popsat, analyzovat a porovnat spolehlivostní aspekty vypínačů, zároveň stanovit závěry pro navrhování a provoz vypínačů. Čtenář zde bude obeznámen se spolehlivostí v energetice, která byla aplikována na získaná data CIGRÉ. V této práci byl kladen důraz na průzkum CIGRÉ, hlavně na rozložení počtu selhání, na která nahlížíme z mnoha pohledů.

## Klíčová slova

Vypínač, vysoké napětí, distribuční soustava, přenosová soustava, CIGRÉ, selhání, porucha, závada, spolehlivost, pravděpodobnost, hustota, vanová křivka, distribuční funkce, pravděpodobnostní funkce, rozdělení.

# Abstract

Novák, Václav . *Analysis of reliability of transmissional and distributional circuit breakers* [*Analýza spolehlivosti vypínačů pro přenosové distribuční sítě*]. Pilsen, 2018. Bachelor thesis (in Czech). University of West Bohemia. Faculty of Electrical Engineering. Department of Technology and Measurement. Supervisor: Ing. Vladimír Vajnar

---

The bachelor thesis is focused on the reliability of transmissional and distributional circuit breakers. The aim of this work is to describe, analyze and compare the reliability aspects of circuit breakers, at the same time to set conclusions for the design and operation of circuit breakers. The reader will be familiar with the reliability of the energy that was applied to the data of CIGRÉ. In this work, emphasis is put on the CIGRÉ survey, mainly on the number of distribution failures, which we view from many perspectives.

## Keywords

Circuit breaker, high voltage, distribution, transmission, CIGRÉ, failure, major failure, minor failure, responsible, probability, density, bath curve, distribution function, probability function, distribution.

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou závěrečnou práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Souhlasím s umístěním bakalářské práce v knihovně a s jejím dalším užitím v různých předmětech nebo k vlastní potřebě jednotlivým zájemcům. Také prohlašuji, že veškerý software použitý při řešení této bakalářské práce je legální.

V Plzni dne 5. června 2018

Václav Novák

.....  
podpis

## Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Vladimíru Vajnarovi za jeho aktivní přístup, metodické pokyny a cenné rady, které mě dovedly k vypracování bakalářské práce.

# Obsah

Seznam použitých symbolů a zkratk	vii
Seznam obrázků	viii
Seznam tabulek	ix
Úvod	1
<b>1 Teorie spolehlivosti v energetice</b>	<b>2</b>
1.1 Pojmy a definice . . . . .	2
1.2 Statistické rozdělení . . . . .	3
1.3 Teorie pravděpodobnosti . . . . .	3
1.4 Testování hypotéz . . . . .	6
1.4.1 Druhy chyb . . . . .	6
1.5 Interval spolehlivosti . . . . .	7
1.6 Interval tolerance . . . . .	7
1.6.1 Interval tolerance vs. Interval spolehlivosti . . . . .	7
1.7 Rozdělení používané v energetice . . . . .	8
1.8 Hlavní spolehlivostní ukazatele . . . . .	10
1.8.1 Vanová křivka . . . . .	11
1.9 Složité systémy . . . . .	11
1.9.1 Metoda rozkladu (řazení poruch) . . . . .	11
1.9.2 Metoda stromu událostí . . . . .	13
1.9.3 Metoda stromu poruch . . . . .	14
<b>2 Zacílení a metodologie</b>	<b>15</b>
2.1 Předchozí průzkumy . . . . .	15
2.2 Selhání . . . . .	16
2.2.1 Porucha (MaF - major failure) . . . . .	16
2.2.2 Závada (MiF - minor failure) . . . . .	16
2.2.3 Doplnění . . . . .	16
<b>3 Vypínače</b>	<b>17</b>
3.1 Fluorid sírový $SF_6$ . . . . .	17
3.2 Princip vypínače $SF_6$ . . . . .	17
3.3 Typy vypínačů . . . . .	18
3.3.1 GIS - Gas-insulated high-voltage switchgear . . . . .	19
3.3.2 Live tank vypínač . . . . .	19
3.3.3 Dead tank vypínač . . . . .	19
3.3.4 Porovnání . . . . .	19



<b>4</b>	<b>CIGRÉ průzkum</b>	<b>22</b>
4.1	Motivace . . . . .	22
4.2	Populace průzkumu . . . . .	22
4.3	Rozložení počtu selhání . . . . .	25
4.3.1	Rozložení poruch (MaF) . . . . .	25
4.3.2	Charakteristika poruch . . . . .	29
4.4	Vliv konkrétní aplikace vypínačů . . . . .	35
4.4.1	Provozní stavy při selhání vzhledem ke konkrétní aplikaci vypínače . . . . .	36
4.4.2	Původ selhání vzhledem ke konkrétní aplikaci vypínače . . . . .	36
4.4.3	Příčiny selhání vzhledem ke konkrétní aplikaci vypínače . . . . .	36
4.4.4	Typy oprav vzhledem ke konkrétní aplikaci vypínače . . . . .	36
4.5	Vliv pohonu . . . . .	37
4.5.1	Režimy selhání pohonů . . . . .	37
4.5.2	Část odpovědná za selhání pohonu . . . . .	38
4.5.3	Selhání pohonu vzhledem k provozním stavům . . . . .	39
4.5.4	Původ selhání pohonů . . . . .	39
4.5.5	Příčiny selhání pohonů . . . . .	39
4.5.6	Oprava pohonů . . . . .	40
4.5.7	Následná opatření po selhání pohonů . . . . .	40
4.6	Vliv údržby vypínačů . . . . .	40
4.6.1	Rozložení typu údržby v jednotlivých zemích . . . . .	41
4.6.2	Rozložení typu údržby vzhledem k třídám napětí . . . . .	41
4.6.3	Rozložení typu údržby vzhledem k typu provedení . . . . .	42
4.6.4	Rozložení typu údržby vzhledem k aplikaci vypínačů . . . . .	42
4.7	Vliv stáří na vypínače . . . . .	42
4.7.1	Vliv stáří vzhledem k provedení vypínačů . . . . .	42
4.7.2	Vliv stáří vzhledem k pohonům . . . . .	42
4.7.3	Vliv stáří vzhledem k napěťovým třídám . . . . .	43
<b>5</b>	<b>Shrnutí</b>	<b>44</b>
5.1	Populace . . . . .	44
5.2	Rozložení selhání . . . . .	44
5.3	Charakteristika selhání . . . . .	44
5.4	Vliv konkrétní aplikace . . . . .	46
5.5	Vliv pohonu . . . . .	46
5.6	Vliv údržby . . . . .	46
5.7	Vliv stáří na vypínače . . . . .	47
<b>6</b>	<b>Závěr</b>	<b>48</b>
<b>7</b>	<b>Literatura</b>	<b>50</b>

# Seznam použitých symbolů a zkratek

$\xi$ .....	Náhodná veličina
$P$ .....	Pravděpodobnost
$t$ .....	Čas
$F(t)$ .....	Distribuční funkce
$P(t)$ .....	Pravděpodobnostní funkce
$f(t)$ .....	Hustota pravděpodobnosti
CDF .....	Cumulative distribution function - distribuční funkce
PMF .....	Probability mass function - pravděpodobnostní funkce
PDF .....	Probability density function - hustota pravděpodobnosti
$E\xi$ .....	Střední hodnota náhodné veličiny
$D\xi$ .....	Rozptyl
$\sigma\xi$ .....	Směrodatná odchylka
$H_0$ .....	Nulová hypotéza
$H_1$ .....	Alternativní hypotéza
$\alpha$ .....	Hladina významnosti
$\beta$ .....	Dopuštění se chyby
$(1-\beta)$ .....	Síla testu
$G_h$ .....	Horní mez
$G_d$ .....	Dolní mez
$R(t)$ .....	Pravděpodobnost bezporuchového provozu
$Q(t)$ .....	Pravděpodobnost poruchy
$\lambda(t)$ .....	Intenzita poruch
MTTF .....	Mean time to failure - střední čas do poruchy
MTBF .....	Mean time between failures - střední čas mezi poruchami
ETA .....	Event tree analysis - strom událostí
FTA .....	Fault tree analysis - strom poruch
CB-years .....	Circuit breaker-years - vypínač-roky
MaF .....	Major failure - porucha
MiF .....	Minor failure - závada
$SF_6$ .....	Fluorid sírový
GIS .....	Gas-insulated switchgear - plynem izolované spínací jednotky
RTF .....	Run to failure - běh do selhání
TBM .....	Time based - časová údržba
CBM .....	Condition based maintenance - údržba dle technického stavu
RCM .....	Kombinace TDM a CBM

# Seznam obrázků

1.1	Rozdělení distribučních funkcí (převzato a upraveno z [7]) . . . . .	4
1.2	Interval spolehlivosti vs. interval tolerance (převzato a upraveno z [6]) . . . . .	8
1.3	Grafy používaných rozdělení (převzato a upraveno z [2]) . . . . .	9
1.4	Vanová křivka (převzato a upraveno z [1]) . . . . .	12
1.5	Sériové zapojení prvků (převzato a upraveno z [1]) . . . . .	12
1.6	Paralelní zapojení prvků (převzato a upraveno z [1]) . . . . .	12
1.7	Kombinované zapojení prvků (převzato a upraveno z [1]) . . . . .	13
1.8	Metoda stromu událostí (ETA) (převzato a upraveno z [1]) . . . . .	14
1.9	Metoda stromů poruch (FTA) (převzato a upraveno z [1]) . . . . .	14
3.1	Princip jednotlakového vypínače (převzato z [12]) . . . . .	18
3.2	Princip self-blast vypínače (převzato z [12]) . . . . .	18
3.3	Typy vypínačů (převzato a upraveno z [14]) . . . . .	20
3.4	Pružinový pohon (převzato z [12]) . . . . .	20
3.5	Hydraulický pohon (červená - vysoký tlak; modrá - nízký tlak) (převzato z [12]) . . . . .	21
4.1	Celkové zapojení zemí (převzato a upraveno z [10]) . . . . .	23
4.2	Frekvence poruchy - MaF/100 CB - years (převzato a upraveno z [10]) . . . . .	26
4.3	Frekvence poruchy vzhledem k napěťovým třídám - MaF/100 CB - years (převzato a upraveno z [10]) . . . . .	26
4.4	Frekvence poruchy vzhledem k pohonu - MaF/100 CB - years (převzato a upraveno z [10]) . . . . .	28
4.5	Frekvence poruchy vzhledem k provedení - MaF/100 CB - years (převzato a upraveno z [10]) . . . . .	28
4.6	Typy a rozložení MiF a MaF (převzato a upraveno z [10]) . . . . .	30
4.7	Provozní stavy při MiF a MaF (převzato a upraveno z [10]) . . . . .	31
4.8	Primární příčiny MiF a MaF (převzato a upraveno z [10]) . . . . .	33
4.9	Typy oprav pro MiF a MaF (převzato a upraveno z [10]) . . . . .	34
4.10	Rozložení MaF/100 CB - years vzhledem ke konkrétní aplikaci (převzato a upraveno z [10]) . . . . .	35
4.11	Rozložení MaF/100 CB - years vzhledem k typu pohonu (převzato a upraveno z [10]) . . . . .	38
4.12	Rozložení typů údržby (převzato a upraveno z [10]) . . . . .	41
4.13	Rozložení MaF vzhledem k stáří a provedení vypínačů (převzato a upraveno z [10]) . . . . .	42
4.14	Rozložení MaF vzhledem k stáří a typu pohonu (převzato a upraveno z [10]) . . . . .	43
4.15	Rozložení MaF vzhledem k stáří a třídám napětí (převzato a upraveno z [10]) . . . . .	43

# Seznam tabulek

4.1	Rozdělení dle provedení, počtu subjektů a zemí . . . . .	22
4.2	Rozdělení vypínačů vzhledem k napěťovým třídám a typu provedení . . . . .	23
4.3	Rozdělení vypínačů vzhledem ke konkrétní aplikaci a typu provedení . . . . .	24
4.4	Rozdělení vypínačů vzhledem k typu pohonu, provedení a napěťovým hladinám . . . . .	24
4.5	Rozdělení vypínačů vzhledem k provedení celkové populaci a napěťovým úrovním . . . . .	24
4.6	Rozložení počtu selhání . . . . .	25
4.7	Přehled - populace/MaF . . . . .	25
4.8	Frekvence poruchy vzhledem k napěťovým třídám . . . . .	26
4.9	Frekvence poruchy vzhledem ke konkrétní aplikaci . . . . .	27
4.10	Frekvence poruchy vzhledem k pohonu . . . . .	27
4.11	Frekvence poruchy vzhledem k provedení . . . . .	28
4.12	Frekvence poruchy vzhledem k období výroby . . . . .	29
4.13	Rozložení poruch na vypínačích před průzkumem . . . . .	29
4.14	MaF - požáry/exploze . . . . .	30
4.15	Odpovědná část za selhání . . . . .	32
4.16	Původ selhání . . . . .	32
4.17	Následná opatření po selhání . . . . .	34
4.18	Rozložení MaF vzhledem ke konkrétní aplikaci vypínače . . . . .	36
4.19	Rozložení MiF vzhledem ke konkrétní aplikaci vypínače . . . . .	36
4.20	Rozložení MaF vzhledem k typu pohonu . . . . .	37
4.21	Rozložení MiF vzhledem k typu pohonu . . . . .	37

# Úvod

Výkonové vypínače patří mezi ústřední části elektrizační soustavy. Jelikož požadavky na velikost přenášených výkonů stále rostou, těší se toto odvětví velkému pokroku. Dostali jsme se do doby, kdy se výhradně využívá zhášení plynem  $SF_6$ . Pro zajištění co největší životnosti a minimální poruchovosti, je zapotřebí analyzovat poruchy a závady.

Předmětem této práce je analyzování dat, které poskytlo mezinárodní sdružení CIGRÉ sídlící ve Francii. Přesné informace o provozních zkušenostech vysokonapěťových zařízení jsou významné jak pro provozovatele, tak pro výrobce. Data pomáhají výrobcům zdokonalit své produkty a uživatelům podávají informace o nástroji, který si kupují. Na základě analyzovaných dat se inovují mezinárodní normy pro vysokonapěťové zařízení. Právě proto CIGRÉ považuje shromažďování a analyzování dat za velice důležité.

V minulosti byly provedeny dva průzkumy spolehlivosti. Poslední skončil v roce 1991. Od té doby se vývoj vypínačů posunul, proto v roce 2003 CIGRÉ vytvořila novou skupinu (A3.06), která organizovala celosvětové šetření o provozu vysokonapěťových zařízení. V letech 1974 – 1977 byl proveden první průzkum, který se týkal 79 000 CB-years. Druhý průzkum (1988 - 1991) obsahoval podobnou hodnotu CB-years jako první průzkum, ale byl zaměřen na  $SF_6$ . Třetí průzkum je založen na struktuře druhého průzkumu, tudíž jsou v mnoha případech podobné a porovnatelné. Tedy třetí průzkum se soustředí na Live Tank, Dead Tank a GIS založené na technologii zhášení pomocí  $SF_6$ .

V první kapitole práce prozkoumám základní teorie pravděpodobnosti a statistiky používané v elektroenergetice. V druhé kapitole se zaměřuji na shrnutí poznatků z předchozích průzkumů, popíši metodologii a zároveň definuji důležité pojmy jako selhání, porucha a závada. V třetí kapitole představuji typy vypínačů, plyn  $SF_6$  a princip funkce vypínače. Ve čtvrté kapitole analyzuji získaná data od skupiny CIGRÉ a podrobně zkoumám spolehlivostní aspekty. V páté kapitole shrnuji a uceluji veškeré důležité informace, které jsem získal v předchozí kapitole. V poslední kapitole hodnotím poznatky a navrhuji řešení ke zlepšení provozu vypínačů.

# 1 Teorie spolehlivosti v energetice

## 1.1 Pojmy a definice

Dle Martínka [1] je spolehlivost definována jako celková vlastnost spočívající v plnění požadované funkce při splnění kritérií stanovených provozními ukazateli daných v mezích a v čase, dle stanovených technických podmínek. Spolehlivost je komplexní vlastnost, která zahrnuje např. bezporuchovost, životnost, udržitelnost, skladovatelnost a to jednotlivě nebo v kombinaci těchto technických podmínek. Technickými podmínkami rozumíme veškeré specifikace technických vlastností, které jsou stanoveny pro danou funkci objektu, dále způsob provozu, údržby, opravy, skladování a přepravy. Objektem míníme velikostí libovolný celek, který zkoumáme najednou. Do provozních ukazatelů patří ukazatele produktivity, rychlosti apod..

*Bezporuchovost* je schopnost objektu trvale plnit předepsané funkce za stanovených podmínek, ve stanovené době. Pro číselné vyjádření využíváme např. pravděpodobnost bezporuchového provozu ve stanoveném intervalu, intenzitu poruch nebo střední dobu bezporuchového provozu.

*Životnost* je schopnost objektu plnit předepsané funkce do dosažení mezního stavu při plánovaném systému údržby a oprav. Pro číselné vyjádření využíváme např. technický život, střední dobu používání.

*Udržitelnost* je vlastnost objektu, která po provedení správné údržby, předchází selháním. Pro číselné vyjádření využíváme např. pravděpodobnost provedení údržby ve stanovené době, intenzitu údržby nebo střední dobu údržby.

*Opravitelnost* je vlastnost objektu, která spočívá v odhalení selhání, zjištění příčiny, následné opravy. Pro číselné vyjádření využíváme např. pravděpodobnost provedení opravy ve stanovené době, intenzitu oprav.

*Skladovatelnost* je schopnost objektu zachovávat provozuschopný stav po dobu přepravy a skladování při dodržení stanovených podmínek. Pro číselné vyjádření využíváme např. střední dobu skladovatelnosti.

*Pohotovost* je vlastnost objektu, která zahrnuje bezporuchovost a opravitelnost v provozních podmínkách. Pro číselné vyjádření využíváme např. pravděpodobnost, že se objekt bude nacházet v libovolném čase v provozuschopném stavu.

*Bezpečnost* vlastnost objektu neohrožovat lidské zdraví nebo životní prostředí při plnění stanovené funkce, za stanovených podmínek, po stanovenou dobu. Pro číselné vyjádření využíváme např. pravděpodobnost výskytu nebezpečného selhání v daném časovém intervalu nebo intenzitu nebezpečných selhání.

## 1.2 Statistické rozdělení

Jedná se o uspořádání hodnot proměnných, ukazující jejich pozorovanou nebo teoretickou četnost výskytu [3]. Existují dva typy rozdělení:

- *Diskrétní rozdělení* - Příklad, kdy jsou pozorování v uzavřeném intervalu a předpokládáme konečný počet hodnot [2]. Jako příklad si uvedeme počet poruch za rok.
- *Spojité rozdělení* - Příklad, kdy jsou pozorování ve stejném uzavřeném intervalu a předpokládáme nekonečný počet hodnot [2]. Jako příklad si uvedeme stáří vypínačů.

Pokud je počet hodnot diskrétního rozdělení malý, transformujeme ho na distribuční rozdělení [3]. Náznorným příkladem může být roztrídění do věkových intervalů (před rokem 1989 nebo 1991 až 1993).

## 1.3 Teorie pravděpodobnosti

*Distribuční funkce (CDF - cumulative distribution function)* představuje nejkompexnější popis chování diskrétní (nespojité), nebo spojité náhodné veličiny  $\xi$ . Můžeme tedy distribuční funkci  $F(t)$  definovat jako pravděpodobnost, že náhodná veličina (proměnná  $\xi$ ) nabude hodnoty menší (případně rovné) než určitá hodnota  $t$  [4]. Konkrétním příkladem je například vypínač, který bude mít nedefinovanou referenční hodnotu tři roky. Tedy jaká bude pravděpodobnost, že u vypínače nastane porucha do třetího roku provozu.

$$F(t) = P(\xi \leq t) \quad (1.1)$$

*Pravděpodobnostní funkce (PMF - probability mass function)* popisuje chování nespojité náhodné veličiny, tedy funkce přiřazuje každé hodnotě náhodné veličiny  $\xi$  pravděpodobnost, s jakou se vyskytuje [4]. Náhodná veličina nabude konkrétní hodnoty. Příkladem nám budou zjištěné poruchy na vyřazených vypínačích. Pravděpodobnostní funkce přiřadí každé poruše pravděpodobnost výskytu. Například pravděpodobnost závady malého úniku  $SF_6$  bude 35,6%.

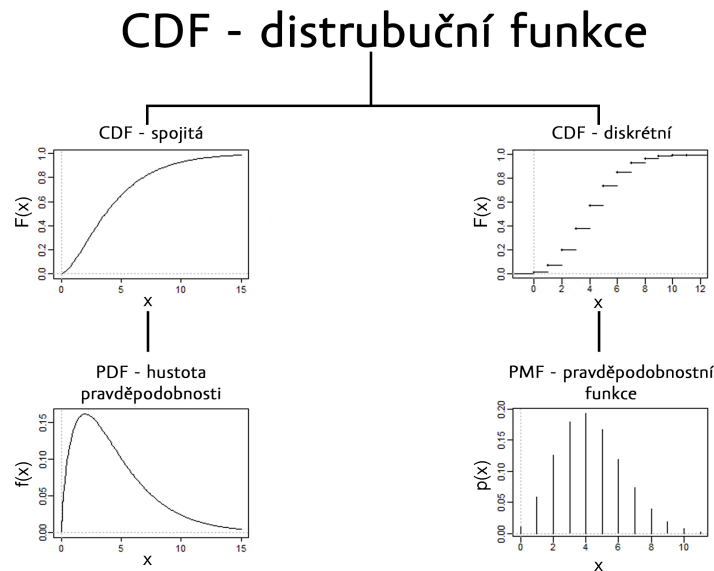
$$P(t) = P(\xi = t) \quad (1.2)$$

Důležitá podmínka, která musí být splněna:

$$\sum P(t) = 1 \quad (1.3)$$

Součet všech pravděpodobností je roven jedné. Díky pravděpodobnostní funkci tvrdíme, že náhodná veličina nabude hodnoty v konkrétním intervalu  $(t_1; t_2)$  [2].

$$P(t_1 \leq \xi \leq t_2) = \sum_{t_1}^{t_2} P(t) \quad (1.4)$$



**Obrázek 1.1:** Rozdělení distribučních funkcí (převzato a upraveno z [7])

*Hustota pravděpodobnosti (PDF - probability density function)* je ekvivalentem pravděpodobnostní funkce, ale s tím rozdílem, že pracuje se spojitou náhodnou veličinou. Má-li  $F(t)$  derivaci pro všechna  $t$ , nazýváme tuto derivaci hustotou pravděpodobnosti a náhodná veličina může nabývat libovolný počet hodnot, u kterých není možné přiřadit konkrétní veličině pravděpodobnost. Můžeme ji však přiřadit pravděpodobnost libovolně malého intervalu [4]. V intervalu jsme schopni spočítat plochu pod křivkou, samotná veličina - úsečka, žádnou plochu nemá, tedy pravděpodobnost, že se do úsečky trefíme je nulová. Příkladem nám bude časová osa rozdělena po sekundách. Pravděpodobnost, že vypínač vybaví přesně v druhé sekundě je nulová, ale pravděpodobnost, že vypínač vybaví v intervalu +/- pěti milisekund již hodnotu má.

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = \frac{dQ(t)}{dt} = -\frac{dR(t)}{dt} \tag{1.5}$$

*Střední hodnota* je průměrná hodnota, kterou získáme měřením náhodné veličiny  $\xi$ . Tu bychom spočetli, pokud by se náhodná veličina chovala podle distribuční funkce  $F(t)$ . Zároveň je zde třeba rozlišovat, zda se jedná o spojitou, či nespojitou náhodnou veličinu. [5]

- pro diskrétní NV:

$$E\xi = \mu = \sum_{(i)} t_i \cdot P(t_i) \tag{1.6}$$

- pro spojitou NV:

$$E\xi = \mu = \int_{-\infty}^{\infty} t \cdot f(t)dt \tag{1.7}$$

Příkladem nám budou vypínače vyrobené od roku 1995 - 1999. Každý rok bude mít své procentuální zastoupení z tohoto vrorku:



- 1995 - 40%
- 1996 - 25%
- 1997 - 10%
- 1998 - 25%

$$E\xi = \mu_x = (1995 \cdot 0,4) + (1996 \cdot 0,25) + (1997 \cdot 0,1) + (1998 \cdot 0,25) = 1996,2 \quad (1.8)$$

*Rozptyl* udává, pomocí druhé mocniny, jak daleko by se odchylovaly naměřené hodnoty od střední hodnoty  $E\xi$ , pokud by náhodná veličina  $\xi$  dodržela přesný průběh distribuční funkce  $F(t)$  [5].

- pro diskretní NV:

$$D\xi = \sigma^2 = \sum_{(t_i)} (t_i - E(\xi))^2 \cdot P(t_i) \quad (1.9)$$

- pro spojitou NV:

$$D\xi = \sigma^2 = \int_{-\infty}^{\infty} (t - E(\xi))^2 \cdot f(t) dt \quad (1.10)$$

Pro příklad využijeme hodnoty, které jsme použili a spočetli u střední hodnoty. Po úpravě vzorce pro diskretní náhodnou veličinu získáme:

$$D\xi = E(\xi^2) - (E(\xi))^2 \quad (1.11)$$

Po dosazení:

$$D\xi = ((1995 - 1996,2)^2 \cdot 0,4) + ((1996 - 1996,2)^2 \cdot 0,25) \quad (1.12)$$

$$+ ((1997 - 1996,2)^2 \cdot 0,1) + ((1998 - 1996,2)^2 \cdot 0,25) = 1,46 \quad (1.13)$$

Jelikož veličina  $D\xi$  je kvadrátem veličiny  $\xi$ , tak je potřeba zjistit *směrodatnou odchylku*, která nám ukazuje míru odklonění veličiny  $\xi$  od střední hodnoty  $E\xi$  a to v totožných jednotkách [5]. Směrodatná odchylka je definována jako:

$$\sigma(\xi) = \sqrt{D\xi} \quad (1.14)$$

U našeho konkrétního příkladu dostáváme po odmocnění hodnotu v rocích, nikoli rok na kvadrát. Tedy tato hodnota je pro nás více vypovídající než rozptyl.

*Medián* je hodnota prostředního prvku v množině, pokud platí podmínka, že prvky jsou uspořádány

ve vzestupném, či sestupném pořadí. Záleží, zda množina obsahuje lichý, nebo sudý počet prvků. Pokud máme lichou množinu prvků, vybereme prostřední člen. Pokud máme sudou množinu prvků, z prostředních dvou vypočítáme aritmetický průměr [2]. Příkladem pro nás stále budou vypínače vyrobené během roku 1995 - 1998. Po vzestupném seřazení, kdy jsme brali v potaz procentuální rozložení (pracujeme se 100-prvkovou množinou), se v polovině nachází rok 1996.

## 1.4 Testování hypotéz

*Statistická hypotéza* je jakékoliv tvrzení, které se zabývá neznámými parametry, rozdělením a dalšími vlastnostmi. Prvním krokem je definice nulové hypotézy  $H_0$ , tím míníme tvrzení, které má nulový rozdíl, tedy vyjadřuje přesnou hodnotu (např.  $\mu_1 = \text{konst.}$ ). Dále zavádíme alternativní hypotézu  $H_1$ , která popírá  $H_0$ . Alternativní hypotéza může být oboustranná ( $H_1: \mu_1 \neq \mu_2$ ), nebo jednostranná, a sice pravostranná hypotéza ( $H_1: \mu_1 > \mu_2$ ), nebo levostranná hypotéza ( $H_1: \mu_1 < \mu_2$ ). Jestliže hodnota testové statistiky padne do oboru zamítnutí, zamítneme  $H_0$ . Naopak, jestliže se nedohledáme protikladu, platí nulová podmínka. [4]

### 1.4.1 Druhy chyb

Cílem je dokázat, že platí  $H_1$ .

- **Chyba prvního druhu** - přijímáme hypotézu  $H_1$ , přitom platí hypotéza  $H_0$ . Pravděpodobnost, že se této chyby dopustíme, reprezentuje  $\alpha$  - **hladina významnosti** (např.  $\alpha = 5\%$ ).
- **Chyba druhého druhu** - přijímáme hypotézu  $H_0$ , přitom platí hypotéza  $H_1$ . Pravděpodobnost, že se této chyby dopustíme, reprezentuje  $\beta$  (např.  $\beta = 5\%$ ). K této chybě se váže termín **síla testu** ( $1-\beta$ ), neboli doplněk k tomu, že se dopustíme chyby druhého druhu. Za předpokladu  $\beta = 5\%$ , tak pravděpodobnost, že se nedopustíme chyby druhého druhu je  $1-\beta=1-0,05=0,95=95\%$ .

Jako příklad si nadefinujeme tyto podmínky:

- $H_0$ : Frekvence selhání mých vypínačů bude stejná jako frekvence selhání u populace, kterou měřilo CIGRÉ.
- $H_1$ : Frekvence selhání mých vypínačů bude rozdílná než frekvence selhání u populace CIGRÉ.

Pro přijetí, či nepřijetí  $H_1$  využijeme **Dvouvýběrový t-test**, kde musíme znát průměrnou frekvenci selhání našich vypínačů a vypínačů populace CIGRÉ ( $\xi_1, \xi_2$ ). Také známe počet mých vypínačů a vypínačů, které zaštiťuje CIGRÉ ( $n_1, n_2$ ). Dále víme rozptyly populací ( $\sigma_1^2, \sigma_2^2$ ).

Testové kritérium:

$$U = \frac{\xi_1 - \xi_2}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}} \quad (1.15)$$

- $H_0: \mu_1 = \mu_2$  - shodný průměr frekvence selhání

- $H_1: \mu_1 \neq \mu_2$  - dvoustranná hypotéza

Chceme, aby hodnota testovací statistiky  $\neq u_{0,95}(1,645)$ . Zvolili jsme hladinu významnosti  $\alpha = 5\%$ , proto  $u_{0,95}$ . Hodnotu 1,645 nalezneme v tabulkách pro kvantily normovaného normálního rozdělení. Následně dosadíme do testového kritéria a porovnáme, zda se výsledek rovná hodnotě 1,645. Pokud se nerovná, podařilo se nám dokázat, hypotéza  $H_1$  platí a zamítáme hypotézu  $H_0$ .

## 1.5 Interval spolehlivosti

Jedná se o intervalový odhad distribučního parametru, v tomto případě o frekvenci selhání. Šířka intervalu spolehlivosti je dána pouze chybou vzorku. Úroveň spolehlivosti je vždy menší než 1 a je obvykle vyjádřena jako procentní podíl, proto lze mluvit o frekvenci selhání s "95% úrovní spolehlivosti", což znamená interval spolehlivosti má 95% pravděpodobnost, že bude obsahovat frekvenci selhání. Pozorovaná hodnota je bodový odhad a koncové body intervalu spolehlivosti jsou označovány jako mezní hodnoty spolehlivosti. Maximální koncový bod se nazývá horní mezní hodnota spolehlivosti a minimální koncový bod se nazývá dolní mezní hodnota spolehlivosti. Intervaly spolehlivosti dělíme na jednostranné a oboustranné. [4]

- **Jednostranné - horní mez ( $G_h$ )**

$$P(G \geq G_h) = \alpha \quad (1.16)$$

$$P(G < G_h) = 1 - \alpha \quad (1.17)$$

- **Jednostranné - dolní mez ( $G_d$ )**

$$P(G \leq G_d) = \alpha \quad (1.18)$$

$$P(G > G_d) = 1 - \alpha \quad (1.19)$$

- **Oboustranné**

$$P(G_d < G < G_h) = 1 - 2\alpha \quad (1.20)$$

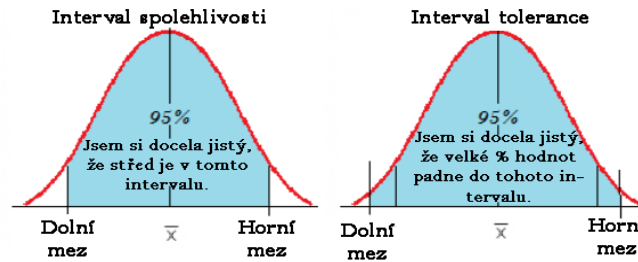
## 1.6 Interval tolerance

Interval tolerance je rozsah, který pravděpodobně obsahuje určitou část populace. Chceme-li vytvořit toleranční intervaly, musíte specifikovat jak podíl populace, tak i hladinu spolehlivosti  $1-\alpha$ . Hladina spolehlivosti je pravděpodobnost, že interval skutečně pokrývá danou plochu populace. [6]

### 1.6.1 Interval tolerance vs. Interval spolehlivosti

- **Interval spolehlivosti** obsahuje parametr s jistou úrovní spolehlivosti. Jinými slovy, informuje o pravděpodobném umístění parametru do souboru dat. Můžeme například mít 95% jistotu, že průměrná životnost vypínače je od 20 do 25 let. To znamená, že pokud opakujeme experiment znovu a znovu, v 95% případů nastane to, že průměrná životnost vypínače připadne do tohoto intervalu.

- **Interval tolerance** pokrývá stanovenou část populace pro danou úroveň spolehlivosti. Například 75% vypínačů spadne do intervalu 15 až 30 let s 95% jistotou. [6]



Obrázek 1.2: Interval spolehlivosti vs. interval tolerance (převzato a upraveno z [6])

## 1.7 Rozdělení používané v energetice

Rozdělení popisuje pravděpodobnostní chování náhodné veličiny (při dané pravděpodobnostní míře  $P$ ), nikoliv veličinu samotnou. Můžeme tak mít dvě různé veličiny, ve stejných nebo na různých pravděpodobnostních prostorech, které mají stejné rozdělení. Změníme-li  $P$ , může se změnit rozdělení veličiny  $\xi$ . [2, 4]

*Binomické rozdělení* popisuje četnost náhodného jevu v několika nezávislých pokusech, v nichž má jev stále stejnou pravděpodobnost. Tedy kolikrát nastane jev  $A$  s pravděpodobností  $p$  v  $n$  opakování. [1, 4]

$$P(X = k) = \binom{n}{k} \cdot p^k \cdot (1 - p)^{n-k} \quad (1.21)$$

- $n$  - počet pokusů
- $p$  - pravděpodobnost výskytu jevu
- $k$  - konkrétní počet výskytů jevu

*Poissonovo rozdělení* popisuje výskyt izolovaných jevů v závislosti na čase, délce, objemu, množství apod. Počet výskytů v měrné jednotce musí být předem daný. Za určitých podmínek jsme schopni aproximovat Binomické rozdělení Poissonovým rozdělením. Podmínkami je myšleno velký počet  $n$  pokusů a pravděpodobnost výskytu  $A$ , jež je velmi malá. Toto rozdělení má parametr  $\lambda$ , který vypočítáme jako součin parametrů pro binomické rozdělení ( $\lambda = n \cdot p$ ). [1, 4]

$$P(k) = \frac{\lambda^k}{k!} \cdot e^{-\lambda} \quad (1.22)$$

- **Podmínky:**  $k = 0, 1, 2, \dots$  a  $\lambda > 0$
- *parametr* ( $\lambda$ ) - počet výskytů daného jevu (poruch) za časovou jednotku
- $k$  - konkrétní počet výskytů náhodného jevu

*Exponenciální rozdělení* je určeno jedním parametrem  $\lambda$ . Představuje dobu čekání do poruchy (časový nebo délkový interval). Toto rozdělení je vhodné pro období provozu ve vanové křivce. Není však

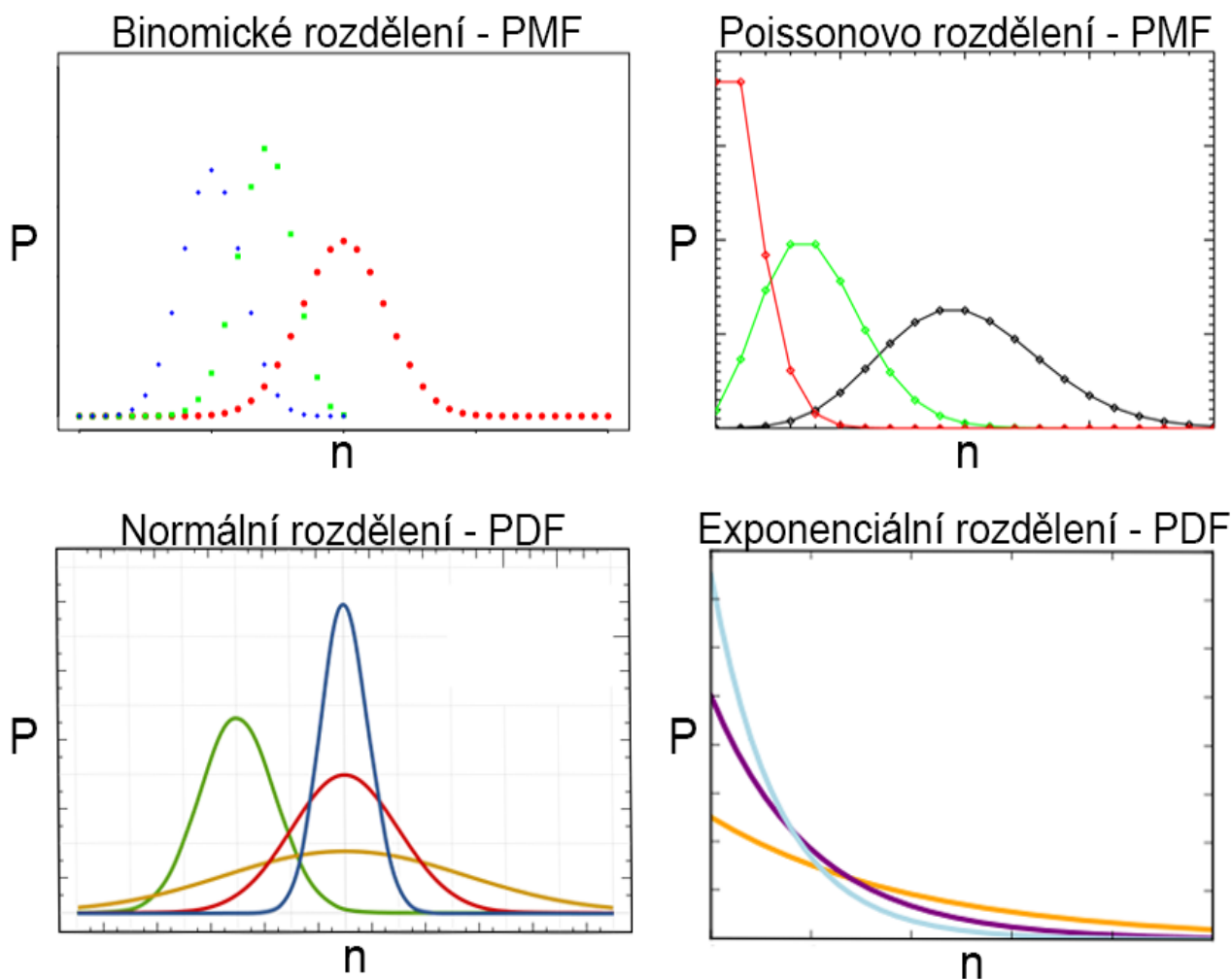
vhodné pro počáteční období ani období stárnutí. [1, 4]

$$F(x) = 1 - e^{-\lambda \cdot x} \tag{1.23}$$

- **Podmínka:**  $x > 0$

*Normální rozdělení* patří mezi nejdůležitější rozdělení. Mnoho jiných rozdělení se mu blíží a řada jiných rozdělení se jim dá nahradit (Charlierovo rozdělení, Logaritmicko–normální rozdělení). Používá se v případech, kdy kolísání náhodné veličiny je následkem malých, vzájemně nezávislých vlivů. Tyto nuance mají za následek vznik odchylky. V praxi se toto rozdělení používá k zjištění doby do poruchy stárnuocího prvku, tedy je použitelné k modelování období stárnutí vanové křivky. Normální rozdělení obsahuje dva parametry ( $\mu, \sigma$ ), které určují následný tvar grafu. [1, 4]

*Weibullovo rozdělení* dokáže aproximovat jiná rozdělení (exponenciální apod.), tedy z malého vzorku dat můžeme určit poruchovost. Správným nadefinováním parametrů, jsme schopni toto rozdělení využít jak u počátečního období, tak období stárnutí. [1]



**Obrázek 1.3:** Grafy používaných rozdělení (převzato a upraveno z [2])

## 1.8 Hlavní spolehlivostní ukazatele

Následující 4 základní veličiny  $R(t)$ ,  $Q(t)$ ,  $f(t)$ ,  $\lambda(t)$  popisují totožně bezporuchovost neopraveného objektu a z každé jsme schopni odvodit zbylé 3 rovnice. [1]

*Pravděpodobnost bezporuchového provozu* znamená, že porucha objektu nenastane v časovém intervalu  $(0; t)$ . Pravděpodobnost bezporuchového provozu značíme písmenem  $R$  a její předpis je:

$$R(t) = P(\xi > t) \quad (1.24)$$

- kde  $\xi$  je náhodná veličina (doba do poruchy)

*Pravděpodobnost poruchy* znamená, že porucha objektu v intervalu  $(0; t)$  nastane. Pravděpodobnost má předpis:

$$Q(t) = P(\xi \leq t) = 1 - R(t) \quad (1.25)$$

Z funkcí vyplývá, že jsou si doplňkem.  $R(t)$  je nerostoucí funkce času,  $Q(t)$  je neklesající funkce času. Obě funkce nabývají maximálně hodnoty rovné jedné  $(0; 1)$ . Z pravidla předpokládáme, že  $R(0) = 1$ ,  $R(\infty) = 0$ .

*Hustota pravděpodobnosti poruchy* je příslušná k distribuční funkci  $Q(t)$  a má předpis:

$$f(t) = \frac{dQ(t)}{dt} = -\frac{dR(t)}{dt} \quad (1.26)$$

*Intenzita poruch* je poměrem hustoty pravděpodobnosti poruchy a pravděpodobnosti bezporuchového provozu. Hodnota intenzity poruch nám určuje počet poruch v závislosti na diskrétní veličině. Je dána vztahem:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (1.27)$$

*Střední doba bezporuchového provozu - MTTF (Mean Time to Failure)* je doba, po kterou se u zařízení očekává, že bude v provozu. Tato metoda je jednou z mnoha způsobů hodnocení spolehlivosti. Obdobná metoda se nazývá *střední doba mezi poruchami - MTBF (Mean Time Between Failures)*. Rozdíl mezi těmito metodami spočívá v tom, že zatímco MTBF se používá pro objekty, které mohou být opraveny a vráceny k použití, MTTF se používá pro neopravitelné objekty. MTBF se vztahuje k průměrnému času, který objekt funguje před selháním. Tato měrná jednotka zahrnuje pouze provozní dobu mezi poruchami a nezahrnuje opravné časy. Čísla MTBF se často používají k odhalení toho, jak

je pravděpodobné, že jednotlivá jednotka selže během určitého časového období. [1]

$$MTTF = \int_{\infty}^0 t \cdot f(t) dt = \int_{\infty}^0 R(t) dt \quad (1.28)$$

$$MTBF = \frac{t}{N(t)} \quad (1.29)$$

kde

- $t$  - kumulativní provozní doba
- $N(t)$  - pozorovaný počet poruch za čas

### 1.8.1 Vanová křivka

Popisuje průběh intenzity poruch v závislosti na čase nebo na jiné veličině. Obvykle se dělí na tři části. V prvním úseku (*období časných poruch*) chybovost klesá. Selhání jsou v tomto úseku z většiny případů způsobeny následkem zavádění do provozu. Tyto závady jsou způsobeny chybami při výrobě, instalaci (kojenecká úmrtnost, doba zahoření apod.). Po překonání období časných poruch, se křivka ustálí a je konstantní. Druhé období (*období normálního využívání*) obsahuje poruchy náhodné bez jasných příčin. Tento úsek se snažíme mít co nejdelší, tedy intenzitu poruch co nejnižší. V tomto úseku dochází vlivem vykonané práce prvku ke zvětšování intenzity poruch. Pravidelnými revizemi a opravami se následná intenzita poruch opět snižuje. Třetí úsek (*období stárnutí*) se vyznačuje zvyšující se intenzitou poruch, který je způsobený stárnutím, degradací materiálu. Vanová křivka je univerzální a mocný nástroj pro zhodnocení životnosti produktu. Při samotném simulování křivky obvykle zanedbáváme první úsek. Další možnosti spočívají v rozdělení na tři části a každá část se počítá separovaně pomocí konkrétních metod. Vanová křivka může mít tvar viz obr. 1.4. [1]

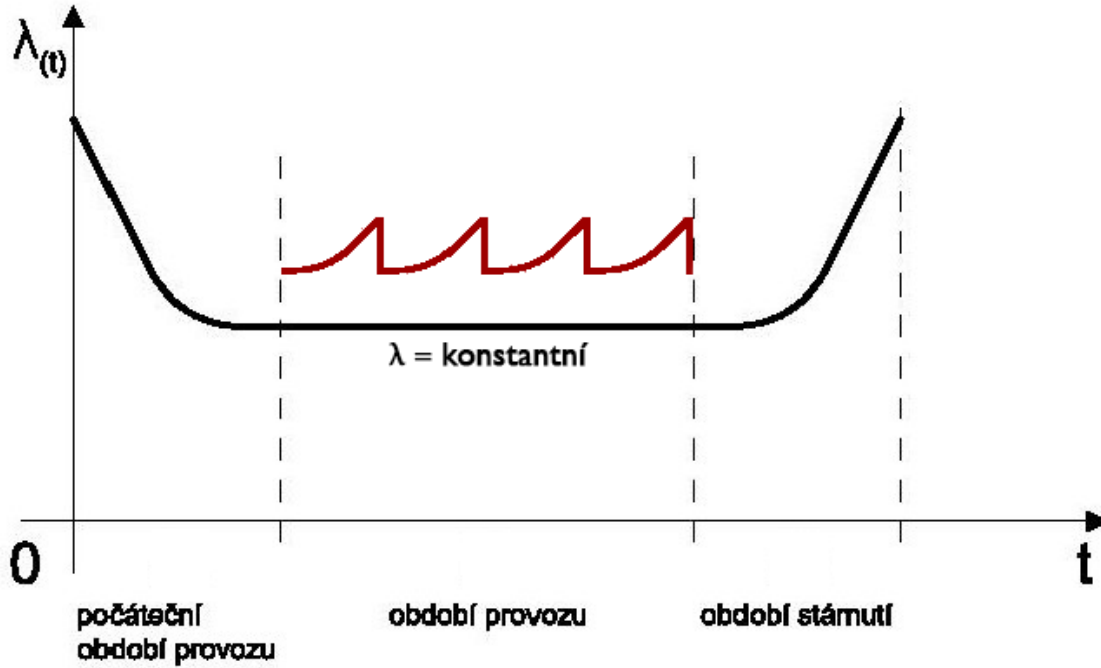
## 1.9 Složité systémy

### 1.9.1 Metoda rozkladu (řazení poruch)

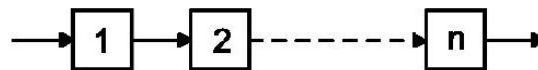
Spolehlivost objektu závisí na spolehlivosti jeho dílčích prvků. Systém prvků vždy odpovídá určitému zapojení. [1]

Správná činnost objektu veškerých prvků odpovídá *sériovému zapojení* 1.5, i když zapojení v objektu může být libovolné. Pokud máme několik vypínačů v sériovém zapojení, ke splnění funkce musí být všechny v bezporuchovém stavu. V matematickém vyjádření se jedná o součin pravděpodobností bezporuchového provozu veškerých prvků objektu.

$$R_S = P(x_1 \cap x_2 \cap \dots \cap x_n) = R_1 \cdot R_2 \cdot \dots \cdot R_n = \prod_{i=1}^n R_i \quad (1.30)$$

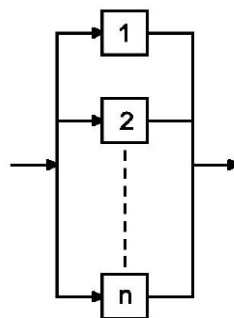


Obrázek 1.4: Vanová křivka (převzato a upraveno z [1])



Obrázek 1.5: Sériové zapojení prvků (převzato a upraveno z [1])

*Paralelní zapojení* 1.6 je systém, který se dostane do poruchového stavu pouze tehdy, když všechny jeho prvky selhaly. Tedy neexistuje žádná cesta, která by převedla informaci ze vstupu na výstup. *Paralelní zapojení* prvků je doplňkem *sériového zapojení* prvků viz rovnice (1.32)



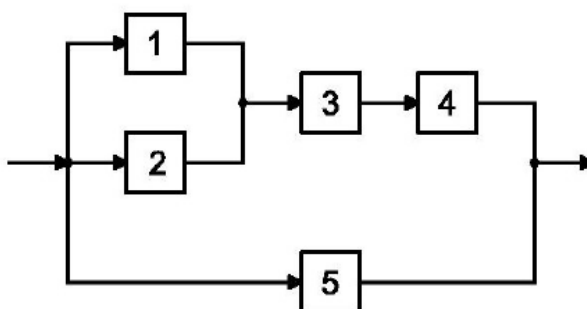
Obrázek 1.6: Paralelní zapojení prvků (převzato a upraveno z [1])



$$Q_S = P(\bar{x}_1 \cap \bar{x}_2 \cap \dots \cap \bar{x}_n) = Q_1 \cdot Q_2 \cdot \dots \cdot Q_n = \prod_{i=1}^n Q_i \quad (1.31)$$

$$R_S = 1 - \prod_{i=1}^n Q_i = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i) \quad (1.32)$$

Kombinované soustavy se skládají ze sériového a paralelního zapojení. V praxi, ve většině objektů, se model spolehlivosti shoduje se sériovým zapojením. Na obr. 1.7 vidíme kombinované zapojení. Paralelní zapojení se využívá k zálohování, tedy k zvyšování spolehlivosti. Zálohování můžeme rozdělit na několik typů. Jestliže záložní prvek pracuje ve stejném režimu jako prvek hlavní, jedná se o zálohu zatíženou (horká rezerva). Pokud záložní prvek pracuje v mírnějším režimu, nazýváme ho odlehčená záloha. Posledním případem míníme nezatíženou zálohu (studená rezerva), neboli prvek nacházející se v takovém režimu, ve kterém nemůže selhat. V praxi se k zálohování nejčastěji využívá odlehčená rezerva.



**Obrázek 1.7:** Kombinované zapojení prvků (převzato a upraveno z [1])

Máme-li určenou funkci pravděpodobnosti bezporuchového stavu  $R_s$  (funkce vycházející ze společného zapojení prvků), lze pomocí parciálních derivací provést citlivostní analýzu. Z následujících velikostí parciálních derivací, lze poznat, který prvek má největší a nejmenší pravděpodobnost bezporuchového stavu. Rovnice (1.33) se vztahuje ke kombinované soustavě na obr. 1.7.

$$R_s = \{1 - [1 - (1 - (1 - R_1) \cdot (1 - R_2)) \cdot R_3 \cdot R_4] \cdot (1 - R_5)\} \quad (1.33)$$

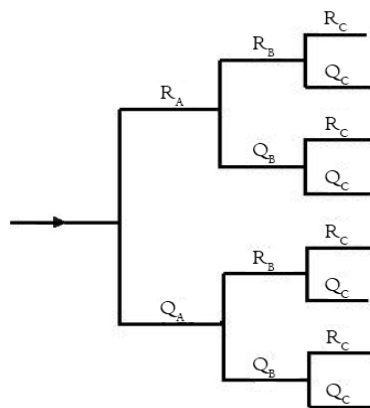
$$\frac{\partial R_s}{\partial R_1}, \frac{\partial R_s}{\partial R_2}, \dots, \frac{\partial R_s}{\partial R_n} \quad (1.34)$$

$$\Delta R_s = \frac{\partial R_s}{\partial R_1} \cdot \Delta R_1 + \frac{\partial R_s}{\partial R_2} \cdot \Delta R_2 + \dots + \frac{\partial R_s}{\partial R_n} \cdot \Delta R_n \quad (1.35)$$

### 1.9.2 Metoda stromu událostí

Analýza založena na binární logice (Event Tree Analysis - ETA) 1.8, v níž se mohlo cokoliv stát, či nestát (událost, prvek). Tato metoda je velice užitečná při analýze důsledků vyplývajících ze selhání nebo nežádoucích událostí. Strom událostí začíná iniciační událostí, např. selhání součásti, zvýšení tep-

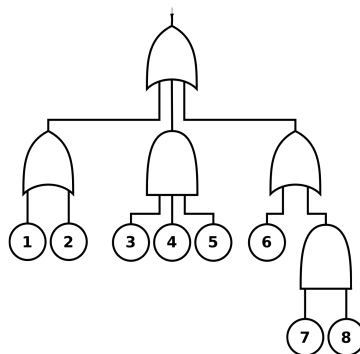
loty, tlaku nebo uvolnění nebezpečné látky. Důsledky události jsou následovány řadou možných cest. Každá cesta má hodnotu pravděpodobnosti výskytu. Lze vypočítat pravděpodobnost různých možných výsledků. Celkový počet drah strmě roste ( $2^n$ ), proto místo celkového stromu, tvoříme redukovanou část stromu. [1]



**Obrázek 1.8:** Metoda stromu událostí (ETA) (převzato a upraveno z [1])

### 1.9.3 Metoda stromu poruch

Metoda stromu poruch (Fault Tree Analysis - FTA) 1.9 pracuje na podobném principu jako metoda stromu událostí, ale naopak. Principem této analýzy je, že předpokládáme vždy určitou poruchu systému (tzv. vrcholná událost) a hledáme její příčiny, čímž vytváříme strom udávající různé kombinace poruch. Tato metoda se používá kvalitativně, neboť nám dokáže ukázat cestu k potenciální poruše. [1]



**Obrázek 1.9:** Metoda stromů poruch (FTA) (převzato a upraveno z [1])

## 2 Zacílení a metodologie

Vypínače jsou jedním z nejdůležitějších ochranných a řídicích zařízení v napájecím systému. Jsou to přístroje, které vypínají nejen jmenovité proudy, ale také vypínají zkratové proudy. V obvodech vysokého a velmi vysokého napětí mají kromě spínací funkce také funkci ochrannou (OZE<sup>1</sup>[8]). Pohony těchto vypínačů musí být schopny natáhnout pružinu, která inicializuje zapnutí a vypnutí, tím pádem zde vznikají obrovské mechanické rázy, které kladou na pohony vypínačů velmi vysoké nároky. Vypínače s vysokou statistikou selhání by měly být intenzivně analyzovány, aby se zabránilo nepředvídatelné poruše. Zhoršení výkonu vypínačů závisí na kvalitě zařízení, údržbě, okolním prostředí (teplota, vlhkost, znečištění). [9]

Ke konkrétnímu určení frekvence selhání spínacích prvků a celkové podrobnosti o zařízeních musela být data určitým způsobem zaznamenávána. Proto pro každý typ zařízení byly použity dva formuláře. Jeden k informacím o vybavení prvků a druhý pro selhání. První typ (Population card) byl vyplňován každoročně (jedna karta na každý rok). Karta o selhání (Failure card) byla vyplněna vždy, když došlo k selhání. Pro GIS byla používána karta údržby (GIS maintenance card), kde se shromažďovaly informace o rozdílnostech v testování vysokého napětí, diagnostiky, monitorování, údržby a servisu. Shromažďování údajů bylo prováděno pomocí tabulkového listu obsahující čtyři Population card, čtyři karty o selhání (Failure card) a GIS kartu údržby. Všechny otázky byly na bázi zaškrťování políček, popřípadě bylo třeba vyplnit vstupní informace (data, čísla). Nástroj byl vícejazyčný (jedenáct jazyků), tedy byla možnost mezi nimi přepínat.

Population card požadovaly věk a počet zkoumaných součástí seskupených podle napěťové úrovně, aplikace, technologie, provedení a údržby. Karty selhání vyžadovaly stejný typ informací o selhané komponentě spolu s informacemi popisující samotné selhání (původ, příčina selhání, zda se jedná o poruchu, či závadu, zda přispělo prostředí). Dále byly zahrnuty otázky týkající se historie provozu selhané součástky a následné informace o opravě a provedených opatření. Hlavním cíle průzkumu bylo porovnat trendy s předchozími průzkumy. Tedy většina definic a otázek jsou shodné s těmi, které byly uplatněny v dřívějších průzkumech. Zejména je důležitá definice selhání, výrazy porucha a závada, které jsou definovány v normě IEC. Ti co měli zájem se podílet na průzkumu, dostali formuláře e-mailem. Po vyplnění formulářů vrátili soubor členovi, který odpovídal za konkrétní zemi. Po kontrole kvality byla data shromažďována a předána pro následnou statistickou analýzu. Informace byly pouze od koncových provozovatelů, nikoliv od výrobců, jako v předchozích průzkumech. Všechna přijatá data byla považována za důvěrná.

### 2.1 Předchozí průzkumy

První průzkum vypínačů byl proveden v letech 1974 - 1977 a týkal se téměř 79 000 CB-years vypínačů. Výsledky byly zveřejněny v roce 1981 a měly významný dopad na normalizační práci IEC, včetně mechanických a environmentálních zkušebních postupů. Druhý průzkum vypínačů pokrýval téměř

<sup>1</sup>Ochrana kontroluje určité části elektroenergetického systému. Informace o jednotlivých veličinách chráněného objektu získává ochrana pomocí přístrojových transformátorů napětí a proudu. Tyto informace ochrana vyhodnotí a na základě tohoto vyhodnocení rozhodne, zda je chráněný objekt v mezích normálního provozu nebo zda jde o poruchu. V případě poruchy dá pokyn pohonu vypínače, který odepne postižený objekt nebo úsek sítě.

stejný počet vypínačů, ale byl omezen na  $SF_6$  technologii. Údaje o službách byly shromážděny v období 1988-1991. Velmi komplexní a detailní zpráva o 180 stranách zůstává velmi cenným zdrojem informací pro komunitu spínacích přístrojů. První průzkum selhání konvenčních přístrojových transformátorů byl publikován v roce 1990. Zahrnuje selhání z let 1970-1986. Také byl proveden druhý průzkum selhání přístrojových transformátorů, který pokrýval roky 1985-1995. Tento průzkum využil pouze příspěvky provozovatelů a výsledky byly zveřejněny v roce 2009. Též jako v prvním průzkumu nebylo v populaci žádné věkové omezení. První výsledek průzkumu zaměřený pouze na GIS byl publikován v letech 1992 až 1994. Byli zde zakomponováni jak provozovatelé, tak výrobci. Zkušenosti provozovatelů představovaly 78 036 CB-years, zkušenosti výrobců představovaly 199 473 CB-years. V celkové populaci nebylo žádné věkové omezení. V druhém průzkumu byla věnována zvláštní pozornost postupům údržby GIS a míře úniku plynů  $SF_6$ .

## 2.2 Selhání

Tímto termínem míníme snížení, či úplnou ztrátu schopnosti plnit určitou funkci. Proto je důležité selhání správně rozdělit (porucha, závada) [9].

### 2.2.1 Porucha (MaF - major failure)

Rozsáhlé selhání, které je většinou spojeno se spínacím, či řídicím prvkem. Způsobuje zastavení jedné nebo více základních funkcí. Jedná se o závažné selhání, tedy o odstavení systému minimálně na 30 minut. Dobu opravy vypínače nazýváme výpadek.

### 2.2.2 Závada (MiF - minor failure)

Drobné selhání, které nemá významný vliv na funkci vypínače, dochází k částečné ztrátě funkce. Může se týkat kompletní poruchy prvku, podprvku, který nezpůsobí závažné selhání, tedy nenaplní definici *MaF*.

### 2.2.3 Doplnění

Na selhání a jeho zaznamenávání musíme pohlížet také z jiného pohledu. Například CIGRÉ může mít definovanou poruchu tak, že způsobí výpadek, k tomu mohou být přidány některé důsledky, jako je přenos energie na jiné trasy, či ztráta dodané energie. Někteří respondenti však používají jinou definici a mají jinak nastavené zaznamenávající nástroje. Jejich vnitřní statistika selhání se bude lišit od té, kterou by si CIGRÉ představovalo. Například neplánovaný výpadek systému způsobený poruchou zařízení s vysokým napětím znamená, že přístroj utrpěl závažnou poruchu systému. Existuje však několik typů závažných poruch, které nevedou automaticky k výpadekům systému. To znamená, že nástroj, který zaznamenává pouze poruchy, které způsobují výpadky systému, nezaznamená veškeré závažné poruchy, které se vyskytnou, přičemž malé závady nemusí být vůbec registrovány. Tento rozpor způsobený různými definicemi selhání je faktor, který je třeba mít při analýze a interpretaci údajů na paměti.

## 3 Vypínače

S vyššími nároky na spínací přístroje a obecně na přenášené hodnoty napětí je potřeba přicházet i s novými izolačními a zhášecími látkami. Tlakovzdušný vypínač a jeho vypínací výkon můžeme zlepšit tím, že místo vzduchu použijeme plyn s vhodnějšími izolačními vlastnostmi. Klasické tlakovzdušné vypínače nejsou úplně vzduchotěsné, ale to není žádný problém, neboť pomocí kompresoru si ztracený tlak zpětně doplníme na potřebné množství. U technických plynů ( $SF_6$ ) tato možnost není, proto musíme mít nádobu vzduchotěsnou. [11]

### 3.1 Fluorid sírový $SF_6$

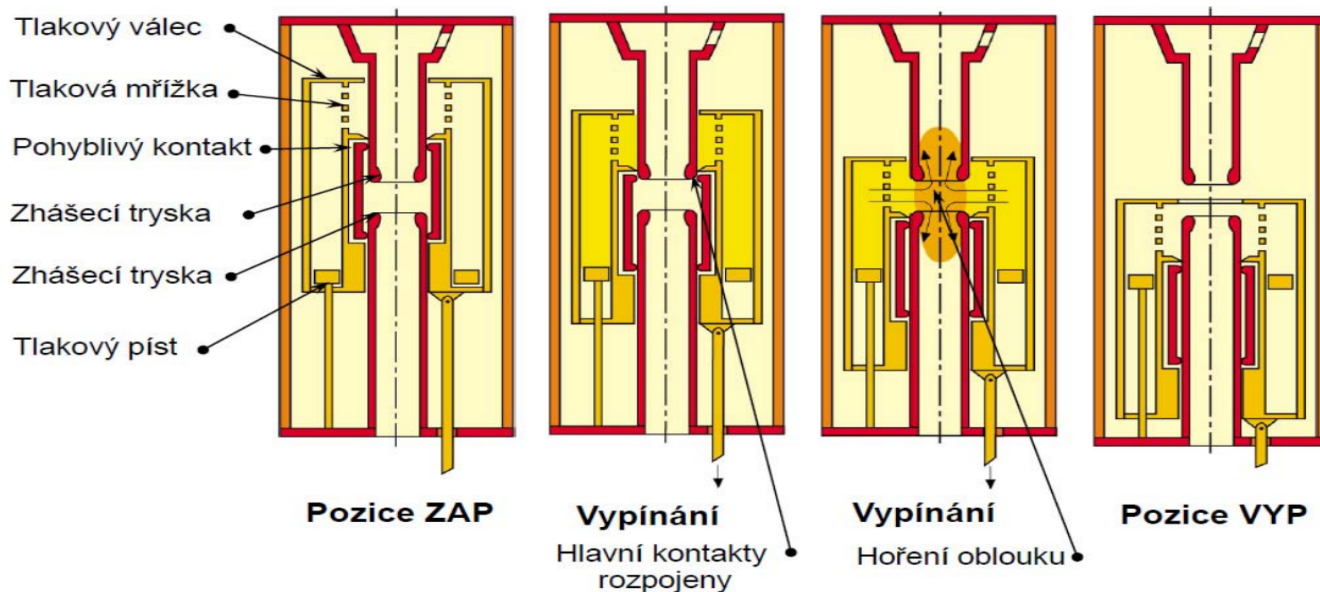
- nehořlavý
- velká chemická stálost
- dobré vlastnosti pro odvod tepla
- bez zápachu
- bezbarvý
- elektronegativní
- není jedovatý
- není dýchatelny
- 5x větší hustota než hustota vzduchu
- chemicky málo aktivní a stabilní při vyšších teplotách
- vysoká elektrická pevnost, s rostoucím tlakem se zvyšuje

Plyn se v přírodě nevyskytuje, tedy musel být vytvořen syntetickou cestou. Pro své zmíněné vlastnosti se stal základním kamenem dnešních vypínačů.  $SF_6$  je nebezpečný při svém rozkladu, vlivem elektrického oblouku se  $SF_6$  rozkládá na  $SF_2$  (jedovatý plyn),  $S_2F_2$  (plyn se zápachem),  $SF_4$  (dráždivý plyn),  $S_2F_{10}$  (při vdechnutí se stává nebezpečným plynem),  $HF$  (velmi agresivní) atd. Působením elektrického oblouku se mění na tyto sloučeniny, které se následně zpětně sdružují do  $SF_6$ .

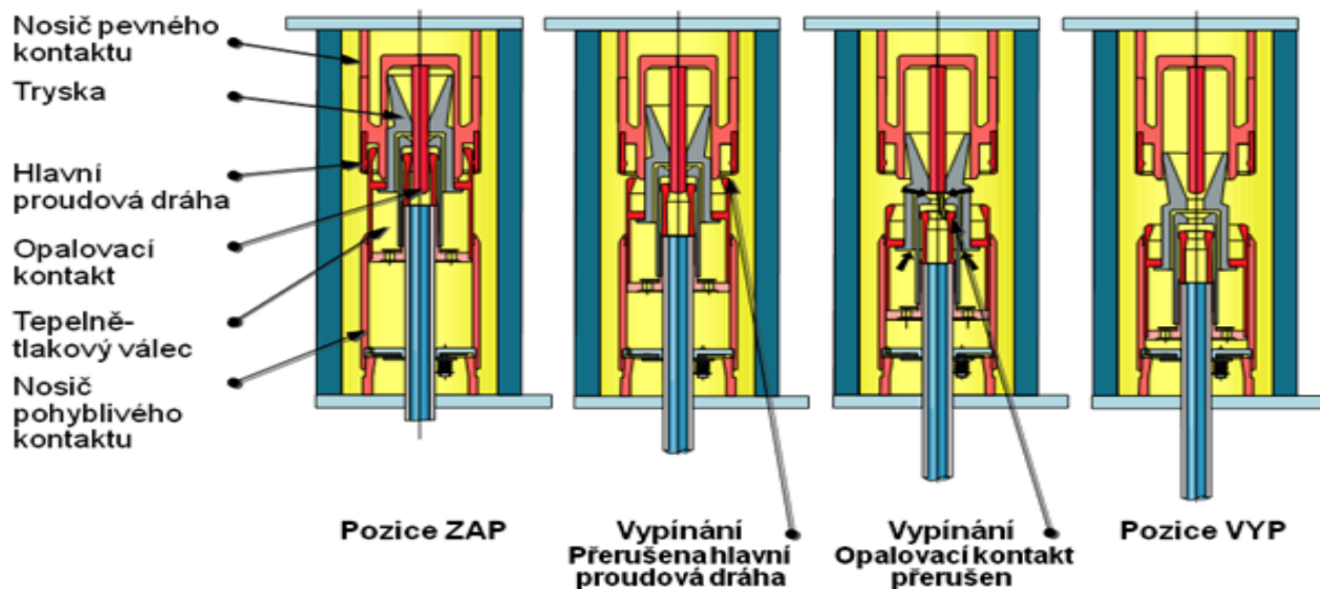
### 3.2 Princip vypínače $SF_6$

Vypínače s plynem  $SF_6$  se vyvíjely v závislosti na zjištěných charakteristikách zhášecího média. Do začátku sedmdesátých let byly vyvíjeny dvoutlakové zhášecí komory, kde byl udržován vhodný tlakový rozdíl, tlak ve zhášedle se pohyboval kolem 2MPa a hodnota tlaku vně zhášedla byla kolem 0,4 MPa. Tlakový rozdíl byl udržován pomocí kompresoru. Provozní náročnost a zároveň potíže vedli k tomu, že byl vyvinut jednotlakový systém, kde tlakový rozdíl pro proudění média vzniká pohybem pístu spojeného s kontaktním ústrojím 3.1. Jednotlakové vypínače mají vysokou náročnost na pohon. Ten musí zajistit pohyb kontaktů a zároveň správně natlakovat zhášecí komoru pomocí pístu. Problém s tímto pohonem byl vyřešen, když vznikla myšlenka využití energie hořícího oblouku k samonatlakování

kompresní komory (self-blast) 3.2. Po tomto snížení nároků na pohon, se využívá elektrický pohon s pružinovým stradačem. V populaci CIGRÉ je víc než 51% vypínačů s tímto pružinovým pohonem. 3.4 Dále se v populaci vyskytují pohony hydraulické 3.5 a pneumatické. [13, 12]



Obrázek 3.1: Princip jednotlakového vypínače (převzato z [12])



Obrázek 3.2: Princip self-blast vypínače (převzato z [12])

### 3.3 Typy vypínačů

Vypínače jsou centrální částí rozváděčů izolované vzduchem (AIS), nebo plynem (GIS). Vysokonapěťové vypínače jsou mechanická spínací zařízení, která spojují a odpojují proudové obvody (provozní

proudy a poruchové proudy), zároveň nesou jmenovitý proud v uzavřené poloze. [14]

### 3.3.1 GIS - Gas-insulated high-voltage switchgear

Jedna z dnešních hlavních výzev v oblasti přenosu energie je přivádění vysokého napětí přímo do center městských oblastí. To vyžaduje rozvaděč, který má malou velikost, maximální spolehlivost, velmi nízkou hlučnost a nízké elektromagnetické emise. Plynotěsné vysokonapěťové rozvaděče (GIS) jsou kompaktní kovově zapouzdřené rozvaděče, které se sestávají z vysokonapěťových komponent, jako jsou vypínače a odpojovače, které mohou být bezpečně provozovány v uzavřených prostorech. GIS se používá tam, kde jsme omezeni prostorem, např. v městských budovách, na střechách, na pobřežních plošinách, průmyslových zařízeních a vodních elektrárnách.

### 3.3.2 Live tank vypínač

Na rozdíl od Dead tank vypínačů, vypínač během operace není uzemněn. Tedy je vystaven potenciálu vysokého napětí, proto se vypínače nazývají Live tank. Zhášecí komora by proto měla být opatřena izolovanými podpěrami. Těžiště těchto vypínačů je vyšší, tudíž Live tank vypínače vyžadují dodatečnou podporu pro seizmické schopnosti (schopnost odolat zemětřesení).

### 3.3.3 Dead tank vypínač

Na rozdíl od vypínačů Live tank má Dead tank vypínací část s krytem vždy uzemněnou, proto se nazývají Dead tank "mrtvé" vypínače. Pro určité konstrukce rozvodny mohou být namísto standardních vypínačů Live tank vyžadovány Dead tank. Dead tank nabízí určité výhody, například použití několika proudových transformátorů na jednu sestavu. U Dead tank vypínačů se snadněji provádí údržba, neboť jsou nižší, tedy je k nim snazší přístup. Taktéž seizmická schopnost je vyšší, neboť mají nižší těžiště.

### 3.3.4 Porovnání

Umístění spínací jednotky

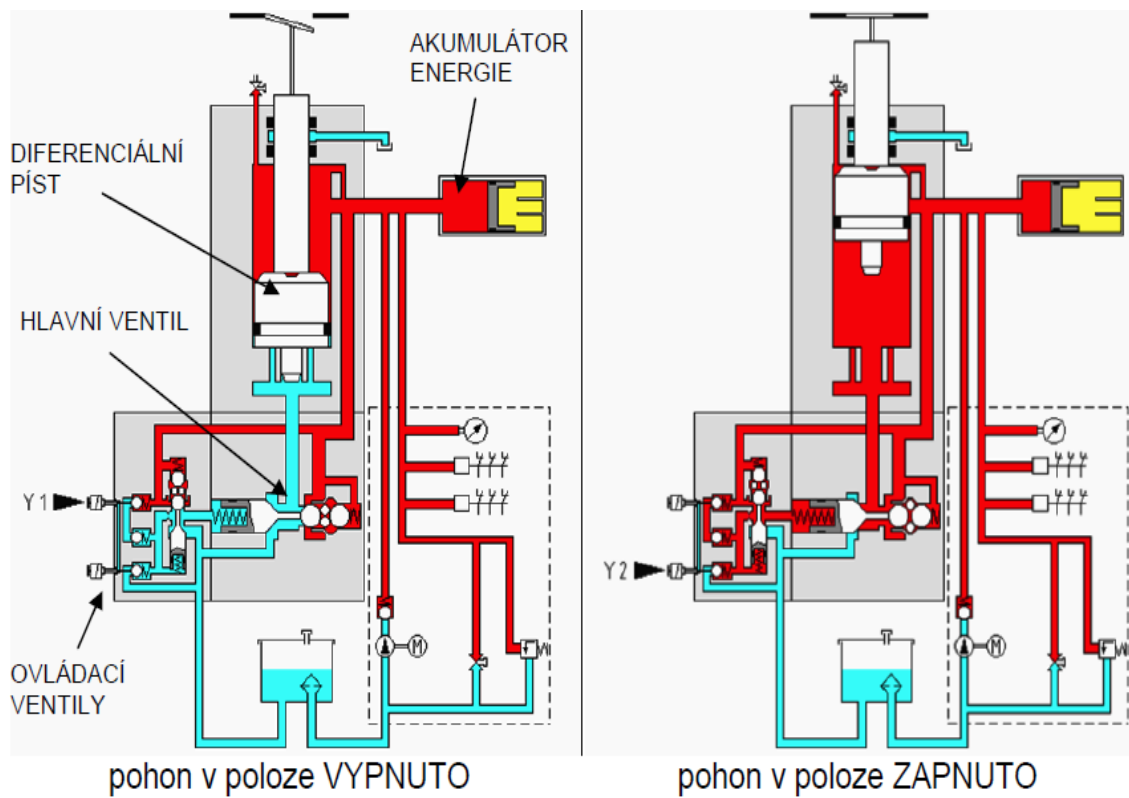
- Dead tank - uvnitř kovového kontejneru (uzemněné)
- Live tank - uvnitř izolačního pouzdra - porcelán, kompozitní materiály (živé)

Množství  $SF_6$

- Dead tank - 100 %
- Live tank - 10-15 %







Obrázek 3.5: Hydraulický pohon (červená - vysoký tlak; modrá - nízký tlak) (převzato z [12])

## 4 CIGRÉ průzkum

### 4.1 Motivace

Přesné informace o vysokonapěťových zařízeních mají významnou hodnotu jak pro provozovatele, tak pro výrobce. Výrobci pomáhají zlepšit své produkty a provozovatelům poskytují důležité informace pro správný výběr zařízení, provádění údržby a srovnávání jejich výkonnosti. Údaje o spolehlivosti jsou též požadovány při hodnocení celkové spolehlivosti rozvodu elektrické energie. Dále se tyto informace využívají ke zlepšení mezinárodních norem pro vysokonapěťové zařízení. Mezinárodní sdružení CIGRÉ považuje sběr, analýzu a zveřejňování údajů za velice důležitý úkol, proto v roce 2003 byla založena pracovní skupina (A3.06), která se začala tímto problémem zabývat, tedy jejím úkolem bylo organizovat a provádět celosvětový průzkum na servisní zkušenosti vypínačů, odpojovačů, zemničů, přístrojových transformátorů a plynem izolovaných rozvaděčů (GIS). Informace byly shromažďovány pomocí dotazníků, které vyplňovali provozovatelé. Vrátilo se 90 dotazníků ze 30 zemí. Tato kapitola se zabývá analýzou těchto výsledků a staví své poznatky na informacích a datech od CIGRÉ [9, 10].

### 4.2 Populace průzkumu

Průzkum byl proveden na celosvětové úrovni. Tabulka 4.1 ukazuje CB-years vzhledem k provedení vypínačů, počtu zúčastněných subjektů a zemí. Údaje o vypínačích poskytlo 83 subjektů z 26 zemí. Součet celkového počtu vypínačů za rok udává celkovou zkušenost s provozem vypínačů (**CB-years**<sup>1</sup>).

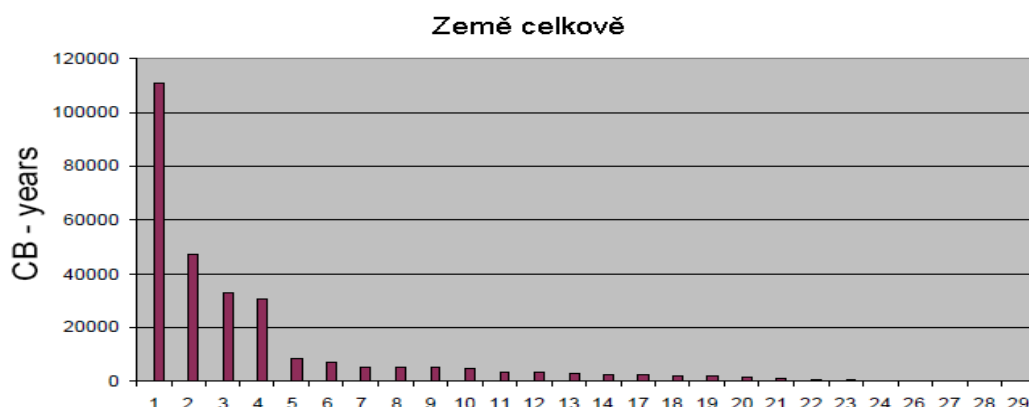
**Tabulka 4.1:** Rozdělení dle provedení, počtu subjektů a zemí

Provedení	Rok				Celkově (CB-years)
	2004 (CB-years)	2005 (CB-years)	2006 (CB-years)	2007(CB-years)	
Live tank	31 906	31 503	32 017	32 545	127 971
GIS total	20 811	20 932	22 072	22 265	86 080
Dead tank	16 368	16 692	16 905	17 074	67 039
<b>Celkově</b>	69 085	69 127	70 994	71 884	281 090
%	24,58%	24,59%	25,26%	25,57%	100,00%
Počet zemí	25	24	22	23	26
Počet subjektů	78	74	73	75	83

Průzkum získal 281 090 CB-years a tato informace je stavebním kamenem pro všechny další analýzy. Graf 4.1 ukazuje rozložení a zapojení jednotlivých zemí. Vidíme, že množství údajů je zcela odlišné (79% CB-years pochází ze čtyř zemí, dokonce jedna země přispěla více než 39%). Pokud budeme porovnávat průzkum, který byl uskutečněn v roce 1994 (70 708 CB-years), zjistíme, že jsme získali čtyřnásobnou

<sup>1</sup>V doslovném překladu se jedná o vypínače za roky. Ke správnému vysvětlení aplikujeme příklad. V naší populaci se bude nacházet 100 vypínačů, které budeme pozorovat 1 rok a získáme data 100 CB-years. Paralelně budeme mít populaci s 1 vypínačem, který budeme pozorovat 100 let a získáme data též rovné 100 CB-years. Jedná se o klasické pronásobení mezi počtem vypínačů a počtem let, ve kterých byly vypínače pozorovány. Kombinací vypínačů a pozorováním získáme celkovou hodnotu CB-years.

populaci. Přestože celkový počet CB-years je vyšší než v předchozím průzkumu, je při srovnávání výsledků a vyvozování závěrů nutné zvážit vysoký vliv převládající země s 39%. Proto v některých analýzách tato země zahrnuta bude a paralelně bude vyjmuta, což umožní přesnější interpretaci dat.



**Obrázek 4.1:** Celkové zapojení zemí (převzato a upraveno z [10])

V tabulce 4.2 je zobrazeno rozložení vypínačů související s třídami napětí. Největší počet vypínačů se nachází v napěťových třídách 1 a 2. Při vyloučení převažující země nacházíme vrchol ve třídě 2. Vypínače v napěťové třídě 6 jsou stále ve velmi omezeném počtu a převážně jsou v GIS provedení. Tento průzkum byl založen na stejných napěťových třídách jako předchozí šetření, proto je možné oba průzkumy porovnat. Ačkoliv nynější průzkum má čtyřnásobně více CB-years, procentuální rozložení napěťových tříd je velice podobné. Tedy můžeme vyvodit závěr, že není pozorován trend směřující k vyšším napěťovým hladinám.

**Tabulka 4.2:** Rozdělení vypínačů vzhledem k napěťovým třídám a typu provedení

Jmenovité napětí		Live Tank (CB-years)		GIS (CB-years)		Dead Tank (CB-years)		Celkově (CB-years)		Předchozí průzkum (CB-years)	
		Years	%	Years	%	Years	%	Years	%	Years	%
třída 1	60<U<100 kV	21 642	16,91	37 018	43	37 538	55,99	96 198	34,22	24 355	34,44
třída 2	100<U<200 kV	65 221	50,97	26 376	30,64	11 197	16,7	10 2794	36,57	23 520	33,26
třída 3	200<U<300 kV	21 830	17,06	8 302	9,64	12 917	19,27	43 049	15,32	10 933	15,46
třída 4	300<U<500 kV	18 381	14,36	10 790	12,53	4 011	5,98	33 182	11,8	9 917	14,03
třída 5	500<U<700 kV	836	0,65	3 258	3,78	1 376	2,05	5 470	1,95	1 895	2,68
třída 6	<700 kV	61	0,05	336	0,39	0	0	397	0,14	88	0,12
<b>Celkově</b>		127 971	100	86 080	100	67 039	100	281 090	100	70 708	100

Tabulka 4.3 ukazuje rozdělení konkrétních aplikací vypínačů. Dle očekávání nejčastější prováděná aplikace je vypínání vedení a to pro všechny napěťové hladiny. Druhou nejdůležitější aplikací je vypínání transformátoru. Necelých 10% představuje vypínač podélného spínače přípojníc. Přepínání kabelů představuje čtvrtou nejdůležitější aplikaci, to platí zejména pro vypínače GIS. Toto rozdělení platí také pro analýzu bez převládající země. Vzhledem k tomu, že celková populace vypínačů  $\geq 700$  kV (třída napětí 6) je velmi malá, nemůžeme ji považovat za typickou populaci.

Tabulka 4.4 znázorňuje rozložení pohonů pro různé provedení a napěťové třídy. V tabulce vidíme rozdělení populace předchozího šetření. V té době byl nejobvyklejší hydraulický pohon. Při porovnání našeho čísla s předchozím průzkumem je zřejmé, že se rozdělení změnilo. V nynějším průzkumu nalezneme více než polovinu pružinových pohonů. Pneumatický pohon zůstal na podobných hodnotách. Pokud sledujeme napětí, rozdělení ukazuje, že hydraulické pohony jsou stále preferovány pro vyšší na-

**Tabulka 4.3:** Rozdělení vypínačů vzhledem ke konkrétní aplikaci a typu provedení

Typ aplikace	Provedení						Celkově (CB-years)	
	Live tank (CB-years)		GIS (CB-years)		Dead tank (CB-years)			
Vedení	80 768	63,11%	36 262	42,13%	37 110	55,36%	154 140	54,84%
Transformátor	25 877	20,22%	23 198	26,95%	17 865	26,65%	66 940	23,81%
Kabel	1 853	1,45%	12 967	15,06%	1 336	1,99%	16 156	5,75%
Kompenzační tlumivka	904	0,71%	1 353	1,57%	1 447	2,16%	3 704	1,32%
Kompenzační kondenzátor	3 488	2,73%	1 195	1,39%	3 082	4,60%	7 765	2,76%
Podélný spínač přípojnic	12 305	9,62%	10 416	12,10%	5 369	8,01%	28 090	9,99%
Ostatní	2 776	2,17%	689	0,80%	830	1,24%	4 295	1,53%
<b>Celkově</b>	127 971	100,00%	86 080	100,00%	67 039	100,00%	281 090	100,00%

pěťové hladiny. Jedním z důvodů může být, že vypínače na vyšších napěťových úrovních jsou vybaveny vyšším počtem vypínacích jednotek a potřebují pro provoz větší energii.

**Tabulka 4.4:** Rozdělení vypínačů vzhledem k typu pohonu, provedení a napěťovým hladinám

Typy pohonu	Provedení				%	Předchozí průzkum	%
	Live tank	GIS	Dead tank	Celkově			
Hydraulické	27 249	32 139	12 422	71 810	25,55%	36 382	51,45%
Pneumatické	17 585	23 586	20 433	61 604	21,92%	21 258	30,06%
Pružinové	82 732	29 070	33 095	14 4897	51,55%	13 068	18,48%
Ostatní	405	1 285	1 089	2 779	0,99%	0	0,00%
<b>Celkově</b>	127 971	86 080	67 039	281 090	100,00%	70 708	100,00%
Typy pohonu	Jmenovité napětí						Celkově
	60<U<100 kV	100<U<200 kV	200<U<300 kV	300<U<500 kV	500<U<700 kV	<700kV	
Hydraulické	12 356	25 558	13 524	15 330	4 669	373	71 810
Pneumatické	14 996	24 482	11 985	9 453	664	24	61 604
Pružinové	67 104	52 245	17 172	8 239	137	0	144 897
Ostatní	1 742	509	368	160	0	0	2 779
<b>Celkově</b>	96 198	102 794	43 049	33 182	5 470	397	281 090

Tabulka 4.5 zobrazuje provedení vypínačů. Technologie GIS a Dead tank představují významnou část celkové populace (54%), v minulém šetření tyto dvě kategorie byly pod názvem Metal enclosed. Pokud je vyloučena převládající země, největší zastoupení má Live tank (bezmála 75%). Porovnání předchozích a nových údajů ukázalo, že pro celkovou populaci existuje tendence k Dead tank a GIS. Musíme si však uvědomit, že ovlivnění převládající zemí je markantní.

**Tabulka 4.5:** Rozdělení vypínačů vzhledem k provedení celkové populace a napěťovým úrovním

Provedení	Celková populace		%	Bez převládající země		%
GIS - 1 fáze	45 573		16,21%	22 216		13,04%
GIS - 3 fáze	40 507		14,41%	11 289		6,63%
Live tank	127 971		45,53%	126 719		74,37%
Dead tank	67 039		23,85%	10 172		5,97%
<b>Celkově</b>	281 090		100,00%	170 396		100,00%
Provedení	Jmenovité napětí					
	60<U<100kV	100<U<200kV	200<U<300kV	300<U<500kV	500<U<700kV	<700 kV
GIS - 1 fáze	14 001	14 066	4 198	9 714	3 258	336
GIS - 3 fáze	23 017	12 310	4 104	1 076	0	0
Live tank	21 642	65 221	21 830	18 381	836	61
Dead tank	37 538	11 197	12 917	4 011	1 376	0
<b>Celkově</b>	96 198	102 794	43 049	33 182	5 470	397
%	34,22%	36,57%	15,32%	11,80%	1,95%	0,14%

### 4.3 Rozložení počtu selhání

V tabulce 4.6 bylo zaznamenáno 840 poruch (MaF) a 6 655 závad (MiF). Podíl MaF a MiF v současném průzkumu je podobný předchozímu šetření, i když počet selhání je téměř dvojnásobný. Rozdělení poruch (MaF) a závad (MiF) jednotlivých zemí je velmi odlišné. To odpovídá stejnému výsledku jako v předchozím průzkumu. Dle odborníků z pracovní skupiny, podíl MaF a MiF v průzkumu nemusí být skutečný. Domníváme se, že je to způsobeno odlišnou interpretací definice selhání, které používají jednotlivé subjekty (viz vysvětlení 2.2.3). Proto je třeba předpokládat, že selhání jsou podhodnocená. Pro výpočet frekvence selhání je důležité vzít v úvahu pouze data, která jsou úplná, tj. Karta o selhání (Failure card) byla vždy doprovázena populační kartou (Population card). Tímto omezením bylo nutné snížit CB-years na 278 480 (celkem 281 090) a počet poruch (MaF) klesl na 828 (celkem 840) viz tabulka 4.7.

Tabulka 4.6: Rozložení počtu selhání

Typ selhání	Provedení				Současný průzkum		Předchozí průzkum	
	Live tank	GIS - 1 fáze	GIS - 3 fáze	Dead tank	Celkově	%	Celkově	%
Závada - MiF	5 276	617	174	588	6 655	89	3 358	88
Porucha - MaF	618	81	43	98	840	11	475	12
<b>Celkově</b>	<b>5 894</b>	<b>698</b>	<b>217</b>	<b>686</b>	<b>7 495</b>	<b>100</b>	<b>3 833</b>	<b>100</b>

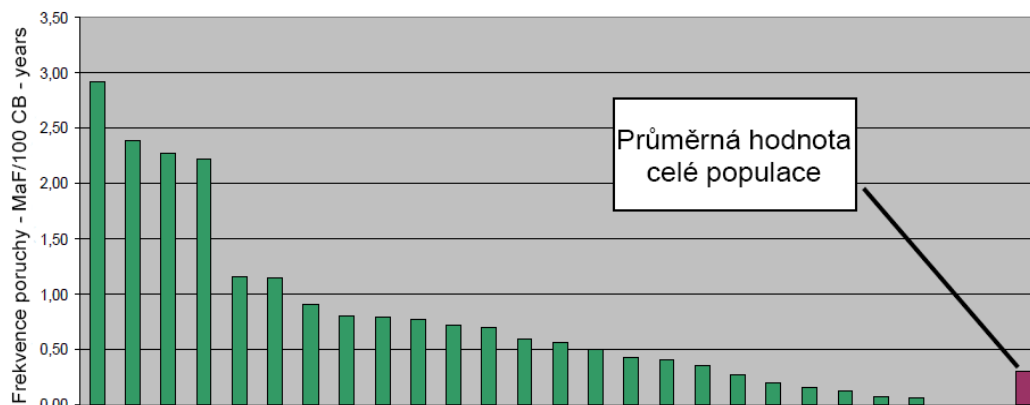
#### 4.3.1 Rozložení poruch (MaF)

V této kapitole nalezneme vypočtené frekvence poruch, na které pohlížíme z různých úhlů (napětové hladiny, konkrétní aplikace, typ pohonu).

Tabulka 4.7: Přehled - populace/MaF

Jmenovité napětí	Live tank		Dead tank		GIS 1 fáze		GIS 3 fáze		GIS celkově		Celkově	
	Populace (CB-years)	MaF	Populace (CB-years)	MaF	Populace (CB-years)	MaF	Populace (CB-years)	MaF	Populace (CB-years)	MaF	Populace (CB-years)	MaF
60 < U < 100 kV	21 049	24	37 538	55	13 982	6	23 017	36	36 999	42	95 586	121
100 < U < 200 kV	64 188	239	10 956	16	13 974	13	12 267	5	26 241	18	101 385	273
200 < U < 300 kV	21 319	126	12 917	18	4 139	5	4 104	1	8 243	6	42 479	150
300 < U < 500 kV	18 369	207	4 011	1	9 707	45	1 076	1	10 783	46	33 163	254
500 < U < 700 kV	836	11	1 376	6	3 258	8			3 258	8	5 470	25
< 700 kV	61	1			336	4			336	4	397	5
<b>Konkrétní aplikace</b>	<b>Populace (CB-years)</b>	<b>MaF</b>	<b>Populace (CB-years)</b>	<b>MaF</b>	<b>Populace (CB-years)</b>	<b>MaF</b>	<b>Populace (CB-years)</b>	<b>MaF</b>	<b>Populace (CB-years)</b>	<b>MaF</b>	<b>Populace (CB-years)</b>	<b>MaF</b>
Vedení	79 442	284	36 962	41	20 099	37	16 055	20	36 154	57	152 558	382
Transformátor	25 331	111	17 799	14	12 170	16	10 960	8	23 130	24	66 260	149
Kabel	1 827	8	1 336	1	4 571	2	8 396	4	12 967	6	16 130	15
Kompenzační tlumivka	898	61	1 447	17	1 066	7	287	6	1 353	13	3 698	91
Kompenzační kondenzátor	3 418	67	3 061	12	615		580	1	1 195	1	7 674	80
Podélný spínač přípojnic	12 135	63	5 363	8	6 327	17	4 045	4	10 372	21	27 870	92
Ostatní	2 771	14	830	3	548	2	141		689	2	4 290	19
<b>Typ pohonu</b>	<b>Populace (CB-years)</b>	<b>MaF</b>	<b>Populace (CB-years)</b>	<b>MaF</b>	<b>Populace (CB-years)</b>	<b>MaF</b>	<b>Populace (CB-years)</b>	<b>MaF</b>	<b>Populace (CB-years)</b>	<b>MaF</b>	<b>Populace (CB-years)</b>	<b>MaF</b>
Hydraulický	27 199	106	12 422	9	11 280	17	20 805	4	32 085	21	71 706	136
Pneumatický	17 489	60	20 433	9	19 813	6	3 773	5	23 586	11	61 508	80
Pružinový	80 729	119	32 854	24	13 301	2	15 603	15	28 904	17	142 487	160
Ostatní	405		1 089		1 002		283		1 285		2 779	1
<b>Období výroby</b>	<b>Populace (CB-years)</b>	<b>MaF</b>	<b>Populace (CB-years)</b>	<b>MaF</b>	<b>Populace (CB-years)</b>	<b>MaF</b>	<b>Populace (CB-years)</b>	<b>MaF</b>	<b>Populace (CB-years)</b>	<b>MaF</b>	<b>Populace (CB-years)</b>	<b>MaF</b>
před 1979	7 291	50	8 087	10	3 018	11	756	2	3 774	13	19 152	73
1979-1983	10 124	95	9 054	10	5 086	20	2 100	4	7 186	24	26 364	129
1984-1988	16 063	100	14 112	19	6 430	23	6 876	14	13 306	37	43 481	156
1989-1993	25 209	105	14 562	23	9 580	10	9 040	16	18 620	26	58 391	154
1994-1998	25 640	112	11 558	15	11 362	11	9 224	5	20 586	16	57 784	143
1999-2003	24 254	96	7 331	17	7 401	4	8 989	2	16 390	6	47 975	119
2004-2007	17 241	31	2 094	2	2 519	2	3 479	0	5 998	2	25 333	35
<b>Celkově</b>	<b>125 822</b>	<b>608</b>	<b>66 798</b>	<b>96</b>	<b>45 396</b>	<b>81</b>	<b>40 464</b>	<b>43</b>	<b>85 860</b>	<b>124</b>	<b>278 480</b>	<b>828</b>

Pro každou zemi byla vypočtena frekvence MaF/100 CB-years. Hodnoty (viz graf 4.2) se pohybují od 2,92 - 0,07MaF/ 100 CB-years. Průměrná frekvence poruchy je 0,3 MaF/100 CB-years. V porovnání s předchozími průzkumy je průměrná hodnota frekvence poruchy nižší.

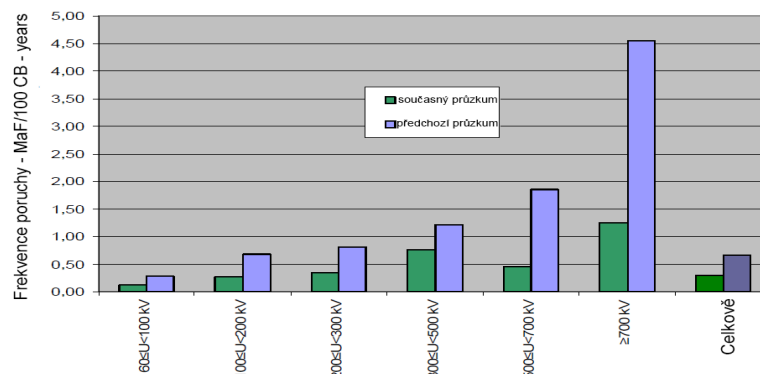


**Obrázek 4.2:** Frekvence poruchy - MaF/100 CB - years (převzato a upraveno z [10])

Tabulka 4.8 uvádí frekvence poruchy pro celou populaci dle třídy napětí. Velmi důležitým výsledkem tohoto průzkumu je, že spolehlivost vypínačů vykazuje poměrně vysoké zlepšení oproti předchozímu šetření. Graf 4.3 ukazuje porovnání hodnot. Je zřejmé, že frekvence poruchy se v průměru snížila o 50% vzhledem k předchozímu průzkumu. Tento trend je platný pro všechny napěťové úrovně, zvláště pro vyšší.

**Tabulka 4.8:** Frekvence poruchy vzhledem k napěťovým třídám

Jmenovité napětí	Frekvence selhání (MaF / 100 CB - years)			
	Současný průzkum			Předchozí průzkum
	Frekvence selhání (MaF/100 CB - years)	Frekvence selhání dolní mez	Frekvence selhání horní mez	
60<U<100 kV	0,13	0,11	0,15	0,28
100<U<200 kV	0,27	0,24	0,3	0,68
200<U<300 kV	0,35	0,3	0,41	0,81
300<U<500 kV	0,77	0,67	0,87	1,21
500<U<700 kV	0,46	0,3	0,67	1,85
<700 kV	1,26	0,41	2,94	4,55
<b>Celkově</b>	<b>0,3</b>	<b>0,28</b>	<b>0,32</b>	<b>0,67</b>



**Obrázek 4.3:** Frekvence poruchy vzhledem k napěťovým třídám - MaF/100 CB - years (převzato a upraveno z [10])

Tabulka 4.3 ukazuje, že dominantním typem aplikace je vypínání nadzemního vedení následované vypí-

náním transformátoru. Tabulka 4.9 zobrazuje rozložení frekvencí poruchy dle druhu konkrétní aplikace. Vypínače u kompenzační tlumivky a kondenzátoru se zdají být nejvíce nespolehlivé ze všech aplikací vypínačů.

**Tabulka 4.9:** Frekvence poruchy vzhledem ke konkrétní aplikaci

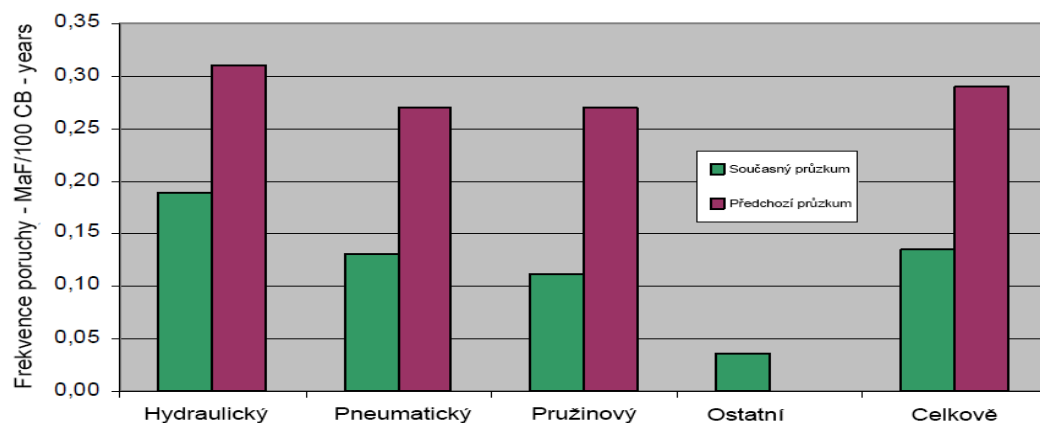
Typ aplikace	Frekvence poruchy (MaF/100 CB - years)							
	Live tank	Dead tank	GIS - 1 fáze	GIS - 3 fáze	GIS	Celkově		
						Bodový odhad	Dolní mez	Horní mez
Vedení	0,36	0,11	0,18	0,12	0,16	0,25	0,23	0,28
Transformátor	0,44	0,08	0,13	0,07	0,1	0,22	0,19	0,26
Kabel	0,44	0,07	0,04	0,05	0,05	0,09	0,05	0,15
Kompenzační tlumivka	6,79	1,17	0,66	2,09	0,96	2,46	1,98	3,02
Kompenzační kondenzátor	1,96	0,39	0	0,17	0,08	1,04	0,83	1,3
Podélný spínač přípojnic	0,52	0,15	0,27	0,1	0,2	0,33	0,27	0,4
Ostatní	0,51	0,36	0,36	0	0,29	0,44	0,27	0,69
<b>Celkově</b>	0,48	0,14	0,18	0,11	0,14	0,3	0,28	0,32

Existují různé definice a postupy, jak určit to, že se porucha vypínače týká pohonu. V tomto průzkumu se používá přístup založený na analýze součásti odpovědné za poruchu a následném určení zda součást nebo podsestava odpovídá pohonu. Tabulka 4.10 a graf 4.4 zobrazuje, že poruchy pohonů mají celkovou frekvenci 0,14 MaF/100 CB-years. Celková frekvence poruch vypínačů je 0,30 MaF/100 CB - years. Proto asi polovina všech poruch vypínačů souvisí s pohonem. Hydraulické pohony mají nejvyšší frekvenci poruchy, naopak pružinové pohony mají tuto frekvenci nejnižší. Frekvence poruchy pohonů je v současném průzkumu zhruba polovina toho, co byla v předchozím šetření. Stáří jednotlivých zařízení může mít velký vliv na charakteristiky a frekvence poruchy. U hydraulických pohonů se objevuje významný trend, kde se sledují nové pohony, které mají nižší poruchovou frekvenci. Je možné konstatovat, že moderní hydraulické pohony vykazují stejnou spolehlivost jako moderní pneumatické, či pružinové pohony.

**Tabulka 4.10:** Frekvence poruchy vzhledem k pohonu

Pohon	Frekvence poruchy (MaF/100 CB - years)	
	Současný průzkum	Předchozí průzkum
Hydraulický	0,19	0,31
Pneumatický	0,13	0,27
Pružinový	0,11	0,27
Ostatní	0,04	-
<b>Celkově</b>	0,14	0,29

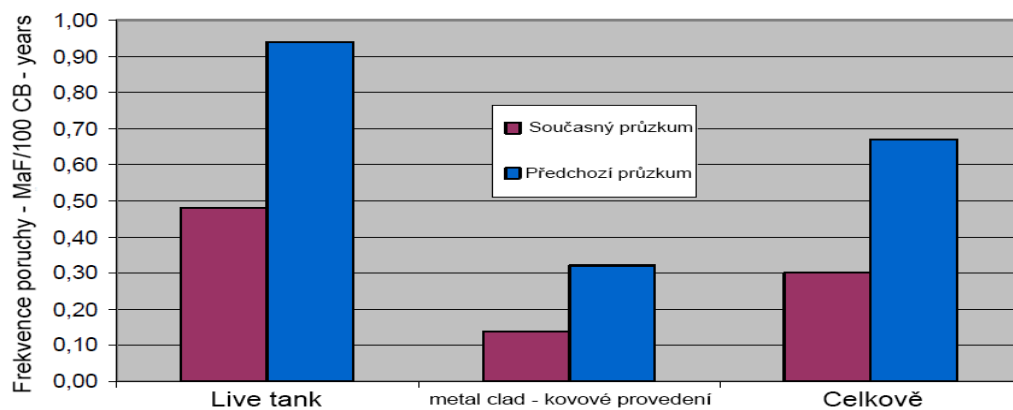
Tabulka 4.11 zobrazuje frekvenci poruchy pro různé provedení vypínače. Nalezneme zde porovnání výsledků s a bez dominantní země. Z čísel lze usuzovat, že dominantní země nepoužívá Live tank, naopak využívá GIS a Dead Tank. Předchozí průzkum rozlišoval pouze výsledky pro non metal clad (nekovové provedení), to jest Live tank a metal clad (kovové provedení), Dead tank a GIS dohromady. Výsledky jsou uvedeny na grafu 4.5. Live tank mají přibližně trojnásobně vyšší frekvenci poruchy než Dead tank a GIS, které si drží podobnou frekvenci. Tento výsledek je podobný výsledku předchozího šetření. Jak Live tank, tak kovově provedené vypínače vykazují dobré zlepšení oproti předchozímu průzkumu. Frekvence poruchy se snížila přibližně na polovinu. Vyloučení jedné převládající země neovlivňuje výsledky u Live tank, jelikož populace Live tank je v této zemi malá, naopak u Dead tank a GIS existuje tendence k vyšší frekvenci poruchy.



**Obrázek 4.4:** Frekvence poruchy vzhledem k pohonu - MaF/100 CB - years (převzato a upraveno z [10])

**Tabulka 4.11:** Frekvence poruchy vzhledem k provedení

Provedení	Frekvence poruchy (MaF/100 CB - years)				
	Současný průzkum			Bez převládající země	Předchozí průzkum
	Bodový odhad	Dolní mez	Horní mez	Bodový odhad	Bodový odhad
Live tank	0,48	0,45	0,52	0,48	0,94
Dead tank	0,14	0,12	0,18	0,21	-
GIS - 1 fáze	0,18	0,14	0,22	0,31	-
GIS - 3 fáze	0,11	0,08	0,14	0,02	-
GIS	0,14	0,12	0,17	0,21	-
Kovové provedení	0,14	0,13	0,16	0,21	0,32
<b>Celkově</b>	<b>0,3</b>	<b>0,28</b>	<b>0,32</b>	<b>0,41</b>	<b>0,67</b>



**Obrázek 4.5:** Frekvence poruchy vzhledem k provedení - MaF/100 CB - years (převzato a upraveno z [10])

Tabulka 4.12 nám zobrazuje frekvenci poruchy v závislosti na období výroby, kde pozorujeme klesající trend. To vede k závěru, že vypínače jsou stále spolehlivější pro každé následující období výroby. Za poznámku stojí, že vrchol frekvence MaF se nachází v období 1979 - 1983. Rozdíl mezi obdobími před rokem 1979 a obdobími 1979 - 1983 lze vysvětlit tím, že před rokem 1979 byla pravděpodobně provedena velká údržba vypínačů.



**Tabulka 4.12:** Frekvence poruchy vzhledem k období výroby

Provedení	Období výroby						
	před 1979	1979-1983	1984-1988	1989-1993	1994-1998	1999-2003	2004-2007
Live tank	0,69	0,94	0,62	0,42	0,44	0,4	0,18
GIS - 1 fáze	0,36	0,39	0,36	0,1	0,1	0,05	0,08
GIS - 3 fáze	0,26	0,19	0,2	0,18	0,05	0,02	0
GIS	0,34	0,33	0,28	0,14	0,08	0,04	0,03
Dead tank	0,12	0,11	0,13	0,16	0,13	0,23	0,1
<b>Celkově</b>	<b>0,38</b>	<b>0,49</b>	<b>0,36</b>	<b>0,26</b>	<b>0,25</b>	<b>0,25</b>	<b>0,14</b>

### 4.3.2 Charakteristika poruch

Na Failure cards (karty o selháních) byly podrobně popsány otázky týkající se jednotlivých charakteristik poruch. Tabulka 4.13 znázorňuje historii rozložení poruch na vypínačích. Téměř polovina účastníků průzkumu nebyla schopna poskytnout zpětné informace o předchozích poruchách vypínačů. Ze zbývajících kladných odpovědí 73% vypínačů nemělo dříve žádnou poruchu, 14% mělo pouze jednu poruchu a ostatní měly dvě nebo více poruch.

**Tabulka 4.13:** Rozložení poruch na vypínačích před průzkumem

Počet poruch před MaF	Failure cards - MaF	%
Bez informace	409	48,7
0 MaF předtím	314	37,4
1 MaF předtím	59	7
2 MaF předtím	28	3,3
3 MaF předtím	10	1,2
>3 MaF předtím	20	2,4
<b>Celkově</b>	<b>840</b>	<b>100</b>

### Požáry/exploze

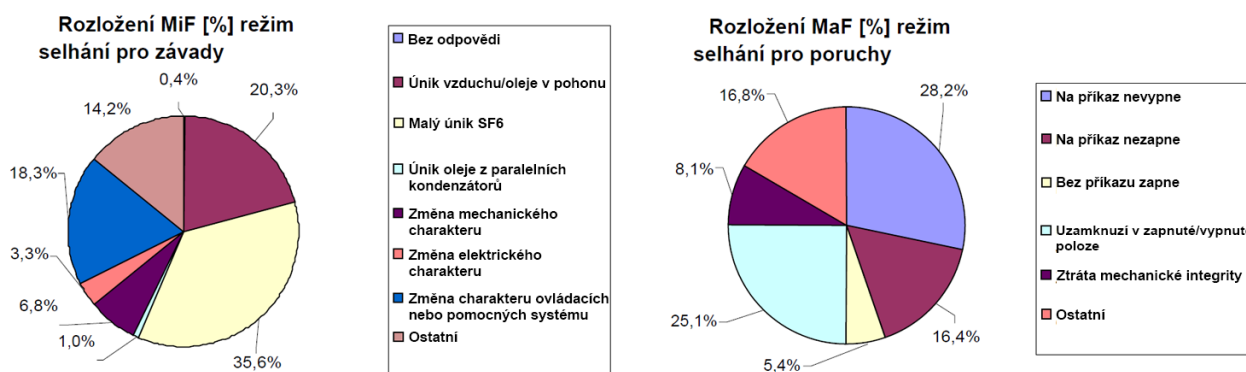
Bylo zjištěno 36 poruch (35 Live tank, 1 GIS), které způsobily požár nebo výbuch vypínače. Tyto události jsou uvedeny v tabulce 4.14, která je vztažena k třídám jmenovitého napětí. V předchozím průzkumu bylo zjištěno 31 poruch, které vedly k požáru nebo výbuchu, což představovalo přibližně 6,53% ze všech MaF (475 MaF). V tomto průzkumu, poruchy, které způsobily požár nebo výbuch, představovaly 4,29% všech MaF, což jsou přibližně dvě třetiny hodnoty z předchozího šetření. V předchozím průzkumu byla frekvence poruchy pro celou populaci 0,044 MaF/100 CB - years, hodnota pro současný průzkum odpovídá 0,0129 MaF/100 CB - years. To je významné zlepšení. Důvodem poruchy většinou bylo selhání izolace. Více než 53% těchto poruch se vyskytlo na vypínači ve vývodu nadzemního vedení, téměř u 17% se porucha s následujícím výskytem požáru objevila u vypínače kompenzačního kondenzátoru.

Tabulka 4.14: MaF - požáry/exploze

Jmenovité napětí	Live tank	Dead tank	GIS celkově	Celkově	% ze všech MaF
60<U<100 kV	4	0	0	4	3,17
100<U<200 kV	9	0	0	9	3,21
200<U<300 kV	11	0	0	11	7,33
300<U<500 kV	10	0	1	11	4,33
500<U<700 kV	1	0	0	1	4
>700 kV	0	0	0	0	0
<b>Celkově</b>	<b>35</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>36</b>	<b>4,29</b>

### Typy a rozložení MiF a MaF

Závada (MiF) je drobný poruchový režim umožňující vypínačům plnit svou základní funkci, ale s omezením. V tomto průzkumu bylo zjištěno sedm různých typů závad, které jsou uvedeny na levé straně obrázku 4.6, na pravé straně tohoto obrázku vidíme graf, kde se nacházejí různé typy poruch. Srovnání relativních rozdělení závad mezi současným a předchozím průzkumem vedly k podobným výsledkům (únik vzduchu/oleje - současný průzkum 20,3%, předchozí průzkum 29,9%; malý únik SF<sub>6</sub> - současný průzkum 35,6%, předchozí průzkum 38,8%). Podobně rovnající se hodnoty vyšly v porovnání s MaF (na příkaz nevypne - současný průzkum 28,2%, předchozí průzkum 24,6%; na příkaz nezapne - současný průzkum 16,4%, předchozí průzkum 8,3%). Další zřídka se objevující druhy poruch jsou zahrnuty a zobrazeny v kategorii *ostatní*.



Obrázek 4.6: Typy a rozložení MiF a MaF (převzato a upraveno z [10])

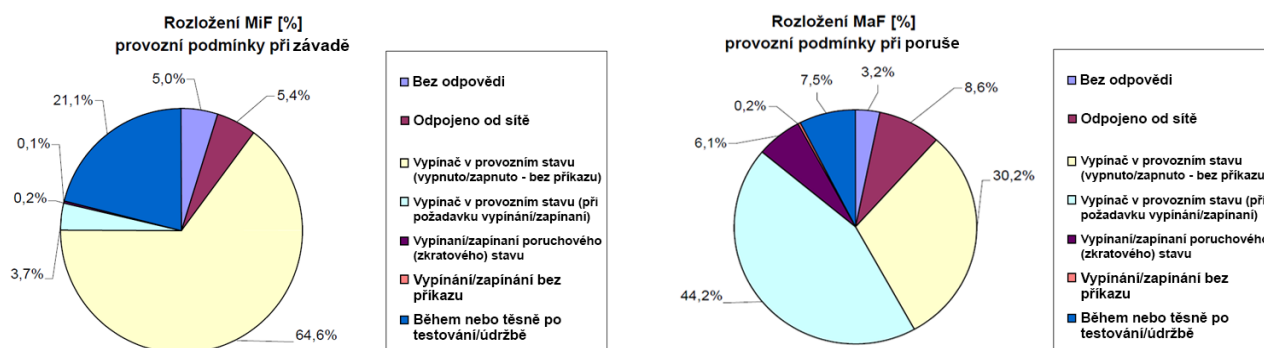
### Provozní stavy při selhání

Seznam možných provozních stavů:

- Odpojeno od sítě
- Vypínač v provozním stavu (vypnuto/zapnuto - bez příkazu)

- Vypínač v provozním stavu (při požadavku vypínání/zapínání)
- Vypínání/zapínání poruchového (zkratového) stavu
- Vypínání/zapínání bez příkazu
- Během nebo těsně po testování/údržbě

Provozní stavy vypínačů při MiF jsou uvedeny na levé části obrázku 4.7, pravá část obrázku nám ukazuje graf, kde jsou uvedeny provozní stavy při MaF. Při porovnávání s předchozím průzkumem dostáváme podobné hodnoty. Dva nejčastější provozní stavy, při kterých došlo k závadě, jsou *vypínač v provozním stavu (vypnuto/zapnuto - bez příkazu)* (64,6%) a *během nebo těsně po testování/údržbě* (21,1%). Dva nejčastější provozní stavy, při kterých došlo k poruše, jsou *vypínač v provozním stavu (při požadavku vypínání/zapínání)* (44,2%) a *vypínač v provozním stavu (vypnuto/zapnuto - bez příkazu)* (30,2%).



Obrázek 4.7: Provozní stavy při MiF a MaF (převzato a upraveno z [10])

## Životní prostředí

Environmentální úvahy jsou stále důležitější vzhledem k nedávným změnám klimatu. Průzkum se tudíž dotazoval, zda hlášené selhání mohla být ovlivněna okolními podmínkami. Příspěvek životního prostředí byl téměř stejný jako v předchozím průzkumu, *žádný příspěvek* pro MiF (současný průzkum 94,9%, předchozí průzkum 94,9%). *Žádný příspěvek* pro MaF (současný průzkum 88,1%, předchozí průzkum 91,0%). Příspěvek životního prostředí u MiF je téměř zanedbatelný (5,1%). U MaF je vliv prostředí také minimální (11,9%). Nejčastějším vlivem je blesk, který představuje 37%.

## Odpovědné komponenty

Pro analýzu závadných komponent bylo nutné vytvořit přehled detailního vybavení podsestavy odpovědné za selhání:

- Komponenty na provozním napětí, včetně zhášecích komor, atd. (části vypínače, které mají živý potenciál - 110kV, 400kV, atd.)
- Komponenty a obvody na nízkém napětí (100V), které zajišťují vyhodnocování signálů - vypínací a zavírací obvody, pomocné spínače a související pohony, stykače, relé, ohřívače, termostaty, pojistky, ostatní spínače, kontrola hustoty plynu, další monitorovací systémy (včetně snímačů), kabely a svorkovnice (včetně zapojení a připojení), atd.

- Komponenty vztažené k pohonům, včetně kompresorů, motorů, čerpadel, potrubí, armatury (pokud je součástí vypínače), akumulování energie (akumulátor, pružina), ovládání prvky (neelektrické), ovládací a tlumící zařízení, mechanická převodovka (pokud je součástí pohonu) atd.

Tabulka 4.15 zobrazuje počet MiF a MaF vzhledem k odpovědné části za selhání. Rozložení MiF a MaF je téměř stejné v současném i předchozím průzkumu. V tomto průzkumu všechny tři kategorie u MiF *komponenty na provozním napětí, komponenty a obvody na nízkém napětí a pohony* jsou rozděleny po jedné třetině. Pro MaF zde převládají *pohony* (50%), dále *komponenty a obvody na nízkém napětí* (30%) a *komponenty na provozním napětí* (20%).

**Tabulka 4.15:** Odpovědná část za selhání

	Rozložení MiF	Rozložení MaF	Rozložení MiF předchozí	Rozložení MaF předchozí
Odpovědná část	%	%	%	%
Komponenty na provozním napětí	35,1	20	30,9	21
Kompon. a obv. na nízkém napětí	27,8	30	19,7	29
Pohony	37,1	50	44	43,2
Ostatní	-	-	5,4	6,8
<b>Celkově</b>	100	100	100	100

## Původ selhání

Seznam možných původů selhání:

- Mechanický původ v pohonu
- Mechanický původ v jiné části
- Elektrický původ v hlavním obvodu
- Elektrický původ v pomocných a řídicích obvodech
- Těsnost  $SF_6$  systému

Původ selhání je typu elektrického, nebo mechanického. Pro analýzu původu selhání bylo nutné seskupit možnosti do 6 kategorií. Tabulka 4.16 udává počet MiF a MaF v definovaných kategoriích. Hlavním původem závady je *těsnost systému  $SF_6$  plynu* (35,5%). Existuje významný rozdíl v rozložení původu závady mezi současným a předchozím průzkumem. *Mechanický původ v pohonu*, v tomto průzkumu (21,0%), je zhruba polovina hodnoty předchozího šetření (39,4%), ale *elektrický původ v pomocných a řídicích obvodech*, kde současný průzkum (20,0%) je dvakrát vyšší než hodnota v předchozím šetření (10,2%). Nejfrekventovanější původ poruchy je *mechanický původ v pohonu*, v současném průzkumu (38,1%) a předchozím průzkumu (44,0%).

**Tabulka 4.16:** Původ selhání

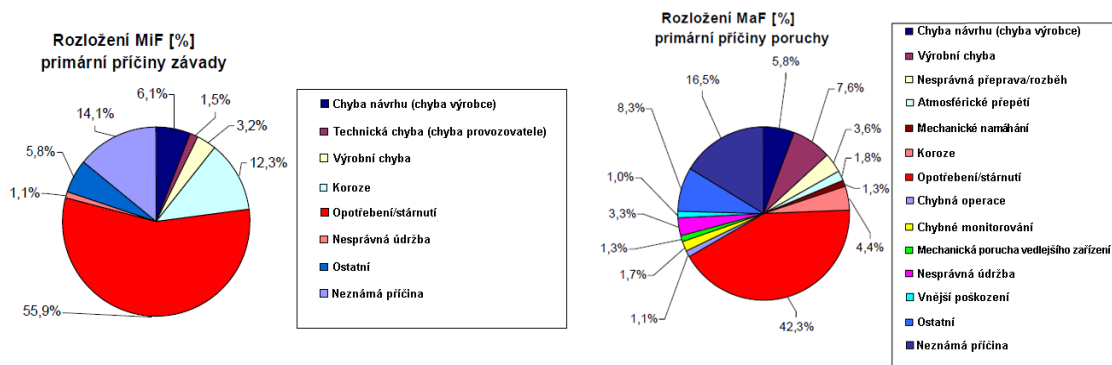
Původ selhání	Počet MiF	Počet MaF	MiF %	MaF %	MiF předchozí %	MaF předchozí %
Mechanický v pohonu	1397	320	21	38,1	39,4	44
Mechanický v jiné části	392	122	5,9	14,5	9,9	10,4
Elektrický v hlavním obvodu	199	84	3	10	0,9	13,9
Elektrický v pomocných a řídicích obvodech	1328	203	20	24,2	10,2	24,5
Těsnost $SF_6$ systému	2362	49	35,5	5,8	39,6	7,2
Ostatní	977	62	14,7	7,4	0	0
<b>Celkově</b>	6655	840	100	100	100	100

## Příčiny selhání

Seznam možných příčin selhání:

- Chyba návrhu (chyba výrobce)
- Technická chyba (chyba provozovatele)
- Výrobní chyba
- Nesprávná přeprava/rozběh
- Koroze
- Opotřebení/stárnutí
- Nesprávná údržba
- Neznámá příčina
- Atmosférické přepětí
- Mechanické namáhání
- Chybná operace
- Chybné monitorování
- Mechanická porucha vedlejšího zařízení
- Vnější poškození

Primární příčina je základní problém, který dříve, či později způsobí selhání. Na obrázku 4.8 vidíme rozložení primárních příčin MiF a MaF. Nejčastější příčinou MiF je *opotřebení/stárnutí* (55,9%). Nejčastější příčinou MaF je také *opotřebení/stárnutí* (42,3%). Stále existuje velmi vysoká část MiF (14,1%) a MaF (16,5%), u nichž nebyla zjištěna primární příčina.



**Obrázek 4.8:** Primární příčiny MiF a MaF (převzato a upraveno z [10])

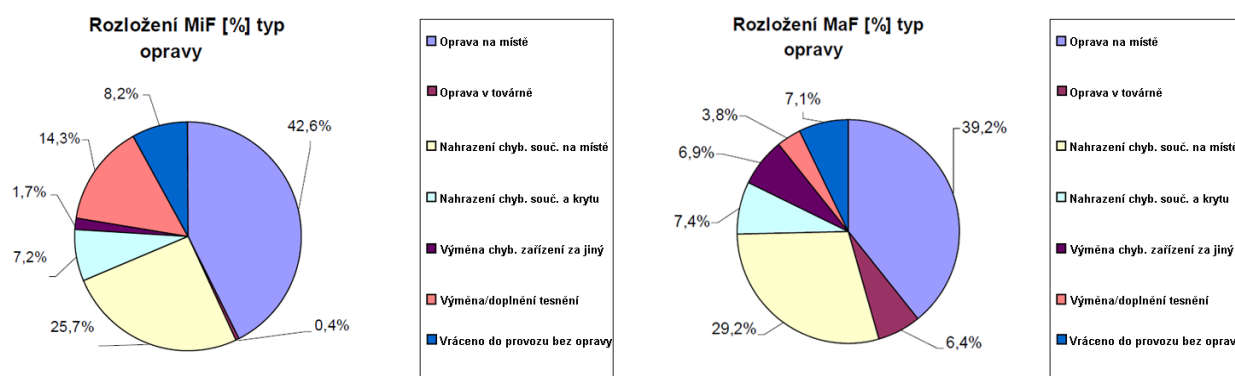
## Typy opravy

Seznam možných oprav:

- Oprava na místě
- Oprava ve výrobní továrně

- Nahrazení chybné součástky na místě bez výměny krytu
- Nahrazení chybné součástky a krytu
- Výměna chybného zařízení za jiný
- Výměna/doplnění těsnění
- Vráceno do provozu bez opravy

Oprava poškozeného vypínače může poskytnout přehled o závažnosti selhání jak z časového, tak z finančního hlediska. Na obrázku 4.9 jsou popisovány způsoby oprav, které se využívají pro MiF a MaF. Nejčastějším typem oprav je oprava na místě, pro MiF (42,6%) a MaF (39,2%). Druhým nejčastějším typem oprav je nahrazení chybné součástky na místě, pro MiF (25,7%) a pro MaF(29,2%).



Obrázek 4.9: Typy oprav pro MiF a MaF (převzato a upraveno z [10])

### Následná opatření

Abychom analyzovali následná opatření nezbytná k minimalizaci pravděpodobnosti selhání, bylo nutné seskupit informace viz tabulka 4.17. Z tabulky vyčteme, že opatření se průměrně provádí při každém čtvrtém selhání, tedy pro většinu selhání se následné opatření neprovádí. Pro MiF byla přípustná opatření přijata v přibližně v 10% případů a nejčastějším opatřením byla změna v údržbě (5,9%). Přibližně čtvrtina případů u MaF přijala některá další následná opatření, která by měla zabránit opětovnému výskytu poruchy u jiných vypínačů.

Tabulka 4.17: Následná opatření po selhání

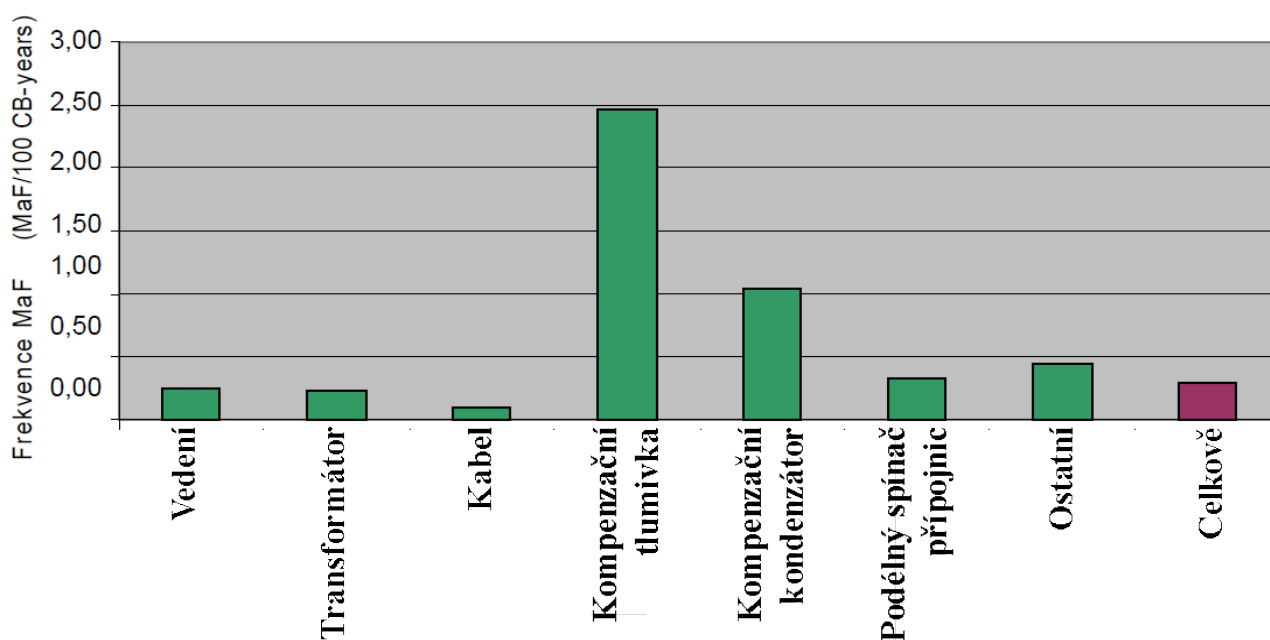
Následná opatření	Počet MiF	Počet MaF	Rozložení MiF (%)	Rozložení MaF (%)
Odebrat podobné zařízení	139	73	2,4	8,4
Změny specifikací nákupu	112	35	1,9	4
Zavedení dodatečného monitorování	48	24	0,8	2,8
Změna pokynů k obsluze	14	19	0,2	2,2
Změna údržby	337	81	5,9	9,3
Žádné opatření	5095	640	88,7	73,4
<b>Celkový počet odpovědí</b>	<b>5745</b>	<b>872</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

## 4.4 Vliv konkrétní aplikace vypínačů

Během průzkumu bylo definováno 7 kategorií, které umožnily zařadit konkrétní aplikaci vypínačů. Každá z kategorií může být rozdílná v závislosti na konfiguraci rozvodny. V případě konfigurace *one and half CB configuration* (jeden a půl vypínače), by mělo být dominantní spínání. V případě vypínače spojeného s transformátorem a vedením by největší podíl služby měl být na vývodech nadzemního vedení, neboť většina poruch je spojena s poruchami vedení.

- Overhead line CB - vypínač ve vývodu nadzemního vedení
- Transformer CB - vypínač transformátoru
- Cable CB - vypínač ve vývodu kabelového vedení
- Shunt reactor CB - vypínač kompenzační tlumivky
- Capacitor CB - vypínač kondenzátoru
- Bus-coupler CB - vypínač podélného spínače přípojnic
- Other CB - ostatní jsou všechny vypínače, které nevykonávají službu uvedenou v předchozích šesti kategoriích. Předpokládá se, že podstatnou součástí těchto vypínačů jsou vypínače, které spojují generátory do sítě.

V tabulce 4.9 vidíme, že nejvíce nespolehlivé jsou vypínače kompenzační tlumivky. Důvodem může být počet operací za rok. Tabulky 4.18, 4.19 nám ukazují počet selhání dle aplikace vypínače. *Na příkaz nevypne* je dominantní MaF pro tři hlavní aplikace a to pro vypínače ve vývodu nadzemního vedení, vypínače kompenzační tlumivky a vypínače kondenzátoru. Pro dvě aplikace vypínačů, vypínače transformátoru a vypínače podélného spínače přípojnic, je nejzávažnější poruchou *uzamknutí v zapnuté/vypnuté poloze*. Pro MiF je nejfrekventovanější *malý únik SF<sub>6</sub>* a to pro všechny aplikace.



**Obrázek 4.10:** Rozložení MaF/100 CB - years vzhledem ke konkrétní aplikaci (převzato a upraveno z [10])

**Tabulka 4.18:** Rozložení MaF vzhledem ke konkrétní aplikaci vypínače

MaF	Konkrétní aplikace vypínače						
	Vedení	Transformátor	Kabel	Kompenzační tlumivka	Kompenzační kondenzátor	Podélný spínač přípojnic	Ostatní
Na příkaz nevyne	106	33	5	45	27	15	6
Na příkaz nezapne	64	21	2	16	13	15	7
Vypnutí bez příkazu	1	0	0	0	1	0	0
Zapnutí bez příkazu	18	10	2	6	6	3	0
Elektrické poruchy v hlavním okruhu	54	10	0	12	7	8	3
Uzámkně se v zapnuté/vypnuté poloze	87	49	5	6	24	40	0
Ztráta mechanické integrity	36	18	1	2	2	6	3
Ostatní	22	10		3	2	7	
<b>Celkově</b>	<b>388</b>	<b>151</b>	<b>15</b>	<b>90</b>	<b>82</b>	<b>94</b>	<b>19</b>

**Tabulka 4.19:** Rozložení MiF vzhledem ke konkrétní aplikaci vypínače

MiF	Konkrétní aplikace vypínače						
	Vedení	Transformátor	Kabel	Kompenzační tlumivka	Kompenzační kondenzátor	Podélný spínač přípojnic	Ostatní
Bez odpovědi	11	8	0	2	0	2	1
Únik vzduchu/oleje v pohonu	569	375	60	20	42	208	80
Malý únik SF <sub>6</sub>	906	656	70	23	135	527	49
Únik oleje z paralelních kondenzátorů	31	22	5	0	0	3	8
Změna mechanického charakteru	228	126	14	20	14	41	10
Změna elektrického charakteru	95	56	8	5	20	33	5
Změna charakteru ovl. nebo pomoc. systémů	492	412	34	20	57	127	77
Ostatní	340	267	54	20	56	132	79
<b>Celkově</b>	<b>2672</b>	<b>1922</b>	<b>245</b>	<b>110</b>	<b>324</b>	<b>1073</b>	<b>309</b>

#### 4.4.1 Provozní stavy při selhání vzhledem ke konkrétní aplikaci vypínače

Dominantní provozní stav při MaF je *vypínač v provozním stavu (při požadavku vypínání/zapínání)*, čísla se zvyšují s nárůstem operací, to pozorujeme hlavně u vypínačů kompenzační tlumivky a vypínačů kompenzačního kondenzátoru. Dalším významným provozním stavem při MaF je *vypínač v provozním stavu (vypnuto/zapnuto - bez příkazu)*, který nacházíme primárně u vypínačů transformátoru, vypínačů ve vývodu nadzemního vedení a vypínačů podélných spínačů přípojnic. Pro MiF je *vypínač v provozním stavu (vypnuto/zapnuto - bez příkazu)* jednoznačně dominantním provozním stavem.

#### 4.4.2 Původ selhání vzhledem ke konkrétní aplikaci vypínače

Pro MaF je dominantní *mechanický původ v pohonu*, za ním následuje *elektrický původ v pomocných a řídicích obvodech*. Pro MiF je převládající původ *těsnost SF<sub>6</sub> systému*, ačkoli *elektrický původ v pomocných a řídicích obvodech* a *mechanický původ* jsou též důležité faktory.

#### 4.4.3 Příčiny selhání vzhledem ke konkrétní aplikaci vypínače

Dominantní příčinou závad a poruch, pro konkrétní aplikaci vypínačů, je *opotřebení/stárnutí*. Aby se dále zlepšila spolehlivost vypínačů, měla by být kladena větší pozornost na frekvenci údržby, která by omezila účinky opotřebení a stárnutí vypínačů.

#### 4.4.4 Typy oprav vzhledem ke konkrétní aplikaci vypínače

Dle očekávání jsou typy oprav velmi podobné, to jak u MaF, tak i u MiF. Nejčastější způsob opravy je *oprava na místě*, následuje *nahrazení chybné součástky na místě*. Samozřejmě některé MaF musejí být opraveny v továrně, což u MiF většinou nevidíme.



## 4.5 Vliv pohonu

Pohon je důležitou součástí vypínače. Proto byla provedena samostatná analýza vlivu pohonů na celkovou spolehlivost vypínačů. V této práci se rozlišují čtyři různé typy pohonů:

- Hydraulický pohon, který může obsahovat pružinu - hydraulický pohon využívá stlačený plyn pro nasměrování toku oleje, čímž uvádí činnost vazby připojenou k zhasací komoře.
- Pneumatický pohon, který může obsahovat pružinu - pneumatický pohon využívá stlačeného vzduchu jako zdroje energie pro vypínání.
- Pružinový pohon - pružinový pohon je poháněn mechanickou energií uloženou v pružinách. Většinou je uzavírací pružina mechanicky řízena motorem a je udržována ve své stlačené poloze pomocí uzavírací západky. Po příchodu signálu, se uvolní západka, tato pružina tlačí proti mechanickému spojení, aby zatlačila kontakty vypínače. Zavírací pružina je potom okamžitě natažena motorem. Další západka udrží vypínací pružinu ve stlačené poloze, dokud neotevře signál západku. [12]
- Ostatní (magnetické, motorové atd.)

Rozložení počtu vypínačů vzhledem k pohonům je zobrazeno v tabulce 4.4. Přibližně polovina vypínačů má pružinový pohon, zatímco hydraulický a pneumatický pohon je rozdělen v populaci po čtvrtině. S ohledem na provedení, téměř dvě třetiny Live tank mají pružinový pohon a zhruba polovina Dead tank využívá též pružinového pohonu. U GIS se více objevují pohony hydraulické a pneumatické. Tabulky 4.20 4.21 nám ukazují rozložení MaF a MiF. Zároveň graf 4.11 nám zobrazuje MaF/100CB - years, kde pozorujeme, že nejméně spolehlivé jsou Live Tank.

**Tabulka 4.20:** Rozložení MaF vzhledem k typu pohonu

Typ pohonu	MaF	rozložení MaF [%]
Hydraulický	136	35,4
Pneumatický	82	21,4
Pružinový	165	43
Ostatní	1	0,3
<b>Celkově</b>	<b>384</b>	<b>100</b>

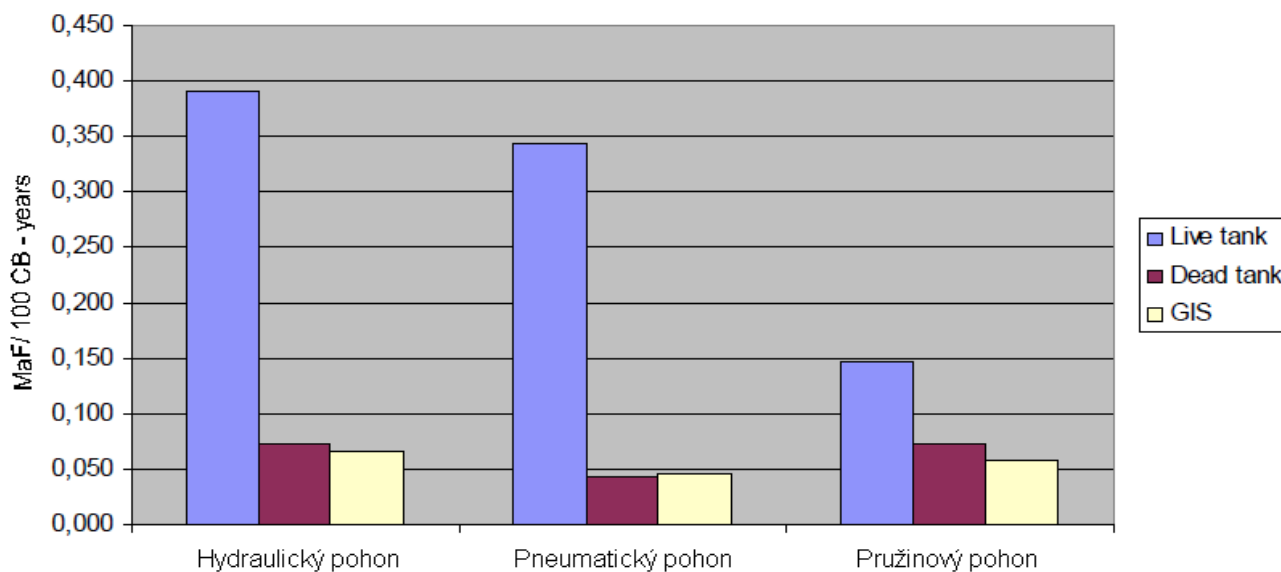
**Tabulka 4.21:** Rozložení MiF vzhledem k typu pohonu

Typ pohonu	MiF	rozložení MiF [%]
Hydraulicý	1 834	76,5
Pneumatický	295	12,3
Pružinový	264	11
Ostani	4	0,2
<b>Celkově</b>	<b>2 397</b>	<b>100</b>

### 4.5.1 Režimy selhání pohonů

#### MaF režimy

Pro hydraulické pohony je dominantní poruchový režim *uzamknutí v zapnuté/vypnuté poloze. Na příkaz nezapne a na příkaz nevypne*, jsou také časté režimy poruch. Pro pneumatické pohony jsou na



Obrázek 4.11: Rozložení MaF/100 CB - years vzhledem k typu pohonu (převzato a upraveno z [10])

*příkaz nezapne* a *na příkaz nevypne* nejběžnější poruchové režimy. *Uzamknutí v zapnuté/vypnuté poloze* se také objevuje. U pružinových pohonů je převládající poruchový režim *na příkaz nevypne*. Druhý běžný poruchový režim je *na příkaz nezapne*. V předchozím průzkumu bylo nejčastějším MaF režimem *uzamknutí v zapnuté/vypnuté poloze*.

### MiF režimy

Pro hydraulické a pneumatické pohony je dominantním režimem závady *únik vzduchu/oleje v pohonu*. To je podobné výsledku předchozího průzkumu. Dále je pro hydraulické a pneumatické pohony typická závada *malý únik SF<sub>6</sub>*. Pro pružinové pohony je nejběžnějším režimem závady *změna charakteru*. Z předchozího průzkumu se hodnota poněkud snížila, ale stále je poměrně vysoká. Kromě toho se zde objevuje režim závady *únik vzduchu/oleje v pohonu*.

### 4.5.2 Část odpovědná za selhání pohonu

V pohonech byly definovány tyto odpovědné části:

- Kompresory, motory, čerpadla
- Akumulování energie (akumulátor, pružina)
- Ovládací prvky (neelektrické)
- Aktuátor a tlumicí zařízení
- Mechanický převod
- Ostatní

## MaF - části odpovědné za poruchu

Pro hydraulické pohony jsou hlavní odpovědné části *akumulování energie (akumulátor, pružina) a kompresory, motory, čerpadla*. V předchozím šetření panoval podobný trend. Pro pneumatické pohony je téměř 50% všech MaF spojeno s *kompresory, motory, čerpadly*. To se shoduje s výsledky z předchozího šetření. *Mechanický převod* se v porovnání s předchozím průzkumem zvýšil, zatímco *ovládací prvky* snížily. Pro pružinové pohony je *mechanický převod* největší kategorií a ve srovnání s předchozím průzkumem se zvýšil. *Aktuátor a tlumící zařízení* jsou také velkou částí, ale v porovnání s předchozím průzkumem, se hodnota snížila.

## MiF - části odpovědné za závalu

U hydraulických pohonů jsou *kompresory, motory, čerpadla* odpovědné přibližně za 40% všech MiF. To je téměř totožné s výsledkem předchozího průzkumu. Druhou nejdůležitější kategorií je *aktuátor a tlumící zařízení*. Vzhledem k předchozímu průzkumu se tato hodnota zvýšila, zatímco *ovládací prvky (neelektrické)* se snížily. U pneumatických pohonů jsou *kompresory, motory, čerpadla* odpovědné za více než 50% všech MiF. To je podobné výsledku předchozího šetření. Pro pružinové pohony jsou největší kategorií též *kompresory, motory, čerpadla* s 36,3%. Ve srovnání s předchozím průzkumem se ukazuje, že *aktuátor a tlumící zařízení* došly k velkému zlepšení.

### 4.5.3 Selhání pohonu vzhledem k provozním stavům

#### MaF - selhání vzhledem k provozním stavům

Existují dva dominantní provozní stavy při poruše, konkrétně *vypínač v provozním stavu (vypnuto/zapnuto - bez příkazu)* a *vypínač v provozním stavu (při požadavku vypínání/zapínání)*. Rozdělení mezi těmito dvěma stavy se však mezi jednotlivými typy pohonů značně liší. U hydraulických pohonů se vyskytuje většina poruch během stavu *vypínač v provozním stavu (vypnuto/zapnuto - bez příkazu)*. Pro pneumatické pohony máme dva podobné MaF provozní stavy, *vypínač v provozním stavu (vypnuto/zapnuto - bez příkazu)* a *vypínač v provozním stavu (při požadavku vypínání/zapínání)*. Pro pružinové pohony existuje silná dominance stavu *vypínač v provozním stavu (při požadavku vypínání/zapínání)*.

#### MiF - selhání vzhledem k provozním stavům

Většina MiF se vyskytuje během *vypínač v provozním stavu (vypnuto/zapnuto - bez příkaz)*. Pro pružinové pohony je však relativně velké množství MiF *během nebo těsně po testování/údržbě*. Stejný trend byl pozorován v předchozím šetření.

### 4.5.4 Původ selhání pohonů

Poruchy nalezneme většinou *původu mechanického*. Pro závady je *mechanický původ* také vysoký, ale nižší než pro MaF. Existuje poměrně vysoký podíl původu *těsnost SF<sub>6</sub> systému*, zejména u pneumatických pohonů.

### 4.5.5 Příčiny selhání pohonů

Dominantní příčinou MaF a MiF je *opotřebení/stárnutí*. Pro hydraulické pohony existuje poměrně velká část selhání způsobena *korozí*. U pružinových pohonů nalezneme velkou kategorii příčin selhání

před uvedením pohonu do provozu, zejména *chyba návrhu (chyba výrobce)*, *výrobní chyba* a *nesprávná přeprava/rozběh*.

#### 4.5.6 Oprava pohonů

Typy a rozložení oprav pro MaF i MiF jsou velice podobné. Dominantním typem je *oprava na místě* a *nahrazení chybné součástky na místě*. Ve výrobní továrně se provádí minimální počet oprav. U hydraulických pohonů máme vyšší podíl poruch, kde se následně provádí *výměna/doplnění těsnění*, to pravděpodobně souvisí s odpovědnou částí za selhání, tedy *kompresory motory, čerpadla a akumulování energie*, kde tyto hodnoty byly poměrně vysoké. U pružinových pohonů máme vyšší podíl poruch, které byly následně *vráceny do provozu bez opravy* a nižší poměr *nahrazení chybných částí na místě*. U závad je vyšší podíl *výměny/doplnění těsnění*. To je logický výsledek, protože velká část závad souvisí s únikem.

#### 4.5.7 Následná opatření po selhání pohonů

Jak pro MaF, tak pro MiF je rozložení následných opatření po selhání pohonů podobné.

##### MaF - následná opatření

Ve většině případů při poruše nebyla přijata žádná opatření. V případě, že opatření přijata byla, tak u hydraulických pohonů dominuje *odebrání podobného zařízení a změny specifikací nákupu*. U pneumatických pohonů převládá *změna pokynů k obsluze*. U pružinových pohonů se vyskytuje *odebrání podobného zařízení a změna údržby*.

##### MiF - následná opatření

U selhání existuje velká většina případů, kdy nebyla přijata žádná opatření. V poměrně málo případech, kdy byla přijata následná opatření, lze usoudit, že u hydraulických pohonů dominuje *změna údržby*, pro pneumatické pohony převládají *změny specifikací nákupu* a u pružinových pohonů nacházíme *změnu údržby*.

### 4.6 Vliv údržby vypínačů

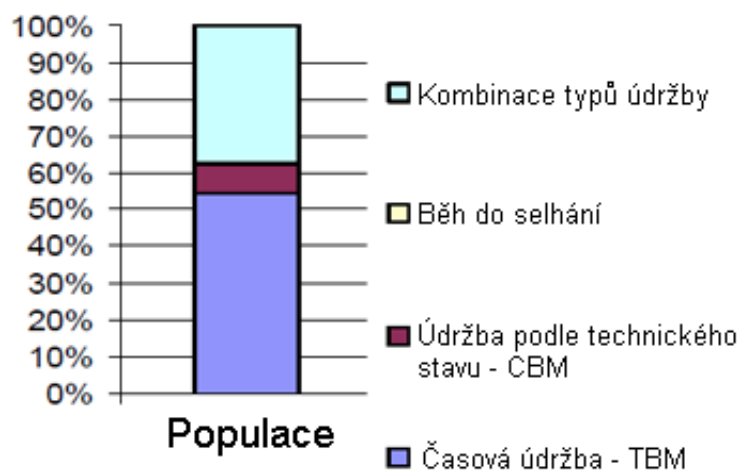
Různé typy údržby jsou velice důležitým aspektem k zlepšující se spolehlivosti. Celkově bylo zkoumáno 5 metod. Velice významné je, že žádný provozovatel neaplikuje metodu běh do selhání (run to failure).

- Run to failure (Běh do selhání - RTF) - Tato metoda je nejjednodušší strategií údržby a spočívá v tom, že produkt je záměrně v provozu, dokud se nepoškodí, v tom okamžiku se provádí oprava. Podle této metody bychom měli mít k dispozici náhradní díly a personál, abychom mohli vyměnit poškozenou část a nadále udržovat dostupnost zařízení.[15]
- Time based (Časová údržba - TBM) je údržba prováděná na zařízeních podle harmonogramu kalendáře. To znamená, že může být použita jak s preventivní, tak s prediktivní údržbou. Plán údržby je sestaven tak, aby byl pravidelně prováděn. Příkladem je údržba, která se provádí na klimatizačním zařízení každý rok před příchodem léta.[15]

- Condition based maintenance (Údržba dle technického stavu - CBM) je údržba, která sleduje skutečný stav a určuje, jaký typ údržby a jaká část komponenty musí být podrobena údržbě. Pomocí algoritmů a neustálého monitorování dat, ukazatele vykazují známky snížení výkonu nebo nadcházející poruchy, jsme schopni provést údržbu ve správný čas a na správné části. Pomocí této metody, která je velice nákladná, jsme schopni držet funkčnost subjektu prakticky bez přerušení.[15]
- Kombinace TDM a CBM - Například metoda RCM umožňuje používat strom logického rozhodování, dokáže nalézt efektivní požadavky k údržbě, v úvahu bere bezpečnostní, ekonomické a provozní důsledky poruch. Pomocí rozhodovací logiky určuje naléhavost údržby.[15]

#### 4.6.1 Rozložení typu údržby v jednotlivých zemích

Uvedené typy údržby se v jednotlivých zemích liší. Některé země používají pouze *TBM*, ostatní využívají kombinaci různých typů údržby. Používají se pouze tři typy údržby, tj. *TBM*, *CBM* a *kombinace různých metod*. Žádná země nehlásila, že uplatňuje filozofii *RTF*. Je třeba poznamenat, že zatímco typ údržby *RTF* může být vhodný pro některé dílčí součásti a nekritické funkce, tak v energetice a obzvláště u vypínačů tento typ údržby není vhodný. *TBM* je nejoblíbenějším typem údržby viz graf 4.12.



Obrázek 4.12: Rozložení typů údržby (převzato a upraveno z [10])

#### 4.6.2 Rozložení typu údržby vzhledem k třídám napětí

*TBM* je nejdominantnější u napěťových tříd 1 a 2 (60-200 kV). U napěťových tříd od 200-700 kV je rozložení typů údržby vyrovnané, dělí se mezi *TBM* a *kombinaci (např. RCM)*. U napěťové třídě 6 (>700 kV) je procento *TBM* a *CBM* téměř stejné.

### 4.6.3 Rozložení typu údržby vzhledem k typu provedení

Typy údržby vypínačů se nemění vzhledem k různým typům provedení. *TBM* je dominantní u všech typů provedení, avšak největší hodnotu nalezneme u vypínačů GIS.

### 4.6.4 Rozložení typu údržby vzhledem k aplikaci vypínačů

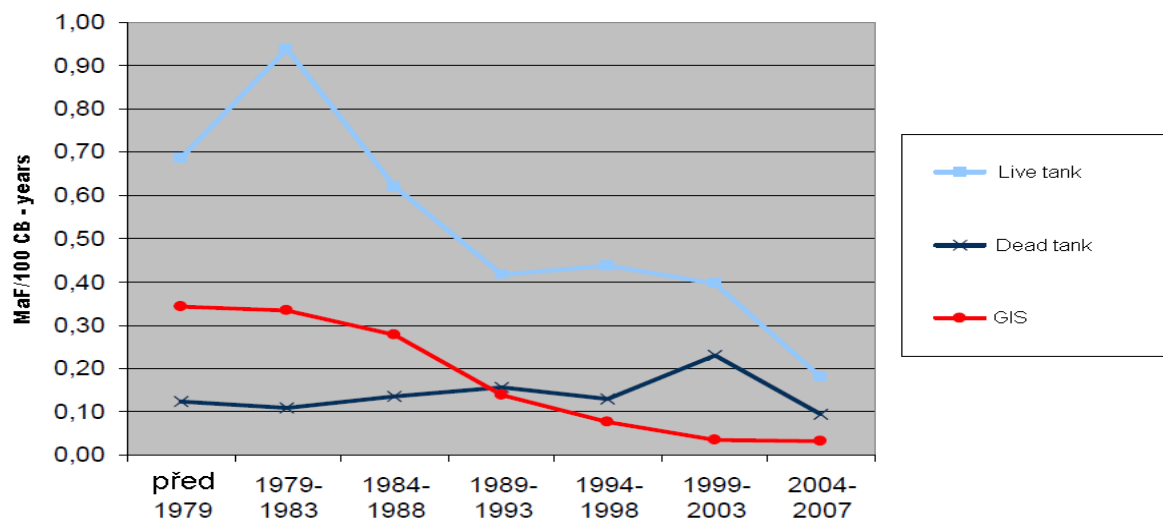
Neexistují žádné významné rozdíly ve zvolené údržbě vzhledem ke konkrétní aplikaci vypínačů. U vypínačů kompenzačních tlumivek a vypínačů ve vývodu kabelového vedení dosahuje podíl *TBM* téměř 70%, u vypínačů kondenzátorů, je hodnota nejnižší (50%).

## 4.7 Vliv stáří na vypínače

Poprvé byl zahrnut do tohoto průzkumu rok výroby. Pomáhá zjistit jakoukoli souvislost mezi výskytem selhání a stářím vypínače. Obecným trendem je konstantní pokles MaF, to vede k závěru, že vypínače jsou stále spolehlivější vzhledem k nižšímu věku. Na grafech níže nalezneme období (1979 - 1983), kde se nachází špička MaF. Vysvětlení tohoto vrcholu objevujeme ve stáří vypínačů, neboť se nacházely v rozmezí 21 - 28 let, což bylo v blízkosti nastávající velké údržby.

### 4.7.1 Vliv stáří vzhledem k provedení vypínačů

Na grafu 4.13 vidíme rozložení poruch vzhledem k stáří a provedení vypínačů. Vypínače GIS ukazují neustále klesající tendenci. Dead tank se drží okolo hodnoty 0,15 MaF/100 CB - years. Live tank dosáhly svého maxima v období 1979-1983, od té doby MaF relativně strmě klesají.

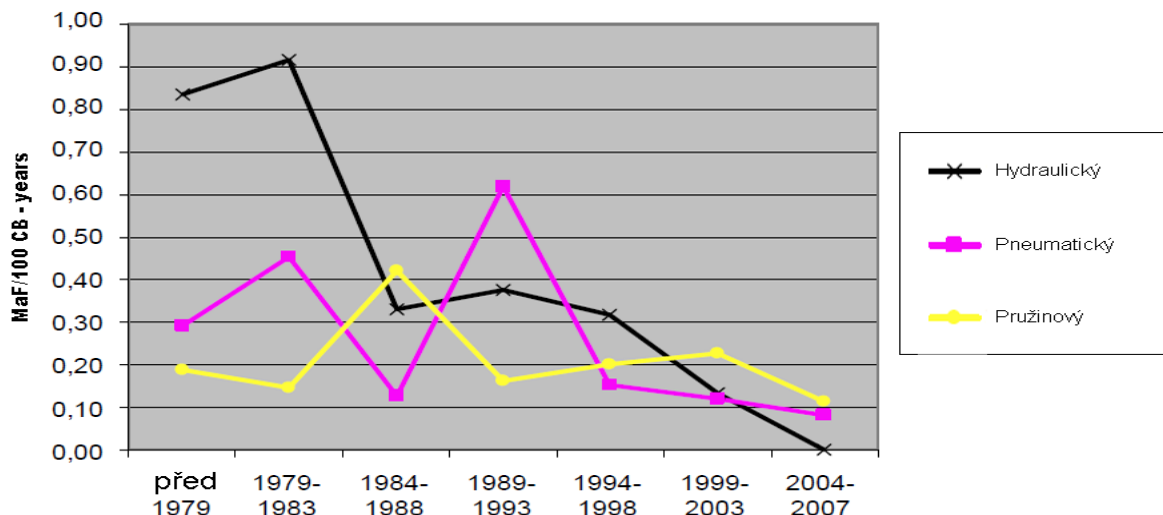


Obrázek 4.13: Rozložení MaF vzhledem k stáří a provedení vypínačů (převzato a upraveno z [10])

### 4.7.2 Vliv stáří vzhledem k pohonům

Od roku 1979 dochází k trvalému zvyšování počtu pružinových pohonů. Ostatní pohony k tomu úměrně klesají. V posledním zaznamenaném období vidíme, že přes 60% pohonů jsou pohony pružinové a okolo 15% se pohybují pohony pneumatické a hydraulické. Obecně se rozložení MaF pro všechny typy pohonů

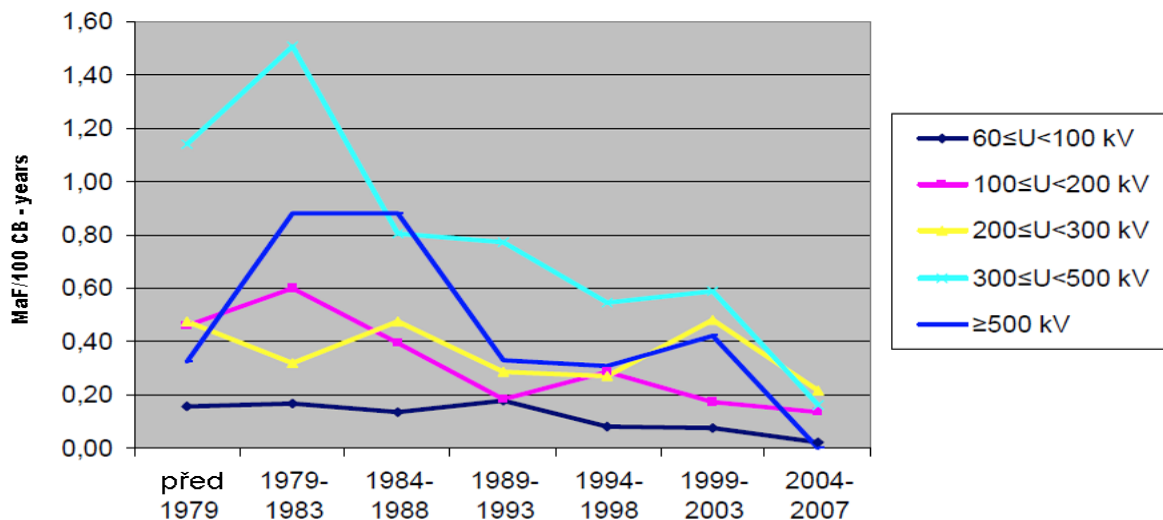
zlepšuje se zvyšujícím se rokem výroby. Rozložení MaF vzhledem k stáří a typu pohonu nalezneme na grafu 4.14. U hydraulických pohonů sledujeme strmý pokles MaF, dokonce od roku 1999 mají nejmenší frekvenci MaF ze všech pohonů. Pneumatické pohony si až na jedno období drží lehce klesající křivku, to samé můžeme říct o pohonech pružinových.



Obrázek 4.14: Rozložení MaF vzhledem k stáří a typu pohonu (převzato a upraveno z [10])

### 4.7.3 Vliv stáří vzhledem k napěťovým třídám

Většina zkoumané populace leží v rozmezí od 100 kV do 200 kV. Vypínačů nad 700 kV je velice málo, proto se pro tuto analýzu spojily se skupinou 500 kV až 700 kV, tedy tato skupina obsahuje napětí větší než 500 kV. Na grafu 4.15 vidíme, že se vrchol MaF nachází v období 1979 - 1983 a to zejména pro napětí nad 300 kV. Nižší napěťové hladiny si drží jemně klesající hodnotu MaF, naopak u vyšších úrovní (nad 300 kV) pozorujeme strmější klesání MaF, což znamená zlepšení technologií výroby.



Obrázek 4.15: Rozložení MaF vzhledem k stáří a třídám napětí (převzato a upraveno z [10])

## 5 Shrnutí

Tato kapitola se zabývá shrnutím předešlé kapitoly, zároveň staví své poznatky na informacích a datech od CIGRÉ.[9, 10]

### 5.1 Populace

Počet zúčastněných zemí byl stejný jako v předchozím průzkumu, ale součet CB-years je více než čtyřnásobně větší. Distribuce celkového počtu vypínačů s ohledem na třídy napětí je stejná, jako v předchozím šetření. Většina vypínačů je instalována ve venkovních rozvodnách (87%), v napěťové třídě do 200 kV (71%). Analýza konkrétních aplikací vypínačů ukazuje, že nejčastějšími aplikacemi jsou úkoly se spínáním vedení (55%) a transformátorů (24%). Aplikace vypínačů ve vývodů kabelového vedení je třetí nejdůležitější částí, zejména u GIS.

### 5.2 Rozložení selhání

Live tank i kovově uzavřené vypínače vykazují ve srovnání s předchozím průzkumem dobré zlepšení spolehlivosti. Frekvence selhání se snížila na polovinu předchozí hodnoty. Vypínače Live tank mají téměř trojnásobně vyšší frekvenci selhání než Dead tank a GIS. Tento výsledek je podobný výsledku z předchozího průzkumu. Dead tank a vypínače GIS mají podobnou frekvenci selhání. Spolehlivost vypínačů se snižuje s vyššími napěťovými třídami. Vypínače kompenzační tlumivky a kondenzátoru jsou nejméně spolehlivé vzhledem ke konkrétní aplikaci. Frekvence při poruše pohonů je 0,14 MaF/100 CB-years. Srovnáním této hodnoty s celkovou frekvencí poruchy 0,30 MaF/100 CB-years lze předpokládat, že přibližně polovina všech MaF je spojena s pohonem. Frekvence MaF, vzhledem k pohonům, je zhruba polovina toho, co byla v předchozím průzkumu. Stáří jednotlivých zařízení může mít velký vliv na charakteristiky a frekvence selhání. Existuje významný trend, který předkládá, že nové hydraulické pohony mají nižší frekvenci MaF než starší pohony. Moderní hydraulické pohony mají podobnou spolehlivost jako moderní pneumatické nebo pružinové pohony.

### 5.3 Charakteristika selhání

Téměř polovina dotázaných subjektů nepodalala informace o počtu poruch, které se vyskytly před zaznamenanou poruchou. Ze zbývajících kladných odpovědí 73% vypínačů nemělo žádnou předchozí poruchu, 14% mělo pouze jednu poruchu a ostatní měly dvě a více poruch. Existuje velký vliv konkrétní aplikace na počet poruch, které se staly před zaznamenanou poruchou (48,7% u vypínačů ve vývodu nadzemního vedení, 23,9% u vypínačů kompenzační tlumivky, 8,5% u vypínačů transformátorů a 10,3% u vypínačů kondenzátorů).

#### Požáry/výbuchy

Počet poruch doprovázeným výbuchem nebo požárem je pozoruhodně nízký. Bylo zaznamenáno 35 požárů/výbuchů u Live tank a 1 případ požáru/výbuchu u GIS. To je necelých 5% všech MaF a



přibližně dvě třetiny hodnoty z předchozího průzkumu.

### Režimy selhání

Rozložení režimu selhání pro MaF a MiF v současném i v předchozím průzkumu poskytuje podobné trendy. Dominantním režimem závad je únik vzduchu, *oleje nebo SF<sub>6</sub>* (55,9%). Existuje také vysoká část *změna funkčního charakteru* (28,4%). Dominantními režimy poruch jsou *na příkaz nevypne, na příkaz nezapne a uzamknutí v zapnuté/vypnuté poloze*. Je zajímavé, že téměř 80% poruch je u pohonu pružinového (41,7%) a hydraulického (37,7%).

### Provozní stavy

Trend provozních stavů při selhání je podobný předchozímu průzkumu. V době, kdy došlo k závadě, dva nejčastější provozní stavy byly *vypínač v provozním stavu (vypnuto/zapnuto - bez příkazu)* - 64,6% a *během nebo těsně po testování/údržbě* - 21,1%. V době, když došlo k poruše, dva nejčastější provozní stavy byly *vypínač v provozním stavu (při požadavku vypínání/zapínání)* - 44,2% a *vypínač v provozním stavu (vypnuto/zapnuto - bez příkazu)* - 30,2%.

### Vliv životního prostředí

Příspěvek životního prostředí u závad je téměř zanedbatelný (5,1%). U poruch je vliv životního prostředí též velmi nízký (11,9%). Nejčastějším subjektem ze životního prostředí je blesk, který představuje 37% z celkového počtu příspěvků životního prostředí.

### Odpovědné komponenty

Pro závady se všechny tři kategorie: *komponenty na provozním napětí, komponenty a obvody na nízkém napětí a pohon* podílejí přibližně po jedné třetině. Pro poruchy je převládající kategorií *pohon* (50%), následovaný *komponenty a obvody na nízkém napětí* (30%) a nakonec *komponenty na provozním napětí* (20%).

### Původ selhání

Původem nejvyšších počtů závad byla *těsnost SF<sub>6</sub> systému* (35,5%), následovaná *mechanickým původem v pohonu* (21%) a *elektrickým původem (v pomocných a řídicích obvodech)* (20%). Hodnoty pro vypínače GIS jsou odlišné, původ nejčastějších závad byl *v mechanickém původu v pohonu* (42%), následovaný *těsností SF<sub>6</sub> systému* (26,9%).

Rozložení poruch je podobné minulému průzkumu. Dominantním původem je *mechanický původ v pohonu* (38,1%), následovaný *elektrickým původem (v pomocných a řídicích obvodech)* (24,2%).

### Příčiny selhání

Nejčastější příčinou závady je *opotřebení/stárnutí* (55,9%), ta samá příčina je také u poruch (42,3%). Přetrvává velmi vysoká část MiF (14,1%) a MaF (16,5%), u nichž nebyly zjištěny příčiny.

## Typy opravy

Nejčastějším typem oprav je *oprava na místě* pro MiF (42,6%) a MaF (39,2%). Druhým nejčastějším typem oprav je *nahrazení chybné součástky*, u MiF (25,7%) a pro MaF (29,2%).

## Následná opatření

Mezi nejčastější opatření po poruchách patří *změna údržby* (9,3%) a *odebrání podobného zařízení* (8,4%).

## 5.4 Vliv konkrétní aplikace

Vypínače kompenzační tlumivky jsou nejméně spolehlivé ze všech aplikací. Důvodem může být množství operací, které tyto vypínače provádějí za rok. Existují velké rozdíly mezi vypínači kompenzační tlumivky a jinými aplikacemi. U tří konkrétních aplikací (vypínače ve vývodu nadzemního vedení, vypínače kompenzační tlumivky a vypínače kondenzátoru) je dominantní poruchový stav *na příkaz nevympne*. Pro další dvě aplikace (vypínače podélného spínače přípojnic a vypínače transformátoru) je dominantním stavem *uzamknutí v zapnuté/vypnuté poloze*. U vypínačů ve vývodu kabelového vedení mají obě výše zmíněné poruchy stejnou důležitost. Dle očekávání frekvence MaF *na příkaz nevympne* je úměrná počtu operací, naopak frekvence MaF *uzamknutí v zapnuté/vypnuté poloze* není úměrná počtu operací.

## 5.5 Vliv pohonu

Tři dominantní poruchy jsou *na příkaz nezapne*, *na příkaz nevympne* a *uzamknutí v zapnuté/vypnuté poloze*. Dominantní závada pro hydraulické a pneumatické pohony je *únik vzduchu/oleje v pohonu* a pro pružinové pohony *změna funkčního charakteru*. Odpovědné části za poruchu hydraulických pohonů jsou *akumulování energie (akumulátor, pružina)* a *kompresory, motory, čerpadla*. Pro pneumatické pohony jsou odpovědné komponenty *kompresory, motory, čerpadla* a pro pružinové pohony *mechanický převod*. Komponenty odpovědné za většinu závad jsou *kompresory, motory, čerpadla*, bez ohledu na typ pohonu. Celkově lze konstatovat, že nejzranitelnějšími částmi hydraulických pohonů jsou systémy pro akumulování energie a kompresní systémy pro olej. Pro pneumatické pohony jsou to kompresory a tlakové systémy a pro pružinové pohony je to aktuátor a tlumicí zařízení. Existují dva dominantní provozní stavy při poruchách, *vypínač v provozním stavu (vypnuto/zapnuto - bez příkazu)* a *vypínač v provozním stavu (při požadavku vypínání/zapínání)*. Většina MiF se vyskytuje během toho, co je *vypínač v provozním stavu (vypnuto/zapnuto - bez příkazu)*. Dle očekávání, většina MaF a MiF má původ v *mechanický v pohonu*. Dominantní příčinou MaF i MiF je *opotřebení/stárnutí*.

## 5.6 Vliv údržby

Bylo zjištěno, že existuje velmi vysoké procento údržby *TBM* a velmi nízké procento údržby *CBM*. Filozofie údržby se v jednotlivých zemích liší. Některé země používají pouze *TBM*, jiné používají *kombinaci různých metod*. Žádná země nehlásila využívání údržby *RTF*. U vypínačů napěťové třídy 1 a 2 je podíl *TBM* vyšší než u jiných tříd. Naopak napěťová třída do 500 kV častěji využívá *kombinaci různých*

*metod.* Filozofie údržby vypínačů se nemění dle typu provedení, to samé lze konstatovat vzhledem ke konkrétní aplikaci vypínačů.

## 5.7 Vliv stáří na vypínače

Informace o roce výroby vypínače umožňují vyhodnotit přínos věku ku spolehlivosti vypínače. Čím novější vypínače máme, tím nižší jsou frekvence MaF. Velkou roli hraje údržba vypínačů starších 20 let. U vyšších tříd napětí (nad 300 kV) došlo v posledních letech k pozoruhodnému zlepšení spolehlivosti vůči výrobnímu období. Hydraulické a pneumatické pohony vykazují jasné snížení MaF vzhledem k výrobnímu období.

## 6 Závěr

Dostupnost statistických dat selhání je základním vstupem, který umožňuje posoudit spolehlivost systému. Dostupnost dat je také důležitá, aby pomohla provozovatelům zlepšit správu životního cyklu vypínačů. Údaje o selhání vypínačů by proto měly být považovány za vzácné informace, jež jsou adekvátně zaznamenány, aby pomohly při budoucím strategickém rozhodování. Základem spolehlivých statistik je poskytování a správa databanky selhání. Proto by bylo vhodné, aby provozovatelé vyvinuli a udržovali dobře definované postupy správy informací, aby shromažďovali spolehlivé a komplexní záznamy o selháních.

Vypínače kompenzační tlumivky mají nejvyšší frekvenci poruchy. Bylo hlášeno, že tyto vypínače mají vyšší počet spínacích operací než jiné aplikace vypínačů. To by mohlo být jedním z důvodů špatné spolehlivosti. Bylo by vhodné zlepšit mechanické zkoušky, nebo použít speciální strategie údržby, které by mohly spolehlivost zlepšit.

Dominantní příčinou MaF i MiF pro všechny typy pohonů je *opotřebení/stárnutí*. Aby se dále zlepšila spolehlivost vypínačů a zejména pohonů, měla by se upřít pozornost k minimalizaci těchto poruch. Stálo by za zvážení zlepšit mechanické testy. Revize údržby by mohla pomoci detekovat a sledovat účinky opotřebení a stárnutí na vypínačích a pohonech, také by mohla vést k včasnému zjištění nebo k prevenci selhání.

Pro pružinové pohony existuje poměrně velká část příčin selhání před uvedením do provozu, především *chyba návrhu (chyba výrobce), výrobní chyba a nesprávná přeprava/rozběh*. Přísnější testy uvádění do provozu mohou být způsobem jak zlepšit tuto situaci.

Velký počet případů jak pro MaF, tak pro MiF, kde nebyla přijata žádná následná opatření, naznačuje, že většina selhání byla řešena případ od případu. Zdá se, že existuje dobrá příležitost zlepšit analýzu jednotlivých selhání tím, že se vyvodí obecnější závěry, které mohou v budoucnu pomáhat předcházet podobným selháním.

Existují dva dominantní režimy selhání pro poruchy - *na příkaz nevypne* a *uzamknutí v zapnuté/vypnuté poloze*. Porovnáním těchto režimů selhání s počtem operací za rok je *na příkaz nevypne* přímo úměrný počtu operací a *uzamknutí v zapnuté/vypnuté poloze* je nepřímo úměrné počtu operací, jak se očekávalo. Provozovatelé a výrobci by měli tento problém zohlednit ve filozofii a typu údržby vypínačů.

Celková spolehlivost  $SF_6$  vypínačů se proti minulému průzkumu výrazně zvýšila. Spolehlivost v závislosti na provedení se z hodnoty 0,67 MaF / 100 CB-years snížila na 0,30 MaF / 100 CB-years. Z pohledu pohonů se frekvence MaF dostala z 0,30 MaF / 100 CB-years na 0,14 MaF / 100 CB-years. Téměř všude vidíme 50% zlepšení oproti minulému průzkumu. Dalším důležitým poznáním je, že se pneumatické a hydraulické pohony dostaly na podobnou frekvenci selhání jako pružinové pohony.

Bakalářská práce byla autorem pojata jako komplexní pohled na problematiku spolehlivosti vypínačů, neboť je to velmi široké téma, na které lze nahlížet z mnoha úhlů. Z vyhodnocení průzkumu je patrné, že vypínače nestagnují, naopak jejich vývoj a zároveň jejich spolehlivost jde stále kupředu. Lze pozorovat na výsledcích, které nám průzkum odhalil. Několik důležitých hodnot kleslo o 50% (celková frekvence MaF, frekvence MaF u pohonů). Lze tedy sledovat velký posun. Na druhé straně nacházíme mnoho detailů, na kterých by se mělo zapracovat a posunout spolehlivost vypínačů ještě o kus dál. Příkladem bude lepší, svědomitější zapisování a zpracování dat. Více než polovina provozovatelů neuvedla, zda před zapisovanou poruchou, již na vypínači nějaká porucha byla. U velkého počtu případů nebyla přijata žádná následná opatření, v tomto nastává další prostor ke zlepšování. V neposlední řadě by pozornost měla být zaměřena na zlepšování pohonů, neboť pohony u vypínačů musejí být schopné natáhnout pružinu, která inicializuje zapnutí a vypnutí, tím pádem zde vznikají obrovské mechanické rázy, které kladou na pohony vypínačů velmi vysoké nároky, to vše se pak podpisuje na frekvenci MaF. Zároveň by pozornost měla směřovat k Live Tank, neboť jejich celková poruchovost je trojnásobná vzhledem k Dead Tank a GIS. Dále se zde nachází doporučení CIGRÉ, aby v průzkumu byly meze napěťových tříd konkrétněji rozděleny. Otázky týkající se údržby by též mohly být podrobnější (drobná údržba, diagnostické měření, generální oprava), neboť v průběhu života vypínače se mohou vyskytovat různé nuance v údržbě. Závěrem bych dodal, že spolehlivost vypínačů je v současné době na velmi vysoké úrovni, aby tomu tak bylo i v budoucnu, je zapotřebí toto odvětví energetiky neustále zkoumat.

## 7 Literatura

- [1] TŮMA, J., RUSEK, S., MARTÍNEK, Z., CHEMIŠINEC, I., GOŇO, R. *Spolehlivost v elektroenergetice.*, Praha: Conte, 2009. ISBN 80-239-6483-6.
- [2] FRIESL, E. *Pravděpodobnost a statistika hypertextově* [online]. [cit. 2018-01-12]. Dostupné z: <http://home.zcu.cz/~friesl/hpsb/hPsbS.pdf>.
- [3] LITSCHMANNOVÁ, M. *Vybrané kapitoly z pravděpodobnosti* [online]. [cit. 2018-01-12]. Dostupné z: [http://mi21.vsb.cz/sites/mi21.vsb.cz/files/unit/vybrane\\_kapitoly\\_pravdepodobnost.pdf](http://mi21.vsb.cz/sites/mi21.vsb.cz/files/unit/vybrane_kapitoly_pravdepodobnost.pdf).
- [4] FRÝD, L. *Ekofun - statistika* [online]. [cit. 2017-12-12]. Dostupné z: <http://www.ekofun.cz/courses/statistika/6042-rozdeleni-nahodne-veliciny>.
- [5] FAJMON, B. *Střední hodnota a rozptyl* [online]. [cit. 2017-11-22]. Dostupné z: <http://www.rozhovor.cz/ma+fy/08strednihodnotadistribfce.pdf>.
- [6] GLEN, S. *Interval tolerance* [online]. [cit. 2018-02-02]. Dostupné z: <http://www.statisticshowto.com/tolerance-intervals>.
- [7] CROSS VALIDATED. *Do the pdf and the pmf and the cdf contain the same information?* [online]. [cit. 2013-01-17]. Dostupné z: <https://stats.stackexchange.com/questions/107563/do-the-pdf-and-the-pmf-and-the-cdf-contain-the-same-information>.
- [8] HRADÍLEK, Z. *Elektroenergetika distribučních a průmyslových sítí.*, Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2008. ISBN 978-80-7225-291-6.
- [9] CIGRÉ, A3.06 *Final Report of the 2004 - 2007 International Enquiry on Reliability of High Voltage Equipment. Part 1 - Summary and General Matters.*, Paříž: CIGRE Central Office, 2012. ISBN 978-2-85873-201-2.
- [10] CIGRÉ, A3.06 *Final Report of the 2004 - 2007 International Enquiry on Reliability of High Voltage Equipment. Part 2 - Reliability of High Voltage SF6 Circuit Breakers.*, Paříž: CIGRE Central Office, 2012. ISBN 978-2-85873-202-9.
- [11] HELŠTÝN, D., KAČOR, P., HYTKA, Z. *Elektrické přístroje spínací ochranné a jisticí* [online]. [cit. 2018-01-22]. Dostupné z: [http://fei1.vsb.cz/kat410/studium/studijni\\_materialy/ep/ep\\_II/Elektricke%20%20pristroje%20spinac%ED%20ochrann%20a%20jistici.pdf](http://fei1.vsb.cz/kat410/studium/studijni_materialy/ep/ep_II/Elektricke%20%20pristroje%20spinac%ED%20ochrann%20a%20jistici.pdf).
- [12] FUKAČ, P. *Aktuální technický stav a diagnostika vypínačů vvn*, bakalářská práce, Plzeň: ZČU 2012
- [13] BÁRTA, K., VOSTRACKÝ, Z. a kol. *Spínací přístroje velmi vysokého napětí.*, Praha: SNTL/ALFA, 1983.
- [14] SIEMENS *Informace o vypínačích z Siemens portólia* [online]. [cit. 2018-01-28]. Dostupné z: <https://www.energy.siemens.com/nl/en/power-transmission/high-voltage-products/circuit-breaker>.

- [15] FIIX *Maintenance Strategies and Planning Resources* [online]. [cit. 2018-02-14]. Dostupné z:<https://www.fiixsoftware.com/maintenance-strategies/>.