

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE**

# **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Diagnostika výkonových vypínačů**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
Fakulta elektrotechnická  
Akademický rok: 2012/2013

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

Jméno a příjmení: **David STRÁNSKÝ**  
Osobní číslo: **E11N0038K**  
Studijní program: **N2644 Aplikovaná elektrotechnika**  
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**  
Název tématu: **Diagnostika výkonových vypínačů**  
Zadávací katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

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

1. Zpracujte ucelený přehled výkonových vypínačů provozovaných na všech napěťových hladinách distribuční soustavy ČEZ Distribuce, a. s.
2. Navrhněte soubor metod diagnostiky tak, aby získané výstupy z měření byly dostatečné k objektivnímu posouzení stavu jednotlivých typů vypínačů. Popište jednotlivé činnosti a navrhované metody diagnostiky.
3. Doporučte standard vybavení pracovní skupiny diagnostiky vypínačů a stanovte časovou náročnost podle typu vypínače.
4. Ověřte návrh provedením konkrétního měření na vybraném typu vypínače VVN.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího  
Rozsah pracovní zprávy: 30 - 40 stran  
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická  
Seznam odborné literatury:

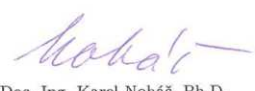
Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Konstantin Schejbal, CSc.**  
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce: **15. října 2012**  
Termín odevzdání diplomové práce: **9. května 2013**

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



  
Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2012

## **Abstrakt**

Elektrizační soustava se dá obecně rozdělit na tři základní části. Výrobu, distribuci a spotřebu elektrické energie. Vysokonapěťové výkonové vypínače patří mezi nejdůležitější prvky této soustavy a jsou nepostradatelné ve všech jejich úrovních. Jsou instalovány v rozvodnách elektráren, v sítích přenosové soustavy, distribučních sítích i v rozvodnách provozů koncových spotřebitelů. Každá část elektrizační soustavy má svoje specifika, ke kterým je třeba při volbě výkonového vypínače na počátku, a ke způsobu péče v průběhu jeho života přihlížet. Tato diplomová práce se zabývá problematikou provádění diagnostiky výkonových vypínačů na hladině vysokého a velmi vysokého napětí distribuční soustavy společnosti ČEZ Distribuce, a.s.

## **Klíčová slova**

Výkonový vypínač, zhášecí komora, SF<sub>6</sub>, Vakuum, elektroizolační olej, proudová dráha, časová charakteristika, hlavní kontakt, dynamický odpor, časová náročnost.

## **Abstract**

Power system can generally be divided into three basic parts. Production, distribution and consumption of electrical energy. High-voltage circuit breakers are among the most important elements of this system and are indispensable in all their levels. They are installed in substations, power plants, transmission in networks, distribution networks and substations operations end consumers. Each part of the grid has its own specifics, which should be taken when selecting the circuit breakers on the beginning and the type of care during his life idly. This thesis deals with the implementation of the diagnostic circuit breakers at the high and very high voltage distribution system company CEZ Distribution, Inc.

## **Keywords**

Circuit breaker, quenching chamber, SF6, vacuum, electrical insulating oil, current track, time characteristics, the main contacts, dynamic resistance, time requirements.

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

.....

podpis

V Ústí nad Labem, dne 11. 04.2013

Bc. David Stránský

## **Poděkování**

Touto cestou bych chtěl poděkovat Doc. Ing. Konstantinu Schejbalovi, Csc, vedoucímu diplomové práce, za jeho vedení, ochotu a vstřícnost při řešení konkrétních problémů.

## Obsah

Seznam symbolů a zkratk.....	10
Úvod.....	11
1 Technické uspořádání rozvoden distribuční soustavy .....	12
1.1 AIS (Air insulated switchgear) .....	12
1.2 GIS (Gas insulated switchgear) .....	13
1.3 HIS (Hybrid insulated switchgear) .....	14
1.4 MTS (Mixed technology switchgear) .....	14
2 Přehled výkonových vypínačů distribuční soustavy .....	16
2.1 Hladiny napětí .....	16
2.1.1 Vysoké napětí VN.....	17
2.1.2 Velmi vysoké napětí VVN.....	17
2.2 Umístění zhášecí komory .....	17
2.2.1 Live Tank .....	17
2.2.2 Dead Tank.....	17
2.3 Izolační a zhášecí médium.....	18
2.3.1 Tlakovzdušné vypínače.....	18
2.3.2 Expanzní vypínače .....	19
2.3.3 Máloolejové vypínače .....	19
2.3.4 Tlakoplynové vypínače s SF6.....	20
2.3.5 Vakuové vypínače .....	22
2.4 Typy pohonů.....	23
2.4.1 Pneumatický pohon.....	23
2.4.2 Hydraulický pohon.....	23
2.4.3 Elektromagnetický pohon.....	23
2.4.4 Pružinový pohon (střádač).....	25
3 Diagnostika výkonových vypínačů distribuční soustavy .....	26
3.1 Statické testovací metody .....	26
3.1.1 Měření úbytku napětí hlavní proudové dráhy – SRM .....	26
3.1.2 Měření izolačního odporu.....	27
3.1.3 Měření svodových proudů.....	27
3.2 Dynamické testovací metody.....	27
3.2.1 Měření časových průběhů spínacích operací.....	28
3.2.2 Měření časových průběhů spínacích operací – DCM .....	29
3.2.3 Měření proudu protékajícího ovládací cívkou .....	30
3.2.4 Měření pohybu hlavního kontaktu.....	30
3.2.5 Měření dynamického odporu hlavní proudové dráhy – DRM.....	31
3.2.6 Měření proudu motoru pohonu .....	32
3.2.7 Měření vibračních charakteristik.....	33
3.3 Kontrola kvality izolačního média.....	34
3.3.1 Elektroizolační olej .....	34



3.3.2	Elektronegativní plyn SF <sub>6</sub> .....	35
3.3.3	Vakuum .....	36
3.4	Kontrola blokování a ostatních funkcí vypínače .....	37
3.4.1	Snížené ovládací napětí .....	37
3.4.2	Nesouhlas pólů .....	37
3.4.3	Blokování nenastřádané pružiny .....	38
3.4.4	Pumpování .....	38
3.4.5	Blokování při ztrátě SF <sub>6</sub> .....	38
4	Soubory testovacích metod diagnostiky .....	39
4.1	Vypínače napěťové hladiny VN .....	39
4.2	Vypínače napěťové hladiny VVN .....	40
5	Standard technického vybavení pracovní skupiny .....	41
5.1	Analyzátor .....	41
5.2	Snímače a měřicí sondy .....	42
5.3	Napájecí a zkušební zdroje .....	42
5.4	Měření kvality a znovuzískávání SF <sub>6</sub> .....	43
6	Určení časové náročnosti .....	44
6.1	Napěťová hladina VN .....	44
6.2	Napěťová hladina VVN .....	45
6.3	Časová náročnost v regionech DSO .....	45
6.3.1	Region Západ .....	46
6.3.2	Region Sever .....	47
6.3.3	Region Střed .....	48
6.3.4	Region Východ .....	49
6.3.5	Region Morava .....	50
6.4	Celková časová náročnost .....	51
7	Ověření návrhu .....	52
7.1	Statické parametry .....	52
7.2	Dynamické parametry .....	52
7.2.1	Měření časových průběhů spínacích operací .....	53
7.2.1	Měření proudu motoru .....	55
7.2.1	Měření dynamického odporu .....	56
7.2.2	Měření vibračních charakteristik .....	58
7.2.3	Kontrola kvality izolačního média .....	59
7.2.4	Kontrola blokování .....	59
Závěr	.....	60
Seznam literatury a informačních zdrojů	.....	61
Přílohy	.....	62

## Seznam symbolů a zkratk

DSO	ČEZ Distribuce
AIS	Air insulated switchgear
GIS	Gas insulated switchgear
HIS	Hybrid insulated switchgear
MTS	Mixed technology switchgear
DTC	Dead tank compact
VN	Vysoké napětí
VVN	Velmi vysoké napětí
AC	Střídavý proud
DC	Stejnoseměrný proud
SRM	Static Resistance Measurement
DRM	Dynamic Resistance Measurement
DCM	Dynamic Capacitance Measurement
ZAP	Zapínací operace
VYP	Vypínací operace
L1	1.Fáze
L2	2.Fáze
L3	3.Fáze
OZ	Opětné zapnutí
SF <sub>6</sub>	Fluorid sírový
SO <sub>2</sub>	Oxid siřičitý
A	Ampér
V	Volt
Ω	Ohm
Hz	Herz
s	Sekunda
mm	Milimetr
MPa	Megapascal
Up	Průrazné napětí
Qv	Obsah vody
g	Gram
°C	Stupeň Celsia
m	Mili
μ	Mikro
k	Kilo
M	Mega
G	Giga
ppm	Parts per millions

## Úvod

Cílem této diplomové práce je vytvořit ucelený pohled na vysokonapěťový výkonový vypínač, důležitý a velmi početný prvek distribuční soustavy. Provozovateli energetického zařízení by měla konkrétně přiblížit problematiku spojenou s technickou diagnostikou této dílčí části technologie. Úkony diagnostiky jsou v současné době součástí časově orientované údržby, která je zaměřena na udržení funkčnosti prvků mezi předem stanovenými údržbovými intervaly. Stále populárnějším způsobem péče o energetické zařízení se stává prediktivní údržba, která diagnostiku využívá jako účinný nástroj pro efektivní plánování údržbových zásahů. Návrh standardu technického vybavení pracovní skupiny a výsledky měření časové náročnosti by měly být schopné posloužit jako podklad pro technicko – ekonomické posouzení při dlouhodobém plánování provozování této činnosti.

# 1 Technické uspořádání rozvoden distribuční soustavy

Výkonové vypínače distribuční soustavy jsou instalovány v různých technických uspořádáních rozvoden a podle toho se liší i vlastní technické provedení jejich částí, jako je umístění a druh pohonu, umístění hlavních a pomocných kontaktů, signalizace, blokování atd.

## 1.1 AIS (Air insulated switchgear)

Výkonový vypínač je umístěn v klasické, vzduchem izolované rozvodně. Živé části vypínače jsou od sebe izolovány pouze vzduchem o atmosférickém tlaku. Technologie do těchto rozvoden je sice finančně nejméně nákladná, ale o to vyšší jsou náklady na údržbu a prostorové umístění rozvodny. Toto uspořádání je z hlediska provádění diagnostiky nejvhodnější, protože zde není problém připojit měřicí techniku přímo na živé části v těsné blízkosti kontaktů vypínače. V našich poměrech je toto uspořádání také nejrozšířenější.



Obr. 1 – Vypínače 110 kV v provedení AIS

## 1.2 GIS (Gas insulated switchgear)

Výkonový vypínač je umístěn v zapouzdřené rozvodně. Jednotlivé části rozvodny, jako jsou přípojnice, vypínač, odpojovače, uzemňovače a měřicí transformátory proudu a napětí jsou uzavřeny do samostatných, navzájem od sebe oddělených prostorů, které jsou naplněné elektronegativním fluoridem sírovým ( $\text{SF}_6$ ) o tlaku 0,25 až 0,45 MPa. Elektrická pevnost tohoto plynu je v homogenním poli 3,3 krát větší než elektrická pevnost vzduchu. Díky tomu mají tyto rozvodny ve srovnání s klasickými, vzduchem izolovanými mnohem menší nároky na zastavěný prostor. Další předností zapouzdřených rozvodů je vysoká provozní spolehlivost, bezpečnost a dlouhá životnost při nízkých požadavcích na údržbu. Provádění diagnostiky výkonových vypínačů na těchto rozvodnách je komplikovanější právě z důvodu kompletního zapouzdření a špatnému přístupu k živým částem. Technické vlastnosti zapouzdřených rozvodů jsou ale po všech stránkách lepší než u klasických, vzduchem izolovaných rozvodů. To je však vyváženo podstatně vyššími investičními náklady na výstavbu tohoto zařízení. V omezeném prostoru nebo v náročných podmínkách silného průmyslového znečištění jsou však velmi vhodným řešením.



Obr. 2 – Vypínače 110 kV v provedení GIS

### 1.3 HIS (Hybrid insulated switchgear)

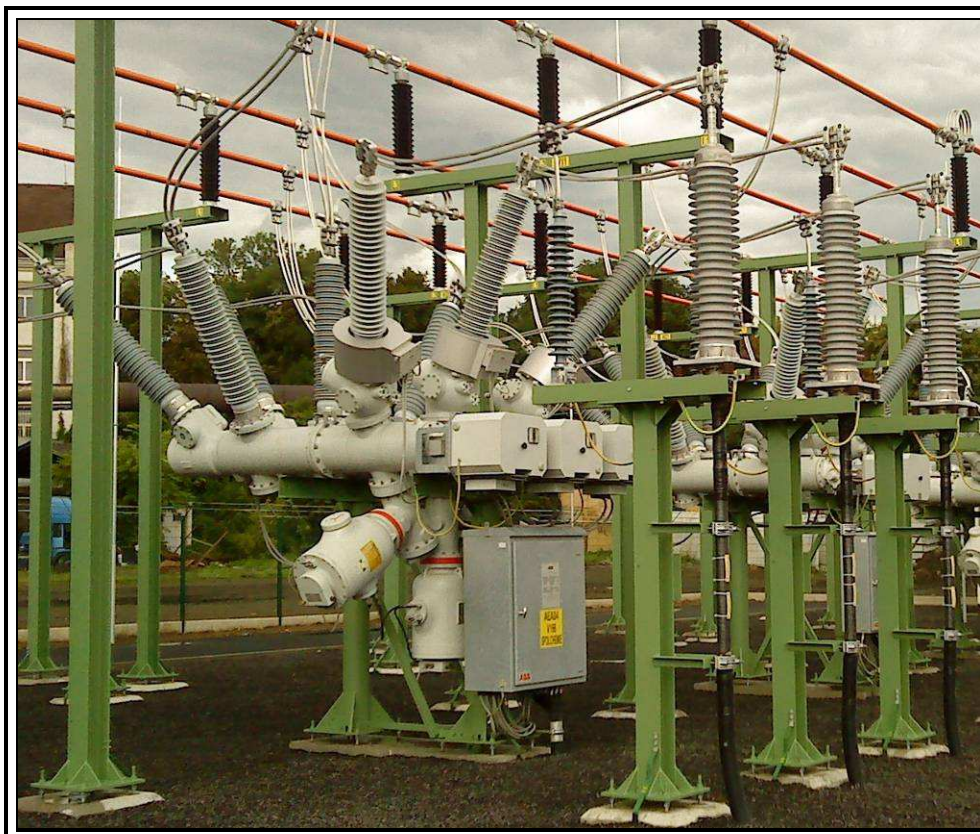
Jedná se o hybridní provedení, které je kombinací vzduchem izolované a zapouzdřené, plynem izolované rozvodny. Vzduchem izolované bývají pouze průchodky potřebné pro připojení ke sběrníkovému systému. Zapouzdřenou část většinou tvoří vypínač, sběrníkové, vývodové a zemní odpojovače a také měřicí transformátory proudu a napětí. Všechna tato zařízení bývají velmi často umístěna v jednom pouzdře. Tím HIS získávají přednosti zapouzdřené rozvodny, jako je vysoká provozní spolehlivost, nízké požadavky na údržbu a současně i dobré podmínky pro prostorové umístění.

### 1.4 MTS (Mixed technology switchgear)

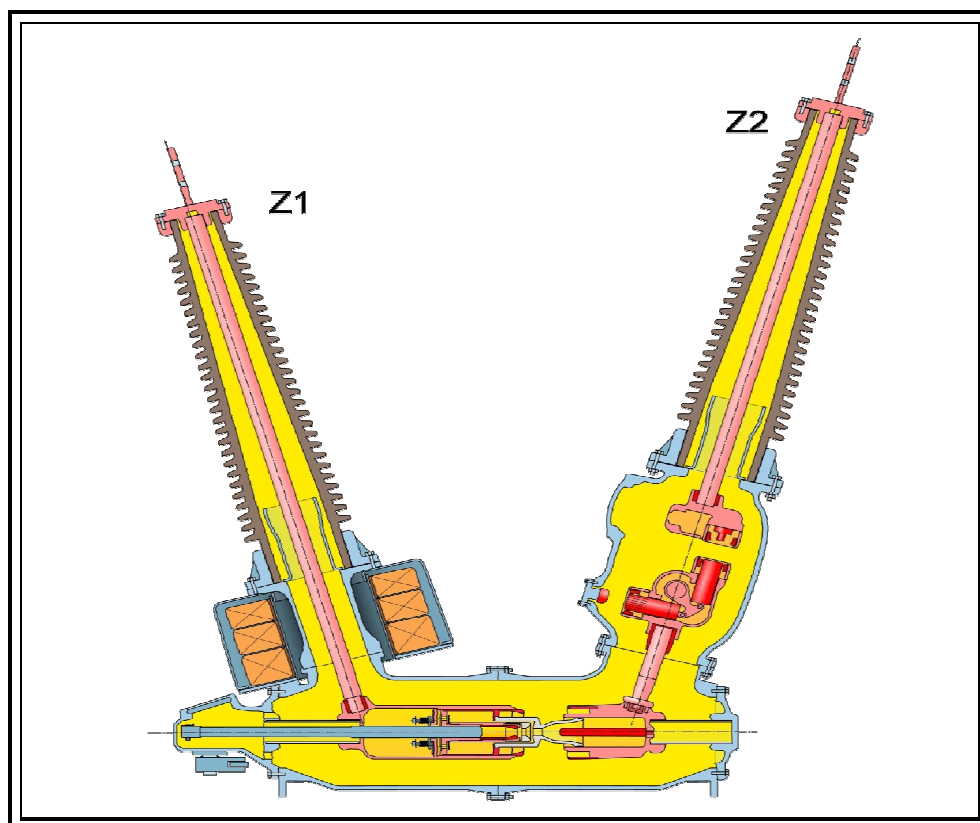
Nejmodernějším a stále populárnějším uspořádáním pro aplikace na hladině velmi vysokého napětí jsou takzvané Dead Tank Compact (DTC). Jedná se o zapouzdřenou rozváděčovou soustavu, která je zkonstruována do kompaktního a modulárního provedení. Může například obsahovat jeden nebo dva vypínače, několik kombinovaných odpojovačů se zemními noži, přístrojové měřicí transformátory a průchodky pro připojení k jednoduchému nebo dvojitému systému přípojnic. Díky tomu je schopna nahradit kompletní pole VVN rozvodny.

Existují však varianty, kde není zapotřebí ani konvenční venkovní sběrnice. Při této konfiguraci DTC jsou primární průchodky připojeny k výkonovému transformátoru, sekundární průchodky k vedení odchozímu a terciální průchodky k vedení příchozímu. Tato aplikace pak může plně nahradit celou rozvodnu velmi vysokého napětí. Dalším přínosem je, že ve srovnání s tradičními venkovními rozvodnami se celkové náklady na údržbu redukuje až o 40% a je zde potřeba až o 80% menší množství plynové náplně SF<sub>6</sub>. Některé modifikace této technologie dokáží pro svoji kompaktnost ušetřit až 70% prostoru potřebného pro výstavbu.





Obr. 3 – Dead Tank Compact (DTC) 110 kV



Obr. 4 – Řez komory DTC 110 kV

## 2 Přehled výkonových vypínačů distribuční soustavy

Výkonové vypínače distribuční soustavy se dají rozlišit podle mnoha kritérií, základními hledisky pro rozdělení jsou například úroveň hladiny napětí, typ pohonu hlavního kontaktu vypínače, způsob zhášení elektrického oblouku nebo umístění zhášecí komory. Některé důležité vlastnosti výkonových vypínačů jsou zakotveny v národních i mezinárodních normách. Hodnoty jejich základních charakteristických veličin nalezneme mezi štítkovými údaji a jsou to například:

Nejvyšší napětí soustavy	[kV]
Jmenovitý proud	[kA]
Jmenovitý vypínací proud	[kA]
Jmenovitý dynamický proud	[kA]
Vypínací doba ( max.)	[ms]
Zapínací doba ( max.)	[ms]

Vlastnímu rozdělení výkonových vypínačů distribuční soustavy je věnována pozornost v následujících podkapitolách.

### 2.1 Hladiny napětí

Pro distribuci a rozvod elektrické energie se využívá střídavého napětí 6, 10, 22, 35 kV. Pokud je třeba přenést výkon do větší vzdálenosti, je třeba z důvodu omezení ztrát transformovat na vyšší hladiny střídavého napětí 110, 220, 400 kV. Výkonové vypínače jsou dimenzovány v souladu s normalizovanou řadou jmenovitého napětí. Tato práce se omezuje pouze na výkonové vypínače distribuční soustavy určené pro hladinu vysokého a velmi vysokého napětí 10, 22, 35 a 110 kV.



### **2.1.1 Vysoké napětí VN**

Výkonové vypínače používané na hladině vysokého napětí mohou být konstruovány jako venkovní nebo vnitřní, bývají instalovány v klasické kobkové rozvodně nebo zapouzdřené v rozvaděči s SF<sub>6</sub>. Jako zhášecí médium se dříve používal expanzin, později izolační olej nebo plyn SF<sub>6</sub>, nejmodernější vypínače jsou vakuové. Pohyb kontaktu vypínače zajišťuje tlakovzdušný, hydraulický, pružinový nebo elektromagnetický pohon.

### **2.1.2 Velmi vysoké napětí VVN**

Na hladině velmi vysokého napětí se můžeme setkat s vypínači instalovanými v polích klasických venkovních rozvodů, s variantami v zapouzdřených rozvodnách ale i s hybridními DTC (Dead Tank Compact). Původní vypínače byli tlakovzdušné či máloolejové, dnes se jako izolační a zhášecí médium hojně využívá SF<sub>6</sub>. Pohony vypínačů bývají tlakovzdušné, hydraulické, nejčastěji však pružinové.

## **2.2 Umístění zhášecí komory**

### **2.2.1 Live Tank**

Zhášecí komory jsou umístěny v pouzdrech keramického nebo kompozitního izolátoru, které jsou v přímém kontaktu se živou částí a mají tedy potenciál síťového napětí. Jsou tedy „živé – Live“. Napěťová hladina, pro kterou jsou vypínače konstruovány, je pak určena délkou a průrazným napětím izolátoru zhášecí komory a podpěrného izolátoru. Takovéto uspořádání je většinou levnější a také rozšířenější.

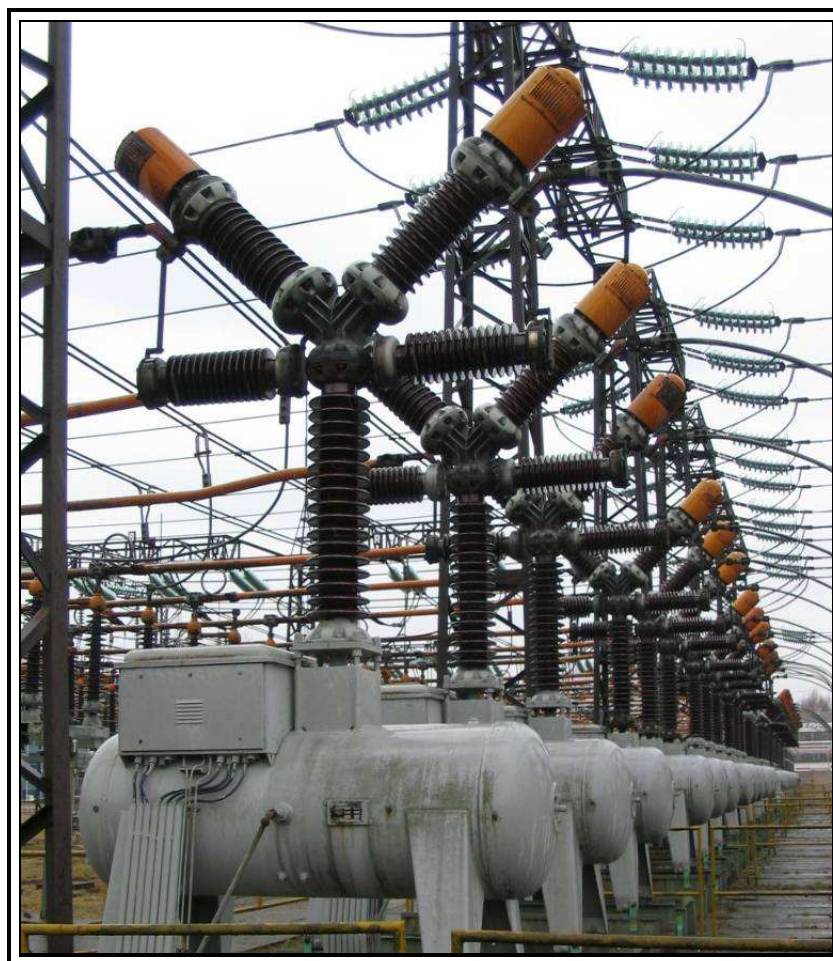
### **2.2.2 Dead Tank**

V tomto provedení jsou zhášecí komory umístěny v kovovém pouzdře, které je vodivě spojeno se zemí. Mají tedy potenciál země a jsou „mrtvé – Dead“. Izolace mezi zhášecí komorou a pouzdrem je tvořena pomocí elektronegativního plynu SF<sub>6</sub>. Přívody a odvody vypínače jsou vyvedeny prostřednictvím venkovních izolačních průchodek. Výhodou tohoto uspořádání je, že na tyto průchodky se dají instalovat měřicí transformátory proudu.

## 2.3 Izolační a zhášecí médium

### 2.3.1 Tlakovzdušné vypínače

U tohoto typu vypínačů slouží stlačený vzduch jako zhášecí médium elektrického oblouku, pohonný prostředek spínacích částí i jako izolace mezi vypnutými částmi hlavní proudové dráhy. Vysoká elektrická pevnost tlakového vzduchu umožňuje krátké spínací dráhy kontaktů a rychlé vypínání tryskami při dodržení nízké spotřeby tlakového vzduchu. Vzduch o pracovním přetlaku 2 až 6 MPa se vhání pomocí trysky do zhášecí komory mezi hlavní kontakty, kde natahuje a ochlazuje elektrický oblouk, který následně uhasíná. Kvalita zhášení oblouku je dána tvarem, nasměrováním a velikostí průřezu trysky. O dostatek tlakového vzduchu se starají kompresorové stanice, které ho hromadí do tlakových nádob instalovaných na rozvodnách.



Obr. 5 – Tlakovzdušný vypínač VVN

### **2.3.2 Expanzní vypínače**

V těchto vypínačích se jako prostředek pro zhasnutí elektrického oblouku používá expanzin. Je to směs destilované vody a přísad proti zamrznání a vylepšení tepelné vodivosti. Elektrická pevnost je plně srovnatelná s pevností izolačního oleje. Rozepnutí silových kontaktů probíhá v tlakové komoře, která je naplněná expanzinem. Oblouk v této komoře vytváří silný nárůst tlaku při odpařování a rozkladu této směsi. V okamžiku odpojení pohyblivého kontaktu od tlakové komory dochází k silné expanzi plynu, který následně uhasí oblouk. Tepelným rozkladem vody vzniká kyslík a vodík, tyto plyny mohou uniknout do volného ovzduší nebo se zpětně sloučí ve vodu. Nevýhodou tohoto vypínače je, že pokud napětí působí na komoru delší dobu, pak i malý prosakující proud vodu zahřeje. V místě jeho největší hustoty dojde k vytvoření řetězce mikroskopických bublin, podél kterého pak dojde k průrazu. Proto, je nutné zařadit do série k hlavním kontaktům další vypínací kontakty, které po zhasnutí oblouku v expanzní komoře vypínač samočinně odpojí. Tento druh vypínače se využíval většinou na hladině VN. V dnešních dobách se již nepoužívá.

### **2.3.3 Máloolejové vypínače**

Tyto vypínače jsou naplněny pouze malým množstvím oleje, proto vypínače máloolejové. Odizolování živých částí mezi sebou a proti zemi je většinou provedeno keramickými izolátory, olej zde plní funkci zhasacího a izolačního média ve zhasací komoře. Využívají vlastní zhasací energii. Tepelnými účinky oblouku se olej odpařuje, vzniklé plyny vhání do zhasací komory další olej, oblouk se ochlazuje a při průchodu proudem nulou zhasne. Páry a olej deionizují dráhu oblouku a tím znemožňují, aby oblouk znovu vznikl. Nevýhodou tohoto druhu vypínačů je citlivost izolačního oleje na vlhkost. I minimální obsah vody výrazně snižuje elektrickou pevnost oleje a tím i celého izolačního systému. Máloolejové vypínače byly hojně rozšířené ve venkovních i vnitřních rozvodnách na hladině vysokého i velmi vysokého napětí, dnes jsou postupně nahrazovány vakuovými nebo vypínači s SF<sub>6</sub>.



Obr. 6 – Máloolejový vypínač VVN

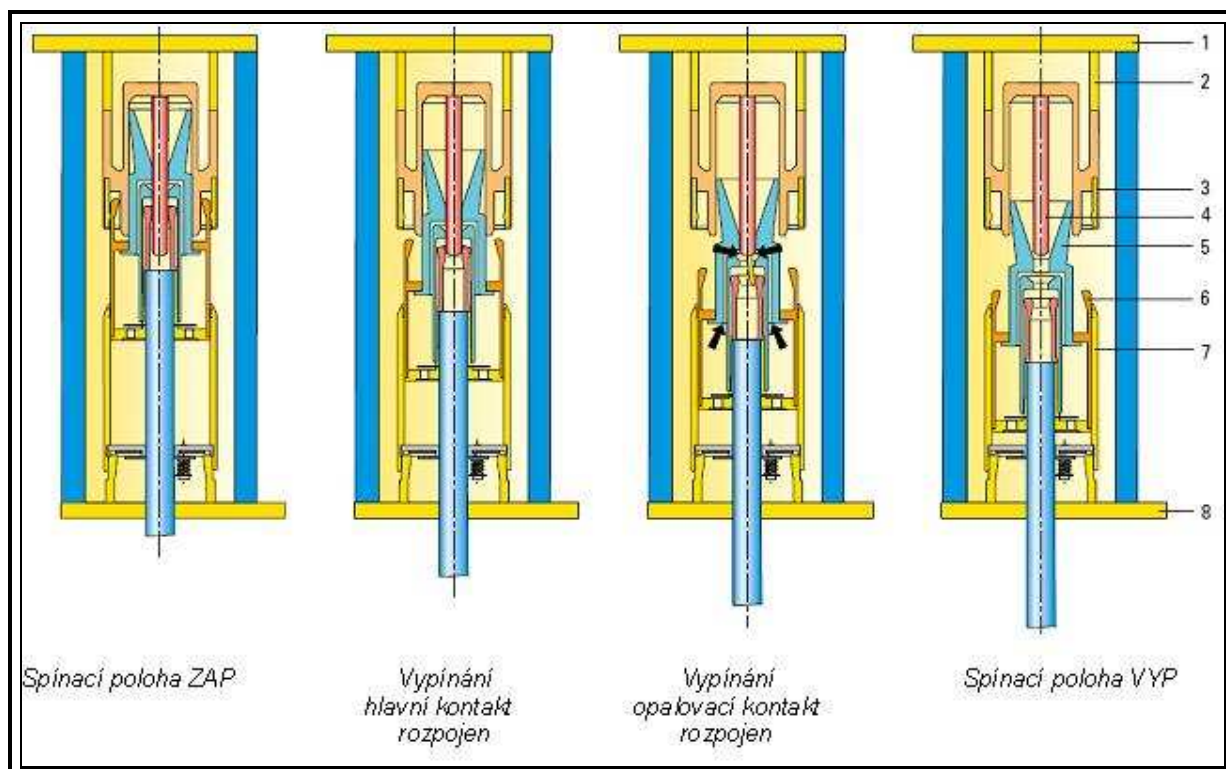
### 2.3.4 Tlakoplynové vypínače s SF<sub>6</sub>

Jedním z nejrozšířenějších druhů vysokonapětových vypínačů jsou tlakoplynové vypínače, které pro zhasnutí elektrického oblouku využívají fluorid sírový (SF<sub>6</sub>). Tento elektronegativní plyn je pro svoje vynikající vlastnosti velmi vhodný pro využití v silnoproudé elektrotechnice. Například jeho elektrická pevnost je až třikrát větší než je pevnost vzduchu. Schopnost zhasnutí elektrického oblouku je přibližně stokrát lepší než má vzduch. Při chladnutí oblouku zůstává vodivý až k relativně nízkým teplotám, což minimalizuje pravděpodobnost přerušení proudu mimo průchod nulou a tím zabraňuje vzniku vysokých přepětí při vypínání. Jeho schopnost přenosu tepla je až pětikrát větší než má vzduch a s tím souvisí i velmi dobrá ochlazovací schopnost oblouku. Pro zhasnutí oblouku za pomoci plynu SF<sub>6</sub> existuje několik způsobů jako například prostým oddálením kontaktů, kroužením

oblouku, využitím energie oblouku nebo dvojtlaká soustava. Nejrozšířenějším způsobem je systém s autopneumatickým zhášedlem, kde je oblouk zhášen proudem plynu, který je vyvolán vypínacím pohybem pístu ve válci. Celý průběh je znázorněn na obr. 7.

Během vypínání se nejprve rozepíná hlavní kontakt (3), proud komutuje na ještě sepnutý opalovací kontakt. Když se opalovací kontakt během dalšího běhu rozepíná, dochází na něm ke vzniku oblouku. Současně se pohybuje kontaktní válec (6) směrem do podstavce (7) a stlačuje v něm se nacházející zhášecí plyn. Plyn proudí proti směru pohybu kontaktního válce (6) k pevnému opalovacímu kontaktu (4) a zháší zde oblouk. Při velkých zkratových proudech je zhášecí proud v prostoru opalovacích kontaktů silně zahříván energií oblouku. To vede k nárůstu tlaku v kontaktním válci. V tomto případě není zapotřebí dodávat energii k vytvoření potřebného zhášecího tlaku z pohonu. V dalším průběhu uvolňuje pevný opalovací kontakt průtok tryskou (5). Plyn proudí z kontaktního válce zpět do trysky a zháší oblouk.

[8, s. 5]



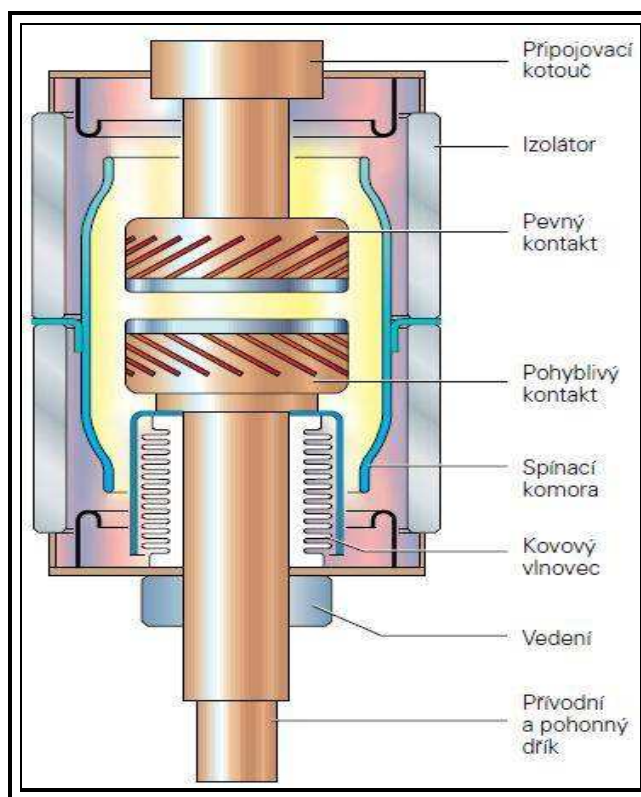
Obr. 7 – Popis principu zhášení oblouku



### 2.3.5 Vakuové vypínače

Vakuové vypínače mají velmi dobré provozní vlastnosti. Vyrábějí se v různých provedeních a jsou v podstatě univerzálními pro využití ve všech aplikacích na hladině vysokého napětí. Vakuum se chová jako izolant. Protože jsou kontakty uloženy v nevodivém a neionizovatelném prostředí, zásadně se liší proces vypínání ve vakuu od vypínání v oleji, vzduchu nebo v SF<sub>6</sub>.

Při oddělení kontaktu je vytvářen oblouk z kovových par tvořený výlučně z roztaveného a odpařeného kontaktního materiálu. Kovové páry podporované externí energií jsou udržovány jen do doby, pokud neprojde proud přirozenou nulou. V tomto okamžiku vede rychlé snížení hustoty zatížení a rychlá kondenzace kovových par k velmi rychlému obnovení dielektrických vlastností. Vakuové zhášedlo proto obnoví izolační schopnost a schopnost snášet přechodné zotavené napětí a definitivně zháší oblouk. Protože ve vakuu je možno dosáhnout vysoké dielektrické pevnosti i při minimálních vzdálenostech, je zaručeno vypnutí obvodu také, když rozpojení kontaktu nastane několik milisekund před průchodem proudu nulou. Tyto vypínače jsou prakticky bezúdržbové, disponují vysokou četností spínacích operací a jsou velmi spolehlivé. [9, s. 4]



Obr. 8 – Spínací komora vakuového vypínače

## 2.4 Typy pohonů

### 2.4.1 Pneumatický pohon

Pohybové ústrojí kontaktu vypínače je poháněno stlačeným vzduchem z tlakové nádoby pohonu. Pro správnou funkci potřebuje vzduch o pracovním tlaku mezi 1 až 2 MPa, což je obvykle zajištěno centrální výrobou stlačeného vzduchu v kompresorových stanicích. Vzduch je kompresory natlakovaný do vzdušníků, ze kterých je následně doplňována tlaková nádoba pohonu. Tím je zajištěno, že je vypínač schopen provést několik operací za sebou. Existují však pohony, které disponují i vlastním kompresorem. Tyto pohony jsou dnes již minulostí. Na hladině velmi vysokého napětí je nahradily převážně pružinové pohony, na hladině vysokého napětí se k pružinovým přidaly ještě pohony elektromagnetické.

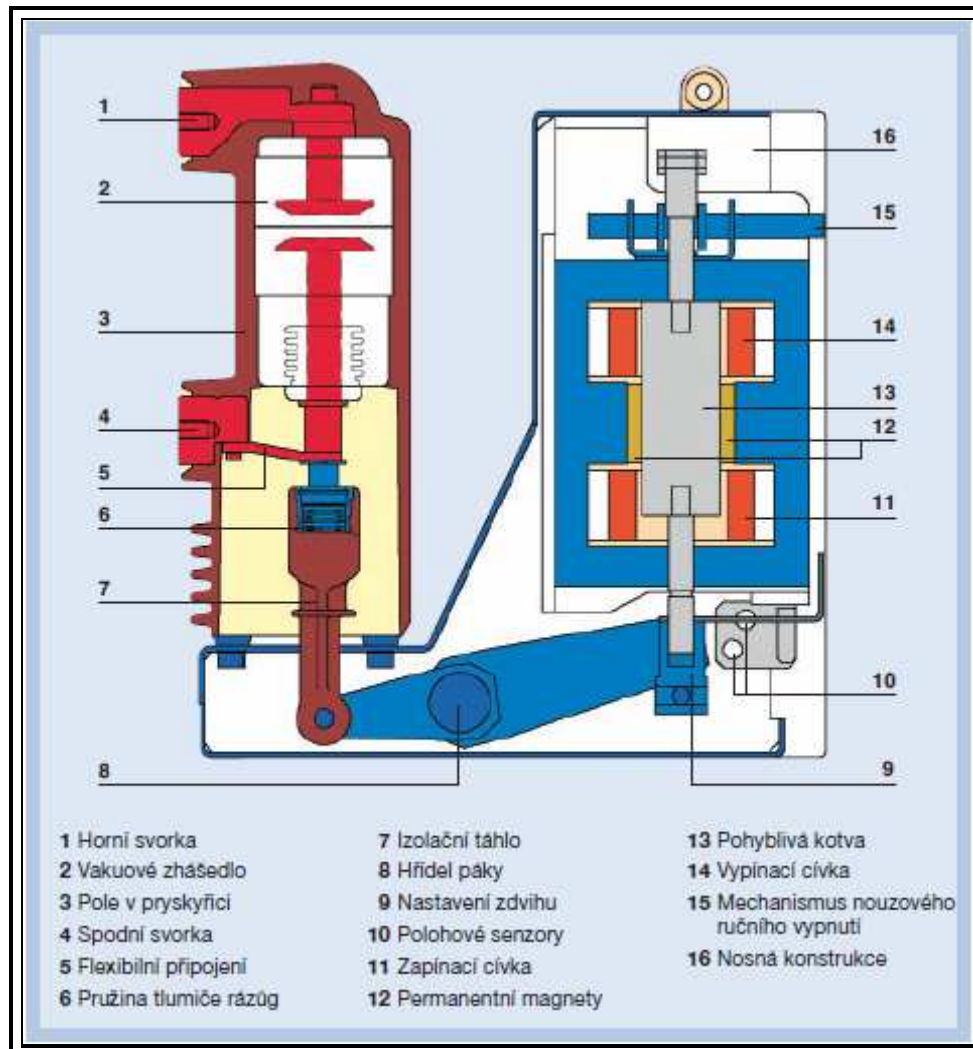
### 2.4.2 Hydraulický pohon

Tento pohon využívá vzájemného působení sil dvou oddělených systémů. První variantou je kombinace hydrauliky a pružin. Energie pro ovládání kontaktu vypínače je uložena v sadě pružin, které jsou napínány hydraulickou částí pohonu. Druhou a rozšířenější variantou je hydraulický pohon s dusíkovým akumulátorem energie. Hydraulická část je rozdělena na vysokotlaký a nízkotlaký okruh. Na hydraulickou kapalinu ve vysokotlaké části okruhu působí za pomoci pístu tlak stlačeného dusíku. O přenos síly a pohyb hlavního kontaktu vypínače se stará další hydraulický píst, na který z jedné strany působí právě vysokotlaký okruh a z protější strany nízkotlaký okruh. Regulací tlaků obou částí okruhu docílíme požadovaných spínacích operací.

### 2.4.3 Elektromagnetický pohon

Elektromagnetický pohon využívá pro změnu stavu vypínače kombinaci elektromagnetů a permanentních magnetů. Kontakt vypínače je pomocí hřídele spojen s pohyblivou kotvou magnetu. Pohybu kontaktu vypínače dosáhneme přivedením ovládacího napětí k vypínací nebo zapínací cívce pohonu. Nabuzená cívka vytvoří magnetické pole, přitáhne pohyblivou kotvu magnetu a tím změní koncovou polohu zdvihu kontaktu. Pro udržení koncové polohy není třeba dále cívkou sytit ovládacím napětím, protože kotva je přitahována permanentními magnety. Elektromagnetický pohon je konstrukčně jednodušší než jiný konvenční pohon. Je

spolehlivý a prakticky nepotřebuje údržbu. Jeho využití je však zatím omezeno pouze pro aplikace na hladině vysokého napětí. [10, s. 5]

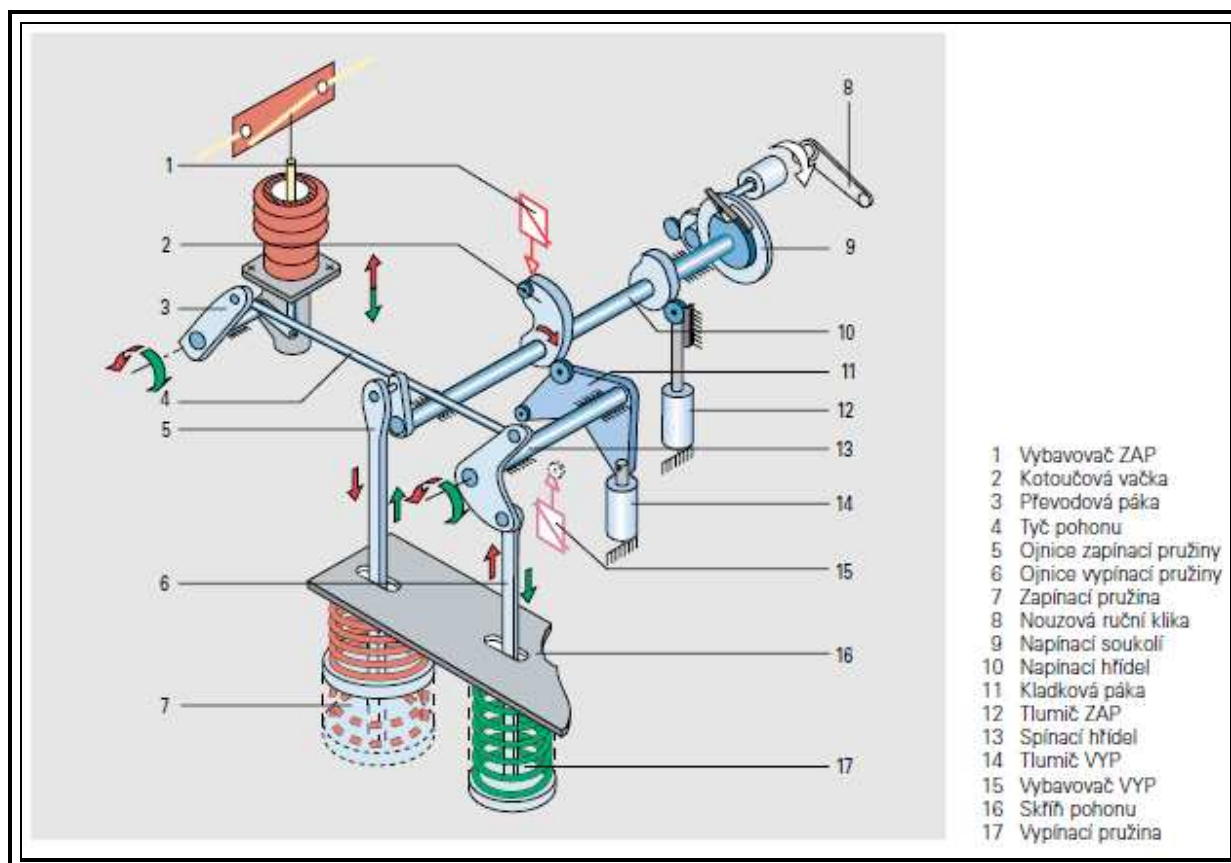


Obr. 9 – Vakuový vypínač s elektromagnetickým pohonem



### 2.4.4 Pružinový pohon (střádač)

Tento mechanický pohonný systém je pro svoji všestrannost velmi oblíbený mezi světovými výrobci vypínačů a je rozšířen mezi vypínači všech napěťových hladin. Pro uložení energie používá pružiny, které jsou napínány elektromotorem s napínacím soukolím. Pružiny v požadovaných polohách udržuje systém západek řízený elektromagnety. Povel pro změnu stavu vypínače uvolní západku a energie uložená v pružině se pomocí hřídele přeneseme do pohybu kontaktu. Pohon má obvykle dvě pružiny, jednu pro zapnutí a druhou pro vypnutí. Celý systém je konstruován tak, aby pružiny byly neustále nastřádány a vypínač tak byl připraven na všechny operace vyžádané provozem.



Obr. 10 – Pružinový pohon vypínače VVN

### 3 Diagnostika výkonových vypínačů distribuční soustavy

Jak již bylo zmíněno, výkonové vypínače jsou jedním z klíčových bezpečnostních prvků elektrických systémů. Diagnostika a základní úkony údržby jsou nezbytné pro zachování maximální spolehlivosti vypínače. Aby byla diagnostika vypínače efektivní, je třeba činnost dobře organizovat a prvek správně a přesně testovat. Pro celkové vyhodnocení diagnostiky vypínače je zásadní mít možnost přesně porovnat naměřené výsledky jednotlivých testů s kritérii výrobce nebo s jinými referenčními hodnotami. Proto je důležité provádět testování za přibližně stejných podmínek jako při testování předchozím (referenčním). Pro objektivní posouzení stavu vypínače musí testovací metody pokrýt všechny jeho důležité součásti. Podle způsobu získávání diagnostických dat se dají metody rozdělit na statické a dynamické.

#### 3.1 Statické testovací metody

Již podle názvu se dá odvodit, že statické testovací metody se provádějí při klidovém stavu vypínače. Jsou zaměřené především na kontrolu izolačních parametrů jeho součástí a stavu izolačního média. Patří sem také kontrola stavu kontaktu pomocí měření úbytku napětí hlavní proudové dráhy nebo měření svodových proudů.

##### 3.1.1 Měření úbytku napětí hlavní proudové dráhy – SRM

Tato metoda zkoumá stav hlavního kontaktu vypínače, přesněji zjišťuje velikost statického odporu hlavní proudové dráhy (SRM – Static Resistance Measurement). Měření provádíme čtyř-vodičovou Ohmovou metodou za pomoci stejnosměrného proudu, který přivedeme na hlavní kontakt sepnutého vypínače. Velikost tohoto proudu udává norma ČSN EN 60694, podle které se má volit mezi minimální hodnotou 50A a hodnotou jmenovitého proudu vypínače. Jestliže změříme úbytek napětí hlavní proudové dráhy a známe velikost procházejícího proudu, můžeme dopočítat statický odpor hlavní proudové dráhy. Pokud by byl zkušební proud příliš nízký, vystavujeme se riziku získání zkreslené hodnoty odporu. Úbytky napětí hlavní proudové dráhy se pohybují v řádech jednotek až desítek milivolt, statický odpor hlavní proudové dráhy v řádech desítek mikroohmů.

### **3.1.2 Měření izolačního odporu**

Izolační odpor je veličina, která výrazně vypovídá o momentálním stavu zkoumaného dielektrika a citlivě reaguje na nejslabší místo v izolačním systému. Na velikost měřené veličiny mají vliv například nečistoty vznikající při spínacích operacích, stárnutí izolačního materiálu, ale především vlhkost dielektrika. Izolační odpor se měří stejnosměrným napětím o velikosti 1 až 5 kV, které by ale nemělo přesáhnout 0,5 násobek hodnoty zkušebního napětí při kmitočtu 50 Hz. Z důvodu kompatibility výsledků měření je doporučeno používat 2,5 kV. Velikost izolačního odporu je odvozena od druhu použitého izolačního média a jeho stavu. Proto je důležité mu také věnovat patřičnou pozornost.

### **3.1.3 Měření svodových proudů**

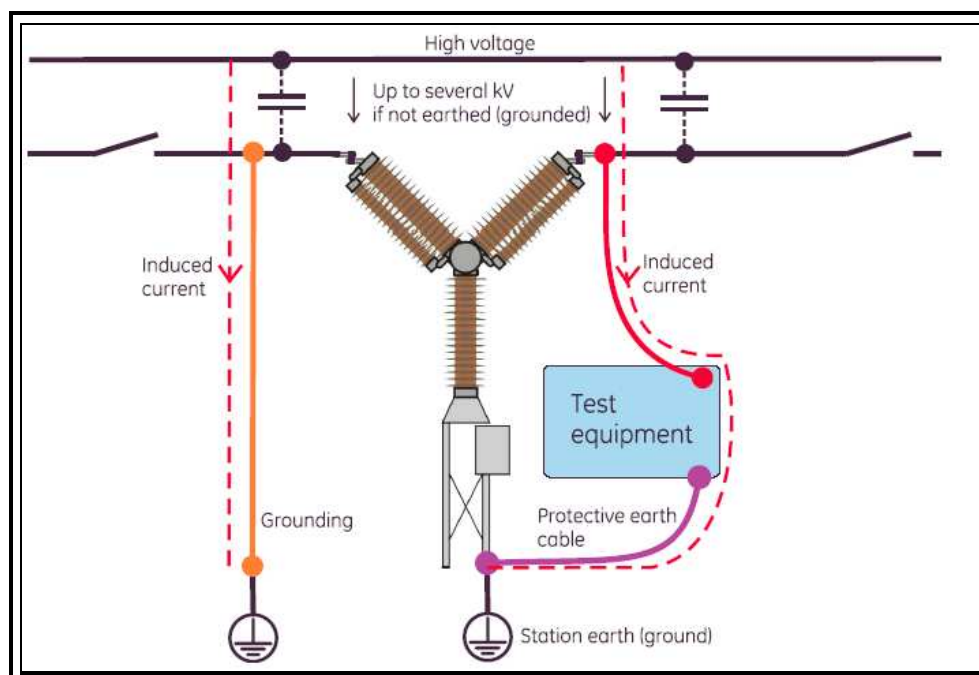
Svodové, neboli unikající proudy se měří za pomoci vysokonapěťového zdroje stejnosměrného napětí. Vedle měření izolačního odporu je to další způsob, jak odhalit vady v izolačních komponentech vypínače. Testování probíhá na vypínači ve vypnutém stavu a obvykle se provádí měření svodových proudů zhášecích komor a také měření svodových proudů izolačních táhel, které spojují pohon a pohyblivou část kontaktního ústrojí vypínače. Hodnota svodového proudu u vypínače v dobrém stavu je obvykle velmi nízká a dosahuje hodnot v řádech desítek mikroampér.

## **3.2 Dynamické testovací metody**

Dynamické testování je složitější a mnohem obsáhlejší než to statické. Během měření se snažíme nasimulovat všechny možné provozní stavy a zkoumáme, jakým způsobem na ně vypínač zareaguje. Pro sběr, uložení a interpretaci naměřených dat se používají analyzéry s vlastním operačním systémem a programovým vybavením. Analyzéry pro testování vypínačů mají obvykle modulární konstrukci a dají se libovolně přizpůsobit požadavkům měření. Zaznamenávají například hodnoty dynamického odporu hlavní proudové dráhy, časy operací hlavních a pomocných kontaktů, křivky pohybu hlavního kontaktu nebo proudu motoru pohonu, vibrační charakteristiky atd.

### 3.2.1 Měření časových průběhů spínacích operací

Měření časů spínacích operací je poměrně jednoduchá metoda, pomocí které můžeme kontrolovat rychlost spínání jednotlivých fází, současnost spínání mezi jednotlivými fázemi nebo rychlost vybavení vypínače od vyslání impulsu na ovládací cívky. Polohu hlavního kontaktu analyzátor rozpozná podle změny napětí na svorkách vypínače (rozpojený obvod – zkrat). Měření času se spustí na počátku cyklu a zastaví se po připojení nebo oddělení kontaktu. Standard IEC 60050-441 definuje čas pro spínání jako časový interval mezi zahájením zapínání a okamžikem, kdy se kontakty spojí ve všech pólech vypínače. Vypínání definuje jako časový interval mezi okamžikem zahájení vypínání a momentem, kdy se ve všech pólech oddělí opalovací kontakty vypínače. Současně s měřením časů se obvykle měří průběhy napětí a proudů v obvodech ovládacích cívek. Tyto hodnoty jsou určeny k odvození další důležité informace, jako je velikost jejich odporu. Měření časových průběhů však neposkytuje kompletní informace o průběhu procesu spínání či rozepínání hlavních kontaktů vypínače. Běžný způsob připojení analyzátoru při jednostranném uzemnění je zobrazen níže na obr. 11.

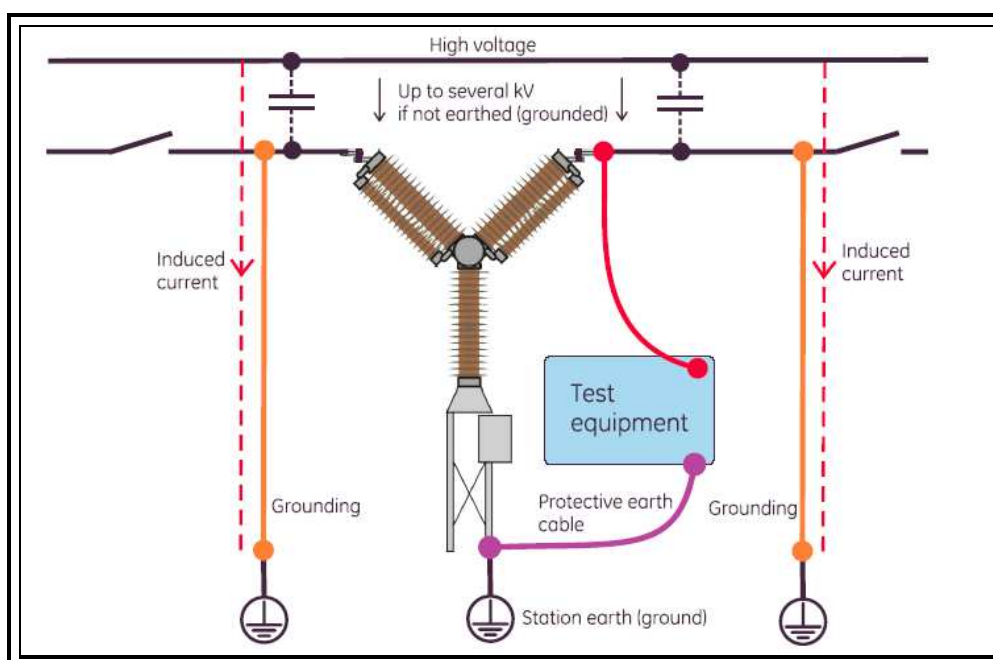


Obr. 11 – Měření časových průběhů při jednostranném uzemnění vypínače

### 3.2.2 Měření časových průběhů spínacích operací – DCM

Moderní metodou pro měření spínacích časů vypínačů je dynamické měření kapacity (DCM - Dynamic Capacitance Measurement). Pevný a pohyblivý kontakt vypínače zde představuje desky kondenzátoru. Vzájemným oddalováním či přibližováním kontaktu se pak kapacita zvyšuje nebo snižuje. To znamená, že při rozepnutém kontaktu naměříme nejvyšší hodnotu kapacity obvodu, při sepnutém naopak kapacitu nulovou. Protože má měřicí obvod mimo kapacity tvořenou kontakty i určitý odpor a indukčnost, můžeme ho považovat za RLC článek s vlastní rezonanční frekvencí. Změna vzájemné vzdálenosti obou částí kontaktu vyvolá změnu kapacity a tím se posune hodnota rezonanční frekvence obvodu. Sledováním této hodnoty můžeme prakticky sledovat pohyb hlavního kontaktu vypínače.

Hlavním přínosem této metody je způsob provádění diagnostiky při oboustranně uzemněném vypínači. To je velmi vhodné pro měření časových průběhů spínacích operací na zapouzdřených rozvodnách, kde často není technicky možné mít při diagnostických zkouškách obě strany vypínače odpojeny od země. Další výhodou této metody je vyšší bezpečnost obsluhy při samotném provádění diagnostiky. Proudů vznikajících kapacitní vazbou kontaktu vypínače se uzavírají přes zkratovací soupravy (viz. obr. 12) na rozdíl od jednostranně uzemněného vypínače, kde se proudy uzavírají přes kabely měřicí soupravy (viz. obr. 11).



Obr. 12 – Měření časových průběhů při oboustranném uzemnění vypínače

### 3.2.3 Měření proudu protékajícího ovládací cívkou

Křivka proudu protékajícího ovládací cívkou měřeného v čase, od vydání povelu k operaci, přes uvolnění zajišťovacích západek až do vypnutí pomocného kontaktu má svůj typický průběh. Pokud se bude významně lišit od referenční křivky, je pravděpodobné, že v mechanické části spínacího ústrojí není vše v pořádku. Měření nám dává informaci o stavu vinutí ovládací cívky, pohyblivosti západek nebo může odhalit zvýšené tření mechanických částí, které vede k nežádoucímu zpomalení reakce vypínače. Typická křivka proudu protékajícího zapínací ovládací cívkou je znázorněna na obr. 13.



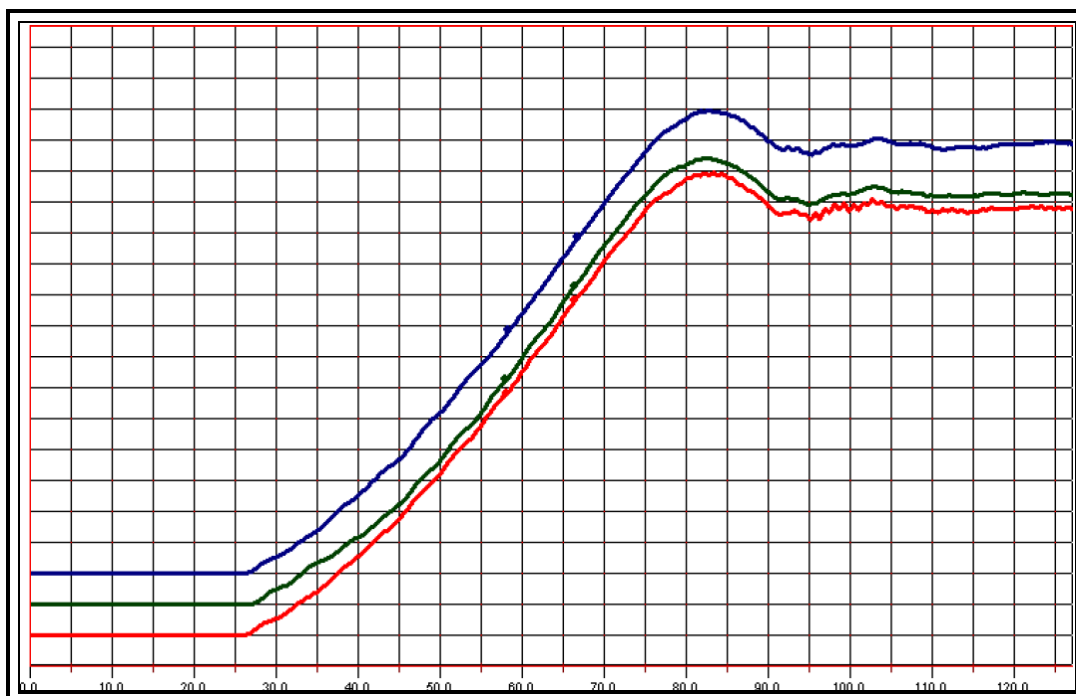
Obr. 13 – Křivka proudu protékajícího ovládací cívkou při operaci ZAP

### 3.2.4 Měření pohybu hlavního kontaktu

Analýza křivky pohybu mechanismu hlavního kontaktu je důležitou součástí dynamického testování, která poskytuje mnoho informací o stavu vypínače. Pohyb je prezentován jako křivka polohy kontaktu v závislosti na čase spínací operace. Obsahuje například informace o celkové dráze pohybu, nedotažení a přetažení dráhy, vadném tlumení, nebo nedostatečné lubrikaci kontaktu.

Pro měření pohybu hlavního kontaktu je nutné použít snímač polohy, který volíme podle konstrukčního provedení vypínače. Setkat se můžeme se snímači pro lineární nebo rotační pohyb. Snímač lineárního pohybu se připevňuje k táhlu spojujícímu pohon s hlavním kontaktem vypínače a délku zdvihu udává v milimetrech. Snímač rotačního pohybu se upevňuje na hřídel spínacího mechanismu hlavního kontaktu a délku zdvihu měří ve stupních.

Většina výrobců vypínačů také udává rychlost a zrychlení pohybu kontaktu v určitém časovém úseku. Tyto hodnoty se dají z pohybové křivky za pomoci analyzáru snadno dopočítat a následně porovnat. Tím se dají odhalit změny v mechanické části vypínače, které mají vliv na správnou funkci vypínače. Křivky pohybu hlavního kontaktu třífázového vypínače při zapínací operaci jsou znázorněny na obr. 14.

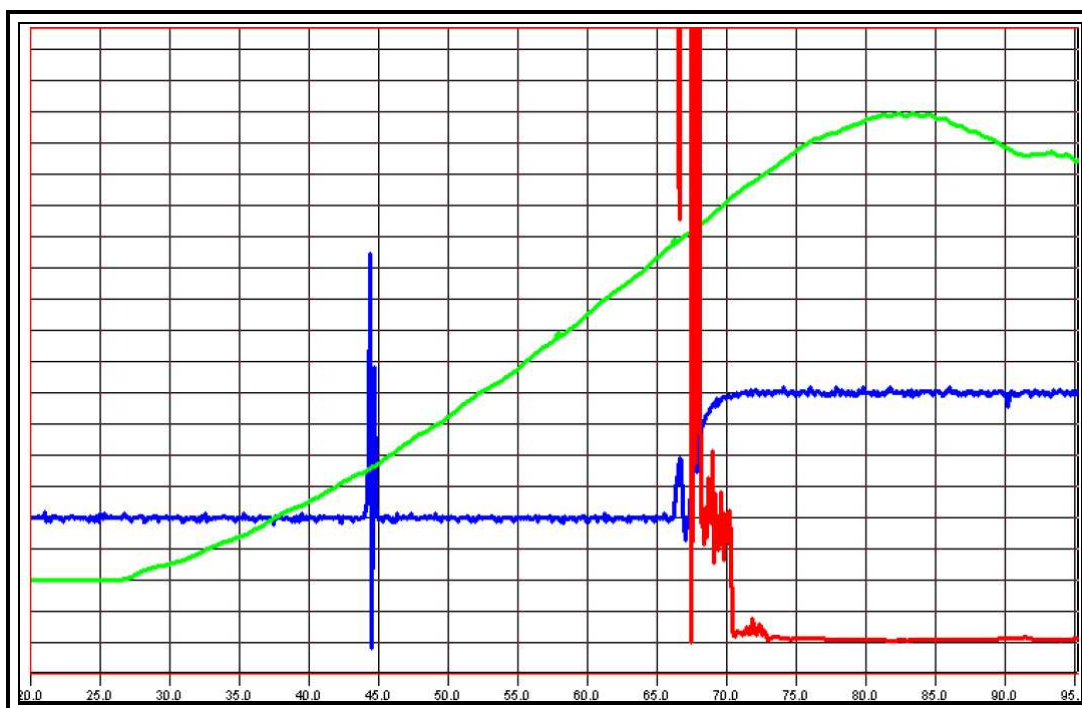


Obr. 14 – Křivka pohybu hlavního kontaktu při operaci ZAP

### 3.2.5 Měření dynamického odporu hlavní proudové dráhy – DRM

Jak již bylo uvedeno v předchozí podkapitole, výsledkem měření statického odporu je jediná hodnota naměřená na vypínači v sepnutém stavu. Při měření dynamického odporu (DRM – Dynamic Resistance Measurement) se ale o stavu kontaktního ústrojí můžeme dozvědět mnohem více. Princip je podobný jako u měření statického odporu. Na začátku je vypínač v sepnuté poloze. Na hlavní kontakt přivedeme zdroj stejnosměrného proudu a na

ovládací cívku pošleme vypínací impuls. Během celé vypínací operace je měřen úbytek napětí hlavní proudové dráhy a souběžně dopočítáván průběh dynamického odporu, který je následně zobrazen v grafu jako funkce času. Pokud tento průběh proložíme křivkou pohybu, můžeme například zobrazit a změřit hloubku vniku hlavního kontaktu. Tato metoda nám také umožňuje zjistit délku opalovacího kontaktu nebo stav jeho opotřebení změřením přesahu nad hlavním kontaktem. To je přínosem, protože jedinou alternativou je demontáž a fyzická kontrola zhášecí komory. Pro správnou interpretaci výsledků měření dynamického odporu je zapotřebí zdroj dostatečně velkého stejnosměrného proudu. Běžně se používají superkondenzátory nebo akumulátory, které jsou po krátký časový interval schopné dodat stovky ampér. Na obrázku č. 15 je v závislosti na čase zobrazen pohyb (zelená), proud (modrá) a dynamický odpor hlavního kontaktu (červená).



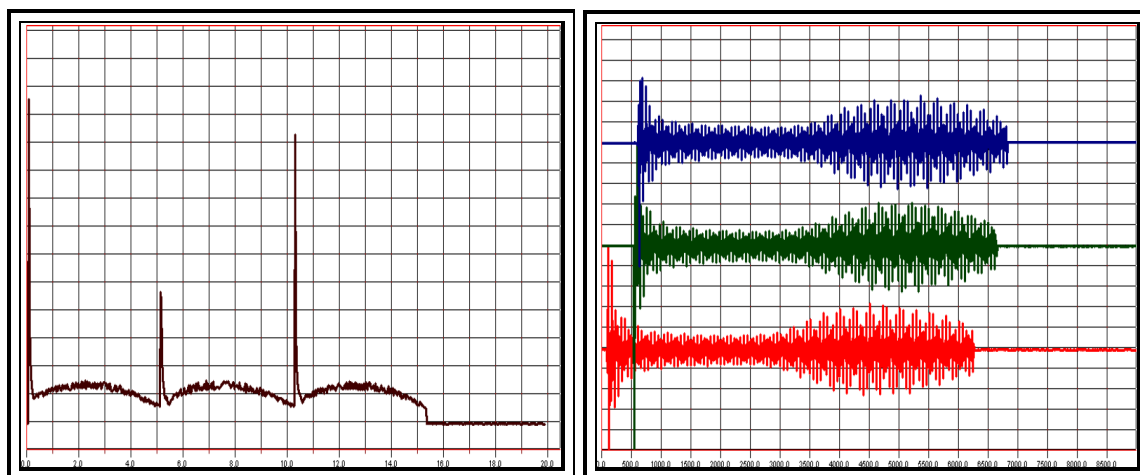
Obr. 15 – Měření dynamického odporu hlavního kontaktu při operaci ZAP

### 3.2.6 Měření proudu motoru pohonu

Velikost a tvar křivky proudu motoru pohonu nám dává cenné informace nejen o stavu pohonné jednotky, ale i o celkovém stavu mechanické části spínacího ústrojí vypínače. Podobně jako u měření dynamického odporu je vypínač na začátku měření v sepnuté poloze. Souběžně s vysláním zapínacího impulsu na ovládací cívku se začne zaznamenávat křivka proudu protékajícího motorem pohonu. Doba strádání vypínače s pružinovým pohonem bývá



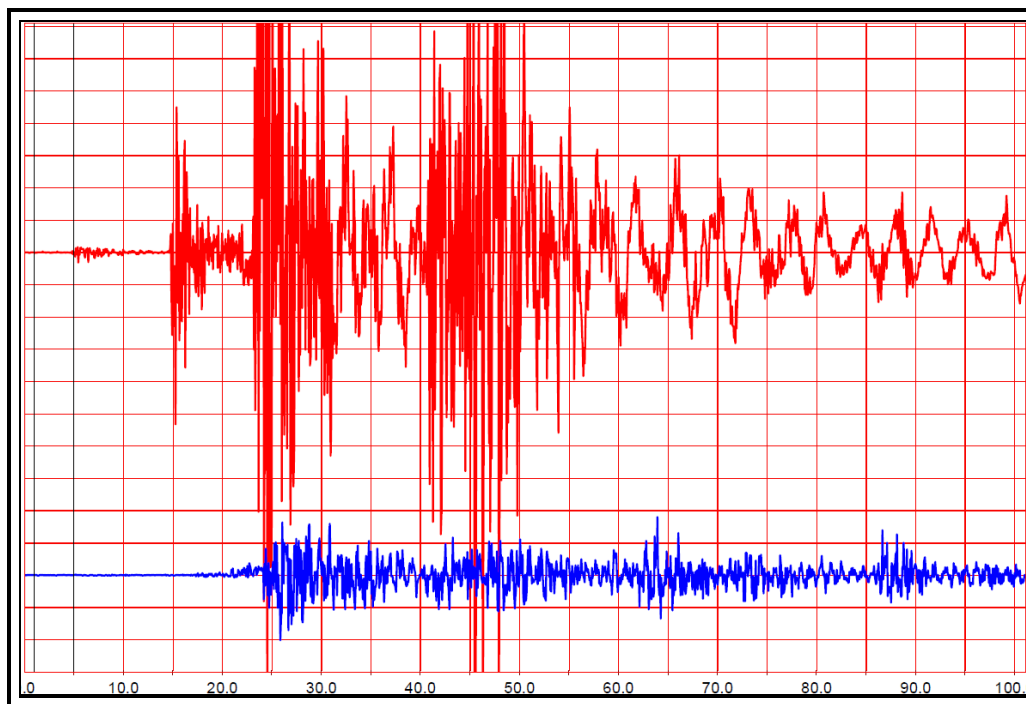
velmi často uvedena v dokumentaci výrobce a tak můžeme naměřené hodnoty snadno porovnat a vyvodit závěry. U vývodových vypínačů se třemi pohony se proudy motorů měří na všech třech pólech, křivky se tak navíc dají porovnat i mezi sebou. Na obrázku č. 16 jsou zobrazeny průběhy proudů motorů třípohonových vypínačů, vlevo stejnosměrné a vpravo střídavé motory pohonů.



Obr. 16 – Měření proudu motoru pohonu – vlevo DC, vpravo AC

### 3.2.7 Měření vibračních charakteristik

Každý pohyb v mechanické části spínacího mechanismu vypínače produkuje určité zvuky nebo vibrace. Jejich úroveň se dá pomocí vibračních čidel umístěných na předem definovaných místech změřit a zaznamenat. Tyto místa by se vzhledem k reprodukovatelnosti výsledků neměla měnit. Obvykle se tato čidla umísťují do prostoru pohonu nebo na spínací komoru vypínače. Podobně jako u předchozích metod, je při provádění operace vypínače křivka úrovně vibrací zaznamenána na časovou osu. Díky tomu z ní můžeme vyčíst například moment uvolnění zajišťovacích západek nebo doražení hlavního kontaktu do koncové polohy. Pro zjištění stavu vypínače je k dispozici několik způsobů vyhodnocení. Základním a ideálním způsobem je srovnání křivky vibrací s referenční křivkou změřenou na zdravém vypínači. Další variantou posouzení je porovnání křivek jednotlivých fází mezi sebou. Běžně se také posuzuje celková hladina vibrací, která by neměla přesáhnout předepsanou úroveň. Měření vibračních charakteristik je metodou neinvazivní a umožňuje nám odhalit závady, které konvenčními metodami nelze detekovat. Obrázek č. 17 znázorňuje vibrační charakteristiky vypínače 110 kV při vypínací operaci, červená křivka reprezentuje spínací komoru, modrá křivka pohon vypínače.



Obr. 17 – Vibrační charakteristiky vypínače při operaci VYP

### 3.3 Kontrola kvality izolačního média

Izolační médium je základním prvkem všech spínacích přístrojů, a proto kontrola jeho vlastností patří mezi zásadní součásti diagnostiky. Ztráta funkčních vlastností izolačního média může vést k vážným haváriím elektrických zařízení. Kontrolou jeho kvality prostřednictvím provádění pravidelných diagnostických zkoušek se tak můžeme více přiblížit bezporuchovému provozu.

#### 3.3.1 Elektroizolační olej

Elektroizolační olej je v komoře výkonového vypínače vystaven různým vlivům, které mění jeho původní složení a tím i jeho požadované vlastnosti. Zejména citlivý je na vlhkost, která výrazně zhoršuje jeho elektrickou pevnost. Dalším negativním vlivem je působení elektrického oblouku při spínacích operacích, kdy dochází ke kontaminaci oleje mechanickými nečistotami. Následky kombinace obou zmíněných vlivů významně snižují hladinu průrazného napětí a tím i izolační schopnost oleje. Výhodou tohoto média je možnost regenerace, která mu dokáže v plné míře vrátit jeho původní vlastnosti.

Z pohledu diagnostiky elektroizolačního oleje využívaného ve výkonových vypínačích je jednoduchým kritériem pro posouzení jeho stavu, kontrola vzhledu odebraného vzorku oleje. Dále se měří hladina průrazného napětí  $U_p$  [kV/2.5mm] popřípadě obsah vody rozpuštěné v oleji  $Q_v$  [mg/kg].

### 3.3.2 Elektronegativní plyn $SF_6$

Fluorid sírový je velmi vhodným médiem pro izolování živých částí a zhášení elektrického oblouku. Má značnou elektrickou pevnost, vysokou schopnost přenosu tepla, je nehořlavý a má velmi dobrou zhášecí schopnost. Je chemicky velmi stabilní a inertní. S materiály, které se používají v elektrotechnice je kompatibilní podobně jako dusík až do teplot kolem  $180^\circ C$ . Čistý plyn je bezbarvý, bez zápachu a bez chuti.

Během elektrického výboje disociuje na ionty síry a fluoru. Tato reakce je plně vratná za předpokladu, že nedojde k reakci s párami materiálu uvnitř zhášecí komory. Problém nastává v okamžiku, kdy plyn obsahuje vlhkost. Pak dochází k nežádoucí reakci, při které vznikají molekuly fluorovodíku, jež napadají materiály obsahující oxid křemičitý. Přibližně od teploty  $400^\circ C$  vznikají rozkladné produkty - sulfidy, fluoridy a oxidy kovů, které se již zpět nesloučí. Tyto produkty se zachytávají v absorbérech z aktivního oxidu hlinitého, které jsou umístěny ve zhášecích komorách vypínače. Pevné produkty, které vznikají reakcí zplodin, jsou rovněž dobrými dielektriky a nesnižují tak izolační vlastnosti. Usazují se však uvnitř komory ve formě bílého prášku a mohou způsobovat problémy v mechanické části spínacího ústrojí.

$SF_6$  nepatří mezi zakázané (regulované) látky, ale byl zařazen mezi hlavní plyny přispívající ke skleníkovému efektu a podle Kyótského protokolu podléhá dohodě o redukci jeho emisí. Z tohoto důvodu není možné při manipulaci se zařízením obsahujícím  $SF_6$  vypouštět plyn do volné atmosféry, ale musí se jímat do tlakových nádob nebo speciálních vaků. Rozkladné produkty mohou způsobit podráždění kůže, sliznic a očí a proto je třeba se při práci s kontaminovaným plynem chránit a používat ochranné prostředky. Při ověřování kvality plynu sledujeme:

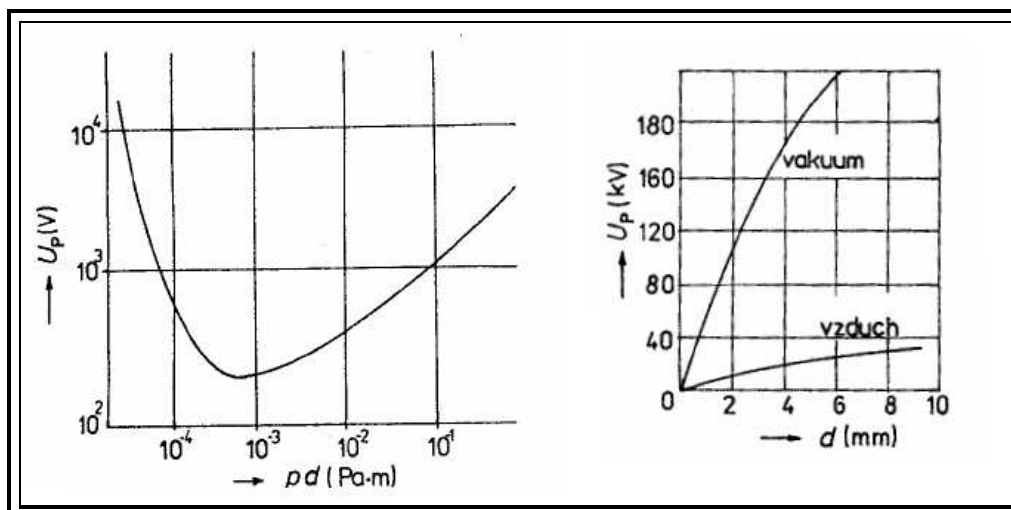
**Vlhkost** – hledáme rosný bod plynové náplně. To je teplota, při níž dochází ke kondenzaci vlhkosti v komoře. Při uvádění vypínače do provozu tato hodnota nesmí být vyšší než  $-15^\circ C$ . U vypínače v provozu vyšší než  $-10^\circ C$ , kritických je  $-5^\circ C$ . Hodnoty jsou vztažené na jmenovitý tlak a teplotu  $20^\circ C$ .

**Rozkladné produkty** – měříme obsah  $\text{SO}_2$  (oxidu siřičitého). Na základě množství  $\text{SO}_2$  je možné určit i množství fluorovodíku a to v poměru 1:2 – 1:4. Běžná hodnota celkového množství rozkladných produktů potom bývá 3 – 4 krát vyšší.

**Čistotu** – měříme procentuální podíl plynu  $\text{SF}_6$  v plynové náplni zhášecí komory vypínače. Při uvádění vypínače do provozu by tato hodnota měla být vyšší než 98%. U vypínače v provozu by neměla klesnout pod 95 %.

### 3.3.3 Vakuum

Ve vakuu je i při velmi malých vzdálenostech kontaktů možné dosáhnout vysoké dielektrické pevnosti. Výška zdvihu se pohybuje mezi 11 až 17 mm. Základním předpokladem je čistota a těsnost vakuové zhášecí komory. Kontakty vakuového vypínače jsou obvykle vyrobeny z wolframu syceného mědí. Při rozepínání vzniká elektrický oblouk tvořený pouze z roztaveného a odpařeného materiálu kontaktu. Nečistoty vznikající při tomto procesu můžou následně způsobovat snížení průrazného napětí. Kontrolu provádíme vysokonapětovou zkouškou zhášecí komory. Kritériem hodnocení je hodnota svodového proudu, která je úměrná míře degradace izolace.



Obr. 18 – Závislost elektrické pevnosti vakua na tlaku a vzdálenosti

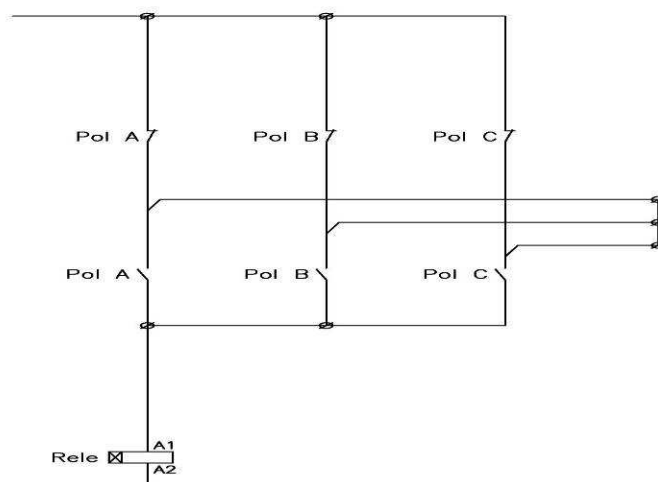
### 3.4 Kontrola blokování a ostatních funkcí vypínače

#### 3.4.1 Snížené ovládací napětí

Kontrolou správné funkce vypínače při sníženém ovládacím napětí ověřujeme jeho schopnost provádět požadované operace při provozu ze záložního zdroje ovládacího napětí v případě poruchy. Na rozvodnách distribuční soustavy jsou takovým zdrojem obvykle baterie 220V, 110V nebo 24V DC. Ty mají samozřejmě omezenou kapacitu a při delší absenci napájení nemohou plnohodnotně nahradit hlavní zdroj. Při tomto testu provádíme kontrolu spínací funkce při 70% jmenovitého napětí pro ovládání vypínací cívky a 85% pro ovládání zapínací cívky. Pro spolehlivost vypínače jsou běžně instalovány hlavní a záložní vypínací cívky, potom je potřeba provést kontrolu vybavení obou párů cívek.

#### 3.4.2 Nesouhlas pólů

Vypínače se samostatným pohonem pro každý pól jsou vybavené funkcí, která má za úkol blokovat nežádoucí stav, kdy se jeden z pólů vypínače nachází v opačné poloze než zbývající dva (např. ZAP, VYP, VYP). Respektive pokud všechny tři póly nezaujmu stejnou polohu během nastavené doby, dojde k automatickému vypnutí všech zapnutých pólů vypínače. Při kontrole funkce nesouhlasu pólů se nasimuluje výše popsaný stav, na který musí vypínač v přednastaveném čase zareagovat vypnutím. Funkce vypnutí a čas reakce jsou zaznamenávány analyzérem a musí odpovídat místnímu nastavení ochran pro jednopólové opakované zapnutí.



Obr. 19 – Schéma zapojení blokování nesouhlasu pólů

### **3.4.3 Blokování nenastřádané pružiny**

Vypínače s pružinovým pohonem mají energii pro požadované operace nastřádanou v zapínací a vypínací tlačné pružině. Zapínací pružina se napíná motorem pohonu. Při procesu zapínání je energie zapínací pružiny současně využita k napnutí pružiny vypínací. Pokud je tedy vypínač v sepnuté poloze, musí mít obě pružiny nastřádané. V tomto stavu je pak na jedno natažení pružin schopen provést i tu nejnáročnější operaci jako je tzv. neúspěšný OZ (VYP – ZAP – VYP). Kontrola blokování nenastřádané pružiny se provádí vysláním povelu ZAP v době, kdy pohon natahuje zapínací pružinu. Během této operace nesmí dojít k rozepnutí vypínače, to znamená ani k vystřádaní zapínací pružiny.

### **3.4.4 Pumpování**

„Pumpování“ je označení pro nežádoucí stav vypínače, kdy na jeho ovládací cívky přichází současně zapínací i vypínací povel a vypínač nekontrolovaně přechází z jednoho stavu do druhého. Kontrolu blokování proti pumpování provádíme při sepnutém vypínači. Na ovládací cívku posíláme trvale zapínací impuls. Při současném povelu VYP musí vypínač provést pouze vypínací operaci a nesmí cyklovat.

### **3.4.5 Blokování při ztrátě SF<sub>6</sub>**

Póly výkonových vypínačů jsou běžně plněny plynem SF<sub>6</sub> o provozním přetlaku v rozmezí 0,2 – 0,6 MPa. Při uvedeném přetlaku dosahuje tento plyn vynikajících vlastností, zejména jeho elektrická pevnost je až několikanásobně vyšší než pevnost vzduchu. Pokud pól spolehlivě netěsní a dojde k úniku plynu, sníží se vinou poklesu tlaku v komoře jeho izolační a zhášecí schopnosti. Blokování vypínače není testováno fyzickým snížením tlaku plynu, ale ověřuje se nasimulováním ztráty tlaku SF<sub>6</sub> na příslušných pomocných kontaktech blokovacího relé. Vlastnímu blokování vypínače obvykle předchází upozornění v podobě signalizace ztráty tlaku plynu, po kterém je vypínač ještě stále schopen manipulace.

## 4 Soubory testovacích metod diagnostiky

Touto kapitolou bych plynule navázal na kapitolu předchozí, kde jsem se pokusil stručně a názorně popsat jednotlivé testovací metody diagnostiky, a na základě nastudované literatury, vlastních praktických zkušeností a celé škály doporučení různých výrobců výkonových vypínačů jsem sestavil následující soubory testovacích metod a kontrol výkonových vypínačů distribuční soustavy. Pro pohodlnější orientaci jsem vypínače rozdělil podle napěťových hladin.

### 4.1 Vypínače napěťové hladiny VN

VYPÍNAČE NAPĚŤOVÉ HLADINY VN						
Druh	Tlakovzdušné	Máloolejové		Tlakoplynové	Vakuové	
Médium	vzduch	elektroizolační olej		fluorid sírový SF <sub>6</sub>	vakuum	
Pohon	pneumatický	pneumat.	pružinový	pružinový	elmag.	pružinový
Statické testovací metody						
<i>Statický odpor SRM</i>	X	X	X	X	X	X
<i>Izolační odpor</i>	X	X	X	X	X	X
<i>Svodový proud</i>	-	-	-	X	X	X
Dynamické testovací metody						
<i>Časové průběhy</i>	X	X	X	X	X	X
<i>Časové průběhy DCM</i>	X*	X*	X*	X*	X*	X*
<i>I a R ovládacích cívek</i>	X	X	X	X	X	X
<i>Pohyb kontaktu</i>	X	X	X	X	X	X
<i>Dynamický odpor DRM</i>	-	-	-	X	-	-
<i>Proud motoru</i>	-	-	X	X	-	X
<i>Vibrační charakteristiky</i>	X	X	X	X	X	X
Kontrola kvality zhašecího média						
<i>Elektroizolační olej</i>	-	X	X	-	-	-
<i>Fluorid sírový SF<sub>6</sub></i>	-	-	-	X	-	-
<i>Vakuum</i>	-	-	-	-	X	X
Kontrola blokování a ostatních funkcí						
<i>Snížené ovládací napětí</i>	X	X	X	X	X	X
<i>Nenastřádaná pružina</i>	X	X	X	X	X	X
<i>Pumpování</i>	X	X	X	X	X	X
<i>Ztráta tlaku plynu</i>	-	-	-	X	-	-

\*Alternativní metoda ke konvenčnímu měření časových průběhů (vhodná pro zapouzdržené rozvodny GIS)

Tab. 1 – Testovací metody diagnostiky vypínačů hladiny VN

## 4.2 Vypínače napěťové hladiny VVN

VYPÍNAČE NAPĚŤOVÉ HLADINY VVN					
Druh	Tlakovzdušné	Máloolejové	Tlakoplynové		Tlakoplynové DTC
Médium	vzduch	elektroizolační olej	fluorid sírový SF <sub>6</sub>		fluorid sírový SF <sub>6</sub>
Pohon	pneumatický	pneumatický	pneumat.	pružinový	pružinový
Statické testovací metody					
<i>Statický odpor SRM</i>	X	X	X	X	X
<i>Izolační odpor</i>	X	X	X	X	-
Dynamické testovací metody					
<i>Časové průběhy</i>	X	X	X	X	X
<i>Časové průběhy DCM</i>	X*	X*	X*	X*	X*
<i>I a R ovládacích cívek</i>	X	X	X	X	X
<i>Pohyb kontaktu</i>	X	X	X	X	X
<i>Dynamický odpor DRM</i>	X	X	X	X	X
<i>Proud motoru</i>	-	-	-	X	X
<i>Vibrační charakteristiky</i>	X	X	X	X	X
Kontrola kvality zhášecího média					
<i>Elektroizolační olej</i>	-	X	-	-	-
<i>Fluorid sírový SF<sub>6</sub></i>	-	-	X	X	X
Kontrola blokování a ostatních funkcí					
<i>Snížené ovládací napětí</i>	X	X	X	X	X
<i>Nesouhlas pólů</i>	X**	X**	X**	X**	X**
<i>Nenastrádaná pružina</i>	X	X	X	X	X
<i>Pumpování</i>	X	X	X	X	X
<i>Ztráta tlaku plynu</i>	-	-	X	X	X

\*Alternativní metoda ke konvenčnímu měření časových průběhů (vhodná pro zapouzdřené rozvodny GIS)

\*\* Platí pro třípohonové vypínače

Tab. 2 – Testovací metody diagnostiky vypínačů hladiny VVN



## 5 Standard technického vybavení pracovní skupiny

Pro komplexní provádění zkoušek v rozsahu navržených testovacích metod diagnostiky na výkonových vypínačích je nutné mít k dispozici potřebné technické vybavení. V následujícím textu uvádím přehled minimálního vybavení, kterým by mělo být vybaveno každé pracoviště zabývající se touto problematikou. V závorkách za textem je vždy jako příklad uvedena konkrétní měřicí technika dostupná na současném trhu.

### 5.1 Analyzátor

**Testovací systém** je určen pro měření statických a dynamických parametrů vypínače, například časových průběhů hlavních a pomocných kontaktů, pohybu hlavního kontaktu, proudu motoru, vibračních charakteristik, dynamického odporu, přechodového odporu hlavního kontaktu, proudu a odporu ovládacích cívek atd. Základním předpokladem je modulární konstrukce analyzátoru, důležitá pro variabilitu konfigurace. Ta by měla obsahovat například ovládací modul, modul pro měření časových průběhů, modul s pomocnými kontakty, analogový modul, digitální modul, HDD modul atd. (PROGRAMMA TM1600/MA61, TM1700 series, TM1800, EGIL)

**Uživatelský software** by měl umožňovat tvorbu databáze vypínačů, ukládání a zpětné zobrazení naměřených hodnot, jejich editaci a grafické porovnání s referencí. Dále by měl obsahovat prostředí pro podrobnou analýzu a vyhodnocení naměřených dat. Měl by být schopen exportovat výstupy, protokoly z měření do některého z formátů MS Office. (CABA Win)

Moduly potřebné pro kompletní dynamické testování vypínačů:

**Modul dynamického měření odporu DRM** – (DRM1600 + baterie, DRM1800, SDRM202)

**Modul dynamického měření kapacity DCM** – (DCM1700, DCM II)

**Modul pro měření vibračních charakteristik** – (SCA 606)

## 5.2 Snímače a měřicí sondy

Snímače a měřicí sondy slouží k měření dynamických parametrů, jako jsou vibrační charakteristiky, pohyb hlavního kontaktu nebo proud motoru pohonu vypínače. Podle svého druhu se k analyzáru připojují prostřednictvím digitálního nebo analogového modulu. Rotační snímače vyjadřují pohyb kontaktu pomocí úhlových jednotek, analyzář následně provádí konverzi naměřených hodnot ze stupňů na milimetry.

**Proudová měřicí sonda** – 3 ks (C.A. E6N)

**Snímače vibrací** – 6 ks (BL – 13090, DYTRAN)

**Lineární snímače měření pohybu** – (Digitální TP1 300, analogový LWG 150, TS25)

**Rotační snímače měření pohybu** – (Digitální BAUMER BDH, analogový NOVOTECHNIK IP 6501)

## 5.3 Napájecí a zkušební zdroje

**Zdroj ovládacího napětí** 24 – 300VAC/DC slouží k napájení ovládacích cívek a motorů vypínačů s pružinovým pohonem. Z důvodu napájení ovládacích cívek při testování se sníženým ovládacím napětím, by měl být v celém rozsahu plynule regulovatelný. (MEGGER B10E)

**Vysokonapět'ový zdroj** minimálně 50 kV DC slouží pro měření svodového proudu a testování vakua. Požadavek na měření hodnot svodového proudu v řádech  $\mu\text{A}$  - mA. (HIGHVOLTAGE, VIDAR)

**Proudový zdroj** schopný generovat 200 – 600A DC pro měření přechodového odporu kontaktu vypínače. Požadavek na měření hodnot přechodového odporu v řádech  $\mu\Omega$  - m $\Omega$ . (MJÖLNER 600, MOM600A, MOM690, DLRO 247000 Series)

**Přístroj pro měření izolačního odporu** o napět'ovém rozsahu 500V – 5kV DC s měřicím rozsahem odporu 10k $\Omega$  - 1T $\Omega$ . (MEGGER BM 21, MEGGER S1-554 )

#### **5.4 Měření kvality a znovuzískávání SF<sub>6</sub>**

**Multianalyzátor SF<sub>6</sub>**, přístroj kombinující komponenty pro měření a kvantifikaci rosného bodu, procentní čistoty a rozkladných produktů plynu (GAS SF<sub>6</sub> Breaker Analyser, DILO 3-038-R302, WIKA SF<sub>6</sub> Quality Analyser)

**Souprava pro jímání a skladování SF<sub>6</sub>** obsahuje textilní vak pro jímání testovaného plynu z multianalyzátoru, dále kompresor, který umožňuje zkapalnění plynu do tlakové láhve (GAS SF<sub>6</sub> Recovery kit, 54 litrový vak, 50bar kompresor, 5 litrová lahev)

**Detektor plynu SF<sub>6</sub>** infračervený spektrometr sloužící pro detekci a přesnou lokalizaci místa úniku plynové náplně z komory vypínače (GAS SF<sub>6</sub> IR LEAK, DILO 3-033-R002)

## 6 Určení časové náročnosti

Určení časové náročnosti je důležitou součástí ekonomického posouzení činnosti. Celkový časový interval uvedený samostatně pro každý typ vypínače je součtem časové náročnosti dílčích testovacích metod. Jednotlivé normativy obsahují pouze čistý časový interval nutný pro přípravu měřicí techniky, jako je vlastní připojení měřicích vodičů a snímačů, kalibrace přístrojů a provedení samotného měření. Neobsahují dobu potřebnou pro překonání dojezdové vzdálenosti do místa provádění diagnostiky, čas potřebný pro zajištění a předání pracoviště ani přípravu vypínače pro testování jako je například fyzické odpojení od silového připojení ke kabelovým vývodům, sběrnicím a podobně.

### 6.1 Napěťová hladina VN

VYPÍNAČE NAPĚŤOVÉ HLADINY VN						
Druh	Tlakovzdušné	Máloolejové		Tlakoplynové	Vakuové	
Médium	vzduch	elektroizolační olej		fluorid sírový SF <sub>6</sub>	vakuum	
Pohon	pneumatický	pneumat.	pružinový	pružinový	elmag.	pružinový
Statické testovací metody						
<i>Statický odpor SRM</i>	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42
<i>Izolační odpor</i>	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
<i>Svodový proud</i>	-	-	-	0,33	0,33	0,33
Dynamické testovací metody						
<i>Časové průběhy</i>	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55
<i>Časové průběhy DCM</i>	0,50*	0,50*	0,50*	0,50*	0,50*	0,50*
<i>I a R ovládacích cívek</i>	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45
<i>Pohyb kontaktu</i>	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
<i>Dynamický odpor DRM</i>	-	-	-	0,75	-	-
<i>Proud motoru</i>	-	-	0,25	0,25	-	0,25
<i>Vibrační charakteristiky</i>	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Kontrola kvality zhášecího média						
<i>Elektroizolační olej</i>	-	2,00	2,00	-	-	-
<i>Fluorid sírový SF<sub>6</sub></i>	-	-	-	0,75	-	-
<i>Vakuum</i>	-	-	-	-	0,50	0,50
Kontrola blokování a ostatních funkcí						
<i>Snížené ovládací napětí</i>	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
<i>Nenastřádaná pružina</i>	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
<i>Pumpování</i>	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
<i>Ztráta tlaku plynu</i>	-	-	-	0,25	-	-
Časová náročnost						
<i>Celkový čas [hod]</i>	3,34	5,34	5,59	5,67	4,17	4,42

\*Alternativní metoda ke konvenčnímu měření časových průběhů (vhodná pro zapouzdřené rozvodny GIS)

Tab. 3 – Časová náročnost diagnostiky vypínačů hladiny VN

## 6.2 Napěťová hladina VVN

VYPÍNAČE NAPĚŤOVÉ HLADINY VVN					
Druh	Tlakovzdušné	Máloolejové	Tlakoplynové		Tlakoplynové DTC
Médium	vzduch	elektroizolační olej	fluorid sírový SF <sub>6</sub>		fluorid sírový SF <sub>6</sub>
Pohon	pneumatický	pneumatický	pneumat.	pružinový	pružinový
Statické testovací metody					
<i>Statický odpor SRM</i>	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58
<i>Izolační odpor</i>	0,50	0,50	0,50	0,50	-
Dynamické testovací metody					
<i>Časové průběhy</i>	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74
<i>Časové průběhy DCM</i>	0,67*	0,67*	0,67*	0,67*	0,67*
<i>I a R ovládacích cívek</i>	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
<i>Pohyb kontaktu</i>	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67
<i>Dynamický odpor DRM</i>	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
<i>Proud motoru</i>	-	-	-	0,33	0,33
<i>Vibrační charakteristiky</i>	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Kontrola kvality zhášecího média					
<i>Elektroizolační olej</i>	-	3,00	-	-	-
<i>Fluorid sírový SF<sub>6</sub></i>	-	-	1,50	1,50	1,50
Kontrola blokování a ostatních funkcí					
<i>Snížené ovládací napětí</i>	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
<i>Nesouhlas pólů</i>	0,25**	0,25**	0,25**	0,25**	0,25**
<i>Nenastrádaná pružina</i>	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
<i>Pumpování</i>	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
<i>Ztráta tlaku plynu</i>	-	-	0,33	0,33	0,33
Časová náročnost					
<i>Celkový čas [hod]</i>	5,93	8,93	7,76	8,09	7,59

\*Alternativní metoda ke konvenčnímu měření časových průběhů (vhodná pro zapouzďené rozvodny GIS)

\*\* Platí pro třípohonové vypínače

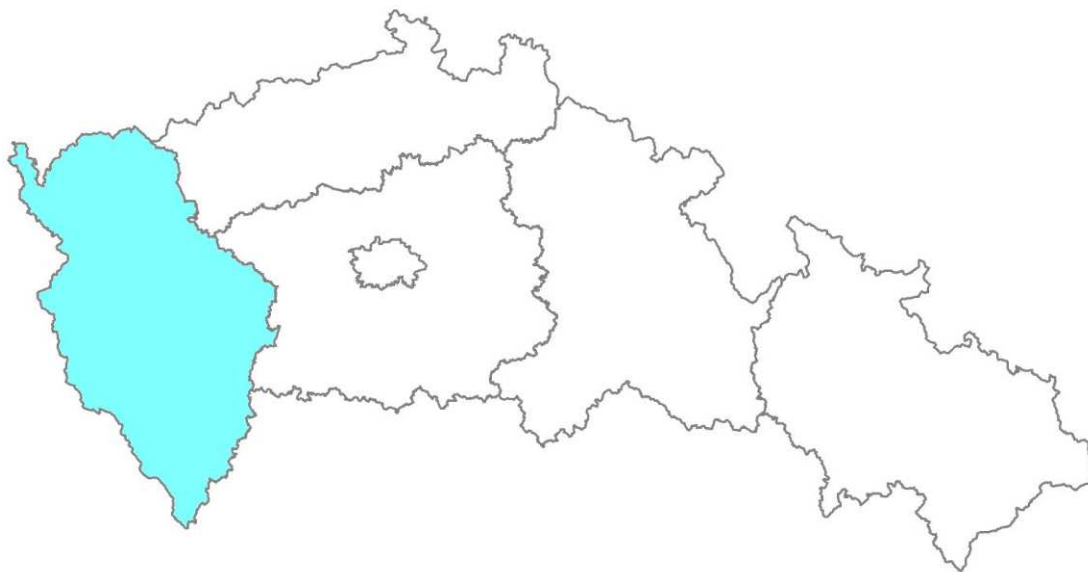
Tab. 4 – Časová náročnost diagnostiky vypínačů hladiny VVN

## 6.3 Časová náročnost v regionech DSO

Společnost ČEZ Distribuce a.s. (DSO) je největším distributorem v ČR. Její energetické zařízení je mimo hlavní město, jižních Čech a jižní Moravy rozprostřeno po celém území naší republiky. V této kapitole bych chtěl jednotným pohledem přiblížit dílčí regiony společnosti. Blíže specifikovat instalovanou technologii, její rozsah a časovou náročnost potřebnou pro vykonávání diagnostiky na výkonových vypínačích, které zde spolupracují na zajištění požadované spolehlivosti dodávky elektrické energie.

### 6.3.1 Region Západ

Plošný rozsah regionu:	10 875 km <sup>2</sup>	Počet stanic VVN/VVN:	3 ks
Počet obyvatel:	874 544	Počet stanic VVN/VN:	36 ks
Počet obyvatel na km <sup>2</sup> :	80 os/km	Počet stanic VN/VN:	42 ks



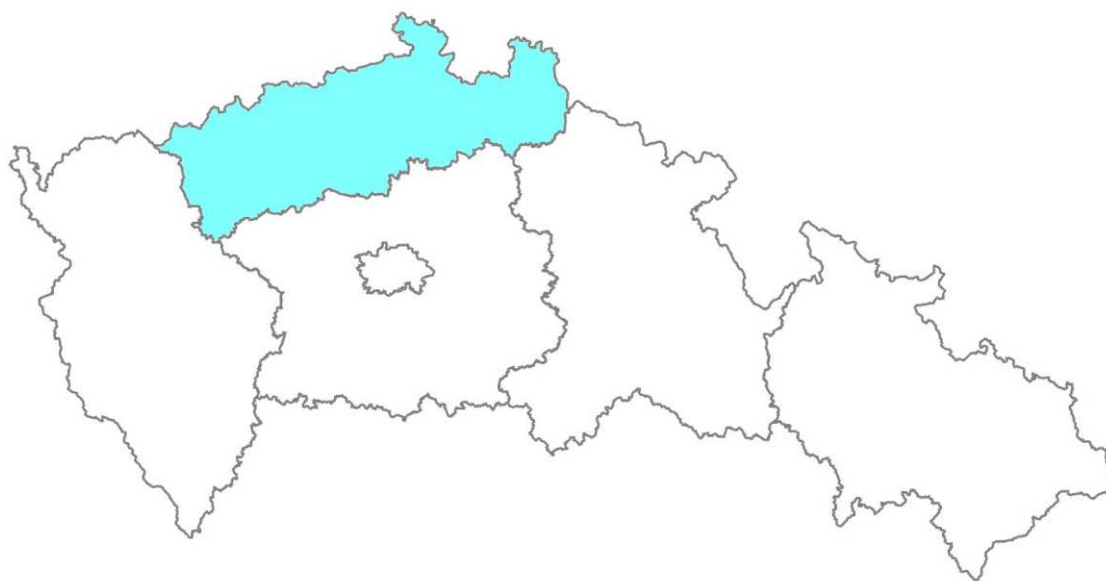
Obr. 20 – Mapa oblasti regionu Západ

Region Západ							
Vypínač		Napěťová hladina [kV]					Časová náročnost
Typ	Pohon	10	22	35	110	Celkem	Celkem [hod]
Tlakovzdušné	Pneumatický	11	75	0	0	86	287
Máloolejové	Pneumatický	6	56	0	16	78	474
	Pružinový	78	314	0	0	392	2 191
Tlakoplynové	Pneumatický	0	0	0	18	18	140
	Pružinový	121	323	0	197	641	4 111
Tlakoplynové DTC	Pružinový	0	0	0	0	0	0
Vakuové	Pružinový	0	395	0	0	395	1 746
	El.mag.	0	64	0	0	64	267
Celkem [ks]		216	1 227	0	231	1 674	9 216

Tab. 5 – Časová náročnost diagnostiky vypínačů v regionu Západ

### 6.3.2 Region Sever

Plošný rozsah regionu:	7 800 km <sup>2</sup>	Počet stanic VVN/VVN:	4 ks
Počet obyvatel:	1 265 790	Počet stanic VVN/VN:	44 ks
Počet obyvatel na km <sup>2</sup> :	162 os/km	Počet stanic VN/VN:	86 ks



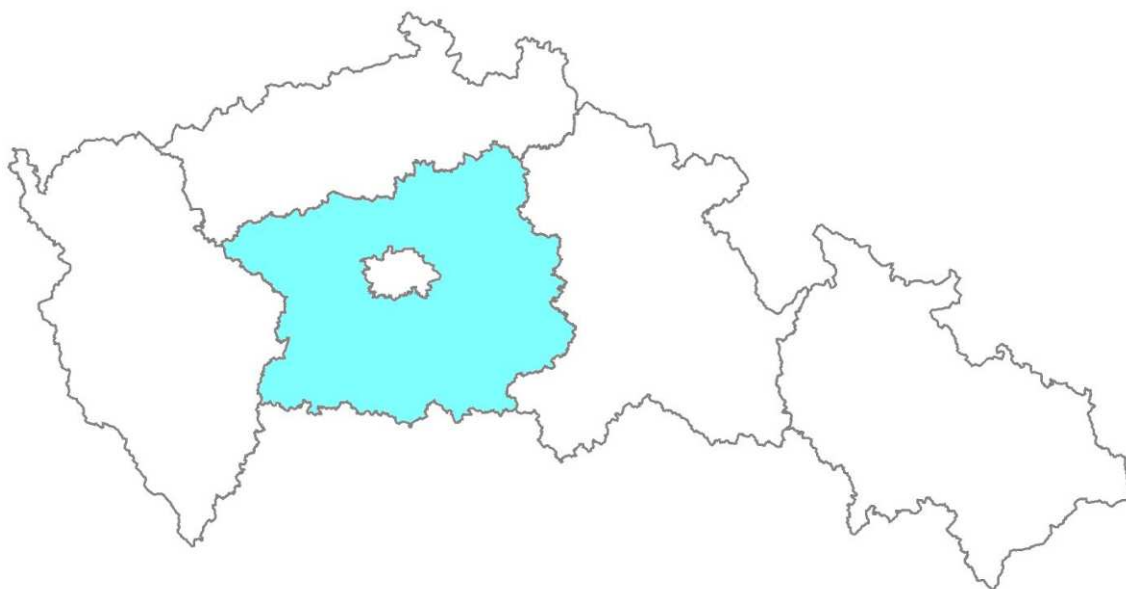
Obr. 21 – Mapa oblasti regionu Sever

Region Sever							
Vypínač		Napěťová hladina [kV]					Časová náročnost
Typ	Pohon	10	22	35	110	Celkem	Celkem [hod]
Tlakovzdušné	Pneumatický	0	0	0	21	21	124,53
Máloolejové	Pneumatický	18	0	12	39	69	508,47
	Pružinový	157	398	142	0	697	3 896,23
Tlakoplynové	Pneumatický	0	0	0	44	44	341,44
	Pružinový	67	262	86	256	671	4 424,09
Tlakoplynové DTC	Pružinový	0	0	0	8	8	60,72
Vakuové	Pružinový	36	204	5	0	245	1 082,90
	El.mag.	0	132	0	0	132	550,44
Celkem [ks]		278	996	245	368	1887	10 988,82

Tab. 6 – Časová náročnost diagnostiky vypínačů v regionu Sever

### 6.3.3 Region Střed

Plošný rozsah regionu:	11 016 km <sup>2</sup>	Počet stanic VVN/VVN:	4 ks
Počet obyvatel:	1 288 945	Počet stanic VVN/VN:	43 ks
Počet obyvatel na km <sup>2</sup> :	117 os/km	Počet stanic VN/VN:	48 ks



Obr. 22 – Mapa oblasti regionu Střed

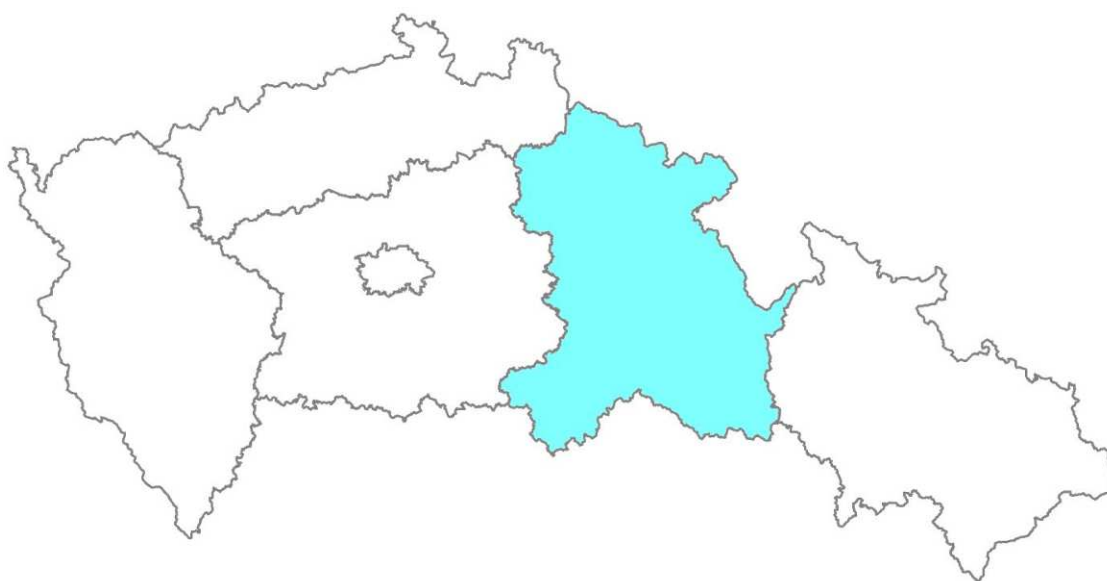
Region Střed							
Vypínač		Napěťová hladina [kV]					Časová náročnost
Typ	Pohon	10	22	35	110	Celkem	Celkem [hod]
Tlakovzdušné	Pneumatický	0	18	0	0	18	60
Máloolejové	Pneumatický	0	12	0	30	42	332
	Pružinový	1	255	0	0	256	1 431
Tlakoplynové	Pneumatický	0	0	0	31	31	241
	Pružinový	8	369	0	243	620	4 103
Tlakoplynové DTC	Pružinový	0	0	0	8	8	61
Vakuové	Pružinový	5	257	2	0	264	1 167
	El.mag.	0	43	0	0	43	179
Celkem [ks]		14	954	2	312	1 282	7 574

Tab. 7 – Časová náročnost diagnostiky vypínačů v regionu Střed



### 6.3.4 Region Východ

Plošný rozsah regionu:	11 243 km <sup>2</sup>	Počet stanic VVN/VVN:	4 ks
Počet obyvatel:	1 069 372	Počet stanic VVN/VN:	33 ks
Počet obyvatel na km <sup>2</sup> :	95 os/km	Počet stanic VN/VN:	67 ks



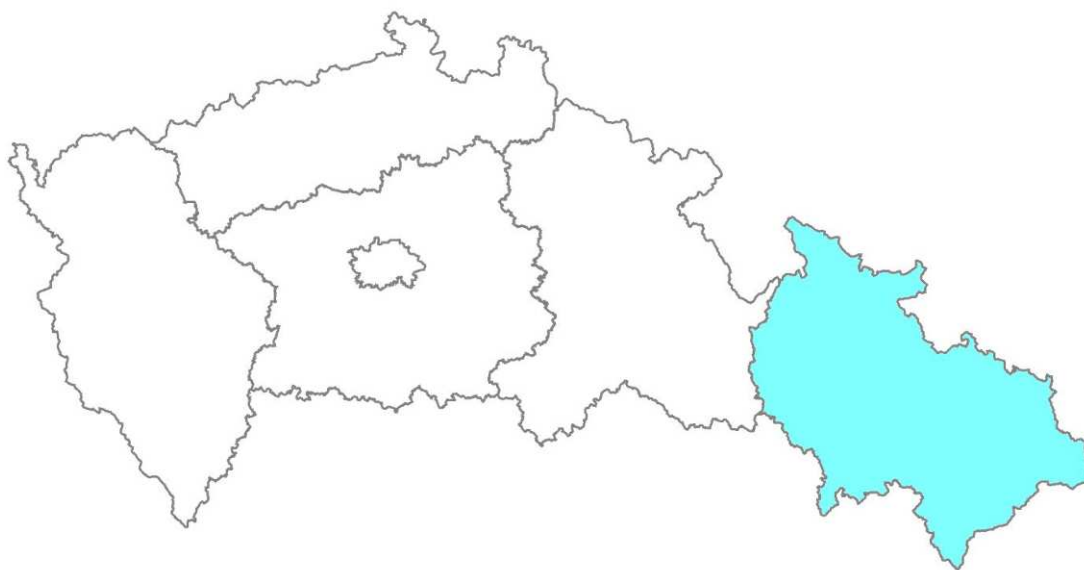
Obr. 23 – Mapa oblasti regionu Východ

Region Východ							
Vypínač		Napěťová hladina [kV]					Časová náročnost
Typ	Pohon	10	22	35	110	Celkem	Celkem [hod]
Tlakovzdušné	Pneumatický	0	9	0	1	10	36
Máloolejové	Pneumatický	12	3	22	41	78	564
	Pružinový	62	38	138	0	238	1 330
Tlakoplynové	Pneumatický	0	0	0	12	12	93
	Pružinový	88	85	176	289	638	4 317
Tlakoplynové DTC	Pružinový	0	0	0	8	8	61
Vakuové	Pružinový	78	47	328	0	453	2 002
	El.mag.	0	0	42	0	42	175
Celkem [ks]		240	182	706	351	1 479	8 578

Tab. 8 – Časová náročnost diagnostiky vypínačů v regionu Východ

### 6.3.5 Region Morava

Plošný rozsah regionu:	11 067 km <sup>2</sup>	Počet stanic VVN/VVN:	6 ks
Počet obyvatel:	1 866 091	Počet stanic VVN/VN:	56 ks
Počet obyvatel na km <sup>2</sup> :	169 os/km	Počet stanic VN/VN:	48 ks



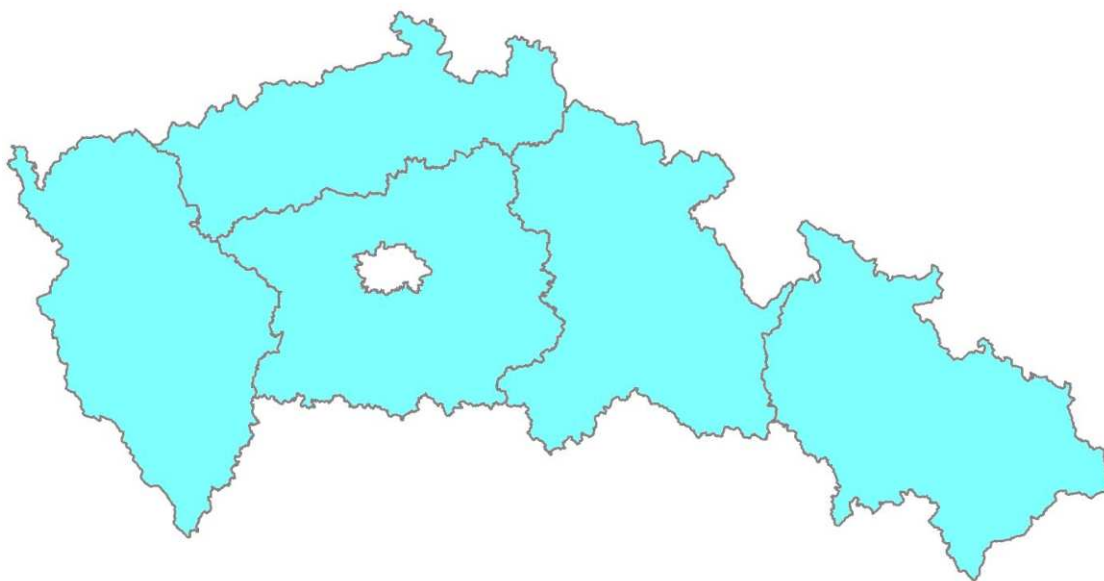
Obr. 24 – Mapa oblasti regionu Morava

Region Morava							
Vypínač		Napěťová hladina [kV]					Časová náročnost
Typ	Pohon	10	22	35	110	Celkem	Celkem [hod]
Tlakovzdušné	Pneumatický	1	34	0	0	35	116,90
Máloolejové	Pneumatický	12	27	0	193	232	1 931,75
	Pružinový	0	595	0	0	595	3 326,05
Tlakoplynové	Pneumatický	0	0	0	33	33	256,08
	Pružinový	2	242	0	306	550	3 859,02
Tlakoplynové DTC	Pružinový	0	0	0	0	0	0,00
Vakuové	Pružinový	96	584	0	0	680	3 005,60
	El.mag.	0	56	0	0	56	233,52
Celkem [ks]		111	1538	0	532	2181	12 728,92

Tab. 9 – Časová náročnost diagnostiky vypínačů v regionu Morava

## 6.4 Celková časová náročnost

Plošný rozsah regionu:	52 001 km <sup>2</sup>	Počet stanic VVN/VVN:	21 ks
Počet obyvatel:	6 364 742	Počet stanic VVN/VN:	212 ks
Počet obyvatel na km <sup>2</sup> :	122 os/km	Počet stanic VN/VN:	291 ks



Obr. 25 – Mapa celé oblasti DSO

Region	Napěťová hladina [kV]					Časová náročnost
	10	22	35	110	Celkem	Celkem [hod]
Sever	278	996	245	368	1 887	10 989
Východ	240	182	706	351	1 479	8 578
Západ	216	1 227	0	231	1 674	9 216
Střed	14	954	2	312	1 282	7 574
Morava	111	1 538	0	532	2 181	12 729
Celkem [ks]	859	4 897	953	1 794	8 503	49 086

Tab. 10 – Celková časová náročnost diagnostiky vypínačů v regionech

## 7 Ověření návrhu

Pro ověření výše uvedeného návrhu jsem vybral jeden z nejrozšířenějších typů vypínačů distribuční soustavy na napěťové hladině VVN. Jedná se o třípohonový, výkonový vypínač hladiny 110 kV od výrobce SIEMENS, konkrétně typ 3AP1 FI – 123 kV s pružinovým pohonem, který pro zhášení oblouku a jako izolační médium využívá SF<sub>6</sub>. Podle definovaného rozsahu diagnostiky jsem nejprve provedl měření statických a dynamických parametrů vypínače, dále kontrolu kvality izolačního média a nakonec kontrolu blokování a ostatních funkcí vypínače. Naměřené hodnoty a grafické výstupy z jednotlivých měření jsou uvedeny v následujících podkapitolách. U všech grafických výstupů v této kapitole platí: osa x = čas, osa y = podle druhu měřené veličiny.

### 7.1 Statické parametry

Statické testovací metody				
veličina	jednotka	L1	L2	L3
Úbytek napětí hlavní proudové dráhy	[mV]	4,81	5,1	5,1
Přechodový odpor hlavního kontaktu	[μΩ]	22	24	23
Izolační odpor - spínací komora	[GΩ]	>500	>500	>500
Izolační odpor - táhlo/zem	[GΩ]	>500	>500	>500

Tab. 11 – Výsledky měření statických parametrů vypínače

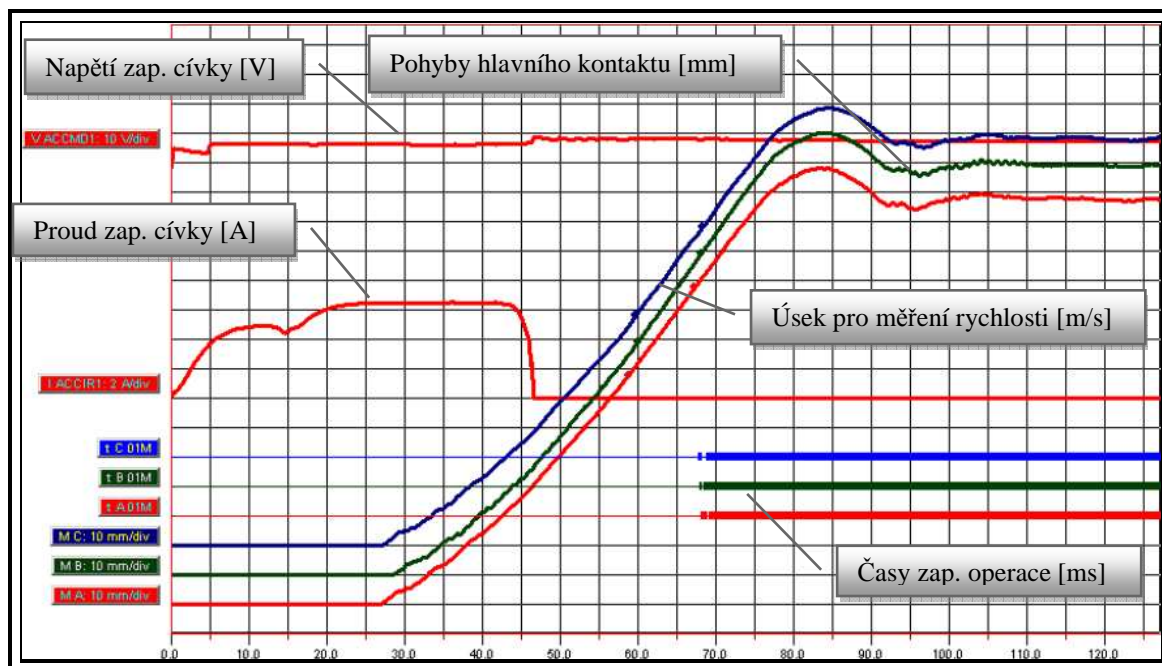
### 7.2 Dynamické parametry

Dynamické testovací metody					
veličina	jednotka	L1	L2	L3	Rozdíl
Čas VYP	[ms]	32,3	33,0	33,2	0,9
Čas ZAP	[ms]	68,3	68,0	67,9	0,4
Čas ZAP - VYP	[ms]	56,5	57,7	57,8	1,3
Rychlost ZAP	[m/s]	3,6	3,5	3,6	0,1
Rychlost VYP	[m/s]	4,6	4,5	4,7	0,2
Odpor vypínací cívky	[Ω]	52,1	50,2	52,8	2,6
Odpor zapínací cívky	[Ω]	52,9	50,8	52,2	2,1
Ovládací napětí	[V]	124,3	124,3	124,3	0,0
Proud protékající cívkou	[A]	2,4	2,4	2,4	0,0
Proud motoru	[A]	8,6	11,9	9,3	3,3
Doba střádání	[s]	6,3	6,5	5,8	0,7

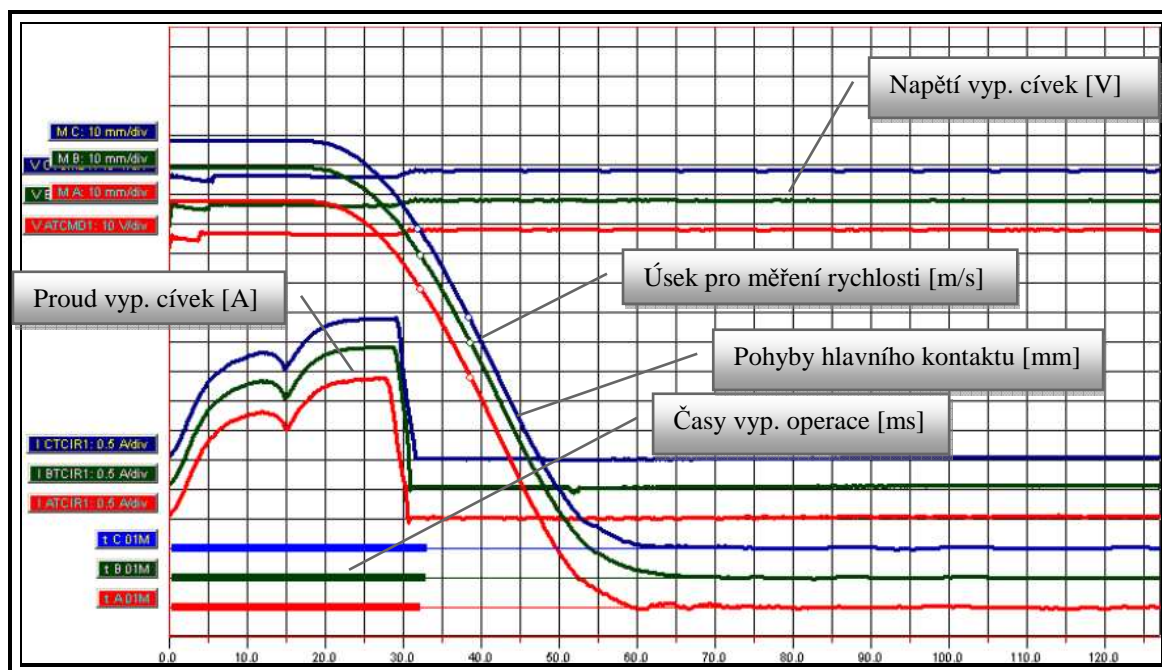
Tab. 12 – Výsledky měření dynamických parametrů vypínače

### 7.2.1 Měření časových průběhů spínacích operací

Označení fází při měření časových průběhů spínacích operací, průběhu pohybu hlavního kontaktu a proudů vypínacích cívek vypínače: L1 = modrá, L2 = zelená, L3 = červená. Zapínací cívka je společná pro ovládání všech třech fází vypínače = červená. Rychlost pohybu kontaktu se dopočítává z pohybové křivky.

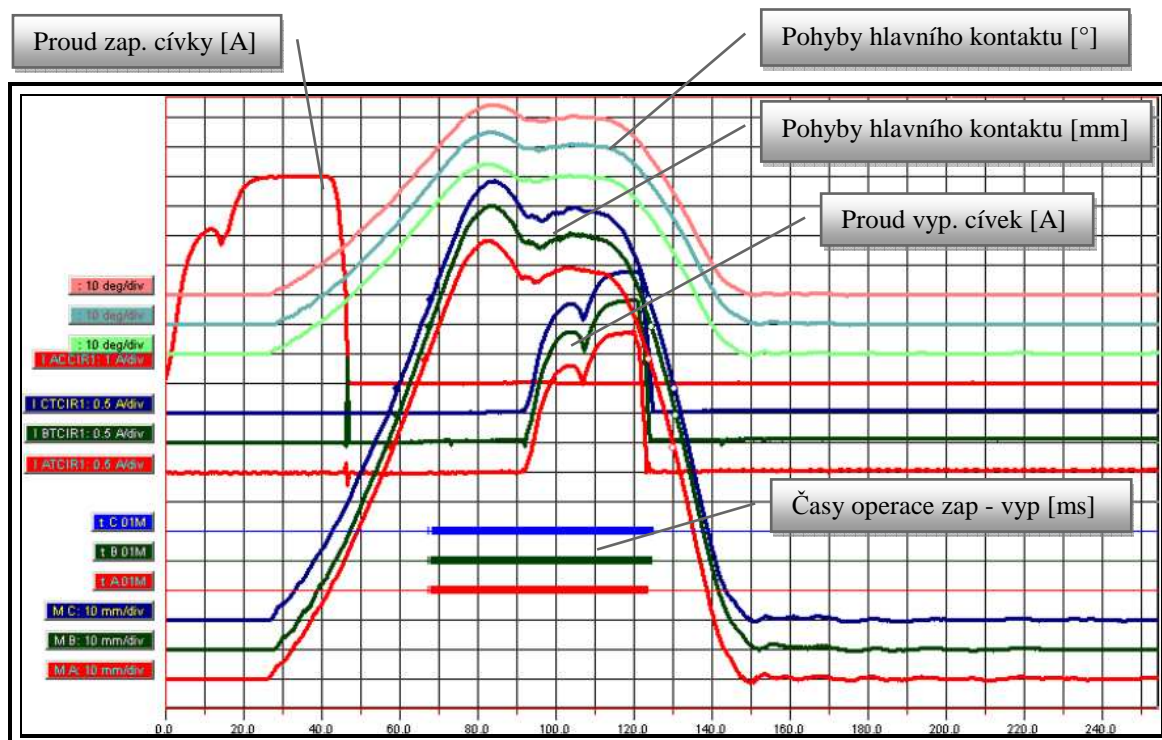


Obr. 26 – Měření časových průběhů, pohybu a proudu ovládacích cívek při operaci ZAP

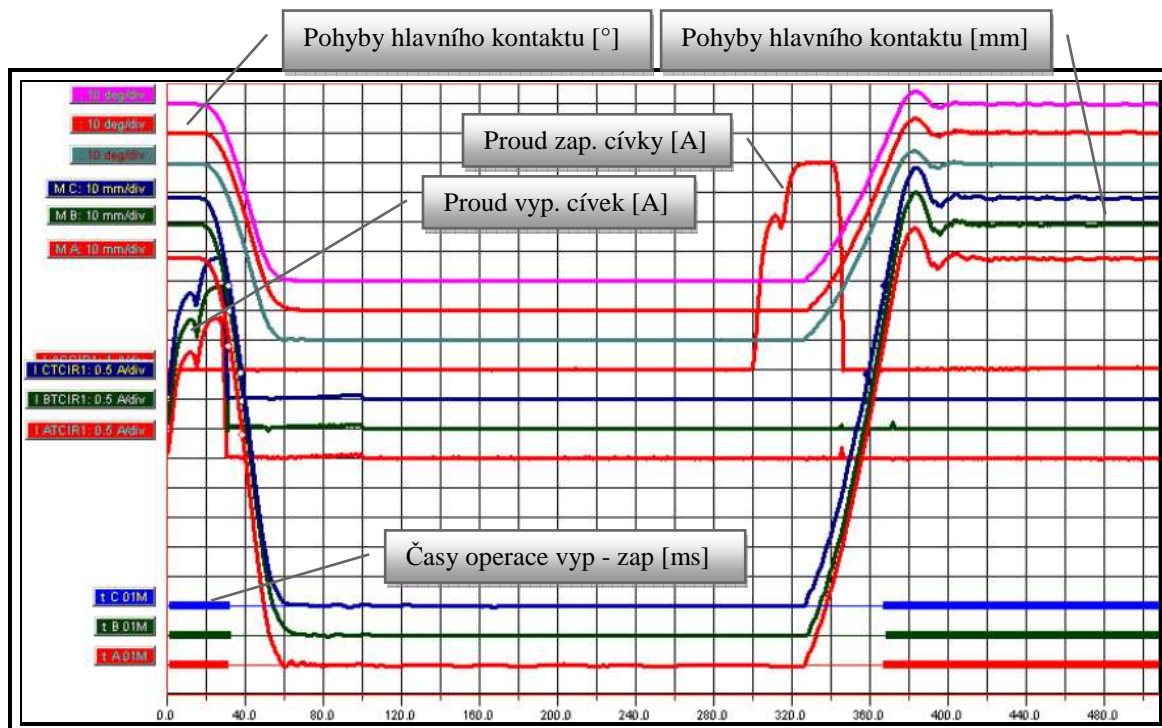


Obr. 27 – Měření časových průběhů, pohybu a proudu ovládacích cívek při operaci VYP

Na typickém průběhu proudu ovládacích cívek je patrné její sycení (0 – 10ms) až do doby uvolnění západek pružinového mechanismu, kdy proud mírně klesne (10 ms), po uvolnění západek proud roste až do doby, kdy je obvod přerušen paketovým přepínačem (42 ms).

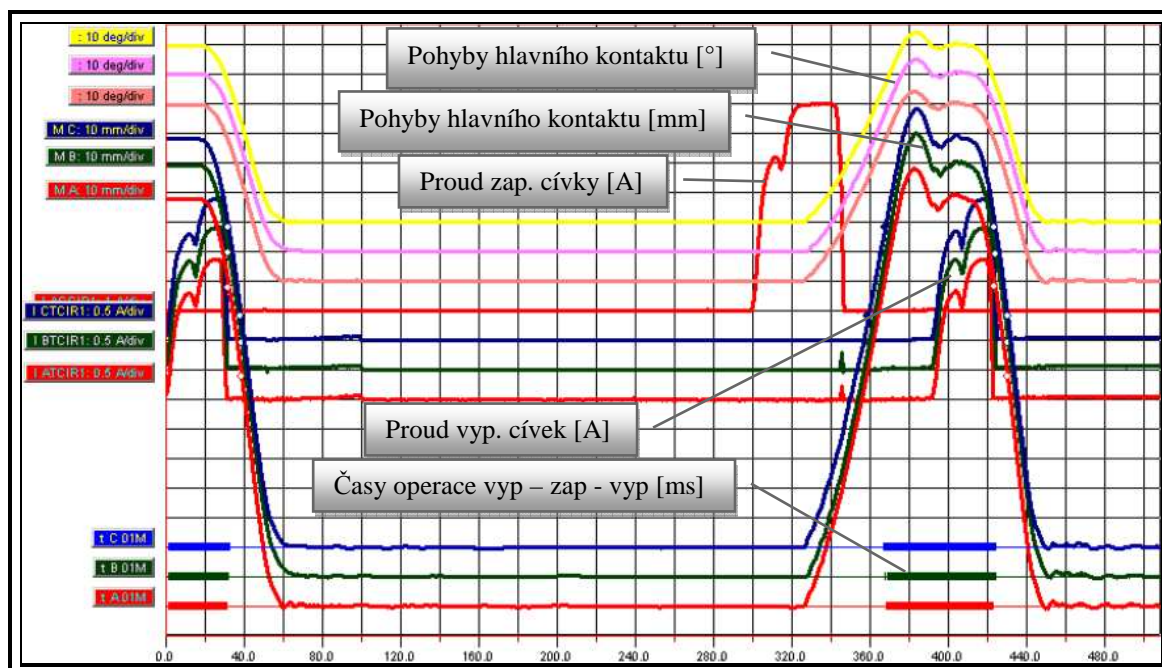


Obr. 28 – Měření časových průběhů, pohybu a proudu ovládacích cívek při operaci ZAP – VYP



Obr. 29 – Měření časových průběhů, pohybu a proudu ovládacích cívek při operaci VYP – ZAP

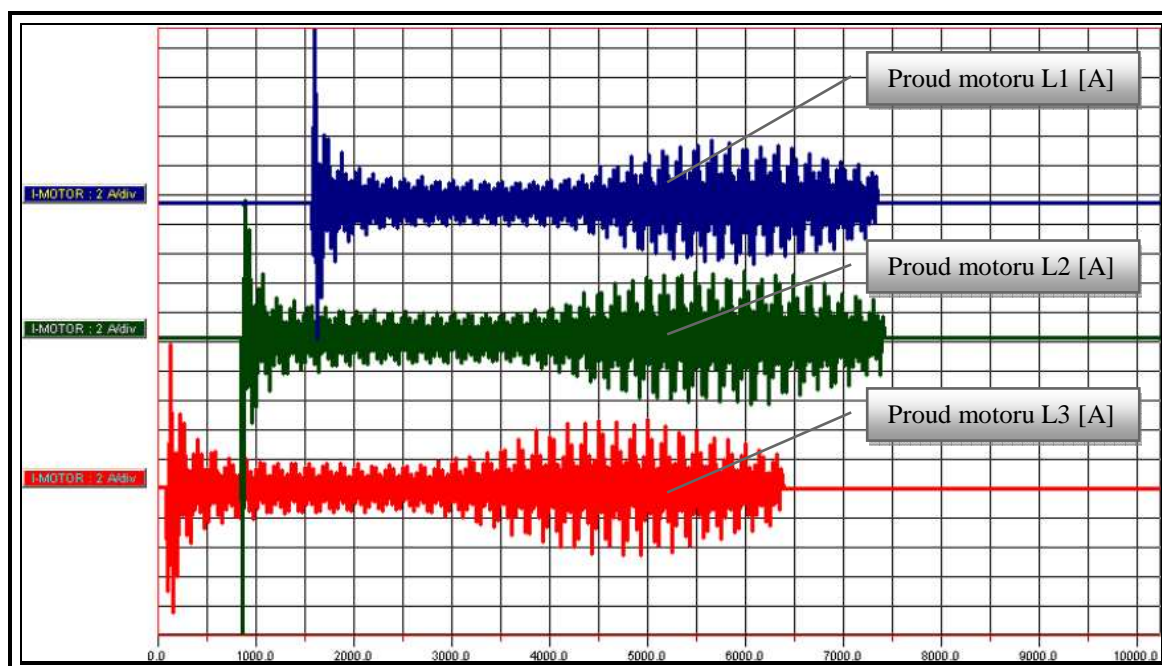




Obr. 30 – Měření časových průběhů, pohybu a proudu ovládacích cívek při operaci VYP – ZAP – VYP

### 7.2.1 Měření proudu motoru

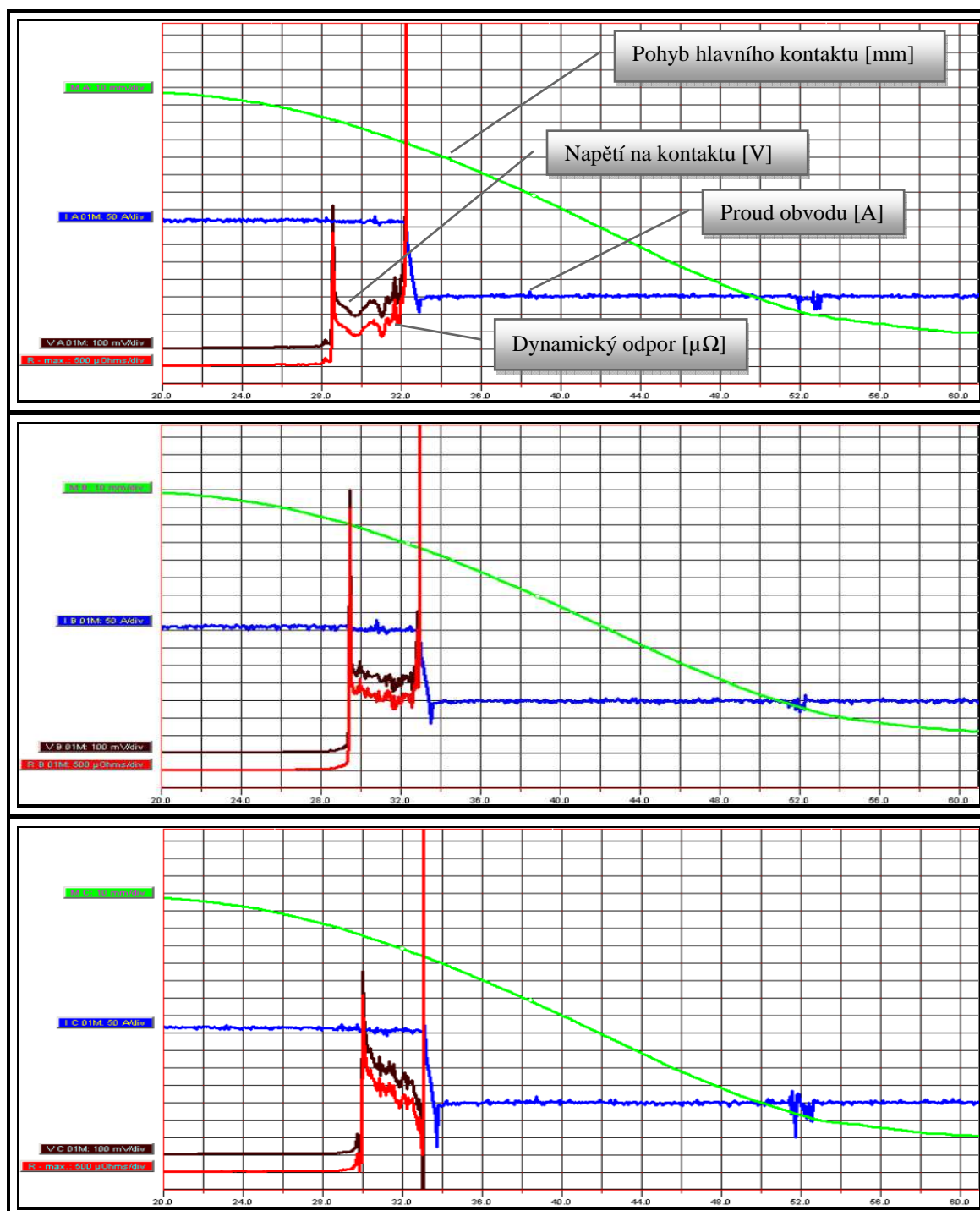
Z obr. 31 je patrné zpožděné spouštění motorů pohonů jednotlivých fází z důvodu omezení nárazového proudu. Současně se snímáním velikosti proudu se zaznamenává i čas potřebný pro úplné nastřádání pružiny pohonu.



Obr. 31 – Měření proudu motoru ve fázích L1, L2, L3 při operaci ZAP

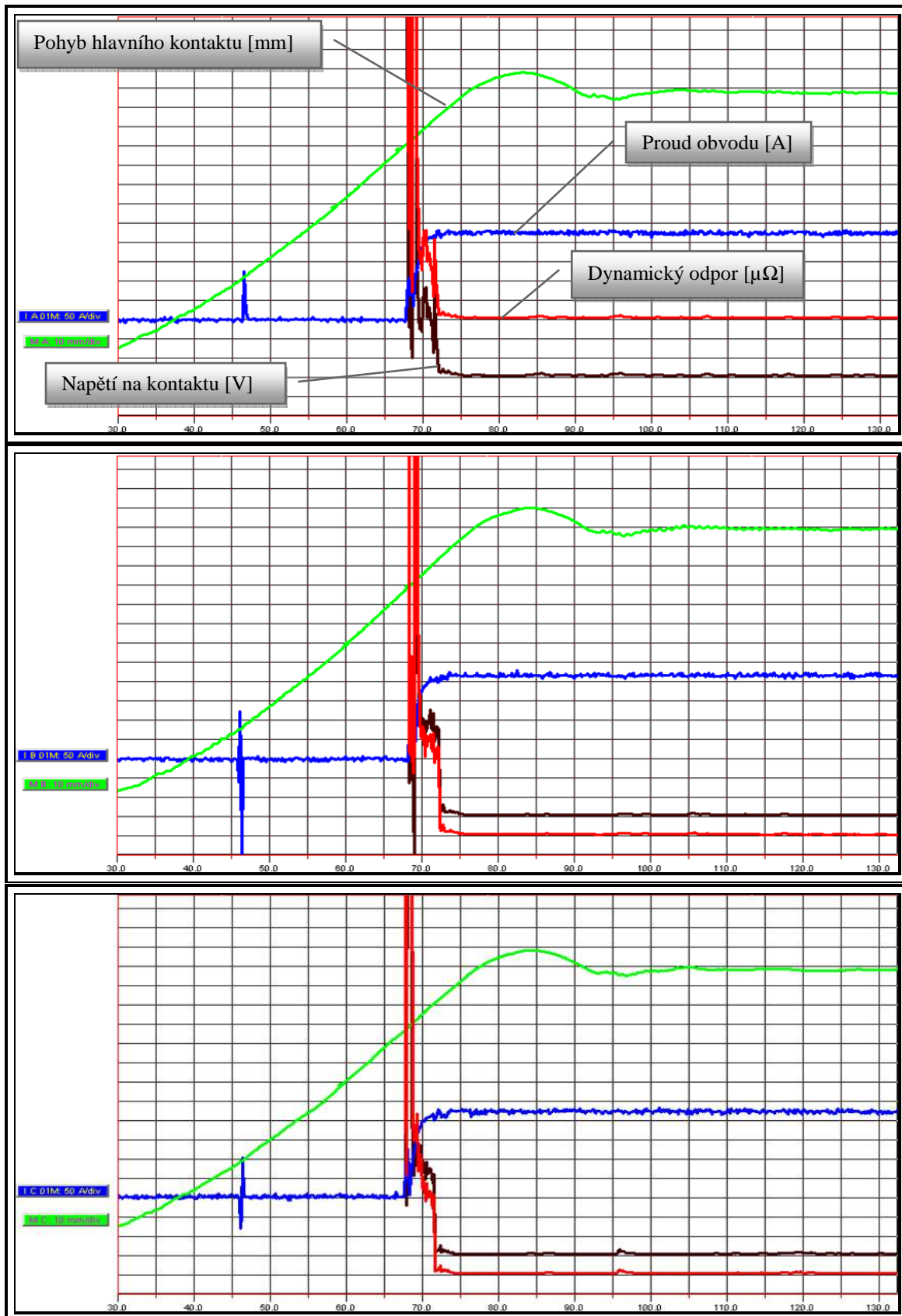
### 7.2.1 Měření dynamického odporu

Při měření DRM je možné kontrolovat stav (délku) opalovacího kontaktu. Ta se odvozuje od okamžiku rozpojení hlavního kontaktu (cca 28 ms), do doby kdy dojde k rozpojení proudové dráhy, kde procházející proud klesne na nulu (cca 32 ms). Podle pohybové křivky hlavního kontaktu se pak naměřená časová hodnota převede na milimetry.



Obr. 32 – Měření dynamického odporu ve fázích L1, L2, L3 při operaci VYP

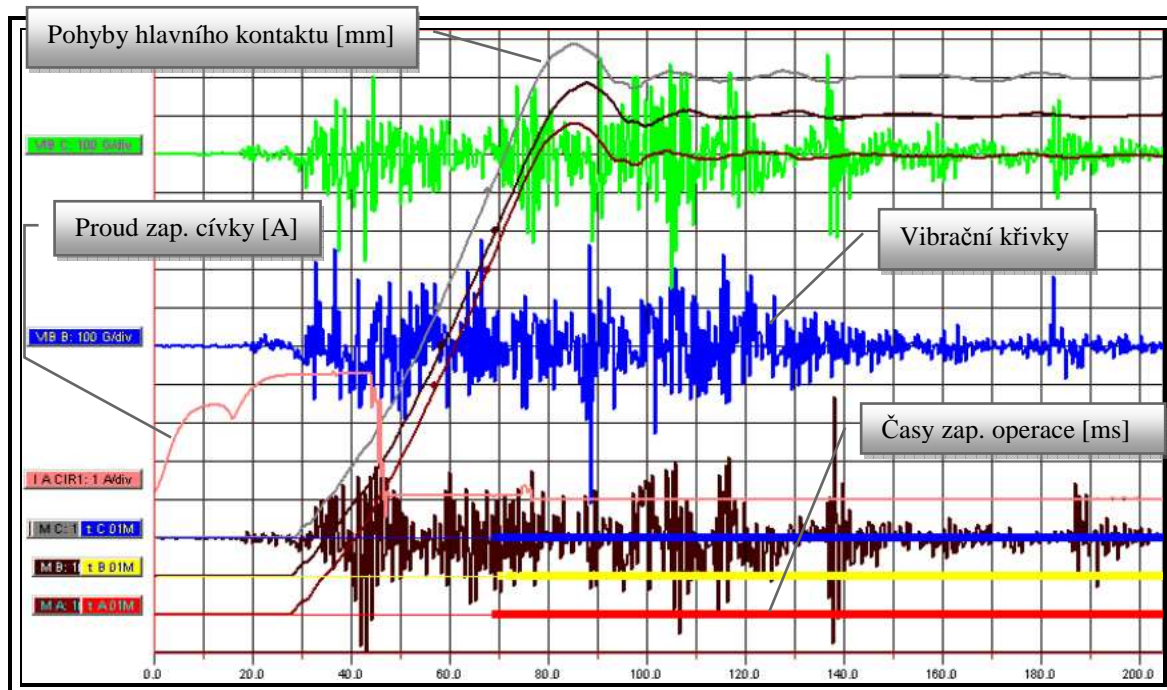




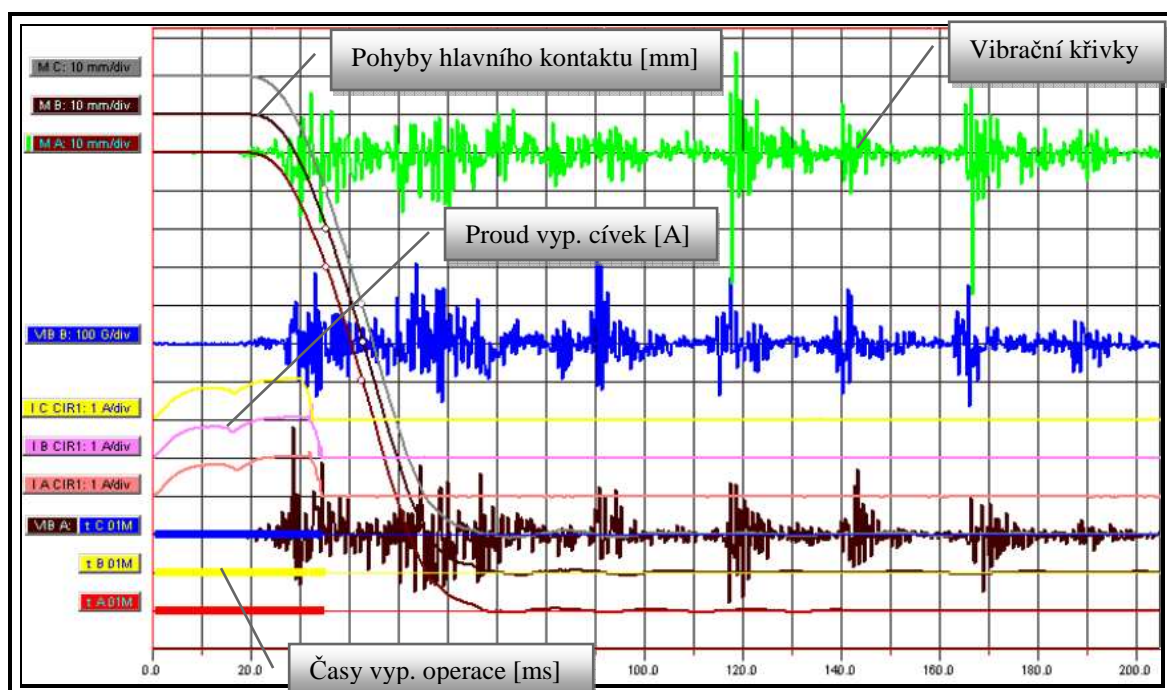
Obr. 33 – Měření dynamického odporu ve fázích L1, L2, L3 při operaci ZAP

### 7.2.2 Měření vibračních charakteristik

V čase 20 ms dochází k uvolnění západek pružinového mechanismu a nastává začátek pohybu kontaktu, kolem 80 ms dochází k ukončení pohybu a doražení kontaktu do koncové polohy. Od doby ukončení pohybu se projevuje vliv tlumiče pohybu kontaktu a vibrace stagnují.



Obr. 34 – Měření vibračních charakteristik fází L1, L2, L3 při operaci ZAP



Obr. 35 – Měření vibračních charakteristik fází L1, L2, L3 při operaci VYP

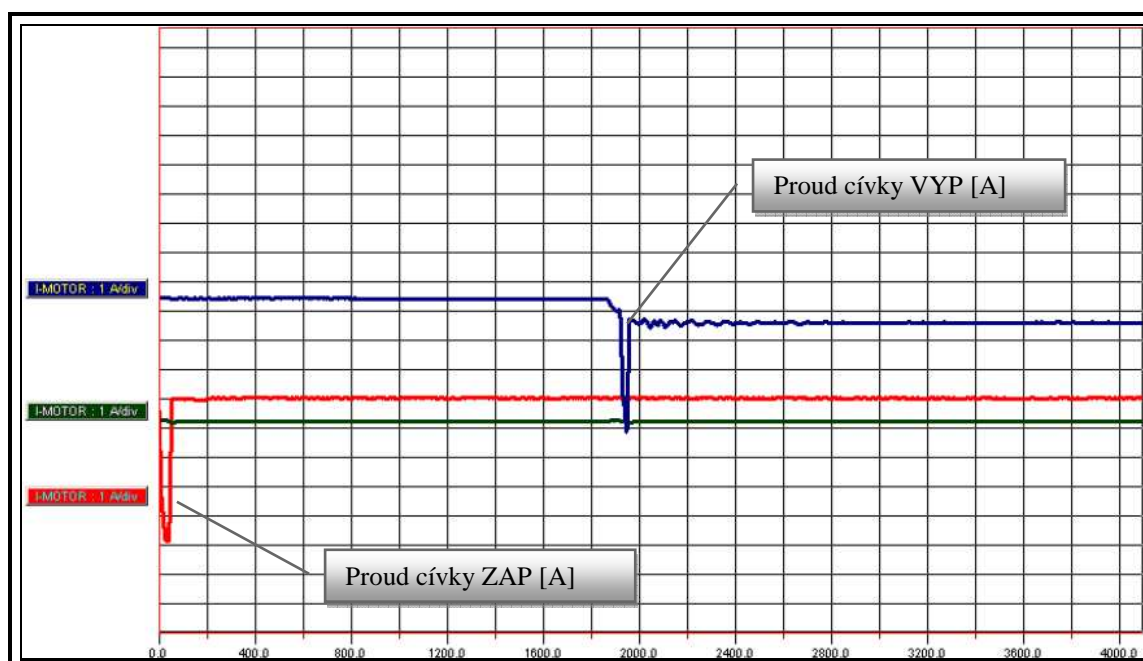
### 7.2.3 Kontrola kvality izolačního média

Kontrola kvality izolačního média - SF <sub>6</sub>				
Parametr	jednotka	L1	L2	L3
Procentní složení	[%]	99	100	100
Vlhkost	[°C]	-49	-50	-48
Rozkladné produkty	[ppm]	0	0	0

Tab. 13 – Kvalitativní parametry SF<sub>6</sub>

### 7.2.4 Kontrola blokování

Mezi poslední úkony patří kontrola funkce vypínače při sníženém ovládacím napětí, blokování nenastřádané zapínací pružiny, kontrola signalizace poklesu tlaku plynu, blokády při ztrátě tlaku plynu vypínače a kontrola funkce nesouhlasu pólů. Měření času při kontrole funkce nesouhlasu pólů můžeme provést například z křivek proudů ovládacích cívek tím, že dopočítáme časový interval mezi povelům ZAP a VYP viz. obr. 36. Při nesouhlasu pólů by měl vypínač vypnout přibližně v čase 1,5s.



Obr. 36 – Kontrola funkce nesouhlasu pólů

## Závěr

Ve zpracovávané diplomové práci jsem uvedl celkový přehled vypínačů distribuční soustavy společnosti ČEZ Distribuce, a.s. a provedl jejich rozdělení. Definoval jsem jednotlivé soubory testovacích metod diagnostiky takovým způsobem, aby získané výstupy z měření byly dostatečné k objektivnímu posouzení jednotlivých typů vypínačů instalovaných v konkrétních aplikacích. Dále jsem věnoval pozornost popisu dílčích diagnostických metod a návrhu standardního technického vybavení pracovní skupiny. Nakonec jsem provedl návrh celkové časové náročnosti, kterou jsem odvodil od časů fyzicky naměřených při provádění diagnostiky na jednotlivých typech vypínačů a jejich celkového počtu v jednotlivých regionech distribuční soustavy.

Časová náročnost by měla být jedním ze základních parametrů pro stanovení celkového objemu finančních nákladů, potřebných pro ekonomický způsob provádění této činnosti v jednotlivých regionech i v celé oblasti. Celkový čas naměřený při ověřování návrhu činil 7 hodin a 57 minut. To znamená, že všechny měřené metody je za předpokladu využití doporučené měřicí techniky možné aplikovat v navrženém časovém normativu. Součástí práce jsou také výsledky měření na vypínači napěťové hladiny 110 kV typu 3AP1 FI výrobce SIEMENS, shromážděné při ověřování návrhu v praxi. Po provedení vyhodnocení a porovnání naměřených hodnot s technickými parametry výrobce vypínače (viz. příloha A), lze konstatovat, že navržené metody a výsledky měření dostatečně vypovídají o všech důležitých částech vypínače a jsou postačující pro spolehlivé vyhodnocení jeho stavu.

## Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] Bárta K., Vostracký Z.: *Spínací přístroje velmi vysokého napětí*, SNTL, 1983
- [2] Mentlík V., Pihera J.: Polanský R., Prosr P., Trnka P., *Diagnostika el. zařízení*, 2008
- [3] Krňoul A.: *Metody diagnostiky vypínačů vn, vvn a zvn*, Diplomová práce, ČVUT Praha, 2007
- [4] Råström, Stefan.: *Evaluation of Method for High Voltage Circuit Breaker Monitoring Based on an Acoustic Vibration Technique*, Stockholm: Royal institute of technolog
- [5] Landry, Mercier, Oullet, Rajotte, Caron, Roy.: *A New Measurement Method of the Dynamic Contact Resistance of HV Circuit Breakers*, Québec
- [6] Marek M., Hytka Z., Bittner Z.: *Simulace tlakových poměrů ve zhášedle SF<sub>6</sub>*, Ostrava 2002
- [7] MEGGER: *Circuit Breaker testing guide AG\_en\_V02*, Sweden, 2012
- [8] SIEMENS: *Vypínače velmi vysokého napětí 3API/2*, 2002
- [9] ABB: *Vakuové vypínače vysokého napětí VD4*, 2003
- [10] ABB: *Vakuové vypínače vysokého napětí s magnetickým pohonem VMI*, 2008
- [11] ČSN IEC 61634: *Vysokonapěťová spínací a řídicí zařízení - Manipulace s fluoridem sírovým (SF<sub>6</sub>) a jeho použití ve vysokonapěťových spínacích a řídicích zařízeních*
- [12] ČSN EN 62271-100: *Vysokonapěťová spínací a řídicí zařízení – Část 100 Vypínače pro napětí nad 1 000 V AC*
- [13] ČSN EN 62271-203: *Vysokonapěťová spínací a řídicí zařízení – Plynem izolované kovově kryté rozvaděče na střídavý proud pro jmenovitá napětí nad 52 kV*
- [14] ČSN EN 60694: *Společná ustanovení pro vysokonapěťová spínací a řídicí zařízení*



## Přílohy

### Příloha A – Technické parametry testovaného vypínače

#### Technické parametry – doplňující informace (3AP1 FI – 123 kV):

Jmenovité přechodné zotavené napětí TRV pro svorkový zkrat	230 kV při RRRV při 5,8 $\mu\text{V/s}$
Kritický vypínací proud	žádný
Jmenovitý vypínací proud při vypínání nezatíženého venkovního vedení - činitel přepětí	31,5 A – 1,4 p.u.
Jmenovitá vypínací schopnost při nesynchronním stavu ( až do $-33\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) - činitel přepětí	10 kA – 2,0 p.u.
Počet CO (zap. + vyp.) jmenovitého zkratového proudu (30% - 60% - 100%)	400- 40 - 10
Počet CO (zap. + vyp.) jmenovitého proudu	10 000
Počet let bezúdržbovosti ( bez výkonu ) při neznalosti kvalitativních ukazatelů k přesnému stanovení	24 let
Min. doba trvání ZAP impulsu	80 ms
Min. doba trvání VYP impulsu	80 ms
Doba zapínání	$57\text{ ms} \pm 6\text{ ms}$
Doba vypínání	$\leq 57\text{ ms}$
Doba otevírání kontaktů	$31\text{ ms} \pm 4\text{ ms}$
Doba hoření oblouku	$\leq 25\text{ ms}$
Bezprúdová doba ( při OZ )	$\geq 277\text{ ms}$
Nesoudobost funkce pólů (mechanická) při ZAP	$\leq 4\text{ ms}$
Nesoudobost funkce pólů (mechanická) při VYP	$\leq 3\text{ ms}$
Jmenovitá rychlost kontaktů během ZAP	$4,0\text{ m/s} \pm 0,5\text{ m/s}$
Specifikace úseku, v němž je rychlost vypočítána	úsek 10 ms před dotykem kontaktů
Jmenovitá rychlost kontaktů během VYP	$4,6\text{ m/s} \pm 0,3\text{ m/s}$
Specifikace úseku, v němž je rychlost vypočítána	úsek 10 ms po oddělení kontaktů
Jmenovitý zdvih kontaktů hlavního obvodu	$120\text{ mm} \pm 5\text{ mm}$
a) Jmenovitý odpor hlavního obvodu / dovolená tolerance za provozu	$25\text{ }\mu\Omega \pm 4\text{ }\mu\Omega$ 100 A
b) Hodnota proudu při měření odporu hl. obvodu	
Dovolené tolerance ovládacího napětí	- 30 % / + 10 % pro VYP. - 15 % / + 10 % pro ZAP.
Dovolené tolerance pomocného napětí pro motor střádače	- 30 % / + 10 %
Jmenovitá doba nastřádání po O-CO sledu	$\geq 15\text{ s}$
Jmenovitý příkon motoru střádače	640 W (při 230 V, AC)
Jmenovitý ustálený proud motoru střádače	$6\text{ A} \pm 1,5\text{ A}$
Jmenovitý nárazový proud 1ks motoru střádače	$20\text{ A} \pm 3\text{ A}$
Jmenovitý příkon vytápění - skříň pohonu (společná ovládací skříň)	90 W
Jmenovitý příkon ZAP / VYP cívek	226 W / 226 W
Jmenovitý odpor cívek ZAP / VYP	$214\text{ }\Omega \pm 13\text{ }\Omega$ / $214\text{ }\Omega \pm 13\text{ }\Omega$
Typ pomocného spínače	3SV92
Ustálený proud pomocného spínače	10 A
Časová konstanta pomocného spínače	20 ms
Konstrukční tlak izolátoru komory / podpěrného	1,1 / 1,1 MPa (abs.)
Jmenovitý absolutní plnicí tlak při 20°C	0,65 MPa
Meze absolutního tlaku pro správnou činnost vypínače při 20°C	0,52 / 0,8 MPa (abs.)

min. / max.

Jmenovitý absolutní blokovací tlak při 20°C

- |   |          |
|---|----------|
| a) 1. výstraha ( nebezpečí ztráty SF <sub>6</sub> ) | 0,57 MPa |
| b) 2. výstraha ( funkční blokování )                | 0,55 MPa |

Max. dovolená vlhkost SF<sub>6</sub> při 20°C a jm. tlaku SF<sub>6</sub>

- |                  |                       |
|------------------|-----------------------|
| a) po naplnění   | < -15 °C rosného bodu |
| b) během provozu | < -10 °C rosného bodu |

Min. dovolený obsah SF<sub>6</sub> po naplnění / během provozu

> 98 / 95 %

Max. dovolené znečištění SF<sub>6</sub> rozkladnými produkty

- a) po naplnění

méně než citlivost  
detekčních trubiček (1,5 -  
15 ppm objemových );  
dle IEC60376

- b) v provozu

SO<sub>2</sub>+SO<sub>2</sub>F<sub>2</sub> indikováno  
detekčními trubičkami  
< 25 ppm objemových