

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

Katedra elektroenergetiky a ekologie

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Problematika opětného zapínání na vedeních VVN
s přihlédnutím na různé vlivy**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2016/2017

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Vilém ŠLAPÁK**

Osobní číslo: **E15N0120P**

Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**

Studijní obor: **Elektroenergetika**

Název tématu: **Problematika opětného zapínání na vedeních VVN
s přihlédnutím na různé vlivy**

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. Vypracujte statistiku případů působení automatik opětného zapínání (OZ) za roky 2014 až 2016.
2. Roztřídte jednotlivé případy dle různých pohledů (doba, konstrukce vedení, umístění vedení, vybavení zemnicími lany apod.).
3. Rozpracujte jednotlivé možnosti příčin tohoto jevu.
4. Navrhněte způsob získání podkladů pro identifikaci příčin působení automatik OZ.



Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího
Rozsah kvalifikační práce: 40 - 60 stran
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:

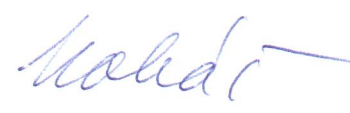
Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Miloslava Tesařová, Ph.D.**
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce: **14. října 2016**
Termín odevzdání diplomové práce: **19. května 2017**


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




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

V Plzni dne 14. října 2016

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá působením automatik opětného zapínání se zaměřením především na nevysvětlitelné vyřazení těchto ochranných zařízení. Předkládaná práce vychází ze statistik naměřených a zaznamenaných za roky 2014-2016. Obsahem je teoretická část vysvětlující funkci OZ. Následně je ze statistik provedeno vhodné rozřazení případů působení OZ. Jedním ze stěžejních bodů je zhodnocení možných příčin těchto poruch. Součástí je také laboratorní měření provedené na závěsných izolátorech. Na základě výsledků je závěrem navrženo, jak dále získávat více informací pro konečnou identifikaci příčin nevysvětlitelného působení automatik OZ.

Klíčová slova

vedení VVN, elektrická ochrana, automatika opětného zapínání, OZ, ranní efekt

Abstract

The diploma thesis deals with the problem of the operation of reclosing automation. The problem is the inexplicable handling of these protections. This thesis is based on statistics measured and recorded for the years 2014-2016. The content is the theoretical part explaining the function of the auto-reclosing and then a suitable classification of the cases of auto-reclosing is made from the statistics. One of the focal points is the assessment of the possible causes of these disorders. Another part of the diploma thesis is the laboratory measurements made on the suspension isolators. On the basis of the results, it is finally proposed, how to obtain further information for the final identification of causes of unexplained operation of the auto-reclosing.

Key words

overhead HV power line, electrical protection, automatic reclosing, morning effect

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších pramenů uvedených v seznamu, všechny tyto zdroje jsou citovány a jsou uvedeny v seznamu literatury. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem neporušil autorská práva třetích osob.

Rovněž prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální či volně přístupný.

.....
podpis

V Plzni dne 14.5.2017

Bc. Vilém Šlapák

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval především vedoucí diplomové práce Doc. Ing. Miloslavě Tesařové, Ph.D. za hodnotné profesionální rady a vynikající metodické vedení práce. Dále bych chtěl poděkovat mému konzultantovi Ing. Vlastimilovi Pomyjemu, i jeho kolegům z práce, za čas a ochotu, kterou mi věnovali. Velice si cením všech nových zajímavých poznatků, jenž mi během vypracovávání práce byly poskytnuty. Těž děkuji své rodině za podporu a trpělivost.

Obsah

OBSAH	7
ÚVOD	9
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	10
1 PROBLEMATIKA OZ NA VEDENÍ VVN – OBECNÁ CHARAKTERISTIKA	11
1.1 CHARAKTERISTIKA VEDENÍ VVN.....	11
1.2 AUTOMATIKA OZ V PŘEHLEDU OCHRAN.....	12
1.2.1 Nadproudová ochrana.....	12
1.2.2 Distanční ochrana.....	13
1.2.3 Co je to automatika OZ.....	13
1.2.4 Funkce OZ.....	14
1.2.5 Důvody a výhody užití.....	15
1.2.6 Stabilita synchronních strojů.....	16
1.3 DRUHY OZ.....	17
1.3.1 Členění dle počtu vypínaných fází.....	17
1.3.2 Dělení dle rychlosti vybavení.....	18
1.4 ZKRAT.....	18
1.4.1 Zkrat obecně.....	18
1.4.2 Příčiny zkratu s ohledem na různé vlivy.....	19
1.4.3 Ranní efekt.....	21
1.4.4 Zkrat a úspěšnost cyklu OZ.....	22
1.4.5 OZ a přímý vliv na kvalitu energie.....	22
2 PROBLEMATIKA OZ NA VEDENÍ VVN – KONKRÉTNÍ PŘÍPADY E.ON	24
2.1 VEDENÍ VVN.....	24
2.2 CHRÁNĚNÍ VEDENÍ VVN.....	25
2.3 NASTAVENÍ OCHRAN.....	27
2.3.1 Zóny – časové odstupňování.....	27
2.3.2 Distanční ochrana a její impedanční a směrové nastavení.....	28
2.4 VYBRANÉ PŘÍKLADY VÝPAKŮ VEDENÍ S VYBAVENÍM OZ.....	29
2.4.1 Typická porucha.....	29
2.4.2 Netypická porucha.....	33
3 STATISTICKÉ VYHODNOCENÍ Z LET 2014 AŽ 2016	35
3.1 VSTUPNÍ DATA A JEJICH ZPRACOVÁNÍ.....	35
3.2 ÚSPĚŠNÉ VS. NEÚSPĚŠNÉ OZ.....	36
3.3 ZÁVISLOST NA KALENDÁRNÍM MĚSÍCI.....	37
3.3.1 Rosný bod.....	38
3.4 PORUCHY V PRŮBĚHU DNE.....	39
3.5 LINKY A JEJICH „PORUCHOVOST“ – ČETNOST ÚSP. OZ.....	40
3.6 ANALÝZA NEJKRITICHTĚJŠÍCH LINEK.....	43
3.7 ANALÝZA: DETAILNĚJŠÍ POHLED.....	44
3.7.1 Odkaz na přílohy spojené se statistickým vyhodnocením.....	46
4 VÝZKUM MOŽNÝCH PŘÍČIN OZ V RANNÍCH HODINÁCH	47
4.1 PROBLEMATIKA A POTENCIONÁLNÍ PŘÍČINA.....	47
I. Parazitní aktivita ptactva.....	47
II. Spínací Přepětí.....	49
III. Konstrukční vady a degradace izolátorů.....	49
IV. Přilehlá vegetace.....	50
V. Lidský faktor.....	50
VI. Záření z kosmu, sluneční vítr a sluneční svit.....	50

<i>VII. Hmyz potažmo hejna hmyzu</i>	52
<i>VIII. Kondenzace vodních par</i>	54
<i>IX. Pavoučí vlákno</i>	55
4.2 LABORATORNÍ MĚŘENÍ NA IZOLÁTORECH VVN	56
4.2.1 První měření – Isolátor LG 60/22/1200	56
4.2.2 Druhé měření – Isolátor VZL 50/435	57
5 ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ A NÁVRH DALŠÍHO ŘEŠENÍ	60
5.1 ZHODNOCENÍ.....	60
5.2 DALŠÍ ŘEŠENÍ	60
6 ZÁVĚR	62
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	63
PŘÍLOHA A	1
PŘÍLOHA B	3
PŘÍLOHA C	4

Úvod

Málokterá oblast v odvětví elektroenergetiky se dá považovat za neprozkoumanou, i přesto se v tomto oboru stále naskýtají jevy neobjasněné. Tato diplomová práce je odrazem skutečných procesů dějících se na vedeních VVN. Nezbytnou součástí každého funkčního technického celku je ochrana, i v tomto případě je součástí výbavy linek VVN ochrana známá jako automatika opětného zapínání. Tato automatika OZ zajišťuje co nejspolehlivější a plynulý provoz elektrizační sítě. Její funkčnost je dotažena téměř k dokonalosti, avšak i zde dochází k nežádoucím projevům formou vypínání neobjasněných zkratů.

Diplomová práce by měla být přínosem při objasňování příčin zkratových poruch, jejichž původ není dosud znám. Tyto poruchy mají naprosto nežádoucí vliv na plynulost a stabilitu dodávky elektrické energie. Za předpokladu, že by se podařilo objasnit příčinu, potažmo příčiny těchto poruch, bylo by možné vytvořit vhodná opatření jakožto prevenci proti těmto přitěžujícím výpadkům.

Seznam symbolů a zkratek

OZ.....	Opětné zapnutí
VVN	Velmi vysoké napětí (kV)
VN	Vysoké napětí (kV)
NN	Nízké napětí (V)
DO	Distanční ochrana
NO	Nadproudová ochrana
I.....	Proud (A)
SAIDI	Systémový ukazatel trvání přerušení u zákazníků
SAIFI	Systémový ukazatel četnosti přerušení u zákazníků
L1	Fázový vodič číslo 1
R	Elektrický odpor vedení (Ω/km)
X.....	Reaktance vedení (Ω/km)
Z.....	Impedance vedení (Ω/km)
ϕ	Fázový úhel ($^\circ$)
$U_{\text{fáz}}$	Fázové napětí (V)
I_k	Zkratový proud (kA)
FeZn.....	Zinek
ČSN	Česká technická norma
t.....	Čas (sek)
ERÚ	Energetický regulační úřad

1 Problematika OZ na vedení VVN – Obecná charakteristika

V této kapitole se budu zabývat obecnou charakteristikou vedení velmi vysokého napětí, dále se zde budu věnovat obecnému seznámení s opětovným zapínáním (OZ).

1.1 Charakteristika Vedení VVN

Vedení VVN je vedení určené pro přenos elektrické energie a to od místa transformace na napět'ovou hladinu 110 kV, až do rozveden transformujících tuto napět'ovou hladinu na hladinu VN, tedy obvykle 22 kV či 35 kV. [6]

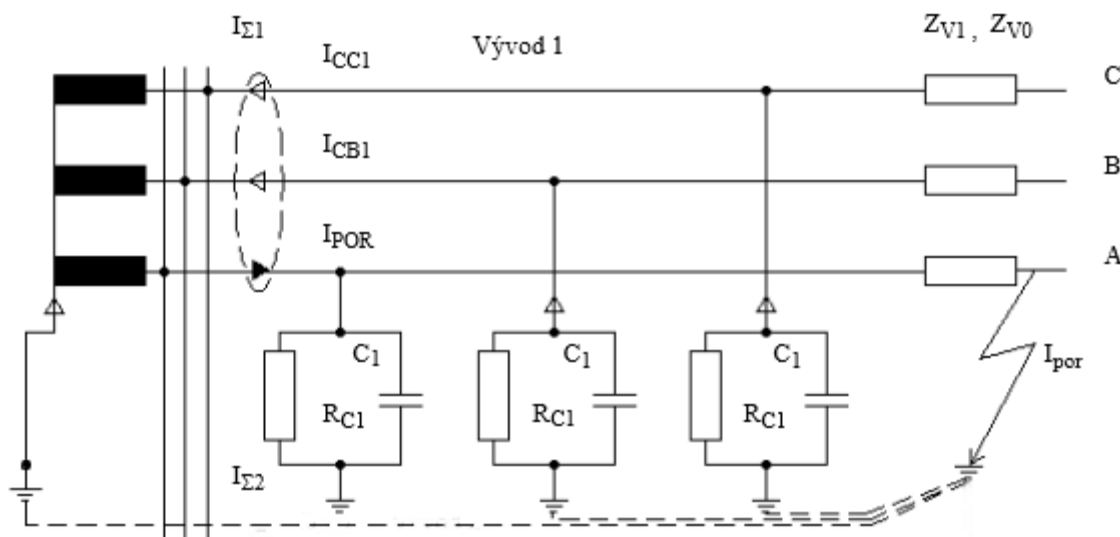
Vedení VVN je na území České republiky provedeno výhradně jako síť s přímo uzemněným uzlem transformátoru. Provozována je v současnosti obvykle okružně, případně formou průběžného rozvodu. [10]

Způsob spojení uzlu transformátoru je zásadním faktorem pro provoz sítí VVN. Má vliv na velikost proudu při spojení jedné či více fází se zemí. Především tedy na velikost jedнопólového zkratového proudu. Určuje také hodnotu velikosti napětí mezi fázovým vodičem a zemí.

Mimo vedení ZVN a hladinu nízkého napětí (NN) má právě i vedení VVN uzel transformátoru účinně uzemněný. Právě tento fakt je rozhodující pro využití techniky OZ. Vzhledem k tomu, že je síť účinně uzemněná, tak napětí uzlů TR při přímém uzemnění zůstává prakticky nulové a napětí zdravých fází zůstává vůči zemi na hodnotě fázové. Tuto skutečnost můžeme označit za výhodnou vlastnost z hlediska ekonomického. Vedení se může dimenzovat pouze na hodnotu jmenovitého fázového napětí. Ovšem nevýhody se projeví ve chvíli spojení fáze se zemí – tato porucha musí být velice rychle vyhodnocena a vedení musí být v krátkém čase odpojeno. Nestalo-li by se tak, následky by byly fatální. Vodiče vedení jsou v tomto poruchovém stavu proudově omezeny pouze vlastním odporem a indukčností transformátoru. Zkratové proudy dosahují extrémních hodnot a ve velmi krátkém čase dochází k nevratnému zničení vedení i ostatního vybavení.

Těmto problémům se samozřejmě snažíme předcházet, ovšem ne vždy je vše tak jak má být a porucha nastane i za té nejvyšší obezřetnosti. [9] K těmto nepříjemnostem využíváme pochopitelně nejrůznější druhy ochran, jejichž součástí jsou například

vypínače v rozvodnách. V případě, že by vypínač vybavil při každé poruše na vedení s trvalým působením, za následek by byla vysoká nespokojenost koncových odběratelů. Jak se brzy dozvíme, poruch a jejich příčin je skutečně mnoho a někdy se jim zkrátka nedá předejít. Z těchto prostých důvodů byla vyvinuta ochrana automatického opětovného zapnutí, známá také jako „OZ“.



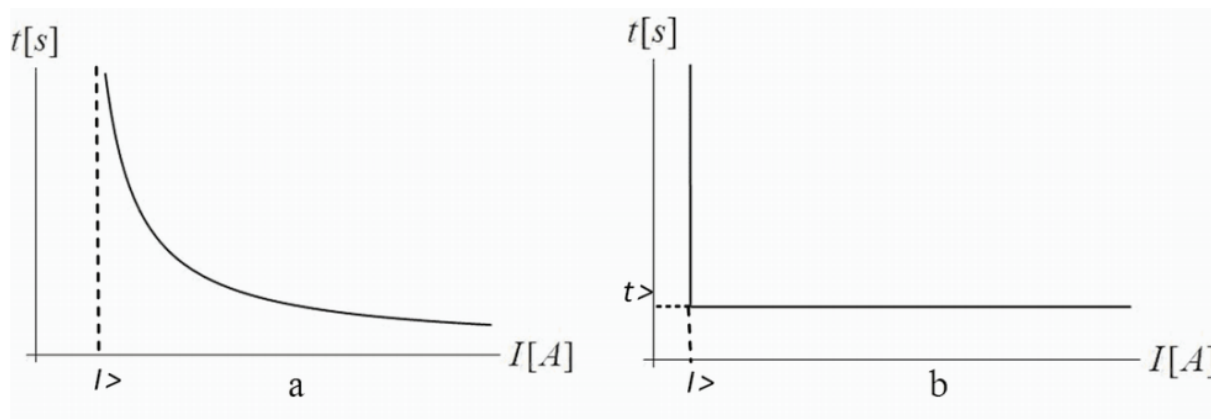
Obrázek 1: Schéma zapojení vedení VVN [28]

1.2 Automatika OZ v přehledu ochran

Členění ochran a principy chránění v souvislosti s OZ.

1.2.1 Nadproudová ochrana

Nadproudová ochrana je ochranou měřící obvykle tři fázové proudy a/nebo zemní proud. Tuto ochranu lze na hladině VVN považovat za ochranu záložní (primární ochranou je DO – popsána dále). Ochrana vybaví v nastaveném čase, jestliže je za stanovených podmínek kterýkoli z naměřených proudů větší než nastavená hodnota. Z tohoto pohledu lze rozdělit charakteristiky nadproudových ochran na časově nezávislé a časově závislé. Je nezbytné, aby ochrana reagovala různě na různé typy nadproudů. Lépe řečeno pro zkratový proud vyžadujeme reakci okamžitou (případ OZ), naopak pro pouhý nadproud vyžadujeme časovou prodlevu. Charakteristika je tedy složena z kombinace různých charakteristik, kterým odpovídají odstupňované nadproudy označované $I>$, $I>>$, $I>>>$ atd. [5]



Obrázek 2: Časově závislá a časově nezávislá nadproudová ochrana [11]

1.2.2 Distanční ochrana

Distanční ochrany jsou typické pro chránění vedení. Princip funkce DO spočívá ve sledování takzvané viděné impedance sítě z daného místa v síti. Vysoká hodnota této impedance znamená, že v chráněném úseku je vše v pořádku a pracuje tedy v mezích svého provozního zatížení. Nízká hodnota impedance znamená stav poruchový. Chráněná trasa vedení je rozdělena do zón, přičemž první zóna chrání 80 až 90 % délky vedení. Přední výhodou DO oproti nadproudové časově odstupňované ochraně je její rychlost, která se projevuje především v první zóně ochrany.

První zóna DO vybavuje bez časové prodlevy, a proto při jejím nastavování je nutno uvážit následující chyby:

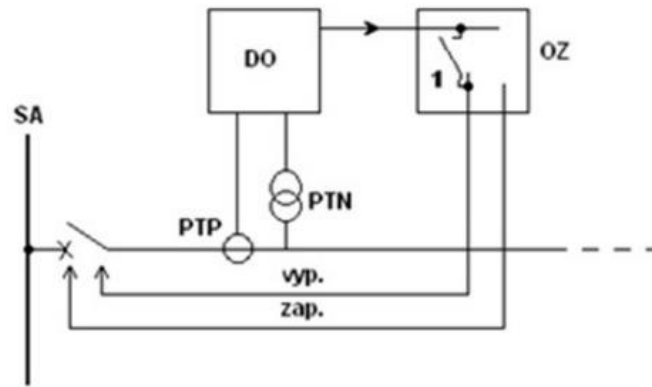
- Chyba při přechodných dějích – 5 %
- Nepřesnost určení impedance (je-li vypočtena, nikoliv změřena)
- Chyba přístrojového transformátoru proudu – 1 % pro 5P a 3 % pro 10P
- Bezpečnostní koeficient – 5 %

Celková nejistota se může v součtu pohybovat v rozmezí 15 až 20 %. Z tohoto důvodu není možné chránit pomocí DO v první zóně 100 % délky vedení ale pouze 80 až 85 %.

[3]

1.2.3 Co je to automatika OZ

Výše popsaná distanční ochrana (DO) je popudovým členem pro dále navazující OZ. Když DO zjistí poruchu, předává povel OZ, který následně přebere řízení celého cyklu opětovného zapnutí. Na obrázku 3 níže je znázorněné zjednodušené blokové schéma spolupráce DO s OZ.



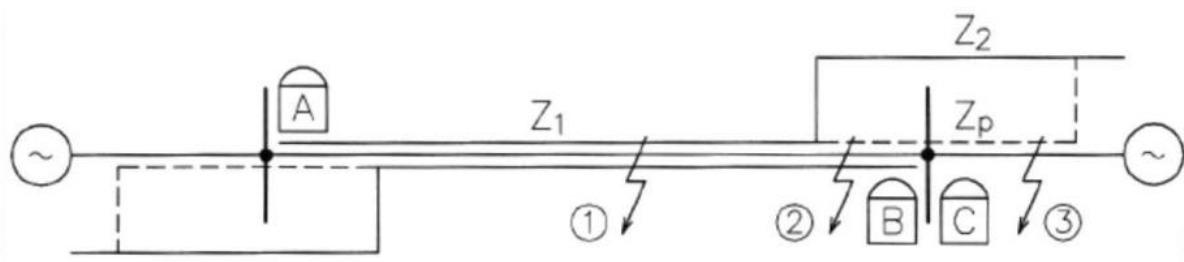
Obrázek 3: Blokové schéma funkce distanční ochrany [27]

OZ je dokonalý mechanismus vyžadující dokonalé podmínky pro správnou funkci. Mechanismus OZ dokáže spolehlivě zažehnat poruchu jen při splnění následujících podmínek:

1. Automatiku OZ musí být vybavena ochrana na obou koncích vedení
2. Stejný vypínací čas distanční ochrany po celé délce vedení
3. Spolehlivá a velice rychlá vzájemná komunikace mezi DO a OZ
4. Správná selektivita vypnutí postiženého úseku
5. Stejně rychlé vypínače schopné provést vypínací cyklus dostatečně rychle
6. Vhodné individuální nastavení ochran

1.2.4 Funkce OZ

Při využití DO není první stupeň nastaven na chránění celého vedení, proto se realizuje tzv. prodloužená OZ charakteristika, která je uvedena na obrázku 4.



Obrázek 4: Funkce OZ s prodlouženou charakteristikou [27]

Přerušovanou čarou je vyznačena prodloužená charakteristika, plnou čarou charakteristika vlastní ochrany. Prodloužená charakteristika je obvykle nastavena na 120 % impedanční délky vedení.

Nesoudobosti vypnutí poruchy lze předcházet i vazbou DO. Principiálně se jedná o to, že DO působící v první zóně předává signál po přenosovém kanálu DO na druhém konci vedení. Tento způsob je schopen selektivně ochránit celou impedanční délku vedení v základním čase. Tento princip se v praxi dále dělí na tři podvarianty:

1. **Strhávání:** DO po obdržení informace z protějšku vypíná, a aby se zamezilo chybnému vypnutí, je působení ochrany podmíněno náběhem vyšší zóny nebo popudu.
2. **Uvolňovací systém:** Signál přijatý z protějščí ochrany uvolňuje v DO přesahovou zónu a krátkodobě se tak prodlužuje dosah rychlého chránění. Tento princip obnáší tu nevýhodu, že probíhá během poruchy, tedy za značného rušení.
3. **Blokovací systém:** Je negací systému uvolňovacího, díky čemuž se také ztrácí nevýhoda přenosu signálu během zkratu, jak tomu bylo u uvolňovacího systému.

1.2.5 Důvody a výhody užití

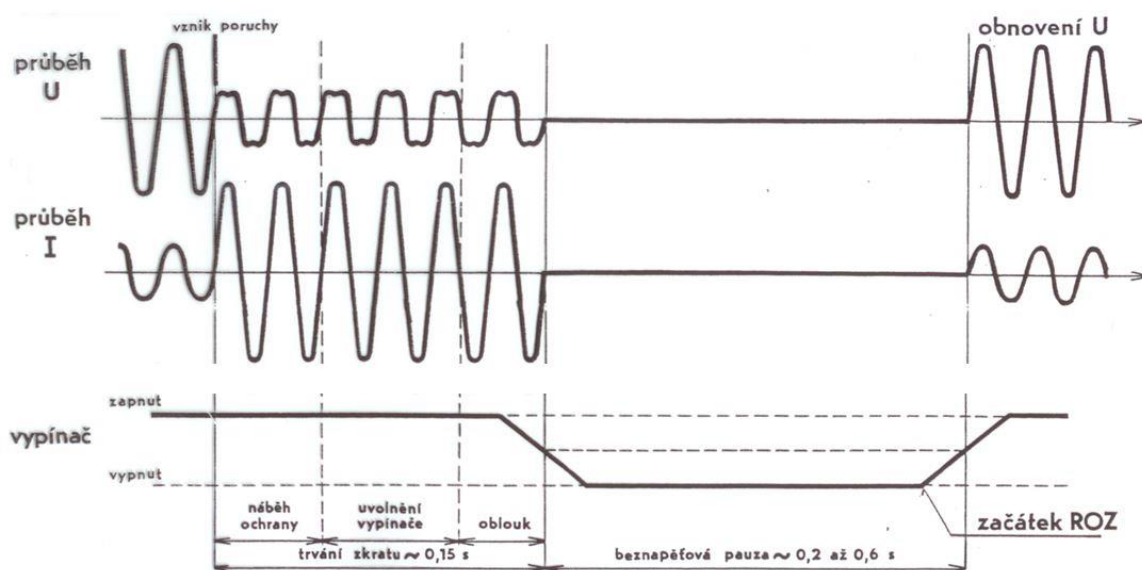
Poruchy venkovních vedení mohou být trvalého charakteru, či pouze charakteru přechodného. Používané ochrany jsou spolehlivě schopny rozpoznat výskyt i místo poruchy, nedokážou však predikovat, zdali bude porucha trvalá nebo snad přechodná.

Při některé z trvalých poruch, kterými může být například porušení izolátoru nebo trvalé překlenutí vodiče se zemí a podobně, musí dát ochrana povel k definitivnímu odpojení daného vedení. Avšak naprostá většina poruch (75 – 90 %) na venkovních vedeních je charakteru přechodného. Obecně vzato se jedná o problémy spojené s atmosférickými přepětími, zapálení oblouku cizími předměty, přiblížení vodičů atd. (příčinami poruch se budu zabývat dále). U výše zmíněných přechodných poruch obvykle stačí přerušit krátkodobě přívod napětí. Poté dojde k deionizaci okolního prostředí a porucha zmizí. Dlouhotrvající odpojení vedení s takovouto poruchou by bylo zbytečné a výrazně by navyšovalo beznapěťové stavy. Ty spadají do problematiky kvality energie, která je v dnešních dnech často diskutována. S vyvíjející se technologií se snažíme zlepšovat kvalitu všeho, a ani energetika nezaostává. Zde se za jeden z aspektů kvality dá považovat trvalost napájení, bezporuchovost a spolehlivost jako celek. K výraznému zlepšení došlo při vyvinutí zařízení pro rychlé opětivé zapínání vedení – systém OZ.

Funkce OZ je následující:

1. Ochrana zjistí poruchu a v nejkratším možném čase dá povel k vypnutí daného vedení.
2. Po předem nastaveném časovém intervalu dává systém signál k opětovnému zapnutí vypínače, respektive vedení.
3. A) Pokud byla porucha během krátké beznapěťové pauzy odstraněna, pak říkáme, že byl cyklus OZ úspěšný a dodávka elektrické energie může dále pokračovat.
B) Ukáže-li se však, že porucha stále trvá, pak dochází automaticky k opětovnému a tentokrát už k trvalému odpojení vedení. Tento cyklus považujeme za neúspěšný.

V praxi se celý proces dá znázornit i graficky, což je pro představu názornější. Na obrázku 5 lze vidět typický časový průběh napětí a proudu v závislosti na průběhu spínání výkonového vypínače. Průběh vyobrazuje hodnoty úspěšného cyklu OZ.



Obrázek 5: časový průběh napětí a proudu v závislosti na průběhu spínání výkonového vypínače [1]

1.2.6 Stabilita synchronních strojů

Správná funkce OZ má nezměrný vliv na elektrické poměry v soustavě a tím pádem také na všechny třífázové točivé stroje. Jedním ze zásadních aspektů je vliv na synchronní stroje a udržení jejich stability. Pro zajištění statické a dynamické stability synchronních strojů je požadavkem, aby proces OZ byl co nejkratší a porucha byla co nejrychleji zažehnána. Z fyzikálního principu se jedná o to, že v okamžik zkratu

poklesne hodnota předávaného činného výkonu do sítě. Následným efektem je to, že na hřídeli alternátoru vzniká přebytek točivého momentu, rotor se začne urychlovat a vzroste zátěžný úhel stroje. Tento jev se dá omezit právě rychlým odpojením zkratu. Při úspěšném rychlém OZ se minimalizuje nárůst zátěžného úhlu stroje, maximalizuje se dynamická stabilita stroje a i pře-kývnutí rotoru alternátoru je sníženo. [1]

1.3 Druhy OZ

1.3.1 Členění dle počtu vypínaných fází

Jednofázové opětné zapínání

Využívá se aktivně v sítích VVN. Důvody jsou prosté. Síť je účinně uzemněná a při spojení jedné fáze se zemí dochází k jednofázovému zemnímu zkratu. Jednofázový zemní zkrat je zcela jistě nejčastější poruchou u těchto sítí, mimo jiné bývá obvykle přechodného charakteru. Z těchto důvodů se u VVN používá jednopólový cyklus OZ. Je zcela zřejmé, že rozvodny v příslušných okruzích musejí být vybaveny nezávislými jednopólovými výkonovými vypínači. V případě, kdy je cyklus OZ neúspěšný, dochází k odpojení všech tří fází.

Třífázové opětné zapínání

Používá se v sítích VVN ale i VN ve chvíli, kdy dojde k dvoufázovému či trojfázovému zkratu. Pro příklad u sítí VN při spojení jedné fáze se zemí mluvíme o zemním spojení. Není zde tedy prováděn jednopólový cyklus OZ, ale pouze třípólový OZ. Třípólový cyklus OZ je striktně omezen požadavkem zachování synchronního chodu soustavy, která je během cyklu OZ rozpojena. Beznapěťová pauza je proto volena do 0,2 sek.

Kabelové sítě jsou charakteristické svými obvyklými třífázovými poruchami. Obvykle zde dochází k porušení izolace a přenesení poruchy do sousedních fází, následkem čehož vzniká třífázový zkrat. To však ještě není důvodem pro použití třífázového OZ. Ba naopak tyto poruchy jsou takřka vždy trvalého charakteru a použití OZ by tedy nemělo význam.

Pozn.: Dvoupólového cyklu opětného zapínání, tedy při poruše mezi dvěma fázemi, se u sítí VVN nepoužívá. Provoz jen jedné nepoškozené fáze by byl nesmyslný, nezajistil by udržení stability paralelní spolupráce synchronních strojů.

1.3.2 Dělení dle rychlosti vybavení

Obecně lze říci, že pro cykly OZ v sítích VVN je výhodné využití vypínačů s co nejkratším vypínacím časem (řádově max. desítky milisekund). Těmto podmínkám vyhovují dnes hojně využívané vakuové vypínače nebo vypínače SF6. Je požadováno rychlé vypnutí a také aby činnost celého cyklu byla co nejrychlejší. Je třeba však mít na paměti, že ne vždy musí být vyžadováno, aby bylo vše ohledně OZ „nejrychlejší“. Konkrétně se jedná o beznapěťové pauzy. [19]

Rychlý cyklus OZ

Rychlého cyklu je využíváno u nižších napětí, obvykle max. do hodnot 110 kV. Jedná se o proces, při kterém je beznapěťová pauza relativně krátká (řádově desítky ms). Tyto krátké časy obvykle stačí pro obnovení izolačních vlastností postiženého vedení.

Pomalý cyklus OZ

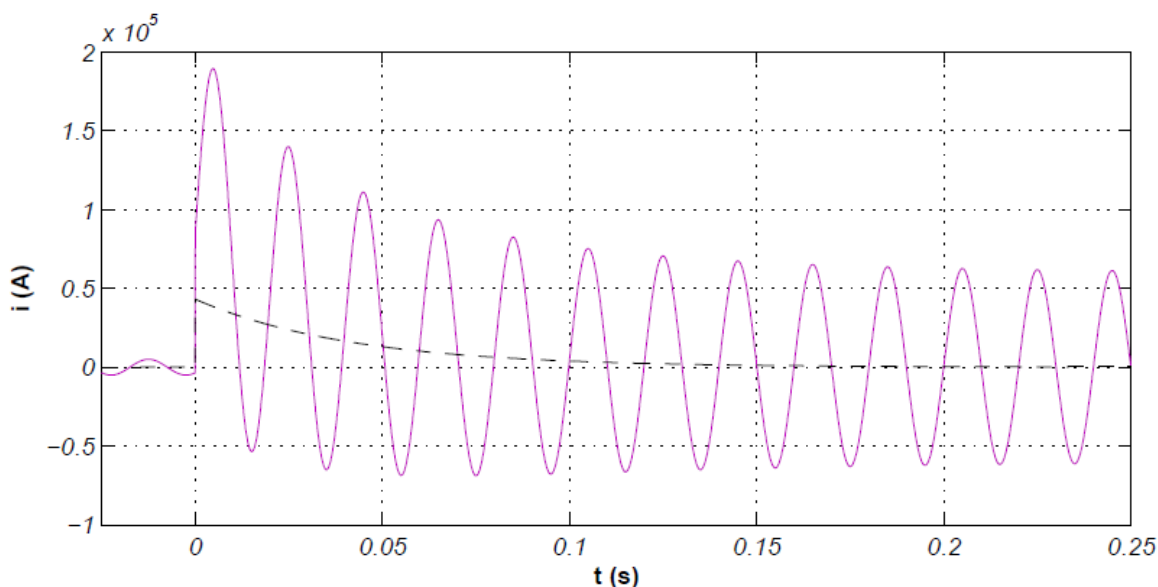
Sítě ZVN nebo vyšší se dostávají do přímého rozporu s požadavkem na co nejrychlejší cyklus OZ a s požadavkem na úspěšný cyklus OZ. Bohužel nejsme schopni globálně měnit fyzikální vlastnosti běžného prostředí a při poruchách na takto vysokém napětí je stále nutné dodržet minimální potřebné časy pro deionizaci vzduchu. Vodivý kanál elektronů vytvořený při zkratu může být podpořen kapacitním vlivem při odpojení fáze indukovaným napětím. Se zvyšující se délkou vedení je proto nezbytné zvyšovat i délky beznapěťových pauz a podpořit takto požadavek na úspěšný cyklus OZ.

1.4 Zkrat

1.4.1 Zkrat obecně

Zkratem nazýváme poruchový stav, při kterém dochází k přímému uzemnění některého z vodičů vedení, či k překlenutí dvou nebo více fází vedení. Zkrat je typickou poruchou pro sítě s přímo uzemněným uzlem, proto tedy může vznikat jak na vedení NN, tak na vedení ZVN. Nás však bude zajímat zkrat na vedení VVN. Vedení VVN jak již bylo zmíněno, je také sítí přímo zemněnou, což pro nás s ohledem na zemní poruchy v praxi znamená jediné a to velké zkratové proudy. Při zkratování některého z vodičů VVN dochází v místě poruchy k poklesu napětí a obrovským proudovým tokům. Tyto nežádoucí proudové toky jsou doprovázeny dynamickými ale i tepelnými účinky.

Zkraty na VVN jsou nejčastěji přechodného charakteru a díky funkci OZ jsou proto pouze krátkodobé, trvající řádově desítky milisekund. Během těchto chvil vznikají na vedení nepříjemné přechodové jevy v podobě nárazového zkratového proudu, avšak oteplovací účinky se dají díky rychlostem ochran zanedbat. V případě, že by zkrat trval delší dobu, došlo by k jeho ustálení a zanedlouho by následkem vysokých teplot následovalo trvalé zničení vedení. Na obrázku 6 je vidět průběh nesymetrického zkratového proudu, který je mnohonásobně častější nežli symetrický zkrat.



Obrázek 6: Nesymetrický zkratový proud [2]

1.4.2 Příčiny zkratu s ohledem na různé vlivy

Příčinou zkratové poruchy mohou být nejrůznější a i v dnešní době může být problémem určit příčinu vzniku poruchy. Protože naprostá většina poruch na venkovním vedení je pouze přechodná, je obtížné určit, co jí zapříčinilo. Poruchy vzniklé za extrémních atmosférických podmínek, jakými může být například bouřka, hurikán, či jiné extrémní výkyvy počasí, napovídají, za čím problém stojí.

Bouřka

Pokud dojde na vedení k poruše během jevů známých jako bouřka (storm), skoro vždy se dá předpokládat, že za problémem stojí bleskový výboj. Bleskový výboj je jev stále ne úplně prozkoumaný, přesto o něm víme neblahá fakta. Během atmosférického výboje dochází k ionizaci vzduchu a krátkodobému proudovému toku vodivým kanálem vzniklým přímo mezi bouřkovým mrakem a Zemí. Blesk dosahuje extrémních hodnot tekoucího proudu. Jak víme už od dob Maxwella, elektromagnetická vlna se

nedá rozdělit, a proto při těchto tocích elektronů kolem vodivého kanálu vzniká i velké magnetické pole. Všechny elektricky vodivé materiály nacházející se v tomto magnetickém poli, v souladu s Faradayovým indukčním zákonem, do sebe indukují elektrické napětí. Toto je právě problém dlouhých a dobře vodivých elektrických vedení VVN. Na takto vzniklé přepětové rázy po čas bouřek, reaguje i ochrana OZ.

Ptactvo

Příroda – místo, kde vše začíná i končí. Opět podobně jako v předchozím bodě se potýkáme s problémem přírodním. Bouřka je charakteru živelného a pro nás v současné době nezkrotná, podobně je tomu tak s faunou a ptactvem. Obecně vzato je snahou naučit se přírodu respektovat a chránit, naneštěstí pro nás jsou ptáci vybaveni schopností létat, čímž komplikují celou situaci. Co je pro jednoho nezbytnou součástí elektrizační soustavy, může být pro druhého vyhlídkou či místem k odpočinku.

Nejčastěji dochází k problémům spojeným s ptactvem usedajícím na konzole nebo izolátorové propojky. Proti těmto problémům se již aktivně bojuje nasazováním ochranných hrotů proti dosedu ptactva. Byly detekovány i případy, kdy větší množství ptáků hromadně vzlétlo přímo z vodiče, načež došlo k rozhoupání daného vodiče a následnému propojení s vodičem sousedním. V neposlední řadě ptáci usedající na izolátorové konzole, kde mohou izolátory znečišťovat. I díky těmto nevinným skutkům ptactva vzniká vyšší pravděpodobnost narušení izolační schopnosti izolátorů.

Cizí předmět

Další z možných příčin poruchy jsou cizí předměty vytvářející nežádoucí vodivý spoj. Nejčastěji se jedná o věci spadlé na vedení, tedy typickým příkladem je větev vytvářející mezifázový zkrat. Na příčině může být i cizí zavinění a ne pouze nahodilé, avšak úmyslné. Vandalismus je spíše předmětem VN, ovšem lidská nenechavost se může projevit i u vedení VVN.

Neobjasněno

Jedná se o obsáhlou kategorii. Poruchy vzniklé z neznámých důvodů zahrnují zhruba 70 % všech vzniklých poruch. Již jsem zmínil, že poruchy vznikají v důsledku aktivit přírodních živlů – fauny jakožto ptactva a také flory jakožto vegetace. Ať už to zní jakkoliv pošetile, zdá se, že příčiny by měli být opět nalezeny v přírodě. Neobjasněné cykly OZ jsou velice nepříjemnou, a také diskutovanou záležitostí. Dosavadní výsledky

z pokusů o objasnění tohoto efektu jsou zajímavé avšak stále bez požadovaných výsledků. Údaje hovoří o tom, že většina neobjasněných OZ nastává v ranních hodinách, což je základní údaj, podle kterého dokonce vznikl fenomén známý jako ranní efekt (morning effect).

1.4.3 Ranní efekt

Ranní efekt, nebo chcete-li ranní jev, spadá do kategorie neobjasněných jevů. Fyzikální příčina je často kladenou otázkou a názory jsou různé. Vznikly už i například teorie o zvýšené aktivitě hmyzu, který nahodile vytvoří ionizovaný vodivý kanál. Další teorie se zakládá na vysokých vlhkostech vzduchu spojených s rosným bodem. Jiná teorie se opírá o prosté kálení ptactva. Nabízejí se ovšem i jiné možnosti. Někdo by mohl tvrdit až konspirační teorie, podle mě však na poli vědy musí být prostor i pro nové názory, obzvláště pokud se nedaří prokázat ty obecně známé. Jedním z takovýchto zajímavých názorů jsou možná rušivá elektromagnetická vlnění, jimiž může být sekundární vesmírné záření či sluneční vítr. Touto problematikou se rozsáhle zabývají zdroje [8] [18] [30].

Ze vzpomínek Ing. Martina Majnera

„Vedení o tak vysokém napětí jakým je 400 kV bezesporu je, má svoje zvláštnosti. Mezi ně patřil tzv. „ranní jev“, který nás po nějakou dobu, v určitém ročním období, zneklidňoval. Tehdy po ránu vypadávalo distanční ochranou vedení 400 kV směrem na jihočeský Dasný. Vždy okolo šesté hodiny. Zarážející byla pravidelnost, s níž k výpadku docházelo, aniž pro to byly nějaké fyzikální nebo provozní důvody. Montéři údržby vvn vylezli snad na všechny stožáry příslušného úseku vedení a zkontrolovali izolátory. Na nic nepřišli a výpadky pokračovaly. Náhodný provozovatel nahlásil, že záblesky viděl uprostřed pole. Závěr se může zdát neuvěřitelný, ale byla to oficiální verze. V určité lokalitě, poblíž hranic Západočeského a Jihočeského kraje, kde vedení 400 kV cca 20 m nad zemí procházelo, byly bažiny. A z nich vždy po ránu, za příznivých klimatických podmínek, vystoupal k obloze mrak komárů. Až mezi vodiče. A tak vlhký hmyz spáchal hromadnou sebevraždu, mezi vodiči se zablesklo a v rozvodně Chrást vypadl vývod 400 kV. Ranní jev po nějakém čase zmizel. Aniž jsme se o to nějak přičinili. Možná zafungovala příroda a zdecimovala zdejší kolonie komárů, možná bažina vyschla.“

[16]

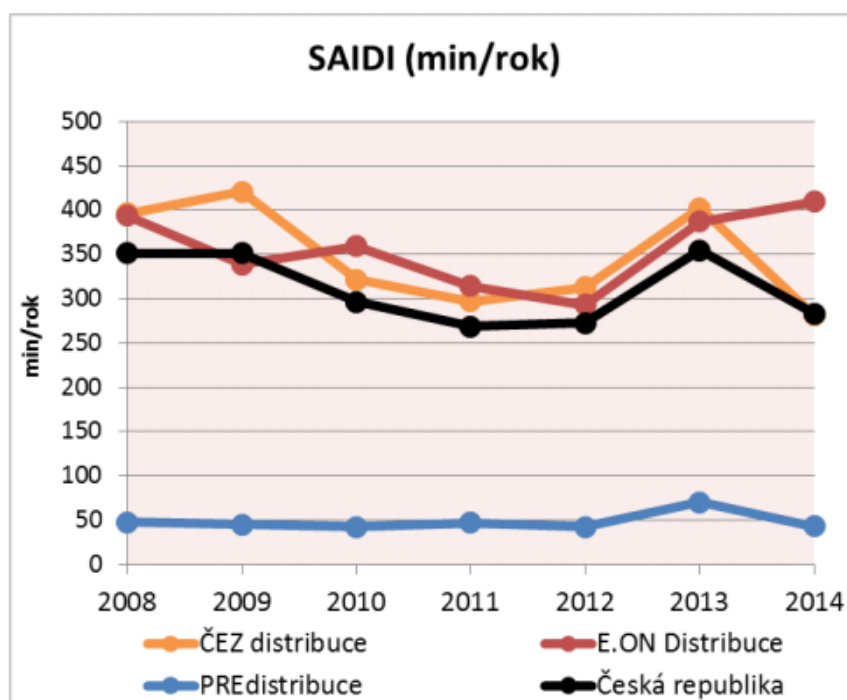
1.4.4 Zkrat a úspěšnost cyklu OZ

Nastávají případy, kdy nedojde k úspěšnému cyklu OZ. Neznamená to však, že by automatika OZ byla v poruše. Není-li cyklus úspěšný, je to většinou tím, že porucha je charakteru trvalého, nikoliv přechodného. Avšak povětšinou je cyklus OZ úspěšný a to přibližně v 85 % případů.

1.4.5 OZ a přímý vliv na kvalitu energie

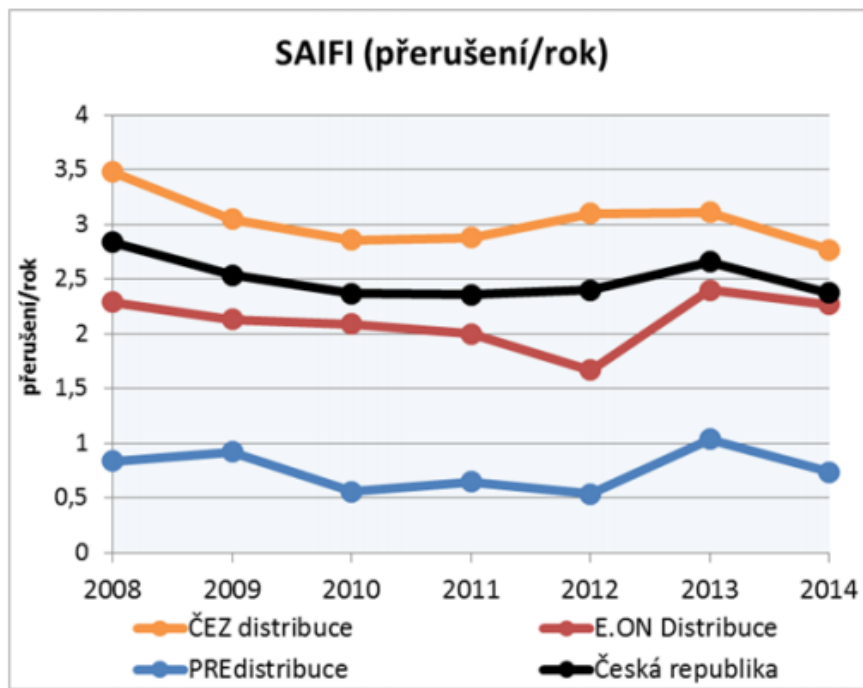
Kvalita energie je širokosáhlý pojem, který nejde popsat několika slovy a ani není předmětem této práce. Proto pouze vysvětlím souvislost OZ se spolehlivostí dodávky energie.

Kvalita elektrické energie je dnes velice často diskutované a soustředěné téma. Pro dodavatele i pro zákazníka je důležité, aby elektrická energie byla vždy a všude přístupná. Dodavatelé jsou za přerušení dodávky na dobu delší jak 3 minuty penalizováni. Pro tyto problémy je využíváno tzv. SAIDI – *Systémový ukazatel trvání přerušení u zákazníků*, neboli System Average Interruption Duration Index. V dnešních podmínkách si už fungující a stálou síť bez OZ jen těžko představit, hodnoty SAIDI by byly neporovnatelně vyšší. Na dalším obrázku je uvedeno SAIDI za poslední roky.



Obrázek 7: SAIDI - hodnoty zaznamenaná ERÚ za roky 2008 až 2014 [12]

Dalším udávajícím faktorem pro kvalitu energie, resp. pro spolehlivost dodávky elektrické energie je SAIFI neboli *Systémový ukazatel četnosti přerušení u zákazníků v soustavě v hodnoceném období* – vychází z anglického System Average Interruption Frequency Index. [12]



Obrázek 8: SAIFI - hodnoty zaznamenaná ERÚ za roky 2008 až 2014 [12]

Zde je přínosnost OZ taktéž nediskutabilní. Ukazatelů spolehlivosti dodávky je více, avšak není potřebné ani vhodné je zde více rozebírat.

2 Problematika OZ na vedení VVN – Konkrétní případy E.ON

V předchozí kapitole bylo stručně vysvětleno, v čem spočívá problematika OZ na vedení VVN. V této části se budu věnovat bližšímu přiblížení této problematiky v praxi. Pokusím se výše popsané záležitosti přirovnat k realitě fungující na vedeních VVN v lokalitách působnosti společnosti E.ON.

2.1 Vedení VVN

V dnešních dnech na území České republiky fungují výrobní společnosti – E.ON Trend zabývající se především výrobou el. energie a E.ON Servisní, která je zodpovědná za provoz a údržbu distribučních sítí.

Distribuční území společnosti E.ON Distribuce, a.s. zaujímá rozlohou přibližně 360 km délky přes celé jižní Čechy a jižní Moravu. Na tomto území se line více než 3150 km provozovaných vedení 110 kV.



Obrázek 9: Mapa ČR s vyznačením pole působnosti společnosti E.ON [26]

Za zkoumané období 2014-2016 došlo na vedení VVN po celé oblasti působení společnosti E.ON na území ČR k 516 poruchám. Z konstrukčního hlediska je na vedeních obvykle použito vodičů AlFe 240/39, AlFe 185/31, AlFe 6 - 150 výjimečně pak AlFe 6 o průřezu 450 mm². Lze se však setkat i jinými typy vodičů. Informací spojených s používaným vybavením na vedení jsem čerpal z [13].

2.2 Chránění vedení VVN

Nejběžněji používaným vodičem je lano AlFe 6 o průřezu 240mm^2 . Pro tento vodič platí následující hodnoty:

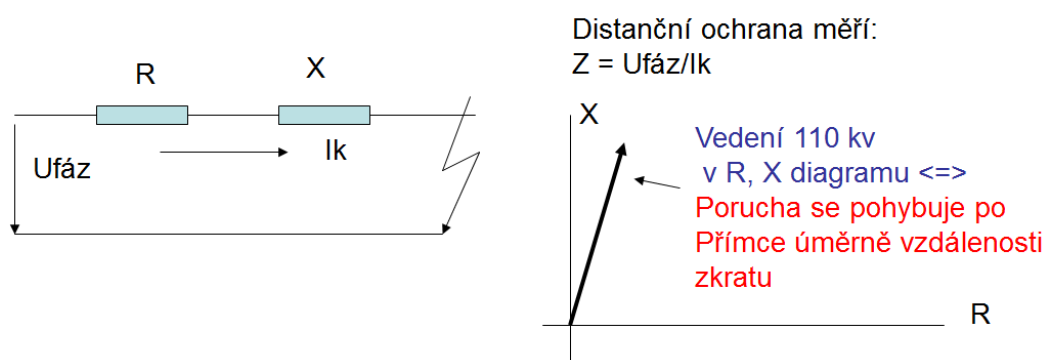
$$R = 0,13 \text{ } \Omega/\text{km}$$

$$X = 0,40 \text{ } \Omega/\text{km}$$

$$Z = 0,42 \text{ } \Omega/\text{km}$$

$$\phi = 72^\circ$$

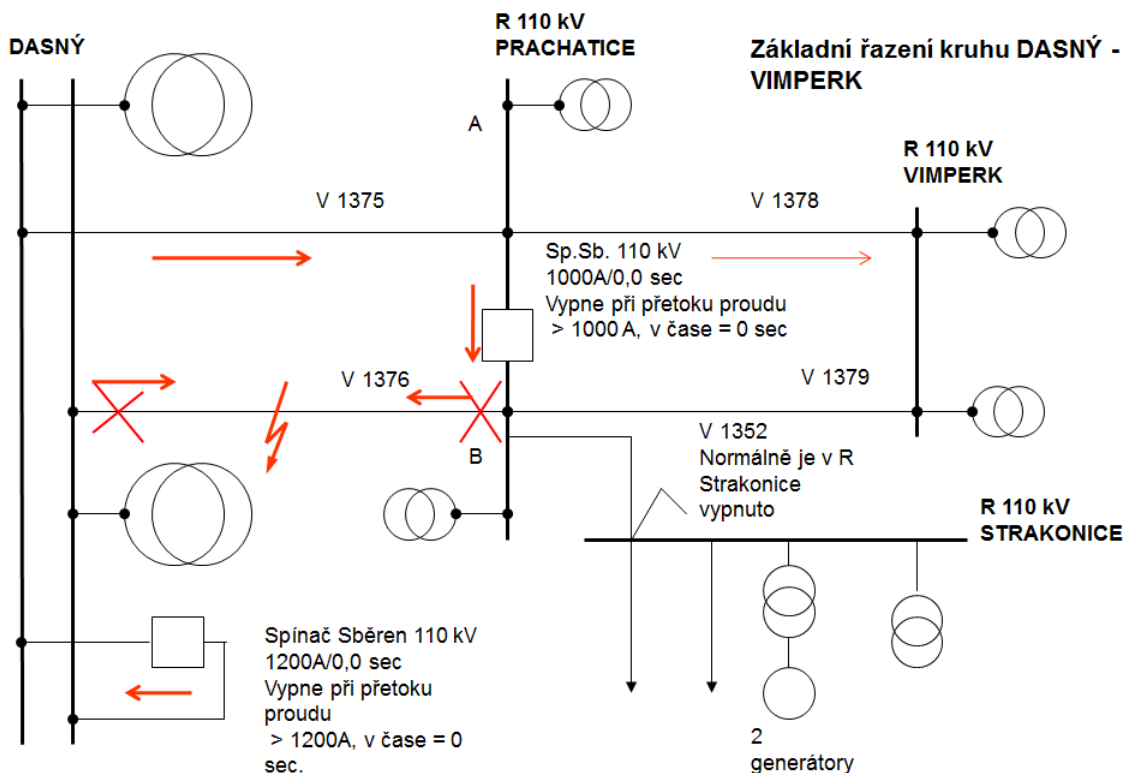
Při zkratu je proud vedením určen primárně parametrem X , jak je vidět $X \gg R$, přičemž indukční reaktance X je přímo úměrná vzdálenosti poruchy.



Obrázek 10: zjednodušený princip měření distanční ochranou [13]

Síť je provedena jako kruhová, což umožňuje využití tak zvaného principu můstků, který je zde v ČR prozatím jedinečný a velice výhodný. Princip můstků je způsob ochrany prostřednictvím distančních ochran. Jeho výhoda spočívá ve vyšší spolehlivosti a stálosti dodávky elektrické energie. Princip je nejjednodušší vysvětlit na typovém příkladu – obrázek 11 a obrázek 12. Použité obrázky jsou taktéž čerpány ze zdroje [13].

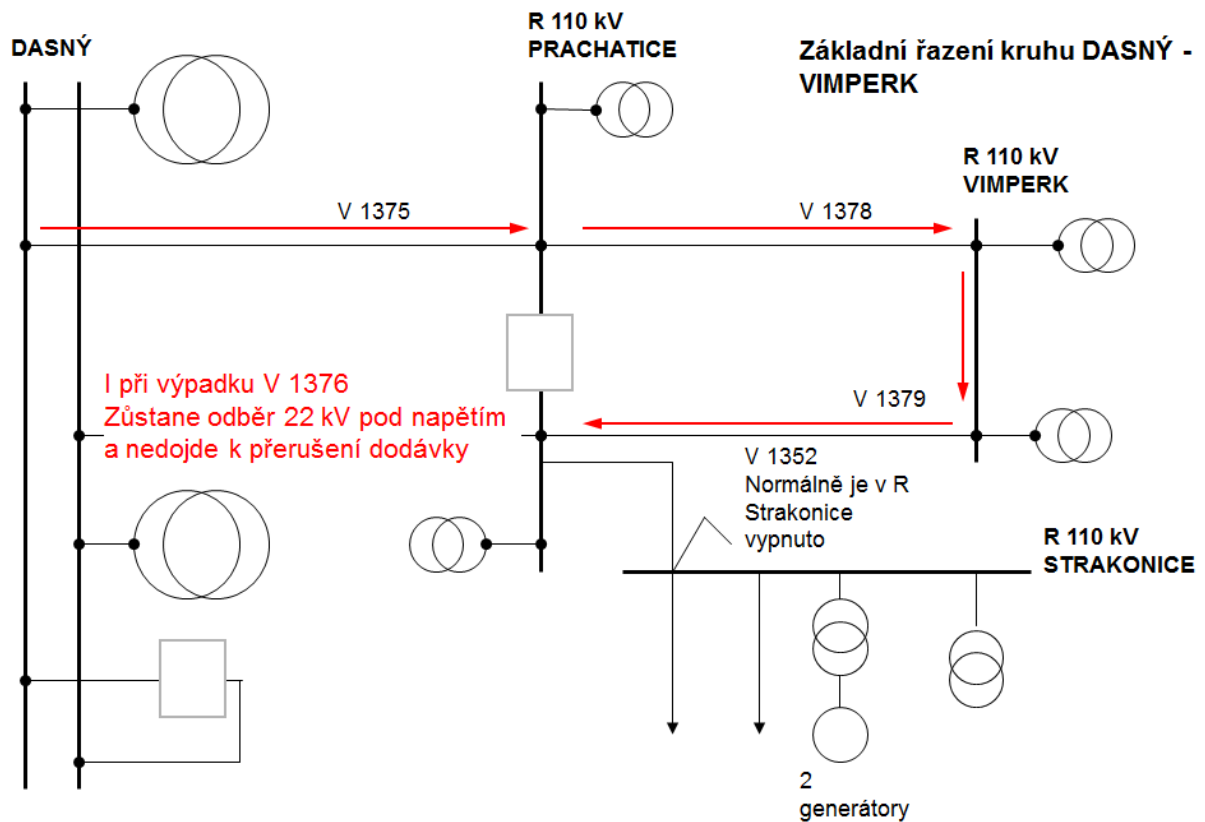
Současně vypnuté vypínače při poruše na V1376



Obrázek 11: Typový příklad můstkového zapojení [13]

Na výše uvedeném obrázku je znázorněna typová situace, kdy na lince V1376 došlo ke zkratu. Dvojice vypínačů na koncích tohoto vedení tvoří tzv. rozpadové místo. Z důvodu zálohování jsou dvě rovnocenné ochrany stejně nastavené – obě provádí OZ – pouze si vyměňují informaci o tom, jakou fází vypnuly. Ovšem podstatné je to, že i po vypnutí jednoho zkratovaného vedení VVN (V1376) je stále aktivní vedení druhé (V1375). Tím pádem zůstává linka zálohována a vedení 110 kV i vedení 22 kV je dále pod napětím. Viz následující obrázek 12.

Konzum zůstane pod napětím



Obrázek 12: Můstkové zapojení - spotřebitelé zůstávají napájeni i po zapůsobení ochran [13]

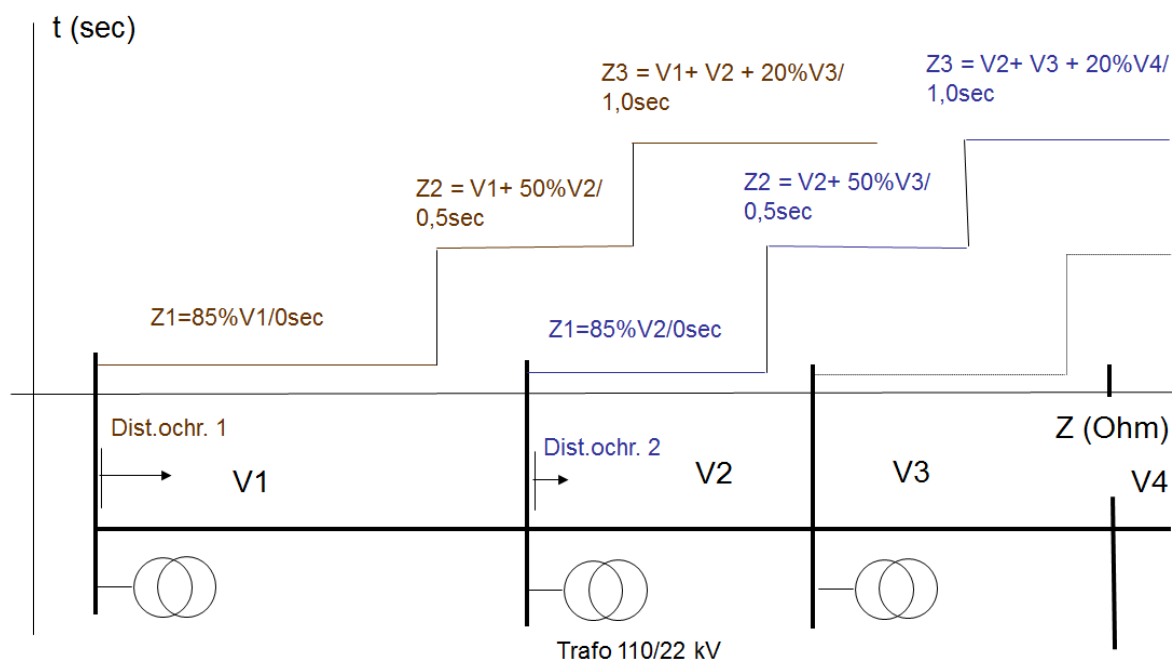
2.3 Nastavení ochran

2.3.1 Zóny - časové odstupňování

E.ON provozuje distanční ochrany v následujícím nastavení:

Zóna 1 – (Z1), zóna 1B jen pro OZ – (Z1B), zóna 2 – (Z2), zóna 3 a popudy – (Z3).

Z1 je nastavena bez časové prodlevy $t = 0$ sek, pro Z2 $t = 0,5$ sek a pro Z3 je nastaveno $t = 1$ sek. Každá z ochran zasahuje do určité vzdálenosti daného vedení, pro snazší představu je toto nastavení vyobrazeno na obrázku 13.



Obrázek 13: Stupňovité schéma nastavení distančních ochran [13]

- Zóna 1 – chrání 85 % vlastního vedení.
- Zóna 2 – chrání celé vlastní vedení a polovinu následujícího vedení v obvyklém čase 0,5 sek.
- Zóna 3 – záložní dosah.
- Popudy vpřed – zálohově chrání transformátor 110/22 kV a sběrný 22 kV.

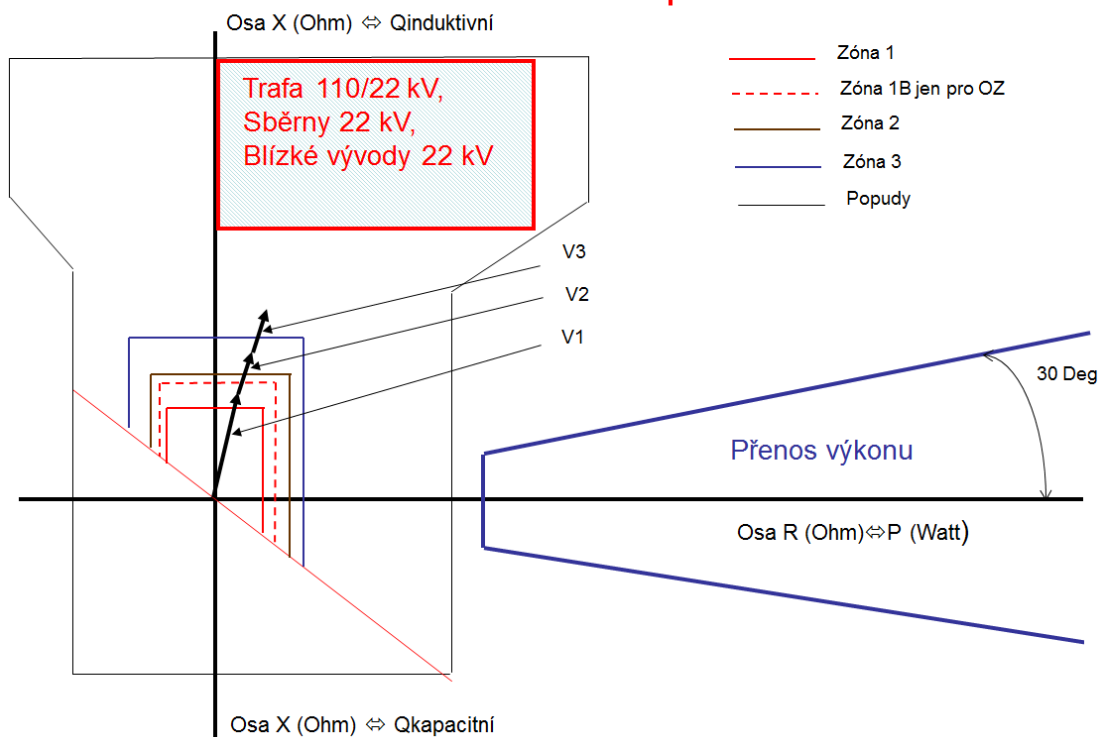
2.3.2 Distanční ochrana a její impedanční a směrové nastavení

Jak již víme, činnost distanční ochrany je dána funkcí jednotlivých členů. Těmi jsou obvykle:

- Popudový člen – zjišťuje vznik zkratu v chráněné soustavě.
- Měřicí člen – vyhodnocuje pokles impedance pod nastavenou hodnotu.
- Směrový člen – určuje, zdali leží zkrat ve směru působnosti ochrany.
- Časový člen – odpočítává přednastavenou časovou prodlevu vybavení ochrany.
- Logický člen – rozhoduje o vypnutí vedení.

Toto je teoretické složení DO, avšak zásadní pro funkci ochrany je její impedanční charakteristika, v které jsou určeny rozsahy jednotlivých vypínacích zón i směrovost ochrany. Na obrázku 14 si ukážeme, jak vypadá nastavení DO na VVN – E.ON.

Jak to vidí ochrana impedančně



Obrázek 14: Impedanční nastavení distančních ochran [13]

Obvykle se používá distanční ochrany *7SA511*. Globálně po celém území působnosti E.ON v ČR odpovídá poruchovost zhruba jedné výměně jednoho systému ochran ročně.

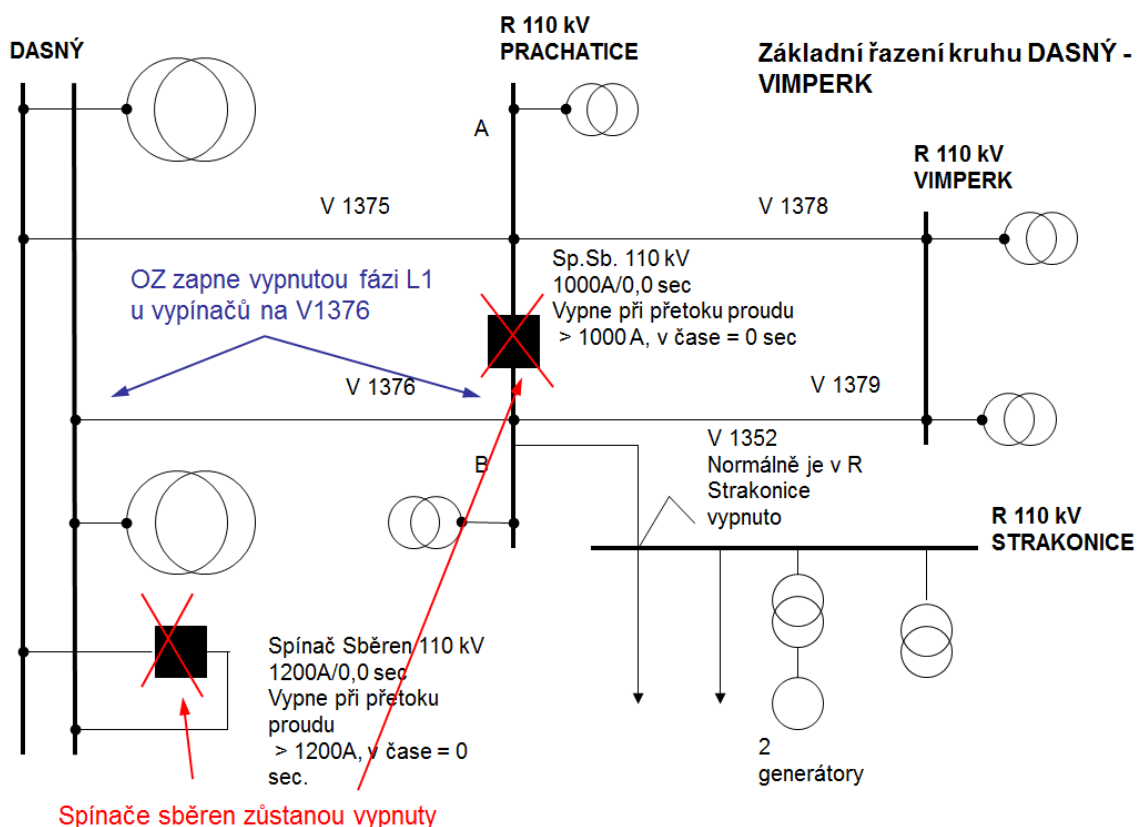
2.4 Vybrané příklady výpadků vedení s vybavením OZ

Pro názornost jsem společně ve spolupráci se společností E.ON vybral dvojici případových poruch na vedení VVN. Jedná se o konkrétní skutečné výpadky na vedeních. Při výběru těchto poruch byl kladen důraz na to, aby poruchy demonstrovaly možnou rozdílnost poruch. V první poruše lze vysledovat průběhy proudů a napětí během typického přímého zkratu, zatímco v druhém případě můžeme vidět, k čemu dojde, je-li zkrat přemostěn přes relativně větší odpor. Při sledování charakteru průběhu poruchy lze také vysledovat a klasifikovat typ poruchy, což by mohlo pomoci při objasňování neobjasněných poruch.

2.4.1 Typická porucha

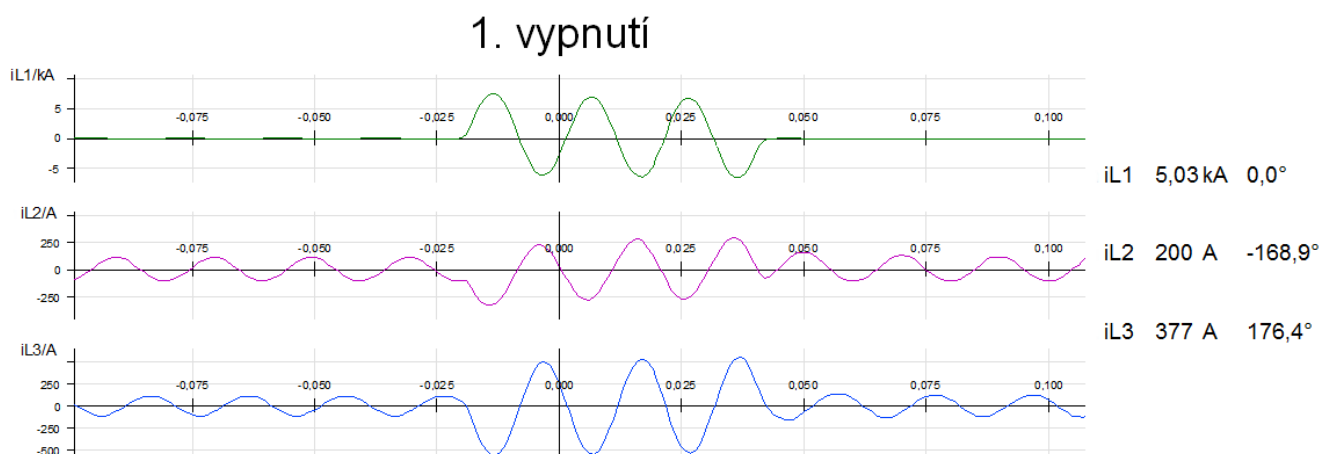
1. Případ – typická porucha, kdy došlo k jednofázovému zkratu na vedení. Jedná se o vedení V1376 mezi páteří rozvodnou Dasný a transformační rozvodnou Prachatice.

Je odměřena bez U pauza (1,0 sec) a OZ zapne fázi L1 vypinačů na V 1376

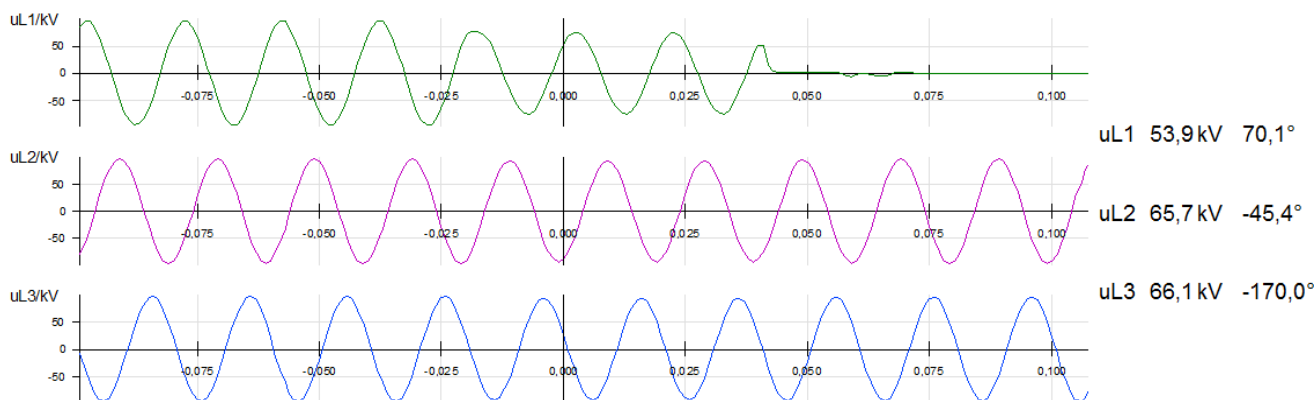


Obrázek 15: První cyklus OZ [13]

V prvním okamžiku zkratu vypíná distanční ochrana fázi L1 a to jak ze strany Dasný, tak ze strany rozvodny Prachatice. Na následujícím obrázku lze vidět průběhy napětí a proudů. Za povšimnutí stojí znázorněná rychlost vypnutí zkratu odpovídající zhruba jedné a půl periodě. Stejně tak je na průběhu krásně vidět zřetelný zkratový proud o hodnotě převyšující 5 kA. Hodnoty napětí po čas vypnutí fáze L1 zůstávají blízké hodnotě 66 kV.

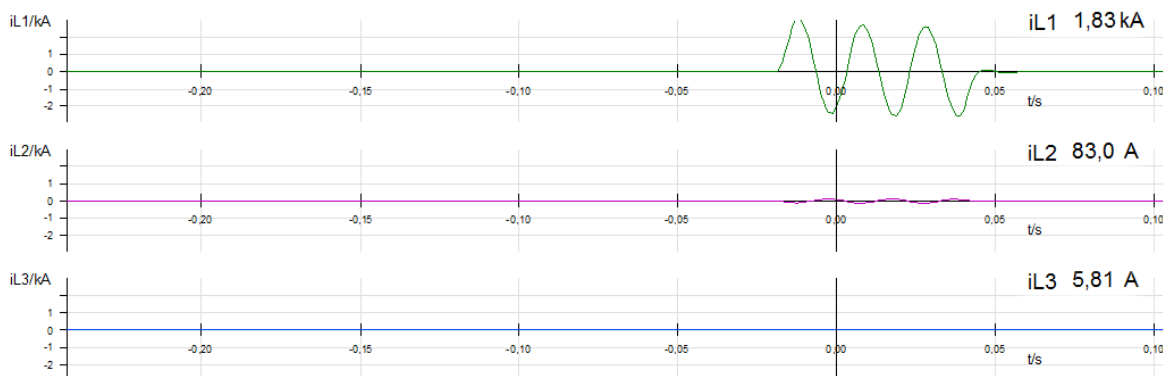


Obrázek 16: Průběh proudů po prvním vypnutí OZ [13]



Obrázek 17: Průběh napětí po prvním vypnutí OZ [13]

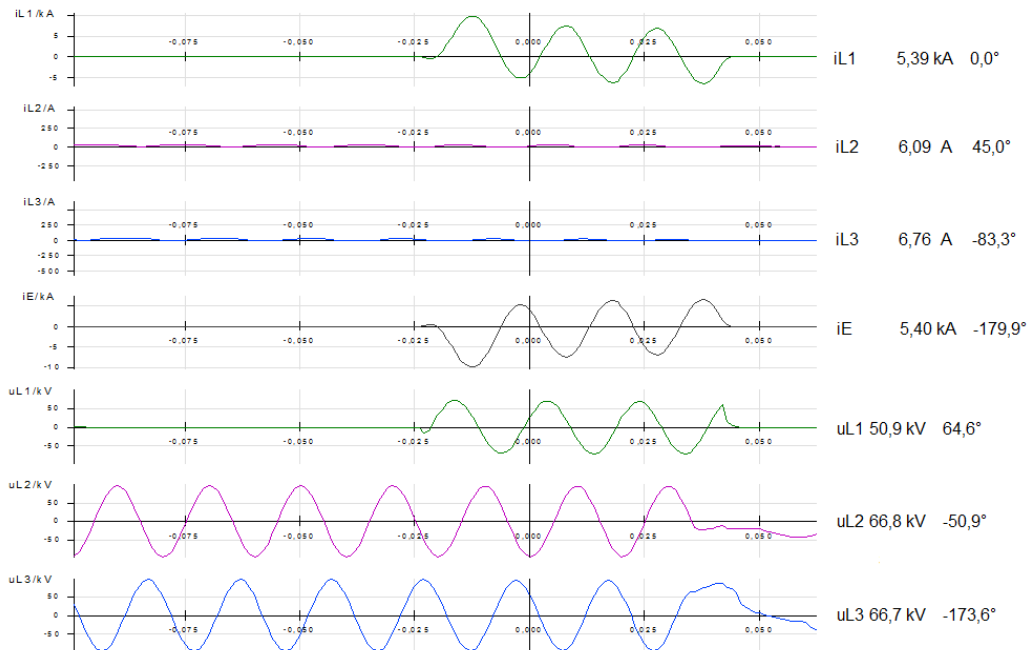
Než došlo k vypnutí postižené fáze, došlo na spínači sběren ke krátkému přetoku zkratového proudu ve fázi L1 – zřejmě z obrázku níže.



Obrázek 18: Přetok proudu před vypnutím postižené fáze [13]

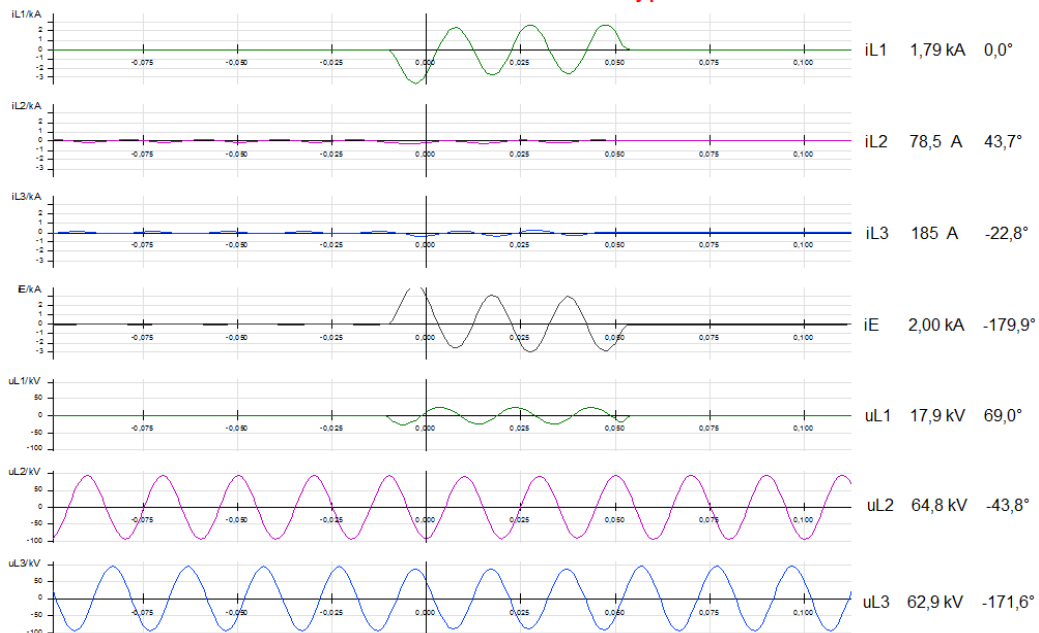
Na následujícím obrázku je už vyobrazen průběh opětovného pokusu o zapnutí vedení prostřednictvím OZ. Porucha ovšem přetrvávala, a tak došlo k trvalému odpojení vedení. Kvůli tomu zůstává linka V1376 odpojena, avšak konzum je právě díky můstkové metodě zálohovaný, a tak je napájený z druhé strany přes vedení V1375, V1378 a V1379. Průběhy definitivního vypnutí z pohledu obou rozvodných stanic vypadaly následovně:

Dasný – definitivní vypnutí



Obrázek 19: Definitivní vypnutí z pohledu rozvodny Dasný [13]

Prachatice – definitivní vypnutí



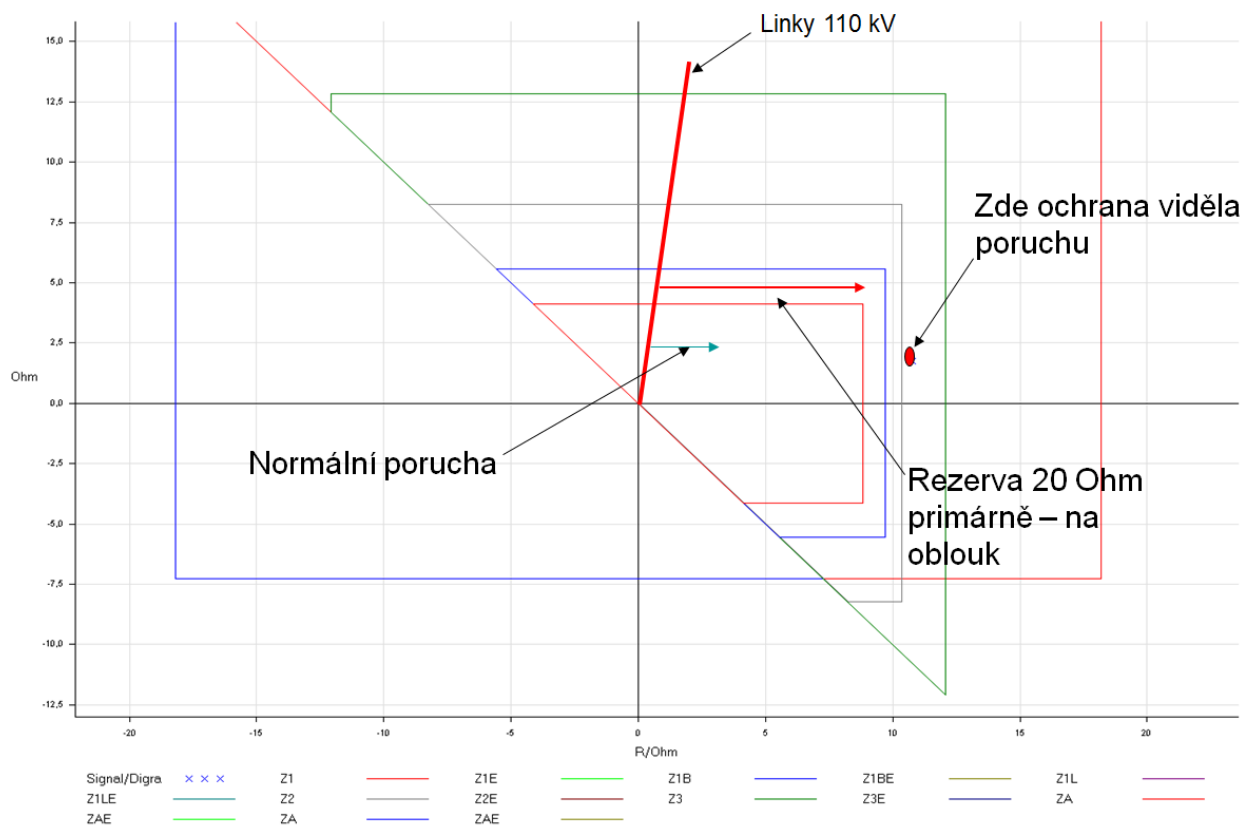
Obrázek 20: Definitivní vypnutí z pohledu rozvodny Prachatice [13]

Takto vypadá klasický průběh poruchy s funkcí OZ v případě neúspěšného obnovení napájecího napětí ve fázi. Jedná se o běžný případ. Porucha byla nejspíše způsobena cizím předmětem, který uzemnil fázi L1 či zničením izolátoru či jiným z běžných důvodů poruchy.

2.4.2 Netypická porucha

Druhá z vybraných poruch je naopak velmi netypickým případem, kdy vedení VVN bylo uzemněno lžící pracujícího bagru přímo pod vedením. Vzniklá porucha je zajímavá pro svou nepředvídatelnost. Lžice bagru po přiblížení k vedení vytvořila oblouk a způsobila nesprávné zapůsobení ochrany. Ačkoliv byla fáze vedení zkratována přímo se zemí, zkrat nebyl přímo kovovým zkratem a proudová cesta kladla odpor přes 20 Ω. Takovýto stav měl za následek zapůsobení ochran, ovšem zkrat byl pro ochrany viděn až ve třetí zóně nastavení DO.

V 1355 MIR porucha je viděna až ve třetí zóně – velký činný odpor



Obrázek 21: Porucha impedančně až ve třetí zóně [13]

Z charakteristiky DO lze vidět, že porucha byla skutečně atypická, nicméně i přes nepříznivé vlastnosti takového stavu byl zkrat identifikován a vypnut.

Během nehody nepřišel nikdo k úrazu. Následky nedbalosti nebo spíše jen nepozornosti můžete posoudit na další fotografii.



Obrázek 22: Vodič opálený po průtoku obloukového zkratového proudu [13]

3 Statistické vyhodnocení z let 2014 až 2016

Jedním ze základních pilířů této práce je tabulková statistika poruch na vedení VVN za roky 2014 až 2016. Z tohoto záznamového podkladu společnosti E.ON budu dále čerpat pro vytvoření vhodného statistického přehledu. V kapitole se soustředím výhradně na poruchy související s OZ. Výstupem této části by měla být názorná statistika s vypovídajícími hodnotami o tom, k jakým poruchám vlastně dochází, respektive čím jsou které poruchy charakteristické. Jednotlivé poruchy by měli být rozříděny dle různých charakterů vedení a dle různých vlivů. Tyto hodnoty by mohly napovědět více o faktu, proč k poruchám vůbec dochází.

3.1 Vstupní data a jejich zpracování

Na úvod je třeba krátce zmínit jakého typu statistika je a co jsem musel provést, aby bylo vůbec možné dosáhnout kýžených výstupních hodnot. K dispozici mi byla tabulka formátu MS Excel. Tabulka původně obsahovala přes 600 řádků a více jak 20 sloupců, což z ní činilo tabulku obsahující na 12 000 různých hodnot. Každý řádek představuje jednu poruchu, ke které připadají náležité informace v jednotlivých sloupcích. Ve sloupcích jsou například informace o tom, kdy která porucha započala a skončila, o tom, k jaké rozvodně porucha připadá nebo je zde uveden popis okolí a jiné. Tím nejzákladnějším údajem tabulky je, že obsahuje v součtu 140 různých linek vedení.

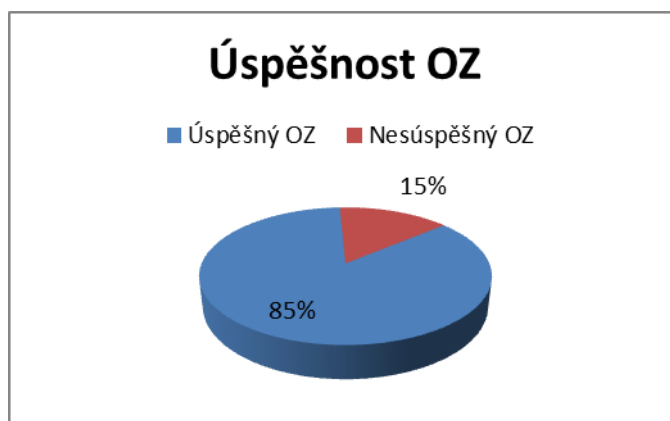
První krok, který jsem provedl, bylo odstranění poruch týkajících se poruch jiných, než jsou poruchy spojené s OZ. Tabulka obsahovala i poruchy související s problémy v rozvodnách (závady na vypínačích, nefunkční zemní nože aj.). Po tomto prvotním vytřídění mi zbyla tabulka vykazující 496 poruch souvisejících s OZ.

Usoudil jsem, že nezbytným krokem bylo utříbit si, jaké jsou žádané výsledky a tím pádem také, které hodnoty tabulky jsou příhodné. Z tabulky jsem tedy odstranil nadbytečné záznamy. Nakonec následovalo samotné třídění a filtrování dle cílených parametrů, o kterých budu psát dále.

3.2 Úspěšné vs. Neúspěšné OZ

Prvotním a zcela základním vodítkem pro rozdělení jednotlivých poruch je jejich rozdělení na poruchy trvalého charakteru (tedy neúspěšné OZ) a na poruchy jejichž krátkodobé přerušení vedlo k úspěšnému obnovení bezporuchového stavu.

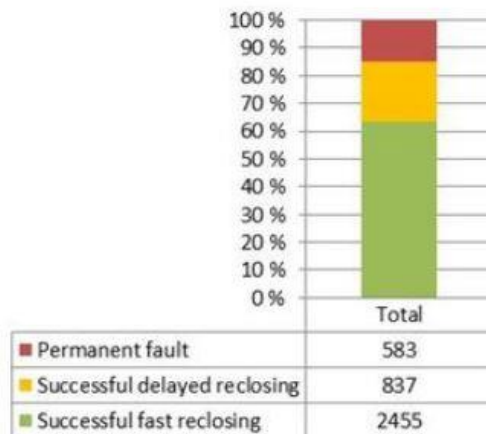
Výsledkem roztřídění a porovnání je následující statistika. Z celkového počtu 496 poruch bylo vytríděno 85 takových, jejichž opětovné zapnutí nevedlo k vyřešení problému. Tato statistika vypovídá jasně o úspěšnosti OZ, procentuální vyjádření odpovídá téměř 85 %. Procentní poměr je graficky vyjádřen na obrázku 23 ve výšečovém grafu.



Obrázek 23: Graf úspěšnosti OZ

Ze zbývajících 85 % úspěšných OZ byla na vině bouře zcela prokazatelně pouze ve dvaceti případech. Předpokládá se však, že atmosférické zavinění může být až 25 %. Zde je třeba upozornit na fakt, že tabulka není zpracovaná pravděpodobně dosti důkladně, což může být zásadní překážkou při pokusech o vysledování příčin poruch. Ve zdroji [14] jsem dohledal statistiku hovořící zcela jasně o 53 případech prokázaných atmosférickým působením a 155 nevysvětlitelných, což dokazuje zmíněných 25 %.

Odborníci z Finska prováděli statistiku na jejich distribuční síti, kde se zaměřili i na automatiku OZ. Při vyhodnocování úspěšnosti OZ dospěli ke zcela shodným výsledkům jako já, kde úspěšnost byla 85 % z toho 63,4 % rychlé OZ a 21,6 % OZ pomalé. Tato statistika je uvedena na sloupcovém grafu na obrázku 24. [15]

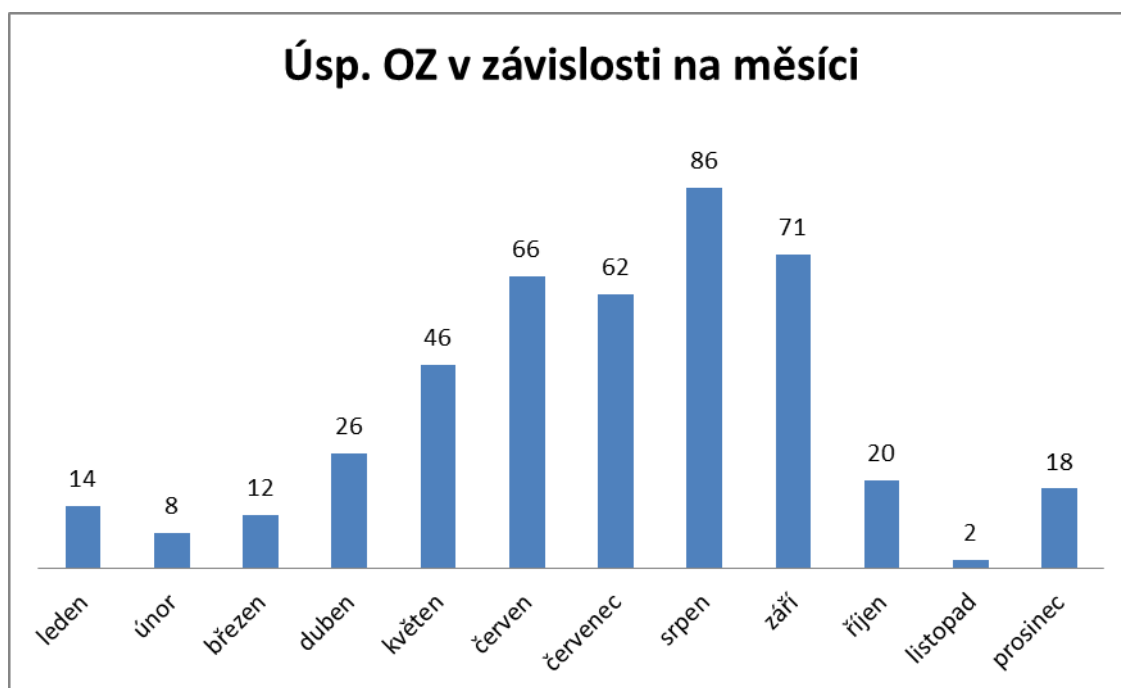


Obrázek 24: Finská statistika úspěšnosti OZ [15]

3.3 Závislost na kalendářním měsíci

Dalším udávajícím aspektem je roční období, respektive kalendářní měsíc, v kterém k poruše došlo. Má tabulka obsahovala vždy náležité datum poruch od roku, přes měsíc až ke konkrétní hodině a minutě. Z tohoto podkladu jsem vytvořil graf charakterizující jednotlivé měsíce jakožto poruchová období.

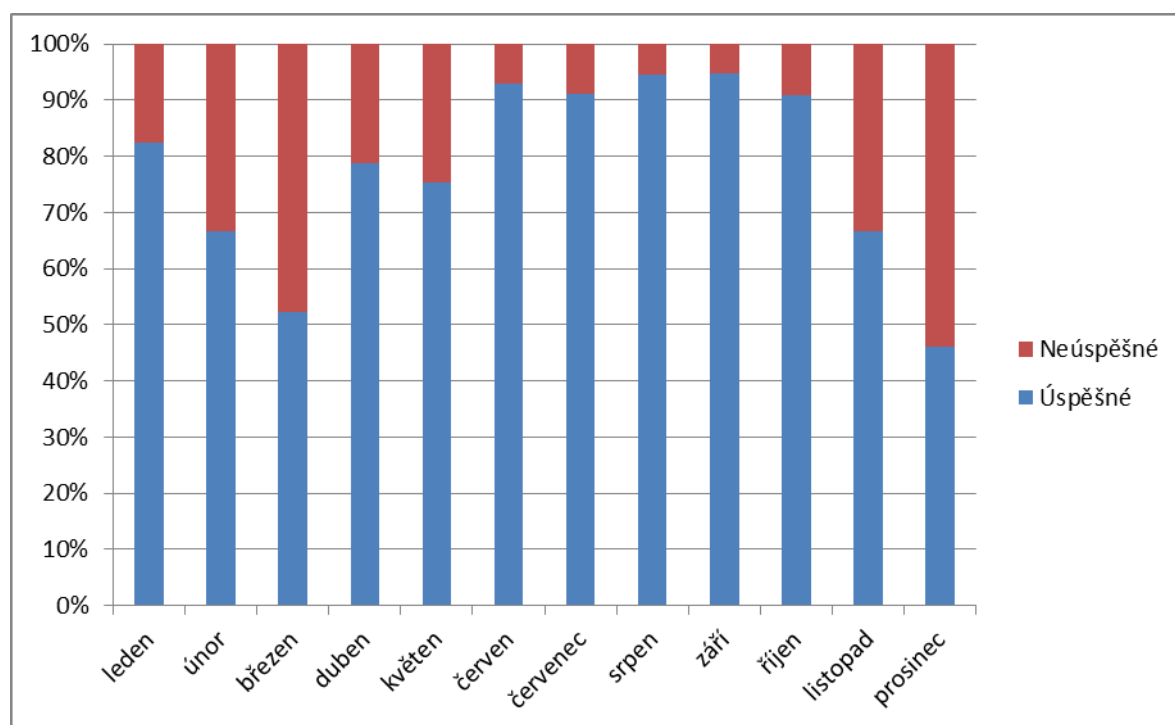
Takové rozdělení jsem vytvořil, protože každý měsíc představuje určité vypovídající podmínky okolí. Je zřejmé, že v závislosti na ročním období se mění atmosférické podmínky, které mohou být zcela zásadní. Například teplotní rozdíly mohou vytvářet vhodné podmínky pro vznik rosy.



Obrázek 25: Úspěšné OZ v závislosti na kalendářním měsíci (absolutní hodnoty)

Z grafu na obrázku 25 je viditelné, že většina poruch nastává právě v letním období. Tento faktor napovídá cosi o možné spojitosti s ranní a večerní kondenzací vzduchu na izolátorech vedení. Avšak nelze dělat závěry, protože izolátory by měly být dobře dimenzovány pro tyto vcelku běžné podmínky.

Pro úplnost a jednoznačnost jsem vytvořil také obrázek 26 s grafem ověřující poměr úspěšných a neúspěšných OZ v závislosti na měsíci. Graf vyjadřuje fakt, že poruchy trvalého charakteru nejsou příliš závislé na ročním období, na rozdíl od poruch přechodného charakteru.



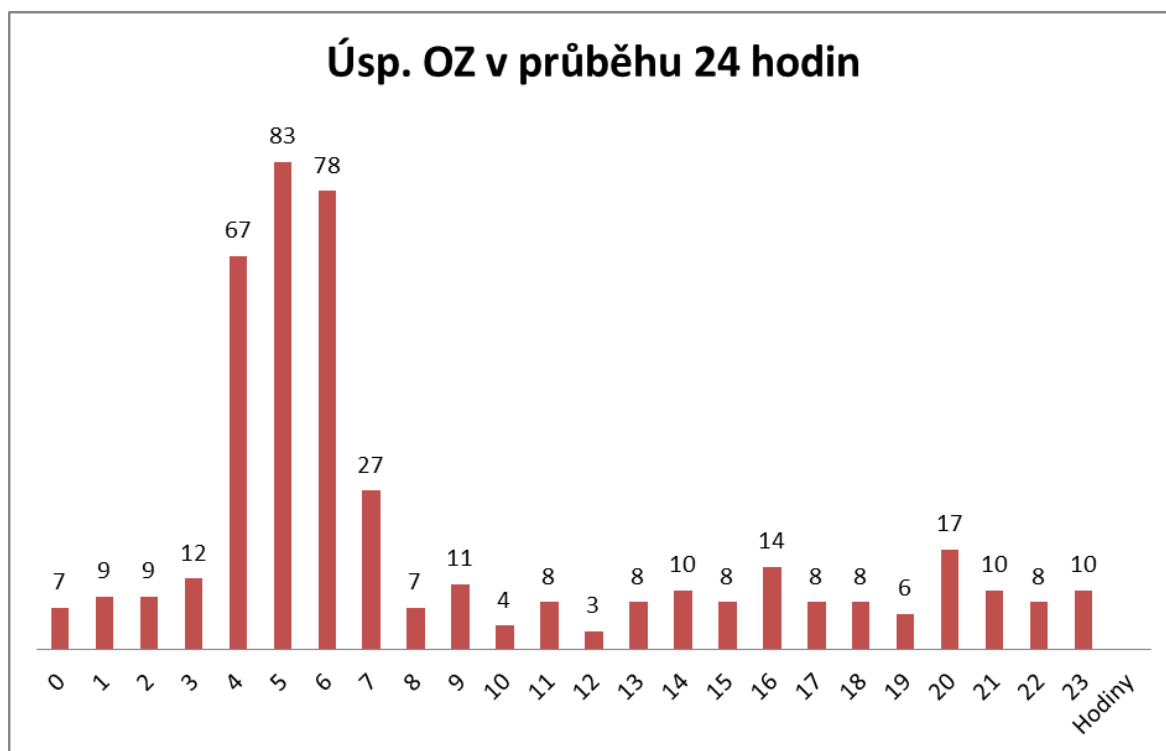
Obrázek 26: Porovnání úspěšných OZ s neúsp. v závislosti na kalendářním měsíci

3.3.1 Rosný bod

V předchozí podkapitole týkající se závislosti poruch na kalendářním měsíci, jsem se zmínil o možném vzniku rosy. Rád bych přiblížil možnou propojenost poruch s vodní rosou. Materiály jako jsou například kovy, sklo, ale i porcelán disponují vlastností intenzivního radiačního ochlazení. Z tohoto důvodu jsou jejich teploty obvykle nižší než teploty okolního vzduchu. Pakliže po ránu či v podvečer dochází ke změnám teplot vzduchu, zmíněné materiály mohou být chladnější než okolní teplý vzduch, jenž v sobě udrží více vodních par. Vodní páry obsažené v teplejším vzduchu se dostávají do styku s povrchem chladnějších materiálů, na nichž kondenzují a usazují se v podobě malých vodních kapek. Pro tento jev je typické právě letní období.

3.4 Poruchy v průběhu dne

Tentokrát je zkoumaným parametrem opět čas, ovšem nikoliv v rozsahu roku, ale v průběhu 24 hodin. Jeden den je z pohledu vedení a elektrických ochran pouhým zlomkem, avšak jeden den představuje v přírodě období nejrozličnějších cirkadiánních rytmů a různých biorytmů živých organismů. Co se atmosférických podmínek týče, zde je to jasné. Díky sluneční energii a rotaci Země se periodicky s jistou pravděpodobností a pravidelností mění intenzita dopadajících elektromagnetických vln na Zemi. Pravidelně se mění intenzita světla, teplota ale i magnetická pole. Na všechny tyto jevy se vážou další biorytmy různých živých organismů, které na to určitým způsobem reagují. Veškeré přírodní procesy však mohou parazitně a nepříznivě působit na lidskou techniku včetně elektrického vedení.



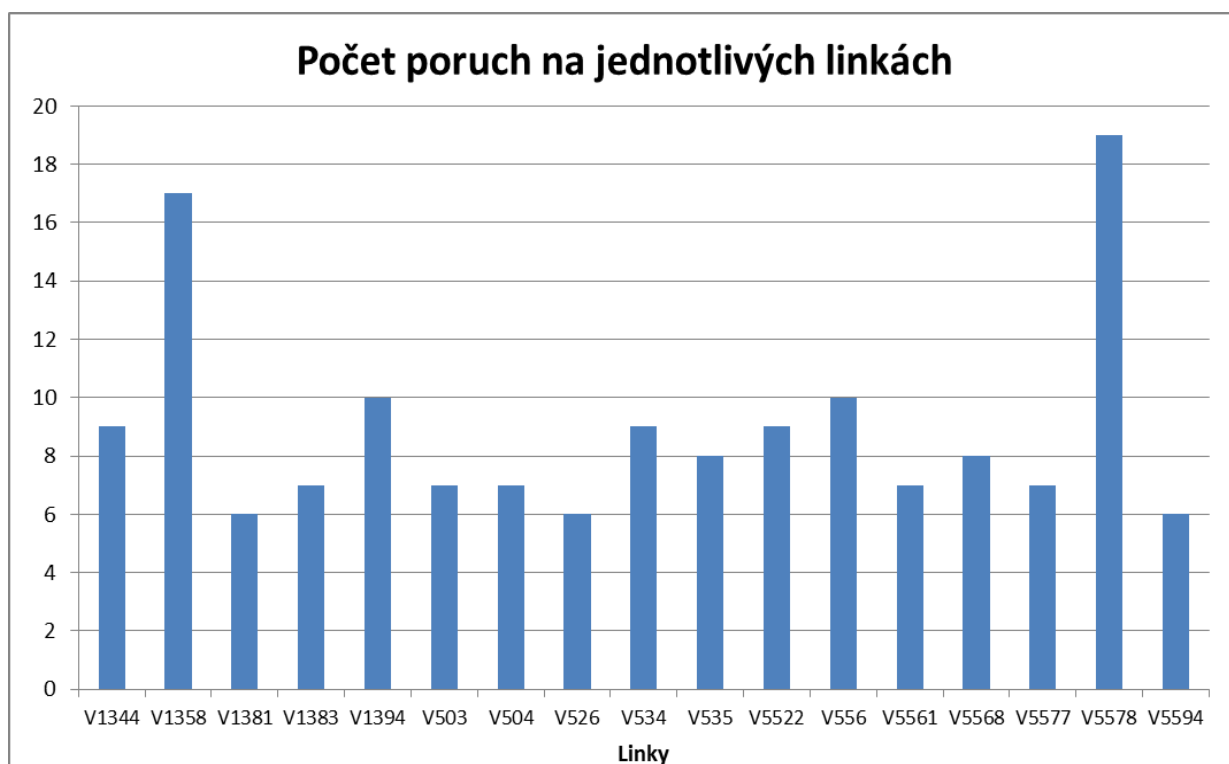
Obrázek 27: Úspěšné OZ v průběhu dne (absolutní hodnoty)

Výše uvedený graf hovoří za vše. Drtivá většina všech případů přechodných poruch připadá na brzké hodiny ranní. Nejkritičtější jsou 4., 5. a 6. hodina ranní, což v kombinaci s faktem, že většina poruch připadá na letní období, vypovídá o tom, že k poruchám dochází nejčastěji za rozbřesku. Po zkontrolování hodnot ze serveru Meteogram [31] je průkazné, že k východu slunce v letních dnech dochází právě mezi 4 až 7 hodinou ranní (konkrétně od 4:49 až po 7:00 pro červen až září). Výsledné hodnoty směřují k tzv. rannímu jevu (Morning effect), proto pro objasnění příčin

poruch bude vhodné se dále více soustředit na dění v těchto ranních hodinách letních dnů.

3.5 Linky a jejich „poruchovost“ – četnost úsp. OZ

V této části se zaměřím na výskyt poruch přímo na samotných jednotlivých elektrických vedeních. V tabulce na každou jednotlivou linku připadá určitý počet poruch. Tento fakt se dá po filtraci dat jednoduše graficky vyjádřit. Pro přehlednost a objektivnost jsem z grafu vyřadil linky, na nichž došlo pouze k pěti a méně poruchám. Dosažených hodnot lze vidět na následujícím grafu.



Obrázek 28: Graf vyjadřující počet poruch na příslušných linkách (pouze 6 a více poruch na linku)

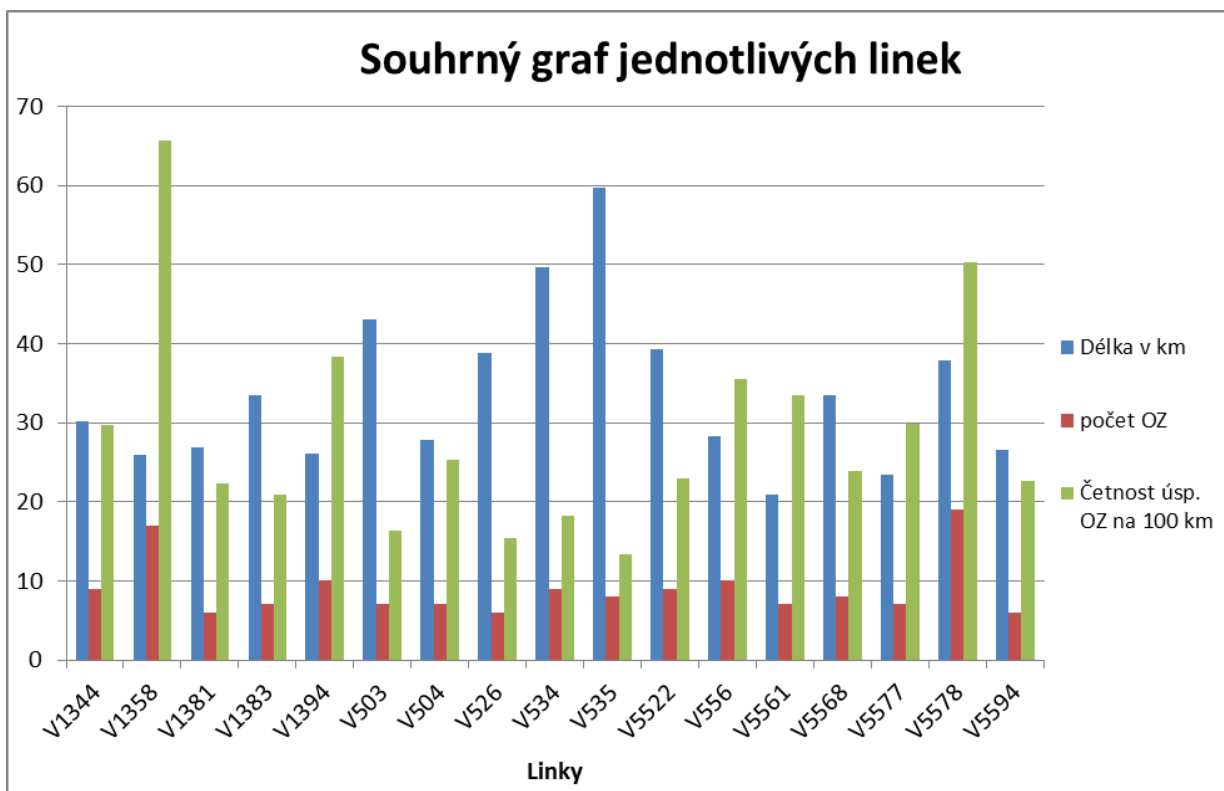
Z předchozího grafu je zřetelné kolik úspěšných OZ na které lince za dané období proběhlo. Tyto hodnoty však nejsou příliš směrodatné a to z prostého důvodu. Každá linka se honosí zcela jinou délkou. Aby byla data objektivní, provedl jsem korekci hodnot určující skutečnou poruchovost jednotlivých linek.

Pro objektivní vyjádření poruchovosti, resp. lépe řečeno k vyobrazení náchylnosti na úspěšný OZ, jsem vyhledal zcela konkrétní délky jednotlivých linek. Počet úspěšných OZ jsem následně vztáhl na vzdálenost 100 km délky vedení (za tříleté období).



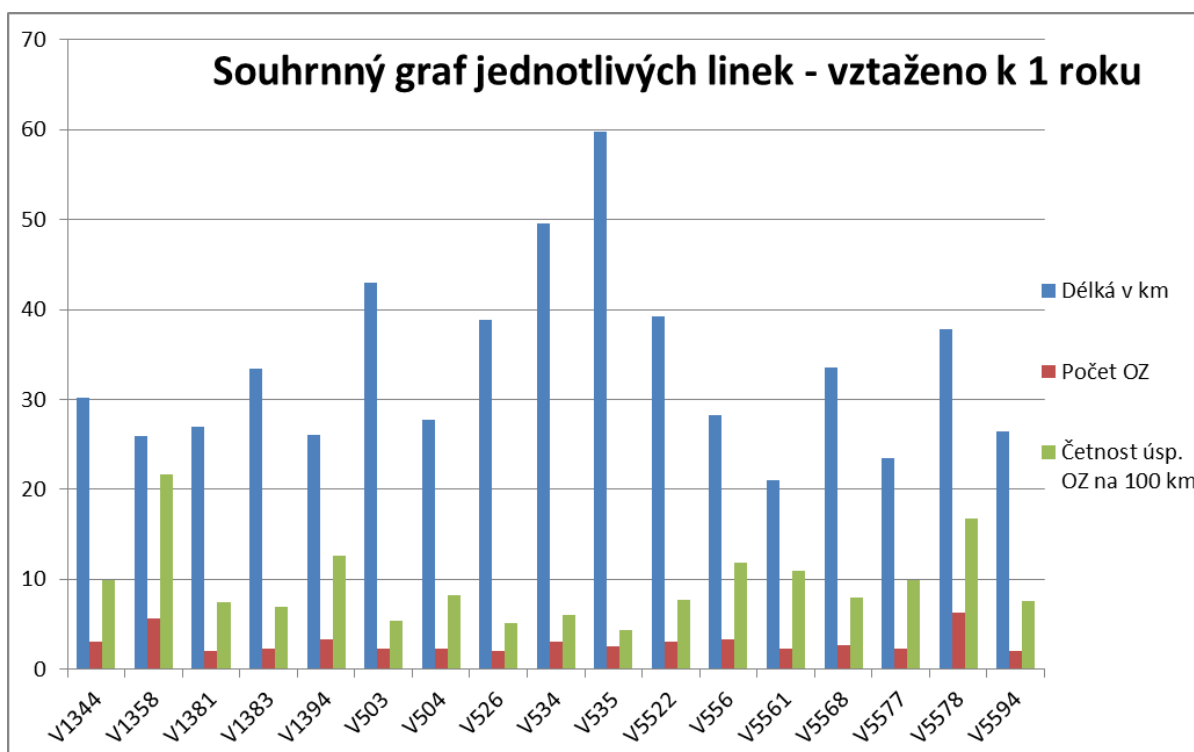
Obrázek 29: Graf poruchovosti linek za období 3 let - vztaženo na 100 km délky

Graf úspěšných OZ vztažený na vzdálenost 100 km délky vedení zcela objektivně vyjadřuje, jak často na které lince dochází k tomuto přechodnému jevu. Pro maximální přehlednost a celkový souhrn dění na linkách jsem vytvořil komplexní graf, na kterém lze vidět délku každého z problémových vedení, dále lze odečíst počet úspěšných OZ a k tomu náležitou přiřazenou poruchovost vztaženou na délku 100 km. Nutné je mít stále na paměti, že poruchovostí se v tomto případě opět myslí četnost úspěšných OZ připadajících na danou linku.



Obrázek 30: Souhrnný graf pro jednotlivé linky - 3 leté období

V obrázku 30 uvádím výsledky za tříleté období. V případě potřeby přepočtu na určitý počet let (s uvážením průměru) uvádím výsledný graf vztážený k období jednoho roku na obrázku 31.



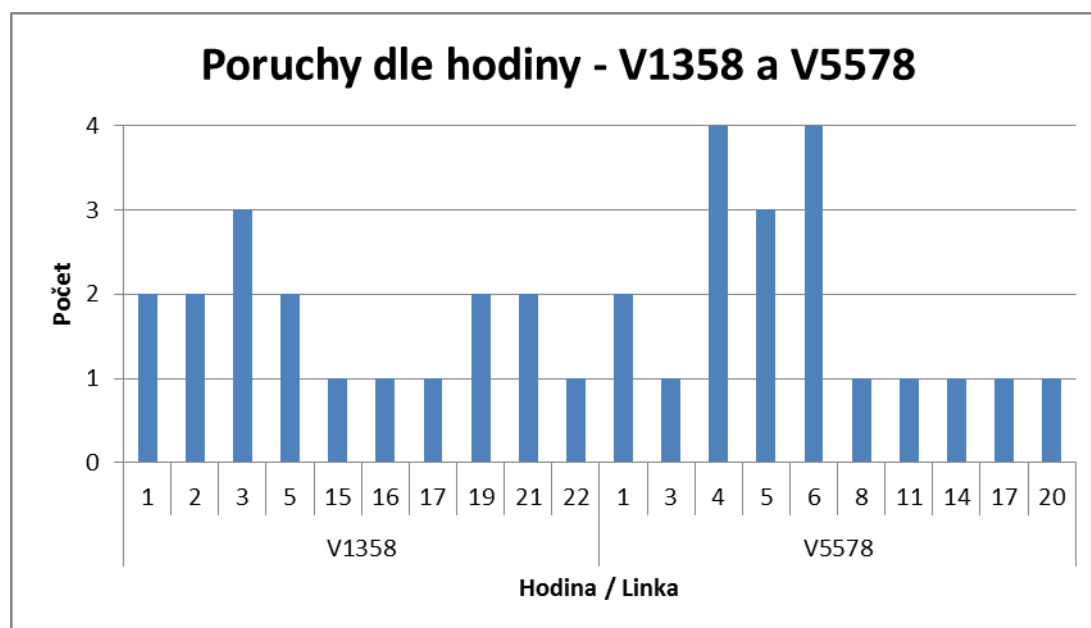
Obrázek 31: Souhrnný graf linek vztážený na jednoleté období

Výsledkem zkoumání jednotlivých linek z pohledu statistik jasně vystavuje některé linky do negativního světla a to jmenovitě především linky V1358 a V5578, dále jsou pak nepříznivé výsledky i pro linky V1394, V556, V5561, V1344 a V5577.

3.6 Analýza nejkritičtějších linek

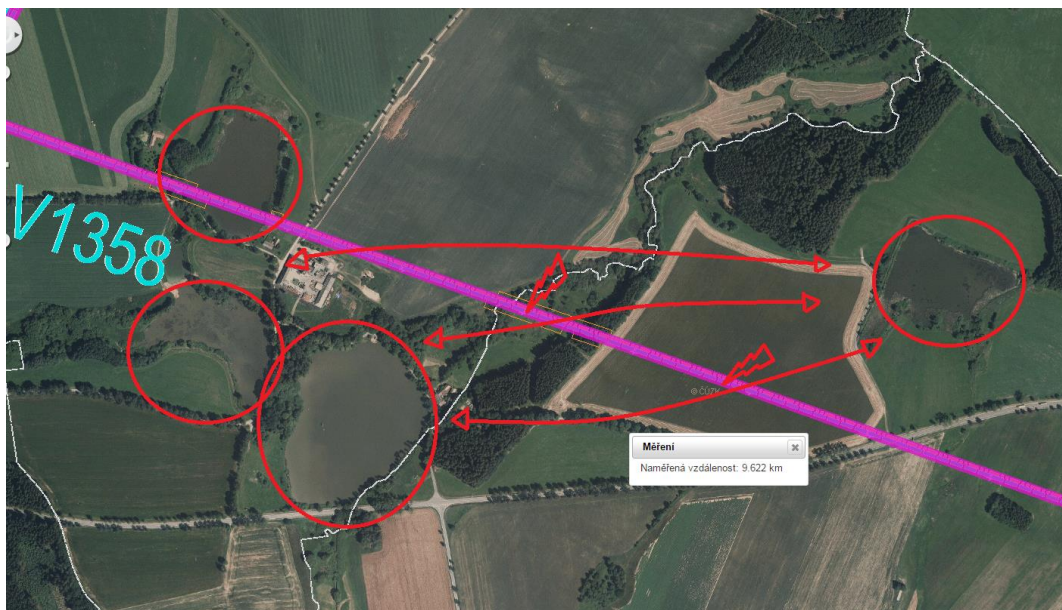
Pro jasnější výsledky je jistě dalším vhodným krokem prozkoumat linky nejnáchylnější k poruše. Bližší ohledání a porovnání jednotlivých linek může vést k ověření, zdali jsou kýžené linky zasaženy právě jevem ranního efektu a popřípadě proč.

Za nejporuchovější dvě linky se dají považovat jmenovitě linka V1358 a linka V5578. Rozložení poruch dle času opět vykazuje ranní jev a to především u linky V5578, jak lze vidět na následujícím grafu.



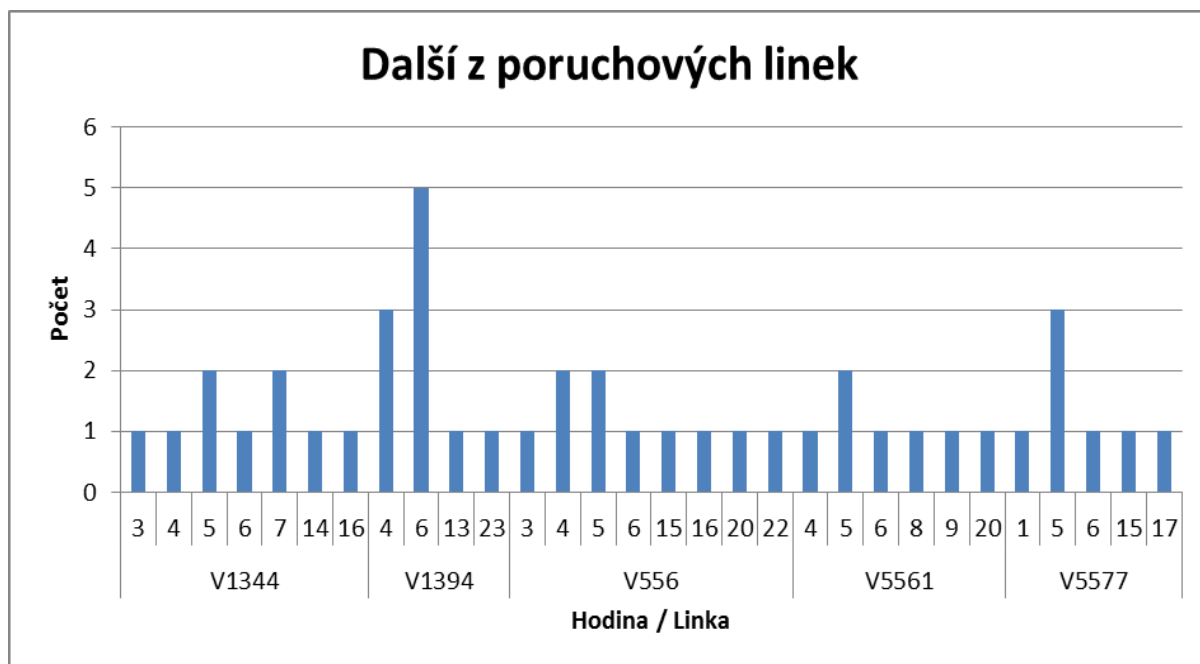
Obrázek 32: Poruchovost na linkách V1358 a V5578

Linka V5578 díky časovému rozpození poruch podporuje jev typu ranní efekt avšak co je skutečně zajímavé, je fakt týkající se linky V1358. Po bližším prozkoumání záznamů o poruše na této lince jsem zjistil, že 9 ze 17 poruch se vyskytlo v úseku 8,9 - 9,7 km, což je podezřele vysoké číslo na tak krátký úsek. Mapové podklady prozrazují o dané oblasti zajímavý fakt, a to ten, že se tento necelý kilometr dlouhý úsek nachází mezi čtveřicí rybníků. Tato skutečnost podporuje teorii zakládající se na přelétavých houfech hmyzu, jenž má tak rád vlhké prostředí.



Obrázek 33: Kritický úsek linky 1358, nacházející se mezi čtveřicí rybníků [25]

Na následujícím grafu už jsou vyobrazeny poruchy na dalších z poruchových linek. Za povšimnutí stojí především linka V1394 a její časté poruchy v časných ranních hodinách.



Obrázek 34: Ostatní poruchové linky s vyčnívající linkou V1394

3.7 Analýza: Detailnější pohled

Pro přesnější nastínění nejkritičtějších linek je nutno se podívat na dané jednotlivé linky a zjistit co nejvíce dostupných podrobností vhodných k porovnání.

Linka	V1358	V5578	V1394
Rok výstavby problémového úseku	1951	1993	1978
Průřez a materiál vodiče	150 AlFe 6	240 AlFe	240 AlFe 6
Stožár	Příhradový jednoduchý stromek	Příhradový soudek	Příhradový jednoduchý stromek
ZL	FeZn 50	180 AlFe 3	Není
Délka úseku vedení (km)	25,8	37,8	26
Počet úsp. OZ	17	19	10
Nejproblematičtější úsek (km)	9 km (od PAC)	Náhodné	19 km (od POC)
Izolátory - keramické	LS 75/21	LG 60/22/1200	LS 75/21

Tabulka 1: Známé parametry o nejporuchovejších linkách

V tabulce 1 jsou shrnuty údaje dohledatelné z mapových podkladů. Jak je vidět, rok výstavby, resp. stáří vedení není rozhodujícím faktorem. Zdá se, že ani typ vodiče nemá přímý vliv na výskyt ranního jevu. Co se týče stožárů, tak v tomto ohledu se nedá říci, že by měly na vině zvýšený výskyt poruch, ovšem z dřívějších měření je známo, že z nějakého důvodu se poruchy vyskytovaly častěji u stožáru typu Sedlák a Soudek [20]. Vliv na výskyt ranního jevu se neprokázal ani u zemního lana. Budeme-li přihlížet i k ostatním linkám a nejen k těmto třem vybraným, stejně tak bude průkazné, že délka vedení nemá vliv na výskyt poruchy tohoto typu, dokonce i vzdálenosti od rozvodny se naprosto liší.

Pro objektivní výsledky průzkumu je nezbytné vyhotovit přehled týkající se druhého extrému, tedy linek, jenž se jeví jako nejméně poruchové. Za nejméně poruchové linky se dle tabulky 2 dají považovat linky V503, V526 a V535.

Linka	V503	V526	V535
Rok výstavby problémového úseku	1945	2001	1954
Průřez a materiál vodiče	185 AlFe 6	240 AlFe	185/31 AlFe
Stožár	PB Mřížový - Donau	PB mřížový - Soudek	PB mřížový - Soudek
ZL	FeZn 50	Není	AlFe 42/7 (rok 2001)
Délka úseku vedení (km)	10,2	26,8	21,3
Počet úsp. OZ	7	6	8
Nejproblematičtější úsek (km)	19 km (od ŘIP)	Náhodné	41 km (od SO)
Izolátory	LS 75/21	LP 60/22/1170	LS 75/21

Tabulka 2: Známé parametry nejméně poruchových linek

Porovnáme-li nyní tuto tabulku nejméně poruchových linek s tabulkou předchozí, tak na první pohled není zřejmý žádný zásadní rozdíl. Jediný postřeh, který jsem během průzkumu mapových podkladů postřehl, je následující: linka V503 za poslední 3 roky vykázala 7 úspěšných OZ, z toho však 5 OZ proběhlo na devatenáctém kilometru

směrem od rozvodny Řípov. V tomto úseku se nachází 200 m od vedení Agrochema, což je jedno z největších zemědělských družstev na Třebíčsku. Linka V535 také disponuje jednou drobnou zajímavostí a to, že na ní došlo celkem k 8 úspěšným OZ, z toho 4x na úseku 40 až 42 - 5 km od rozvodny Sokolnice, v tomto úseku se nachází velký statek, zemědělské družstvo (téměř přímo pod vedením) a také rozsáhlý rybník v bezprostřední blízkosti vedení. Tyto dva postřehy by mohly podporovat teorii zabývající se poletavým hmyzem.

3.7.1 Odkaz na přílohy spojené se statistickým vyhodnocením

Pro porovnání výsledných údajů lze nalézt, v příloze **A** statistiky, jenž jsem vypracoval z nezávislého zdroje [17]. Jedná se o linky na území západních Čech v delším časovém úseku šesti let.

V příloze **B** se nachází graf poukazující na poklesy napětí, tohoto údaje se rovněž dá využít při porovnání s výskytem úspěšných OZ.

A konečně příloha **C**, která obsahuje izokeraunickou mapu České republiky. Tuto mapu je vhodné využít při určování míst se zvýšenou bouřkovou činností. Lze tímto způsobem snadno definovat linky, na kterých se dá očekávat víc poruch v důsledku atmosférických výbojů.

4 Výzkum možných příčin OZ v ranních hodinách

Za nejvhodnější považuji systematicky probrat a uvážit jednotlivé možnosti pro vznik problematických ranních OZ. Zhodnocení jednotlivých aspektů provedu z dostupných informací, které jsem zjistil z provedené statistiky, dále s využitím archivních meteorologických dat. [22] Dalším zdrojem pro důkladnou analýzu využiji dřívějších výzkumů ranního jevu [14], [18] a v neposlední řadě uvážím mé vlastní laboratorní měření.

4.1 Problematika a potencionální příčina

- I. Parazitní aktivita ptactva
- II. Spínací přepětí
- III. Konstrukční vady a degradace izolátorů
- IV. Přilehlá vegetace
- V. Lidský faktor (vandalismus)
- VI. Záření z kosmu, sluneční vítr a sluneční svit
- VII. Hmyz potažmo hejna hmyzu
- VIII. Kondenzace vodních par
- IX. Pavoučí vlákno

Pominu-li jasně prokazatelné faktory, jakým je například bouřka, pak mi zůstává tento výpis jednotlivých potencionálních faktorů, které mohou být příčinou, nebo alespoň mohou přispět k výskytu ranních OZ. Jak píšu, jednotlivé faktory nemusí být přímou příčinou, ale každý z faktorů může přispět svým menším dílem a za vhodné souhry okolností může dojít právě ke kýženým poruchám.

I. Parazitní aktivita ptactva

Jedním z nejvíce podporovaných teorémů a již téměř zažitou teorií je ptactvo přelétavé, usedající a také kálející. Ptáci jsou našimi každodenními kolegy ve světě zvířat a lidí, ovšem energetika na ně nahlíží více jako na věčně neodbytné a neposedné záškodníky. Ptáci svými těly mohou zkratovat elektrická vedení, stejně tak jejich trus může uzemnit potenciál elektrického vodiče.

Pokud by vytvoření vodivé cesty mělo být následkem srážky hejna ptáků s elektrickým zařízením, musela by pak být těla nebohých ptáků nalezena v blízkosti vedení, avšak po úspěšném OZ a následné pochůzce se žádná těla obvykle nenašla. Navíc ptáci mají poměrně dobře vyvinutý zrak a výtečné manévrovací schopnosti. V neprospěch této teorie hovoří i fakt, že zvýšená aktivita ptáků odpovídá nejvíce na měsíc říjen. Ptáci však jen nelétají, také mají v oblibě dosedat na konstrukce stožárů vedení, zde se hovoří o možnosti, kdy ptáci pokálejí izolátorový závěs a vodivě tak propojí eklektický obvod.

Vodivost ptačích exkrementů odpovídá přibližně 8 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ až 10 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, což je mnohonásobně více, než je vodivost běžné pitné vody, která v průměru dosahuje hodnot asi 700 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Také viskozita se značně liší, hodnoty se pohybují mezi 11 mm^2/s až 200 mm^2/s , porovnáme-li to opět s vodou, tak ta vykazuje pouhých 1,06 mm^2/s . Pro představu, motorový olej má přibližně olej asi 90 mm^2/s . [14]

Existují prokazatelné případy, kdy k poruše došlo právě kvůli ptačímu trusu, bohužel těchto případů není dostatek, aby se daly považovat za příčinu ranního jevu. Hovoříme zhruba o 20 % případů, kdy byly dohledány pokálené izolátory. Nelze však opomínat fakt, že trus nemusí vždy nutně dopadat přímo na samotný izolátor, ale může doslova prolétnout pouze v těsné blízkosti izolátoru. Konstrukce stožárů, konkrétně oblast nad izolátory, se vybavuje ochranou proti dosedání ptáků, tato ochrana však neprokázala snížení počtu poruch, jak prokazuje tabulka 3.

Název a vybavení linky 110kV	Počet poruch 2007-2012
V530 - bez ochrany	3
V534 - bez ochrany	4
V1352 - s ochranou	4
V1377 - s ochranou	6

Tabulka 3: Nezávislost ochrany proti dosedu ptactva, vůči četnosti poruch [21]

V roce 2015 byly provedeny laboratorní zkoušky v EGU HV Laboratory, kde se testoval přeskok na izolátorech 400 kV. Předmětem testování bylo porovnání izolátorů z porcelánu, skla a kompozitu a to, jak které izolátory vyhoví právě při blízkém pádu ptačího exkrementu. Bylo provedeno více jak 260 pokusů a z testů vyšlo zcela jasně, že k přeskoku může dojít. Nejhorší dopadly kompozitní izolátory, kterým při jejich délce 3100 mm stačí pouhá délka exkrementu 1850 mm, aby došlo k přeskoku.

II. Spínací Přepětí

Je téměř nemožné, aby jakékoliv spínací přepětí mělo za následek přeskok na izolátorech dlouhých téměř 1,3 m. Zde se dá hovořit spíše o faktoru, který by mohl být tak zvaně poslední kapkou při souhře několika dalších nežádoucích faktorů.

III. Konstrukční vady a degradace izolátorů

V případě zásadní konstrukční vady vedoucí k destrukci porcelánového či skleněného izolátoru dojde většinou k trvalé poruše, v jiném případě je porucha stejně odhalena. Otázkou zůstává vliv míry znečištění povrchu izolátoru na úspěšnost překlenutí izolační vzdálenosti. Je průkazné, že i mikro tenký povlak nánosu špíny dokáže zvýšit vodivost na povrchu izolátoru, a to většinou při zvlhčení. [21]

Existují dva základní typy znečištění povrchu izolátoru, které mohou vést k přeskoku.

Typ A, kdy se na povrchu izolátoru usazuje pevné znečištění, které obsahuje rozpustnou a nerozpustnou složku. Při zvlhčení se toto znečištění stává vodivým. Tento typ znečištění se charakterizuje nejlépe hodnotami ekvivalentní hustoty nánosu soli (ESDD) a hustoty nánosu nerozpustné složky (NSDD) nebo parametry získanými z rozboru zachyceného spadu.

Typ B, kdy se na povrchu izolátoru usazuje tekutý elektrolyt s velice malým množstvím nebo bez nerozpustných složek.

V České republice se uvažuje znečištění typu A.

Více v normě ČSN EN 60507 (348031)

Takováto mikroskopická vrstva pochopitelně nabývá významu v případě starších izolátorů. Izolátory působením času stárnou jako vše na tomto světě, a tak s přibývajícím věkem přibývá i drobných mikroskopických trhlinek, místy může docházet k narušení povrchové glazury porcelánu a tím i ke zvýšení relativní pórovitosti materiálu.

V nepatrných trhlinkách a pórech starších izolátorů se může usadit větší množství nečistot. Vodivostní pole už pak není lokální záležitostí, ale povrch izolátoru nabývá na patřičné homogenitě a tím přispívá ke snazšímu překlenutí izolační vzdálenosti.

IV. Přilehlá vegetace

Počátkem i koncem všeho je vše obklopující příroda. Je nezkrotná a jen zdánlivě v klidu. Snažíme se respektovat její zákonitosti, ale bohužel někdy jsou naše lidské potřeby a činy v rozporu s její rozmanitostí. V některých případech může dojít k uzemnění vodiče prostřednictvím větve, těmto případům se však snažíme předcházet patřičnými průseky lesních porostů a předepsanými distančními vzdálenostmi od nejrůznějších přírodních „překážek“. Zůstává tu však stále možnost, kdy za vhodných povětrnostních podmínek dojde ke vznesení stébla některé z travin nebo obilnin. Takovéto stéblo se kupříkladu může uchytit ve výškách izolátorových ukotvení. Opět se jedná o téměř mizivou šanci, kdy by stéblo kterékoliv z rostlin samo o sobě vytvořilo vodivou cestu pro přeskok některé z izolačních vzdáleností, avšak za skloubení správných podmínek může opět parciálně přispět k tomuto jevu.

V. Lidský faktor

Jak víme, člověk je tvor nenechavý a jeho zásah, ať už nahodilý nebo cílený, může způsobit poruchu. V tomto ohledu se však jeví vysoce nepravděpodobné, že by lidský jedinec měl potřebu v brzkých ranních hodinách vstávat a nahodile vytvářet poruchy na vedení VVN.

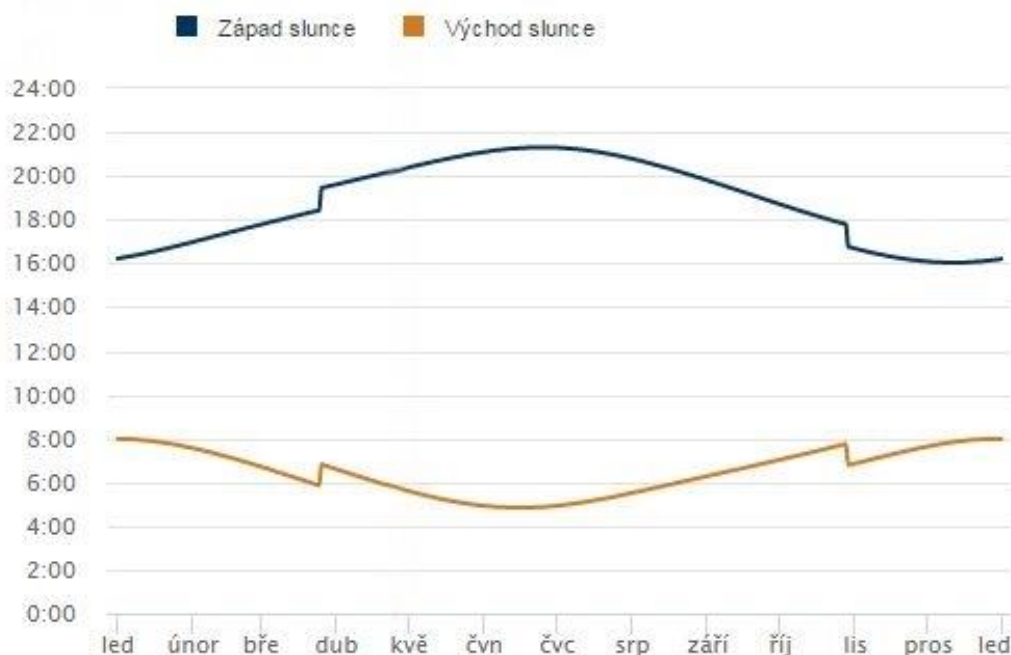
VI. Záření z kosmu, sluneční vítr a sluneční svit

Tato teorie je velice fascinující, ovšem spíše velice teoretická a pohledy na ni jsou převážně skeptické. Je pozoruhodné, že životadárné Slunce je zároveň zdrojem magnetického pole pro celou sluneční soustavu. Světlo, tedy elektromagnetické vlnění putující ze Slunce a dopadající na naši planetu, má jistý příkon, ten se odhaduje v průměru na 1360 W/m^2 [7] a nazývá se solární konstanta. Část této energie neustále podporuje jev známý jako fotoionizace, tudíž vzduch je vždy alespoň částečně ionizován. Je otázkou do jaké míry by samotný tento jev mohl podpořit ionizaci vzduchu v blízkosti izolátorů za východu slunce a tím přispět k vytvoření vodivého kanálu přímo prostřednictvím vzduchu. Pro ověření těchto úvah jsem byl iniciován k retrospektivnímu ověření časů východu slunce, abych je mohl porovnat s vybranými poruchami na nejporuchovějších linkách. Výsledkem je následující tabulka:

Čas poruchy	Vedení	Příčina	východ	Rozdíl
05.06.2014 04:06	V5578	jiná příčina	4:56	-50 min
10.09.2014 06:37	V1394	jiná příčina	6:31	-6 min
23.09.2014 06:19	V5578	neobjasněna	6:50	-31 min
26.09.2014 06:38	V5578	jiná příčina	6:55	-17 min
11.04.2015 06:10	V5578	neobjasněna	6:19	-9 min
16.05.2015 04:49	V1394	neobjasněna	5:16	-27 min
26.05.2015 04:36	V5578	jiná příčina	5:04	-28 min
30.05.2015 04:29	V1394	neobjasněna	5:00	-31 min
31.05.2015 04:42	V1394	jiná příčina	5:00	-18 min
11.07.2015 04:46	V5578	jiná příčina	5:05	-19 min
21.08.2015 05:58	V1358	neobjasněna	6:01	-3 min
24.08.2015 05:38	V5578	neobjasněna	6:05	-27 min
26.08.2015 05:25	V5578	neobjasněna	6:08	-43 min
06.09.2015 06:20	V1394	neobjasněna	6:25	-5 min
17.09.2015 06:28	V1394	neobjasněna	6:41	-13 min
16.04.2016 05:43	V5578	neobjasněna	6:07	-24 min
22.05.2016 05:26	V1358	neobjasněna	5:08	+18 min
11.08.2016 06:11	V1394	jiná příčina	5:47	+24 min
01.09.2016 06:06	V1394	jiná příčina	6:33	-27 min
				průměr
				-22 min

Tabulka 4: Ověřování shodnosti času poruch s časem východu slunce

Z tabulky 4 vyšel zajímavý výsledek poukazující na to, že k poruchám dochází obvykle několik krátkých chvil před východem slunce. Již téměř zažitým faktem je, že lidé tvrdí „K rannímu jevu dochází při východu slunce“. Zdá se však, že je toto spíše mylná domněnka. K rannímu jevu dochází spíše těsně před východem slunce. Je možné, že by na tento jev nějakým způsobem reagovalo zemské magnetické pole nebo nějaký cirkadiální rytmus? To bohužel zůstává otázkou a bližší zkoumání těchto jevů je zcela mimo rozsah této práce. Avšak rád bych upozornil na literaturu zabývající se problematikou čtyř základních interakcí. V těchto zdrojích se vysvětlují procesy spojované s elektromagnetickým zářením a jevy spojované s magnetickými silami [4], [8] a [30].

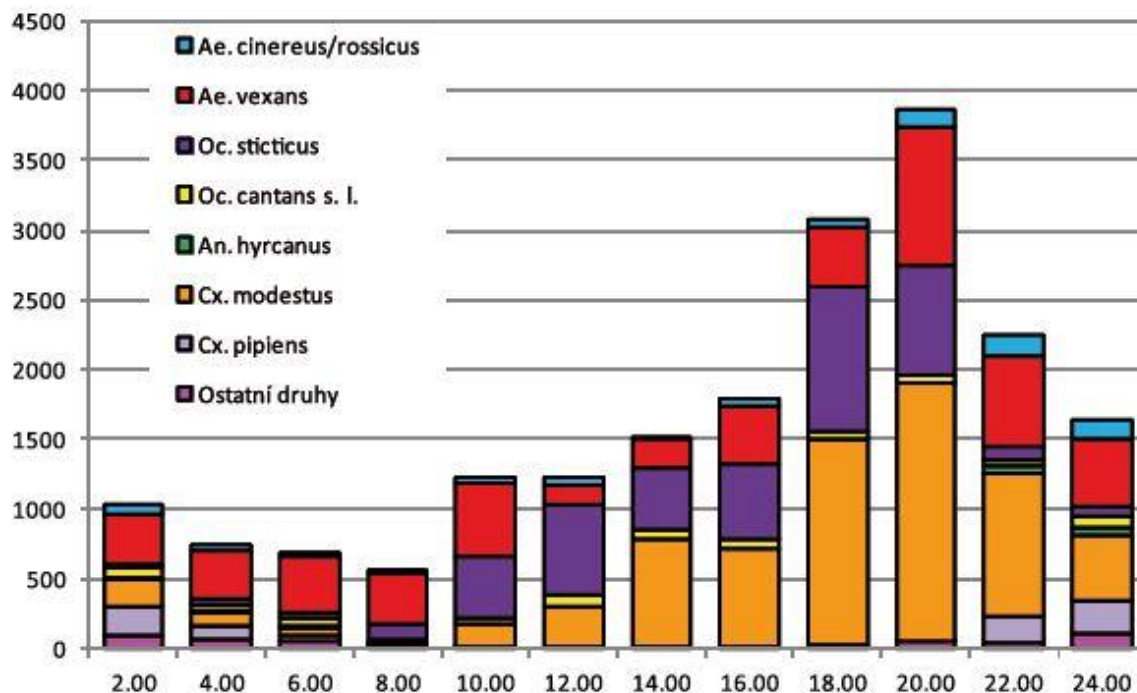


Obrázek 35: Graf východu a západu slunce během roku [22]

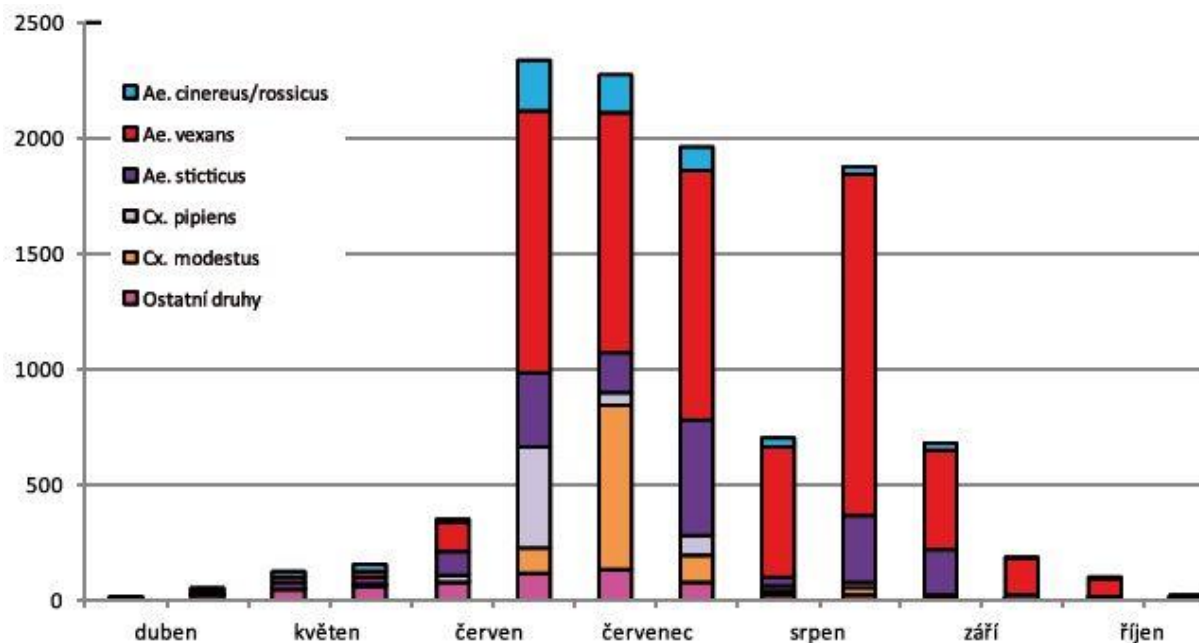
Samotné a běžné sluneční záření by však nemělo být jediným zkoumaným zářením. Existují totiž i extrémní případy sluneční aktivity, známé jako výrony hmoty ze sluneční koróny. Protony, alfa částice a elektrony jsou unášeny Alfvénovými vlnami k povrchu Země. Tento proces se nazývá sluneční vítr, který je při vstupu do zemské atmosféry doprovázen ionizací, která se mimo jiné projevuje vznikem polární záře, ale také způsobuje kolísání a výpadky elektrické sítě.

VII. Hmyz potažmo hejna hmyzu

Když se řekne „komár“, většina z nás si představí nepříjemný bzučivý zvuk a svědivé pupínky po komářím „kousnutí“. Je však možné, že by nám komáři znepríjemňovali život i nějakým dalším způsobem? Spekuluje se o možnosti, kdy by navlhlá hejna komárů způsobila zkrat na vedení prostřednictvím vlastních těl. Je známým faktem, že se tento hmyz vyskytuje rád v blízkosti mokřad, rybníků a obecně ve vlhkém prostředí. Uvádí se také, že komáři jsou aktivní a shání potravu v noci večer a ráno. Přes den se tento hmyz raději schovává na chladných místech. Tento fakt by podporovat zmíněnou teorii. Podařilo se mi však dohledat studii zabývající se monitoringem tohoto hmyzu. Na následujících grafech můžeme vidět výsledky monitoringu různých druhů komárů na jižní Moravě za roky 2009 až 2011 – převzato z [29].



Obrázek 36: Denní dynamika komárů, zjištěna v roce 2010 na jižní Moravě [29]



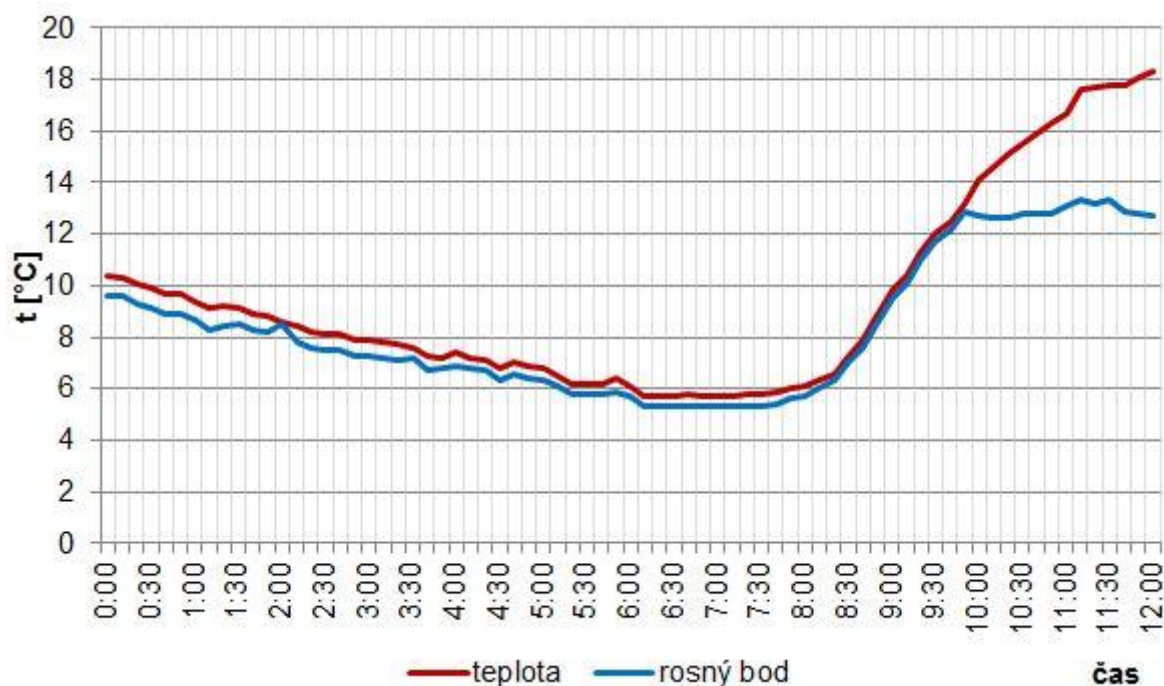
Obrázek 37: Sezónní dynamika výskytu komárů na jižní Moravě za roky 2009 až 2011 [29]

Při pohledu na denní aktivitu komárů na jižní Moravě, se na první pohled dá říct, že teorie touto studií rozhodně není prokazatelná, ba naopak spíše ji vyvrací. Aspoň v této oblasti jsou komáři právě v ranních hodinách nejméně aktivní. Podíváme-li se na graf sezónní dynamiky, tak naopak můžeme prohlásit, že komáři jsou nejaktivnější právě v období čteného ranního efektu. Nelze opomínat fakt, že komár není jediným druhem

poletavého hmyzu, ovšem bylo by značně přesahující obsah této práce zkoumat biodiverzitu ostatních druhů.

VIII. Kondenzace vodních par

Jak jsem uvedl na straně 38, dochází v rosném bodě ke kondenzaci vodních par. Je známo, že k těmto kondenzacím dochází obvykle právě v časných ranních hodinách. Bohužel se mi nikde nepodařilo dohledat zpětně hodnoty rosného bodu a stejně tak konkrétní teploty vzduchu v daných časech poruch. Je jisté, že nejspěšnější by byly hodnoty zaznamenané přímo z místa poruchy, k tomu by bylo ovšem nezbytné vhodné měřící zařízení. Protentokrát se spokojíme s grafem z dřívějších měření [20] pro společnost E.ON. Jedná se o graf z období zvýšeného výskytu ranního efektu.



Obrázek 38: Graf teplot rosného bodu a teplot okolního prostředí [20]

Myslím, že graf je sám o sobě dostatečně vypovídající a jasně sděluje informaci o tom, že ke srážkám vodních par dochází při nárůstu teplot vzduchu za východu slunce. Stejně tak se dá vypořádat, že i za chladnějších nočních teplot je rosný bod blízky teplotě kondenzace. Je naprosto zřejmé, že chladné keramické izolátory s velkou teplotní kapacitou v časných ranních hodinách vysrážejí drobné kapky vody na svém povrchu.

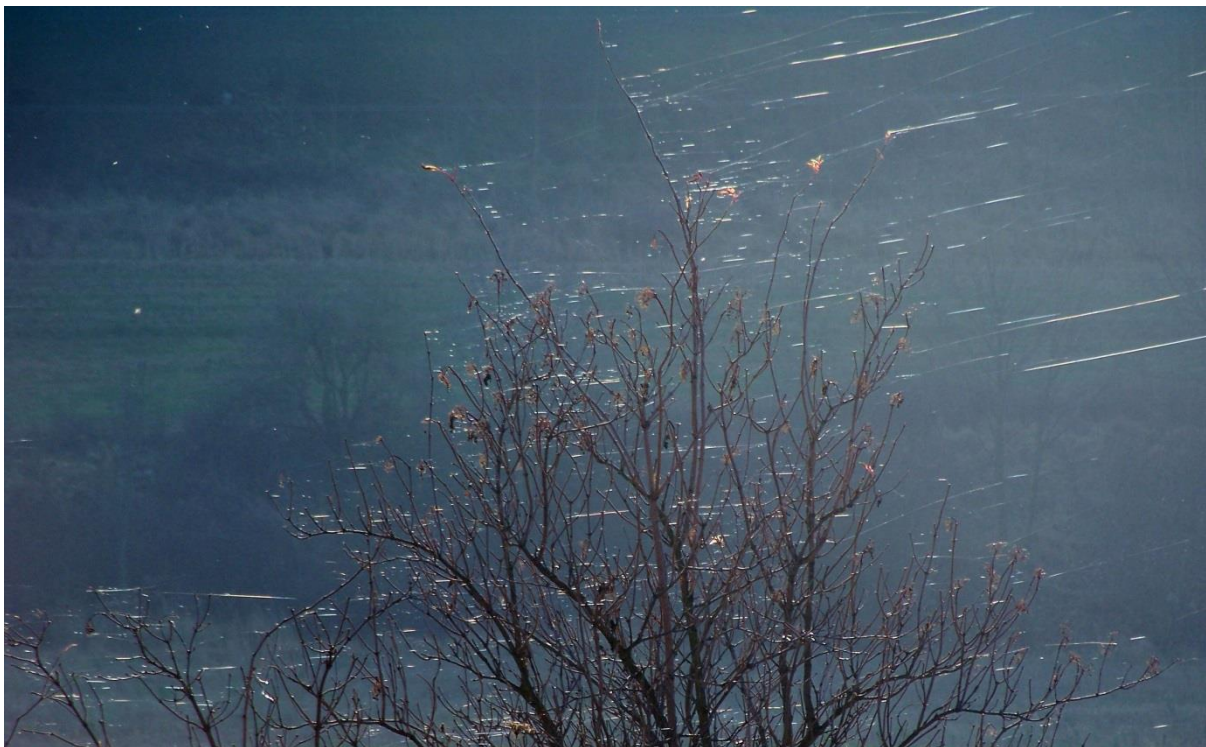
IX. Pavoučí vlákno

Tímto se dostáváme k poslední ze sledovaných potencionálních příčin. Teorie týkající se pavoučího vlákna zachyceného na izolátoru, je mým vlastním nápadem. Ačkoliv je samotné pavoučí vlákno bílkovinou na bázi uhlovodíku a není tedy vodičem, stále její přítomnost může vytvářet vhodný povrch pro výše zmíněnou kondenzaci vody. Za vhodných podmínek dokáže pavučina vytvořit téměř dokonalou vodní dráhu, jak je vidět na obrázku 39 se zachycenou ranní rosou na povrchu pavoučí sítě.



Obrázek 39: Pavučina s ranní rosou [24]

V podzimním období, především v září, je zvýšený výskyt poletujících pavoučích vláken, dokonce od tohoto jevu vznikl i známý pojem babí léto, kdy v minulosti lidem tyto pavučiny připomínaly šedé „babské“ vlasy. Na dalším obrázku je snímek stromu doslova zaneseného zachycenými pavoučími vlákny. Z tohoto důvodu se domnívám, že by bylo možné, aby se pavučiny zachytily podobným způsobem na izolátoru.



Obrázek 40: Strom s velkým množstvím zachycených pavoučích vláken [24]

Z těchto důvodů jsem se rozhodl provést laboratorní měření, při kterém je zkoumán možný vliv pavučiny na přeskok elektrického proudu.

4.2 Laboratorní měření na izolátorech VVN

Jak jsem popsal již výše, k měření mě dovedla má úvaha pohrávající si s myšlenkou nad uchycenými pavučinami v oblasti izolátoru. Abych ověřil, jestli je možné uvážit pavoučí vlákno jako prvek usnadňující přeskok, muselo následovat toto měření.

4.2.1 První měření – Isolátor LG 60/22/1200

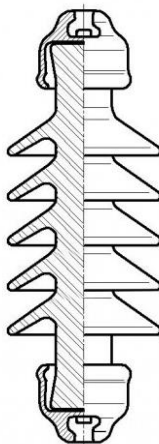
Z podnázvu kapitoly je zřejmé čeho by se měření mělo týkat. V první části bylo provedeno měření na porcelánovém závěsném izolátoru Long rod insulator LG 60/22/1200. Během tohoto měření se ověřovala izolační schopnost izolátoru při podélně zachyceném pavoučím vlákně, pro zhoršení podmínek byl izolátor navlhčen vodní rosou. Během měření se zkušebním napětím najíždělo i přes hodnotu horní provozní hranice vedení VVN, tedy přes 123 kV, konkrétně až na hodnotu 130 kV. K přeskoku nedošlo, prokázala se vysoká dimenzovanost tohoto izolátoru. Během měření izolátor nebyl v mlžné komoře, kde by mohlo být dosaženo adekvátnějších atmosférických podmínek letních vlhkých rán.



Obrázek 41: 1,2 m dlouhý izolátor LG 60/22/1200, vpravo detail na zachycenou pavučinu

4.2.2 Druhé měření – Isolátor VZL 50/435

Po neúspěšném měření následovalo měření číslo 2. Pro toto měření byl zvolen závěsný tyčový keramický izolátor VZL 50/435 určený na vedení 35 kV.



Obrázek 42: Závěsný tyčový keramický izolátor VZL 50/435 [32]

V první fázi měření byla provedena tři referenční měření přeskokového napětí, kdy byl izolátor čistý a navlhčený. Za těchto podmínek došlo k přeskoku elektrického proudu na hodnotě 126 kV, 129 kV a 126 kV.

V druhé fázi měření byl izolátor zanesen pavučinami, které vertikálně překlenuly celkovou izolační vzdálenost izolátoru. Za těchto podmínek došlo k přeskoku při 112 kV a po druhé dokonce při 107 kV – více v tabulce 5.

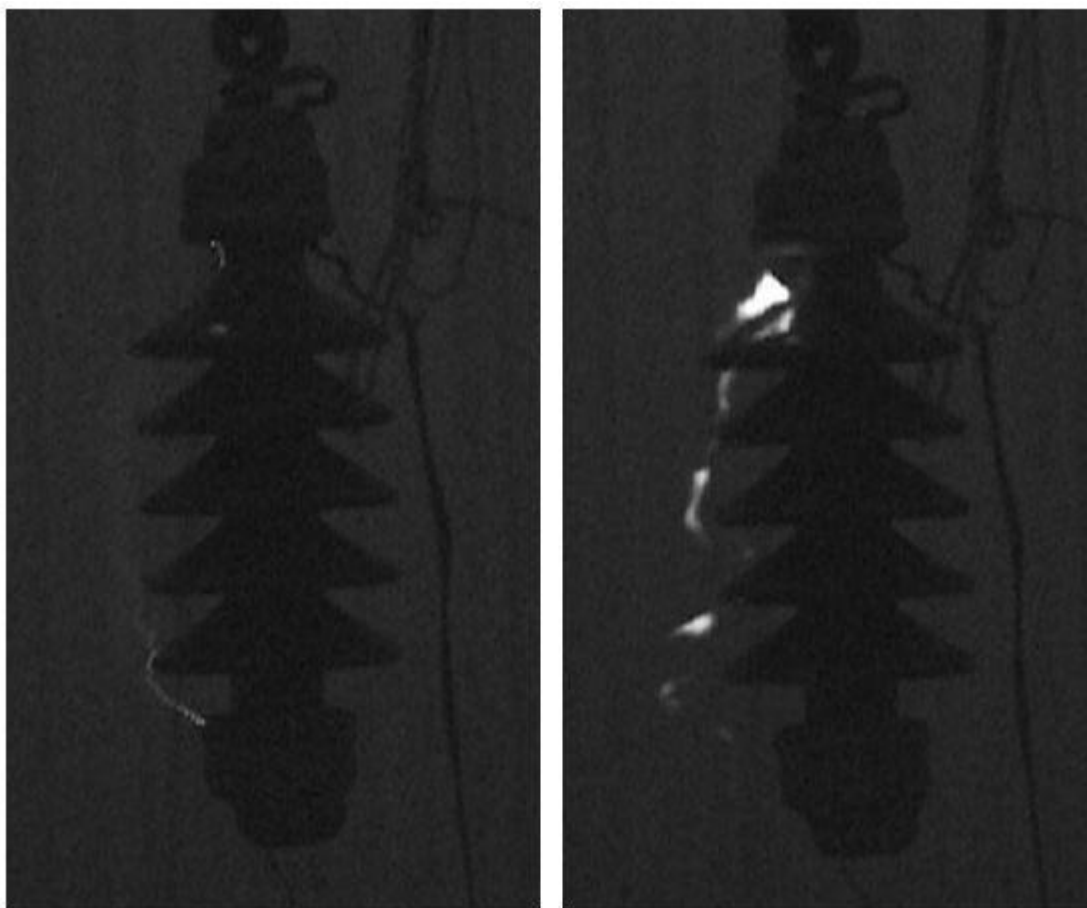


Obrázek 43: Izolátor VZL 50/435 zanesený pavučinou

Měření bez pavučiny	Měření s pavučinou
126 kV	112 kV
129 kV	107 kV

Tabulka 5: Rozdílné hodnoty přeskovového napětí na izolátoru VZL 50/435

Na izolátoru takto zaneseném pavučinou vzniká jakási nitková vzdálenost, která zkracuje skutečnou měrnou délku povrchové cesty. Na dalších dvou snímcích je zachycena koróna a samotný přeskok.



Obrázek 44: Vlevo - zřetelná před-výbojová koróna, vpravo - přeskok linoucí se po pavučině

V druhé fázi měření se prokázalo, že pavoučí vlákno je skutečně schopno snížit hodnotu přeskovového napětí, a to téměř o 20 %. Dalším zajímavým postřehem z průběhu měření je skutečnost, že korónové výboje se vyvíjely přesně v místech, kde se vyskytovalo pavoučí vlákno. Samotný výboj proběhl také přímo v místě pavučiny, po jasném záblesku od přeskoku bylo ještě vidět, jak pavučina na izolátoru pomalu dohořívá. To, že pavučina shořela, je vypovídajícím faktem o tom, že i za reálných podmínek by nezůstaly jasně viditelné důkazy.

5 Zhodnocení výsledků a návrh dalšího řešení

5.1 Zhodnocení

Z výsledků zpracování statistik je zcela jednoznačně prokazatelná přítomnost ranního efektu. Je prokazatelné, že neobjasněné poruchy nastávají v letních měsících a začátkem podzimu, též se dá s jistotou říci, že ranní efekt je skutečně ranním efektem a dochází k němu právě v brzkých ranních hodinách. Vezmeme-li v potaz pouze úspěšné OZ, tak bylo možno vytipovat jednotlivé linky, na nichž docházelo za uplynulé 3 roky nejčastěji k zapůsobení automatik OZ. Z mapových podkladů a stručných technických údajů jsem byl schopen nastínit rozlišnost poruchových a méně poruchových linek. Z technických údajů se nezdá, že by na ranní efekt mělo konstrukční hledisko nějaký výrazný vliv. Prozatím se zdá, že tento efekt je spíše otázkou místně-časovou a hlavní roli hraje pravděpodobně souhra více soudobých okolností, popřípadě se jedná o nějaký náhodný zatím neobjevený jev, či nezměřený nebo nezpozorovaný vliv okolí.

5.2 Další řešení

Zdá se, že k objasnění příčin působení automatik OZ, bude nezbytné rozšířit spektrum vstupních informací. V současné době z dostupných informací zřejmě nelze vydedukovat směřovatnější závěry. Pro lepší specifikaci a snazší identifikaci příčin již nebudou postačující pouze statistiky případů OZ. S pomocí těchto statistik byla prokázána existence ranního efektu a také bylo například možné vytipovat poruchové linky. Nelze však jednoznačně říci, co za poruchami stojí. Pro zvýšení pravděpodobnosti a také pro usnadnění objasnění příčin bych navrhol následující opatření:

1. Preventivní dokumentace

Dle mého úsudku je pro snazší objasnění příčin působení OZ jedním z nejdůležitějších prvků měření a to měření přímo v místě a v čase poruchy. Troufal bych si tvrdit, že k objasnění tohoto jevu není postačující informace o tom, zdali bylo tohoto dne hezky, anebo pod mrakem. Proto bych doporučil nechat navrhnout a sestrojít měřicí zařízení, které by snímalo relativní vlhkost, kontrolovalo prašnost, měřilo teplotu a popřípadě

také intenzitu denního světla a magnetického pole. Takovýmto měřícím prvkem bych nechal osadit několik stožárů v nejkritičtějších oblastech. Ideální by bylo doplnit takovýto úsek kamerovým systémem, resp. foto pastí.

Otázkou samozřejmě zůstává, zdali by vůbec takováto výbava byla rentabilní vůči ztrátám vzniklým působením automatik OZ vzhledem k nejistotě výsledku tohoto měření.

2. Pasivní zisk informací

Působení automatik OZ dozajista není ničím výjimečným a vezmeme-li v potaz, že každou poruchu je nezbytné zaznamenat a následně vyslat četou na kontrolní pochůzku, aby ohledali místo poruchy, je zjevné, že takováto činnost je nesmírně vyčerpávající. Nedá se očekávat, že by téměř každodenní rutina mohla být doprovázená důkladnou kontrolou každého z těžko dostupných jednotlivých izolátorů. Aby byla zachována efektivita a přitom zvýšena preciznost těchto pochůzek navrhol bych, alespoň v případě vybraných linek, vybavit četou kamerovým dronem. S využitím tohoto snadno ovladatelného létajícího zařízení by bylo mnohem snadnější ohledat jednotlivé izolátory a odhalit tak potenciální znečištění či poškození.

6 Závěr

Předmětem této diplomové práce byla problematika opětného zapínání (OZ) na vedeních VVN, cílena především na případ neobjasněných působení automatik opětného zapínání. V první řadě jsem roztřídil a následně rozpracoval statistiku poruch za období tří let. Ukázalo se, že ze všech případů OZ (496) připadá 85 % k úspěšným a pouze 15 % poruch je trvalého charakteru. Dle statistiky z těchto 85 % úspěšných OZ je 95 % neobjasněných, to je však způsobeno nevhodným vedením statistiky. Dále byl prokázán ranní efekt – naprostá většina poruch se vyskytuje mezi čtvrtou až šestou hodinou ranní a to především v období června až září. V neposlední řadě jsem vytipoval několik nejporuchovějších linek, kde jsem porovnal jednotlivé technické údaje a vytkl jsem nejkritičtější úseky.

Následujícím krokem bylo rozpracování možných příčin působení OZ, v této části jsem provedl laboratorní měření na závěsných keramických izolátorech. Předmětem tohoto měření bylo podpořit, anebo vyloučit jednu z teorií vzniku ranního efektu. Jednalo se o možnost, kdy by k vytvoření vodivé cesty přispělo pavoučí vlákno. Teorie nebyla přímo prokázána, avšak vliv přítomnosti pavoučího vlákna byl změřen a vyhodnocen. Lze říci, že izolační schopnost izolátoru může klesnout téměř o 20 %.

Součástí a zároveň posledním bodem mé diplomové práce bylo navrhnout další postupy k získání podkladů vhodných pro objasnění tohoto ranního jevu. V tomto ohledu bych se přikláněl k využití moderních technologií a rovněž k preciznějším vedením záznamů.

Závěrem bych rád podotkl jeden osobní postřeh: Studií zabývajících se tímto tématem vzniklo již více, bohužel původce ranního efektu se zatím v žádné z nich nepodařilo odhalit. V této diplomové práci jsem zvažoval hned devět možných příčin. Na to, aby mohlo dojít k poruše na vedení VVN, se každá z uvedených jednotlivých potenciačních příčin jeví jako málo pravděpodobná. Je však možné, že při vhodné souhře okolností se mohou některé z těchto příčin vhodně sejít a tím dají vzniknout podmínkám již vhodným pro poruchu na vedení VVN.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] BERAN, Miloš. *Elektrické ochrany strojů a zařízení elektrizační soustavy*. Ediční středisko VŠSE v Plzni, 1979.
- [2] TROJÁNEK, Zdeněk, HÁJEK, Josef, KVASNICA, Pavol. *Přechodné jevy v elektrizačních soustavách*. SNTL – Nakladatelství technické literatury/ALFA, 1987.
- [3] MARTÍNEK Z., HÁJEK, J. *Spolehlivost Přenosových a rozvodných sítí ES ČR*. Západočeská univerzita v Plzni, 2002. ISBN 80-7082-895-1.
- [4] WALKER J., RESNICK R., HALLIDAY D., *Fyzika – Elektřina a magnetismus*. VUT v Brně, Nakladatelství VUTIUM a Nakladatelství PROMETHEUS Praha, 1997. ISBN 80-214-1868-0, ISBN 81-7196-213-9.
- [5] CHRISTIAN, Ralf. *Průvodce energetikou*. Edice 6.1, Siemens, s.r.o., 2012.
- [6] MERTLOVÁ, Jiřina, NOHÁČOVÁ, Lucie. *Elektrické stanice a vedení*. 1., vyd. Západočeská univerzita v Plzni, 2008. ISBN 978-80-7043-724-7.
- [7] KŘENĚK, Vladimír. *Člověk a energie*. 1. vydání Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta strojní 2006. ISBN 80-7043-489-9.
- [8] WALKER J., RESNICK R., HALLIDAY D., *Fyzika – Elektromagnetické vlny-Optika-Relativita*. VUT v Brně, Nakladatelství VUTIUM a Nakladatelství PROMETHEUS Praha, 1997. ISBN 80-214-1868-0.
- [9] HEISING, C. R., *Worldwide Reliability Surveys of High Voltage Circuit Breakers*. IEEE Power Engineering Review, Paříž, 1995.
- [10] MERTLOVÁ, Jiřina. HEJTMÁNKOVÁ, Pavla. TAJTL, Tomáš. *Teorie přenosu a rozvodu elektrické energie*. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2008. ISBN 978-80-7043-307-2.
- [11] KOSTKA, Tomáš. *Přenos elektrické energie – ELEKTROTECHNIKA I*. [cit. 12.12.2016]. Dostupné z: <http://www.outech-havirov.cz/>
- [12] Zpráva o provozu ES. [online]. [cit. 20.12.2016]. Dostupné z: <http://www.eru.cz/>
- [13] Interní informace společnosti E.ON.
- [14] LACHMAN, J., SKLENIČKA, V., JANÝŠ, P. *Analýza příčin vyššího výskytu OZ na izolátorových závěsech s kompozitními izolátory*. EGU – HV Laboratory, PDF, 2015.
- [15] KUNTTU, S., PAANANEN, H., MÄKI, K., *Fault and event. Data utilization in distribution network operation*. Helsinki, 2016. Prezentováno: CIRED 2016
- [16] FREMR, Václav a Jiří BARTÁK. *ZČE - lidé a doba: 1919-2006*. Plzeň: Západočeská energetika, 2006. ISBN 80-239-6248-5.
- [17] TESAŘOVÁ, M., *Disertační práce - Predikce krátkodobých poklesů napětí v distribuční soustavě*. Západočeská univerzita v Plzni, 2000.
- [18] JIŘIČKA, J., *Ranní efekt v sítích 110 kV*, ELECTRIC POWER ENGINEERING, 2013.
- [19] VÁPENÍK, R., *Opětné zapínání v distribuční soustavě vysokého napětí*. ČEZ Distribuční služby, s.r.o. Ostrava, 2010.

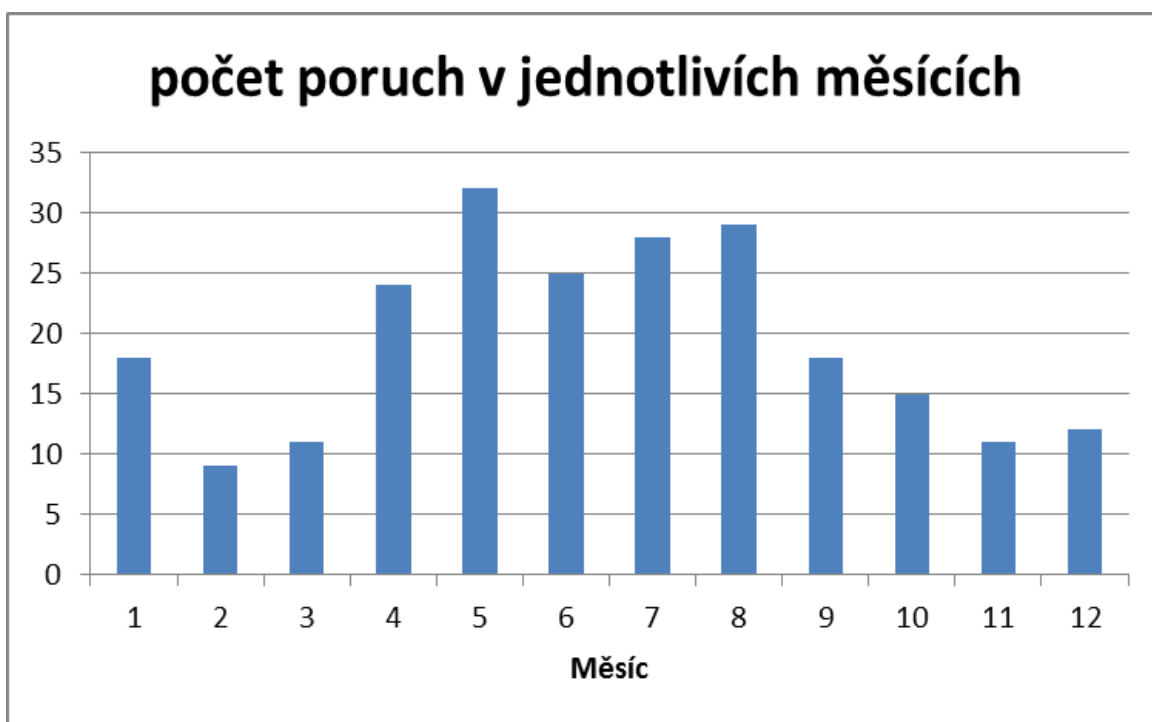
- [20] KOLEKTIV, E.ON, *PDF - Analýza poruch s úspěšným OZ v sítích 110 kV*. Brno, 2015.
- [21] SKLENIČKA, V., ŠVANCAR, M., *Návrh venkovní elektrické izolace podle stupně znečištění – porcelánové a skleněné izolátory pro sítě se střídavým napětím*. Nahrazení normy ČSN 33 0405. EGU-HV Laboratory a.s. Praha 2014.
- [22] *Archiv počasí, klima České republiky* [online]. [cit. 2017-05-3]. Dostupné z: <http://www.in-pocasi.cz/archiv/>.
- [23] *Extrémní meteorologické jevy*, Dostupné z: <Http://mve.energetika.cz/klimaticke-zmeny/extremni-meteorologicke-jevy.htm> [online]. [cit. 2017-01-20].
- [24] *Pavučina, pavoučí vlákno a vše o něm*. [online]. [cit. 2017-03-2]. Dostupné z: <http://www.wikiwand.com/cs/Pavučina>.
- [25] Interní mapový portál společnosti E.ON.
- [26] *O distribuci a ceně elektrické energie v ČR*, [online]. [cit. 2017-02-10]. Dostupné z: <https://www.energyconsultant.cz/o-elektrine.php>
- [27] BARTOŠ, Petr. *Výpočet nastavení distančních ochran v síti 110 kV* [online]. [cit. 2017-05-12]. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Brno, 2012.
- [28] *Elektroenergetika 2 - Studijní materiály*. Západočeská univerzita v Plzni [online]. [cit. 2017-05-12]. Dostupné z: <http://home.zcu.cz/~tesarova/>.
- [29] GELBIČ, I., ŠEBESTA, D., RŮŽEK, D., KILIAN, P., *Zpřesnění a standardizace metodiky monitoringu výskytu komárů a postupu pro detekci flavivirů a bunyavirů*. Biologické Centrum AV ČR v.v.i., Entomologický ústav, České Budějovice 2012.
- [30] *Blýskání Petra Kulhánka, Český rozhlas Leonardo* [online]. [cit. 2017-05-12]. Dostupné z: <http://www.aldebaran.cz/zvuky/blyskani/>.
- [31] *V kolik se rozednívá a stmívá?: Tabulka s časy východu a západu slunce* [online]. [cit. 2017-01-25]. Dostupné z: <http://www.meteogram.cz/vychod-zapad-slunce/>.
- [32] *Izolátory: Závěsný tyčový izolátor* [online]. [cit. 2017-01-25]. Dostupné z: <http://www.worldofinsulators.com/p/201/izolator-zavesny-tycovy-vzl-50435>.

Příloha A

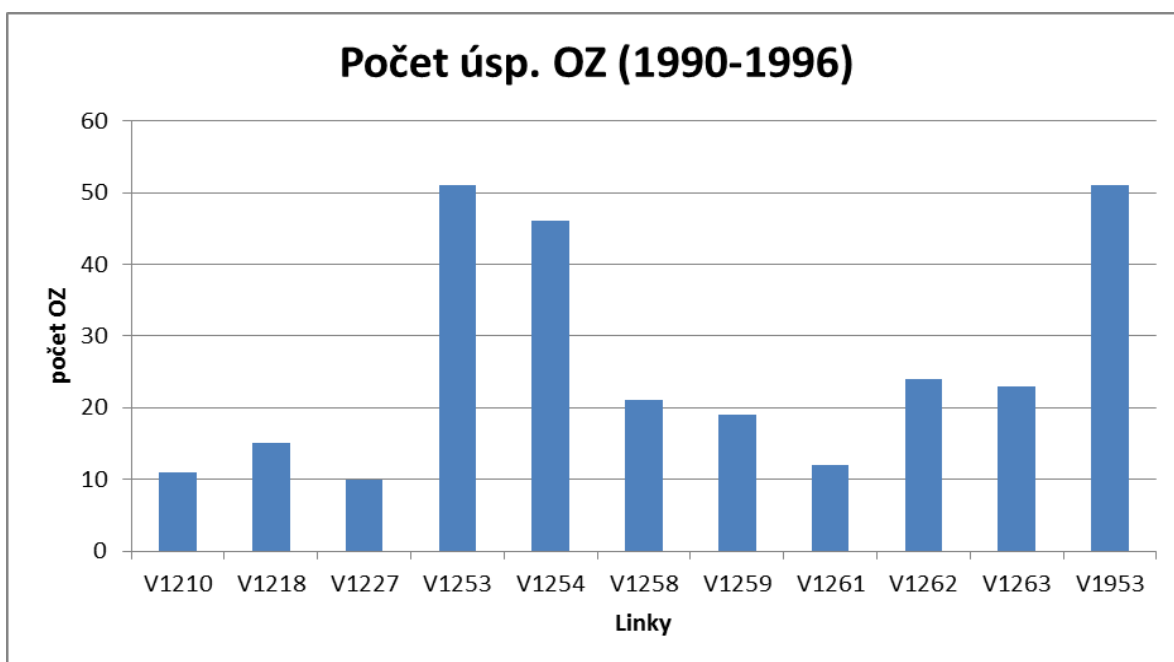
Další nezávislé kontrolní zdroje hodnot

1. Zdroj hodnot – OZ za roky 1990 – 1996

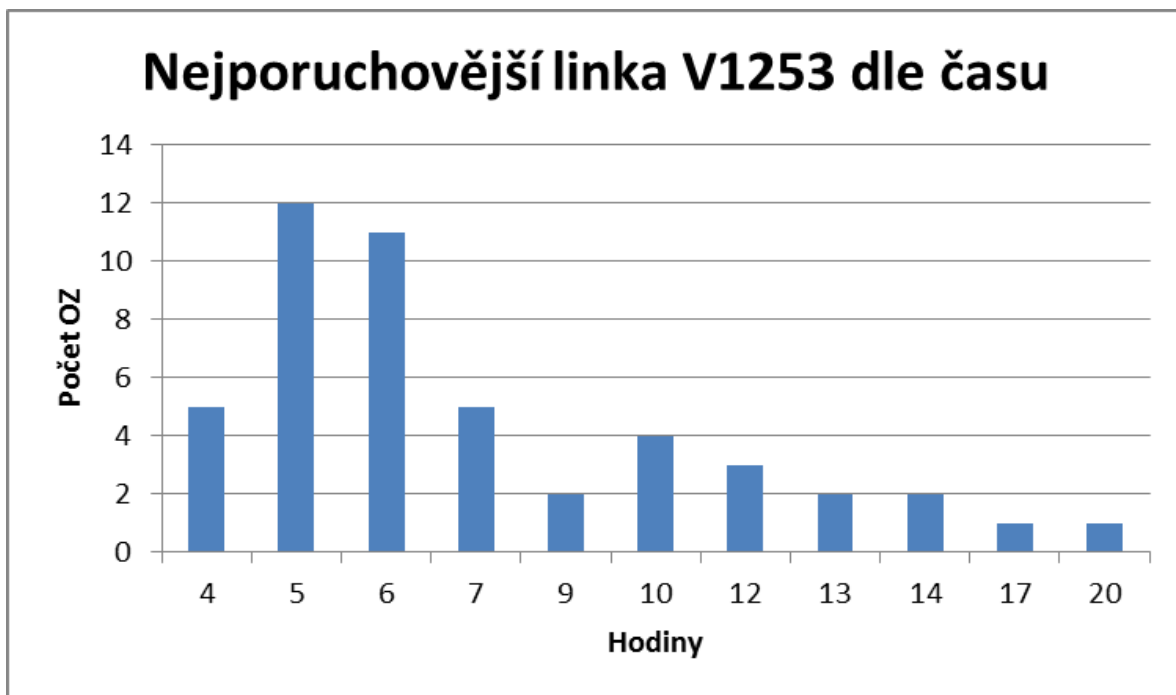
Další zdroje hodnot za delší časový úsek by měli potvrdit existenci ranního jevu. Jedná se o statistiky za roky 1990 až 1996 ze západních Čech. [17]



Přílohový obrázek 1: Rozložení počtu poruch dle kalendářních měsíců



Přílohový obrázek 2: Četnost úspěšných OZ na jednotlivých linkách

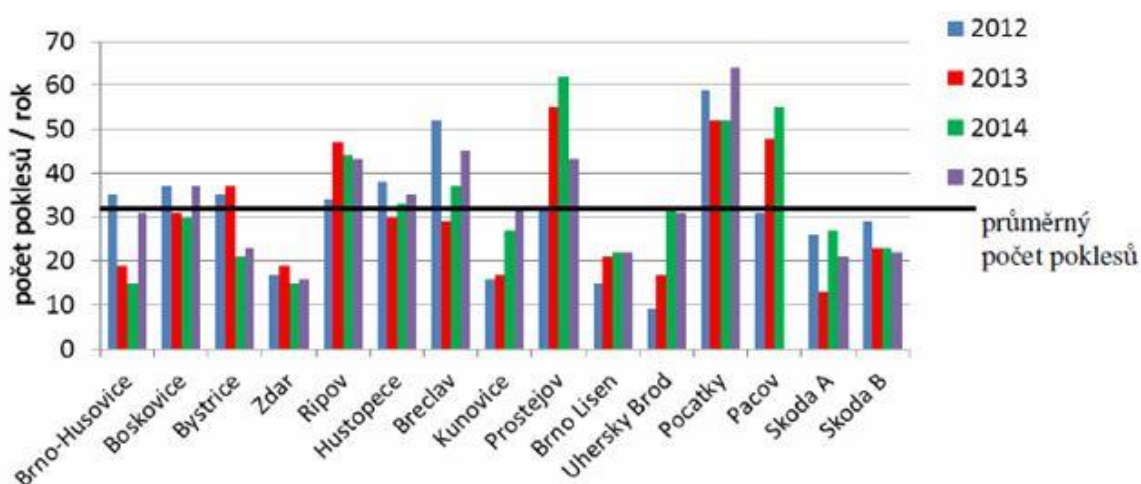


Přílohový obrázek 3: Opětný projev ranního efektu i na zcela nezávislé lince

Příloha B

2. Zdroj hodnot – poklesy napětí

Jedním z důvodů, proč je vhodné řešit neobjasněné OZ, jsou bezpochyby poklesy napětí. Porovnání statistiky poklesů napětí se statistikou úspěšných OZ by mělo prokázat jasnou souvislost těchto jevů. Byla mi poskytnuta data z měření poklesů napětí za roky 2012-2015. S těmi mými se shoduje rok 2014 a 2015 (již bez 2016), což postačuje ke kontrole. Ještě je třeba upozornit, že data se zaměřují na oblast Jižní Moravy a Vysočiny a že se jedná o poklesy trvající do 1 sekundy.



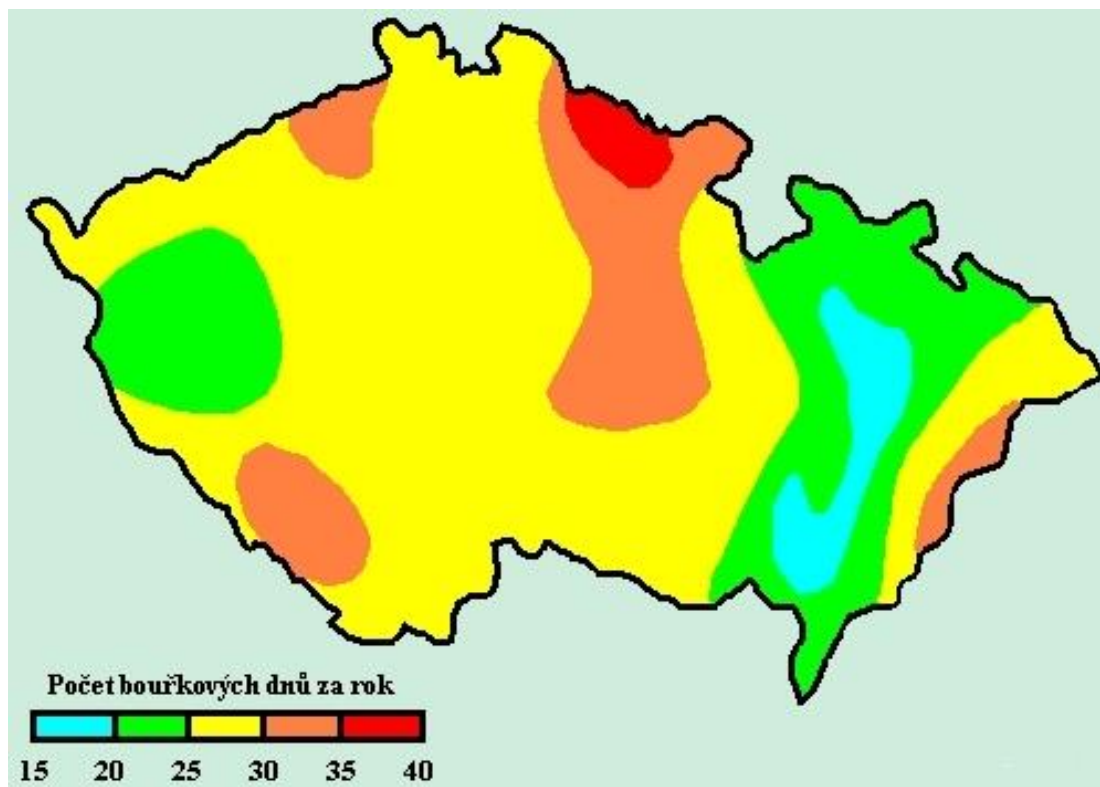
Přílohový obrázek 4: Výskyt poklesů napětí v síti 110 kV (2012-2015) [17]

Z přílohového obrázku 4 se prokázala jasná souvislost mezi poklesy napětí a výskytem OZ. Z nejvíce postižených rozvodů Pacov, Prostějov a Počátky ústí linky, na nichž došlo k největšímu počtu OZ. Tohoto údaje se dá využít i zpětně, tudíž z poklesů napětí se dá odhadnout, na kterých linkách dochází k častým OZ. Tato metoda se dá potenciálně použít pro rychlé vytipování linek se zvýšeným počtem OZ.

Příloha C

Izokeraunická mapa

Izokeraunická mapa vyjadřuje roční četnost bouřek v určité územní oblasti.



Přílohový obrázek 5: Izokeraunická mapa ČR [23]

Izokeraunická mapa poslouží dobře jako podklad pro určení oblastí se zvýšenou bouřkovou činností. Tím se dají lépe předurčit místa, kde bude docházet během letního období k úspěšným OZ, způsobeným atmosférickými výboji.