

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI**

**FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

# **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Jiskření na nedokonalém spoji**





## **Abstrakt**

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na jiskření na nedokonalém spoji, sestavit model jiskřiště a popsat praktické způsoby omezení jiskření. V práci jsou dále popsány důsledky které vznikají na VN vlivem jiskření.

## **Klíčová slova**

Jiskřiště, izolátor, vedení VN, vysokofrekvenční šum, CAD systém, permeabilita, kapacita, spojení, jiskření

**Abstract**

The present work is aimed at sparking the imperfect joints, gaps and build a model to describe practical ways of reducing arcing. The paper also describes the consequences that arise due to the high voltage spark.

**Key words**

Spark gap, insulator, keeping HV, high frequency noise, CAD system, permeability, capacity, connections, sparking

## **Prohlášení**

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou 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 bakalářské práce, je legální.

V Plzni dne 7.6.2012

Jméno příjmení

.....

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce panu ing. Adamovi Kyselovi. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce. Mé rodině za podporu při studiu a nakonec zaměstnancům strojní údržby v závodě Brevka AGC Flat Glass Czech , kteří mi pomohli při vytvoření funkčního modelu jiskřiště.

## Obsah

Obsah .....	8
Úvod:.....	9
Seznam symbolů a zkratk .....	10
1 Jiskření vlivem nedokonalých spojení .....	11
1.1 fyzikální vlastnosti vysokofrekvenčního šumu .....	11
1.2 Příklady zdrojů .....	12
1.2.1 porcelán.....	12
1.2.2 dřevo .....	12
1.2.3 Konstrukce a stavba .....	13
1.2.4 Vliv počasí.....	13
2 Návrh jiskřiště .....	14
2.1 Nástroj na zhotovení vykresu.....	14
2.2 Model.....	15
2.2.1 Nárýs jiskřiště.....	15
2.2.2 Půdorys jiskřiště.....	16
2.2.3 Zhotovený izolátor .....	16
2.3 Výpočet rozměrů izolátor .....	17
2.3.1 Výpočet velikosti desky kondenzátoru.....	17
2.3.2 Rovnice .....	17
2.3.3 Konkrétní hodnoty .....	17
3 Elektrické schéma jiskřiště.....	18
3.1 popis .....	18
4 Praktické způsoby omezení jiskření .....	19
4.1 Preventivní a nápravné opatření .....	19
4.2 Preventivní a nápravná opatření .....	20
4.3 Metoda detekce a lokalizace nedokonalých spojení7 .....	22
4.3.1 Příklady přístrojů pro odhalení nedokonalého spojení.....	22
4.3.2 Doporučený postup pro nalezení zdroje nedokonalých spojení .....	23
5 Závěr.....	25
6 Seznam literatury a informačních zdrojů .....	26
7 Přílohy.....	27



## **Úvod:**

Zaměření této práce spadá do širšího spektra zdrojů poruch na VN.

Konkrétně jiskření na nedokonalém spoji patří mezi lokální poruchy. Tato porucha s sebou přináší problém se vznikem vysokofrekvenčního šumu. Ten pak ruší pozemní vysílání. Konkrétně u rozhlasu a televizního vysílání. Pokud intenzita pole vysokofrekvenčního šumu překročí určitou mez pak může dojít ke snížení kvality příjmu rozhlasového a televizního vysílání.

Jiskření je jev při kterém dochází ke ztrátám na vedení a jinému rušení. Z tohoto důvodu musíme této poruše předcházet popřípadě ji lokalizovat a odstranit.

Cílem této práce je popis jiskření na nedokonalých spojích sestavit funkční model v měřítku. Dále popsat a navrhnout jak omezit tyto poruchy.

## **Seznam symbolů a zkratk**

CAD.....	Computer aided design
S.....	Plocha elektrody
C.....	kapacita izolátoru
$\varepsilon$ .....	Permitivita

# 1 Jiskření vlivem nedokonalých spojení

## 1.1 fyzikální vlastnosti vysokofrekvenčního šumu

Pokud se nevodivé části vedení, rozvoden nebo i předměty typu kovové ploty a svody dešťové vody nacházejí v silném elektromagnetickém poli vedení vysokého napětí, mohou se elektricky nabít. Rozdíl potenciálů může vzrůstat mezi sousedícími částmi, i tehdy, jsou-li tyto části na plujícím potenciálu.

Plující potenciál je stav při kterém nejsou části připojeny k zemi nebo vodiči vedení.

Je-li překročena bezpečná vzdálenost vodivých částí, pak se zvyšující se intenzita pole ve vzduchové mezeře může přiblížit kritické hodnotě a může nastat celkový průraz mezery. Pokud tyto podmínky nastanou, projeví se lavinová ionizace a ta vyvolá oblouk. Následně se na mezeře vyskytne výboj. Při tomto jevu poklesne rozdíl napětí na obou částech a zhasne oblouk. Pokud se tyto části znovu nabijí, prostor mezi nimi bude opět elektricky namáhán a objeví se výboj.

ČSN CISPR 18-1. Charakteristiky rušení od venkovních vedení a zařízení vysokého napětí

*“Opakování kmitočtu tohoto pochodu závisí na nabíjecí a vybíjecí časové konstantě a na hodnotě okolního elektrického pole, stejně jako na délce přeskokové vzdálenosti. Jednotlivé jiskry se mohou vyskytnout od stovek do několika tisíců sekund. Opakovací kmitočet je však alespoň o řád nižší než je rozsah opakovacích kmitočtů korónového výboje.”*

Pokud síťové napětí dosáhne maxima v čase křivky vzrůstá tím i pravděpodobnost jiskření na mezeře. Jestliže napětí na vedení přesáhne kritickou hodnotu, vzrůstá i intenzita pole v mezeře, poté během každé půlperrody vytvářejí skupiny výbojů.

Hlavním činitelem ve formě pulsu výboje je jeho krátká doba náběhu, a z toho je patrný velký rozsah vytvářených a emitovaných kmitočtů. Na obrázku 11 ( viz příloha) je znázorněno porovnání mezi spektrem výboje na mezeře ve známé vzdálenosti a kmitočtovým spektrem vysokofrekvenčního šumu korony. Tyto vyzářené kmitočty mohou narůst na hodnotu několika set MHz. Jestliže výboj bude vybuzen součástí která by mohla vzhledem ke svým rozměrům oscilovat na určitém kmitočtu, pak může nastat úzkopásmové vyzářování na daném kmitočtu, z důvodu chování se dané součásti jako antény. Uvedený tip výboje pak může působit rušení v příjmu amplitudově modulovaných rozhlasových signálů a také obrazových signálů televize.

## 1.2 Příklady zdrojů

Zdroj rušení na venkovních vedeních typu mezer mohou být způsobeny vlivem málo zatížených čapek a roubíků izolátoru. Pokud je váha izolátoru nevyhovující, tak není možné zabránit výskytu oxidace na kovových součástech. Dalšími zdroji mohou být zkorodované kovové součásti a tím i nedostatečný styk.

### 1.2.1 porcelán

Pokud je prvek vyroben z porcelánových izolátorových částí, tak v tomto materiálu mohou jiskry nastat ve vnitřních strukturách porcelánu. Tyto výboje se mohou vyskytnout i v porušených izolátorech, vrstvách nátěru a také i v součástech které nemají nic společného s přenosovým vedením a to například nepropojené kovové ploty a žlaby dešťové vody.

### 1.2.2 dřevo

U stožárů vysokého napětí, kde jako materiál bylo použito dřevo se může objevit jiskření u kovových částí, což já také za následek rušení televizního příjmu. Důvodem je změna objemu dřeva. Dochází k povolování matic a šroubů které zabezpečují pevné uchycení příčníků nebo izolátorových roubíků. Na těchto místech se může vyskytnout koroze mezi maticí a šroubem, vznik nedokonalé spojení a vzniká jiskření.

Další příčinou rušení vlivem jiskření na vysokém napětí s dřevěnými sloupy může dojít na svorce zemnicího lana. Důvodem je rozdílný potenciál mezi sousedními stožáry vedení. Z tohoto důvodu mohou přeskakovat jiskry na zemnicí lana. Pravděpodobnost vzroste pokud

tyto svorky jsou zkorodované. Dále také pokud nastane dotyk mezi fázovým vodičem a roubíkovým izolátorem, dochází k jiskření v místě upevnění vazacího drátu. Zde nastává problém vysokého namáhání úzké vrstvičky vzduchu mezi vodičem a izolátorem, důsledkem je pak možné jiskření v tomto místě.

### **1.2.3 Konstrukce a stavba**

Při stavbě vedení musí být dodržena všechna kritéria a patřičná odborná péče. V části samotného provozu musí být zajištěna zpětná vazba poruchy a následné odstranění v daném místě. Jedno z hlavních kritérií které se musí věnovat zvýšená pozornost je samotná konstrukce a údržba zařízení. Do tohoto spadá trvalá funkčnost kontaktů, například u vzduchových odpojovačů, pružných spojení v konstrukci takových odpojovačů, připojení pojistek a odboček.

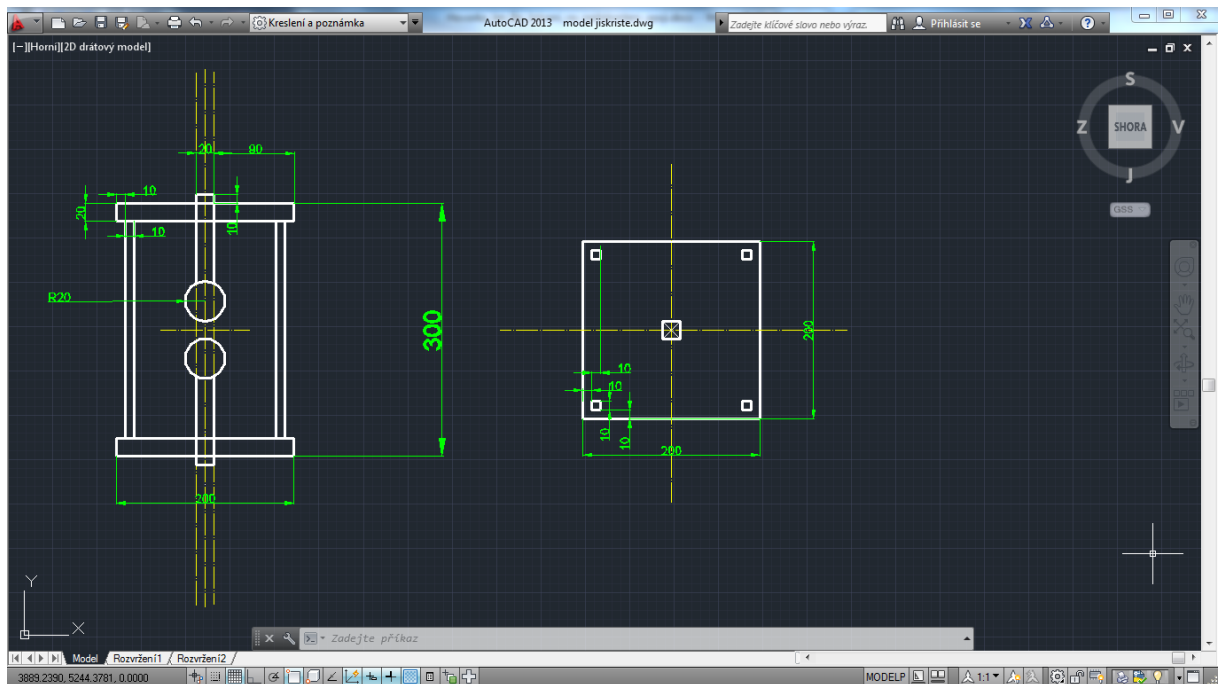
### **1.2.4 Vliv počasí**

Z hlediska výbojů se musí brát v potaz i počasí, které má vliv na dostatečnou izolaci mezi dvěma prvky. Vlivem změny počasí se může tato izolace prorazit a dojít k jiskření. Vlivem deštivého počasí může na mezeře vzniknout vodivá cesta a tím přemostit kontakt. Z tohoto důvodu je tento typ rušení spojen s pěkným počasím, nikoli za vlhka. Časté pojmenování tohoto rušení je suchý šum.

## 2 Návrh jiskřiště

### 2.1 Nástroj na zhotovení výkresu

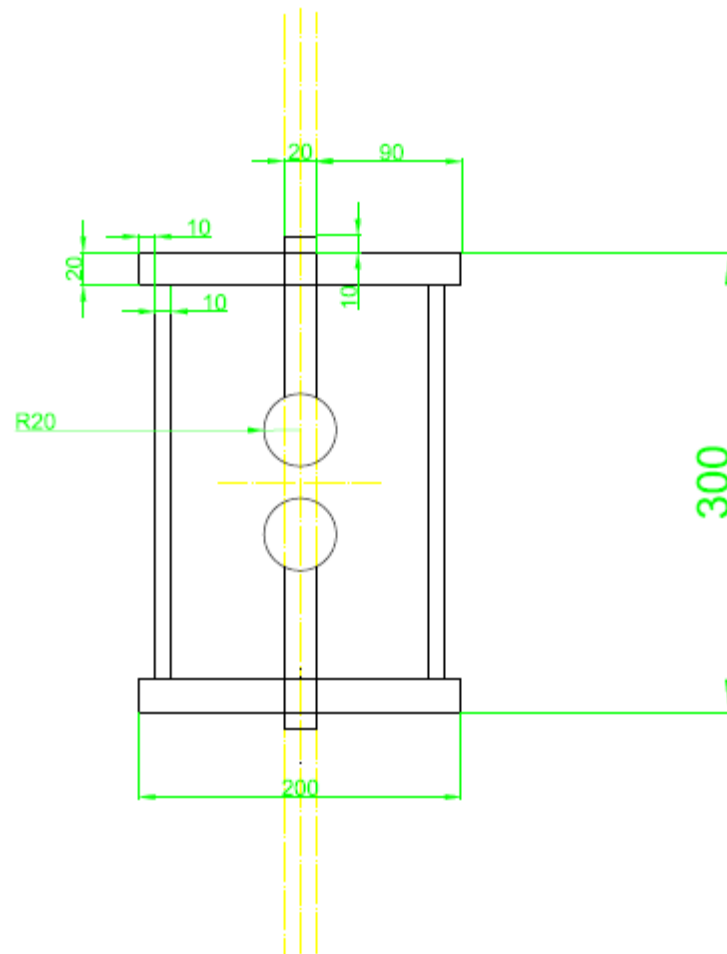
Na zhotovení výkresu jiskřiště a improvizovaného izolátoru byl použit CAD systém a to konkrétně Autocad 2013. V tomto nástroji jsem v měřítku navrhl jiskřiště k následnému vyhotovení jsou zde uvedeny i rozměry v [mm].



Obr 1- program AutoCAD 1

## 2.2 Model

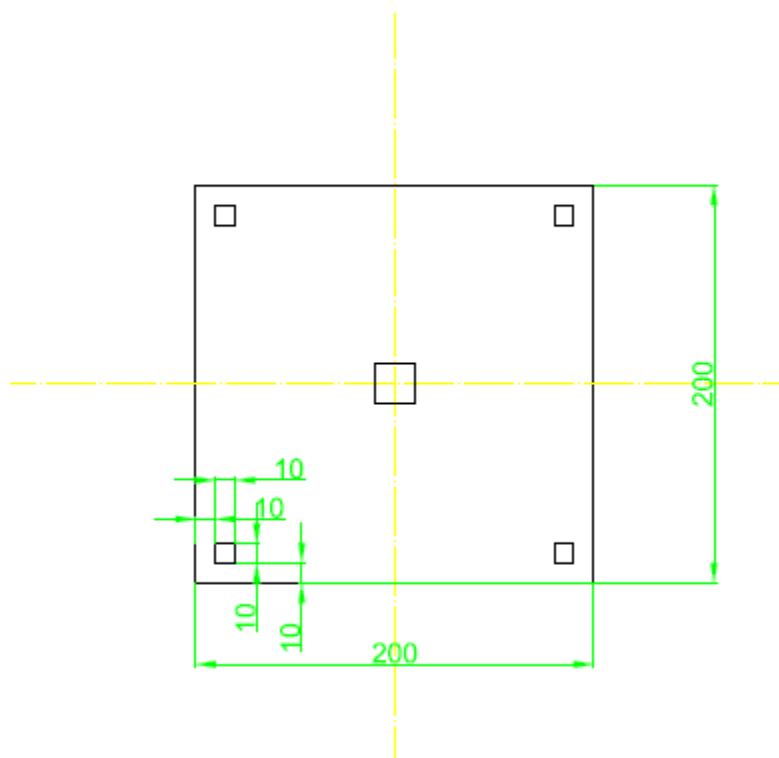
### 2.2.1 Nárys jiskřiště



Obr 2- Jiskřiště 1

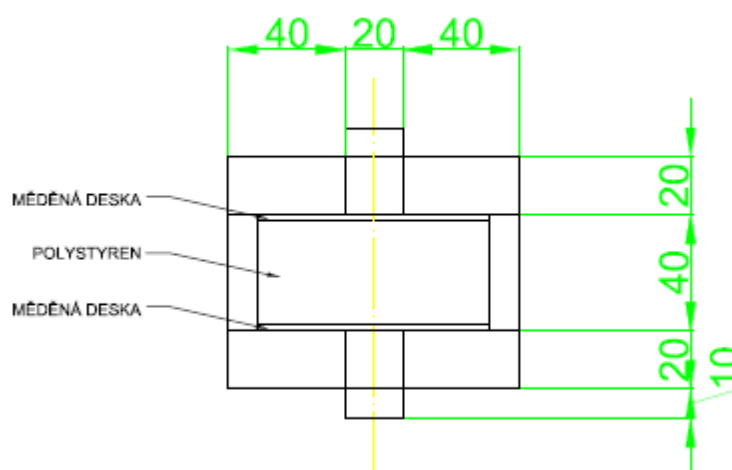
U tohoto modelu jsem vycházel ze zařízení v laboratoři Západočeské univerzity.

## 2.2.2 Půdorys jiskřiště



Obr 3- Jiskřiště 2

## 2.2.3 Zhotovený izolátor



Obr 4-model izolátoru 1



## 2.3 Výpočet rozměrů izolátor

### 2.3.1 Výpočet velikosti desky kondenzátoru

Pro tento účel byl zvolen nástroj ze systém Microsoft Office a to konkrétně Microsoft Excel.

Výpočet rozměrů za předpokladu že reálný izolátor má kapacitu 50pF

### 2.3.2 Rovnice

Základní vzorec:  $C = \varepsilon * \frac{S}{d}$

Z konstrukčních důvodů byl zvolen profil kondenzátoru čtvercového průřezu.

Výpočet obsahu:  $S = a^2$

Určení permitivity :  $\varepsilon = \varepsilon_0 * \varepsilon_r$

Za  $\varepsilon_0$  bylo zvoleno podle tabulek: 8,854187817E-12

Za  $\varepsilon_r$  byly zvoleny v porovnávání dvě hodnoty:

- a) Pro vzduch: 1,00054
- b) Pro polystyren: 2,6

### 2.3.3 Konkrétní hodnoty

Hodnota pro vzduch :

Obsah plochy :  $S = 0,008 \text{ m}^2$

Vzdálenost elektrod :  $d = 0,002\text{m}$

Hodnota pro polystyren:

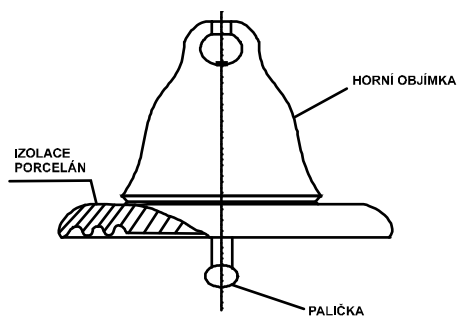
Obsah plochy :  $S = 0,008 \text{ m}^2$

Vzdálenost elektrod :  $d = 0,003 \text{ m}$

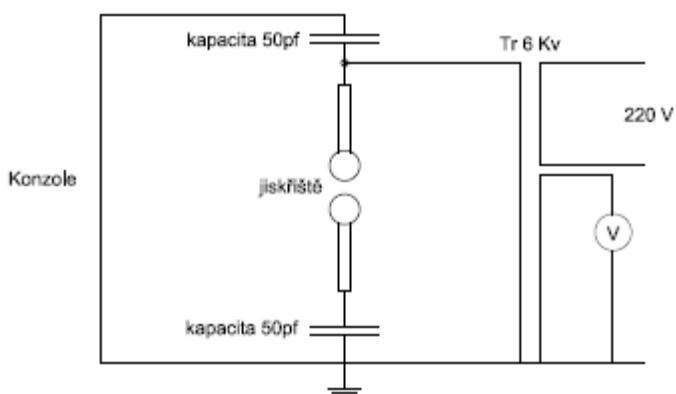
### 3 Elektrické schéma jiskřiště

#### 3.1 popis

Při simulaci jiskření na nedokonalém spoji jsem použil kulové jiskřiště a námi vyrobený prvek, který má kapacity 50pf.(jeden porcelánový blok izolátoru) Tato hodnota vychází z měření provedených na Západočeské univerzitě v Plzni.



Obr 5 - reálný izolátor 1



Obr 6 - schéma pro jiskření 1

## 4 Praktické způsoby omezení jiskření

ČSN CISPR 18-3. Charakteristiky rušení od venkovních vedení a zařízení vysokého napětí

“Vysokofrekvenční šum vzniklý na nedokonalých spojeních, to je na nedokonalých nebo přerušovaných galvanických kontaktech, se objevuje zejména za suchého počasí, protože za vlhka jsou relativně malé mezery obvykle přemostěny vlhkem.“

### 4.1 Preventivní a nápravné opatření

Při stavbě vysokonapětového zařízení je důležité

- a) Všechny upevňovací prvky musí být dostatečně utažené
- b) Spojit vodivé části na potenciál vodiče nebo země

Pospojování kovových povrchů je u distribučního vedení důležité, ale není potřeba propojit dané části s potenciálem země nebo vodiče. Pokud není možné zajistit propojení na jedné straně (například čep a vidlice, připojení izolátorového řetězce), prvky na sousední straně by měly mít dobrý stykový odpor kov na kov a dobrou izolaci od ostatních kovových částí zařízení. Je třeba i počítat s možností, že i nová zařízení, která jsou galvanicky spojena, mohou mít povrch pokrytý zinečnatými uhličitany. Časem se na povrchu mohou objevit i jiné oxidy a sulfidy a to díky povětrnostním vlivům. Příčinou tohoto znečištění se mohou objevit nedokonalá spojení a ta vytváří kapacitní výboje na mezerách. Tento stav se může objevit, pokud jsou nosné izolátory zatíženy nedokonale.

## 4.2 Preventivní a nápravná opatření

ČSN CISPR 18-1. Charakteristiky rušení od venkovních vedení a zařízení vysokého napětí část 3.

### a) Vodivý tuk a pasta

Tento způsob opatření je rychlá a ekonomická metoda. Provádí se nanášením na plochu pánvičky a izolátoru nebo třmenu izolátoru. Tento způsob je nevýhodný kvůli dočasné funkci, později se musí znovu aplikovat. Doba účinné ochrany se dá prodloužit aplikováním pasty obsahující měď. Je zde však riziko styku s izolátorem, kterému se musí zabránit. Pokud nanese nevodivý tuk na čerstvě pokovený povrch, většinou zabráníme korozi.

### b) Kontaktní kartáč

Toto opatření je účinné v rozmezí tří až pěti let. Kartáče jsou z nerezových štětín, které zajišťují spojení kov na kov v prostoru čepu a vidlice, paličky a pánvičky.

### c) Kontaktní svorka

Pokud je použita kontaktní svorka je toto možné pouze u spojení čep-vidlice. Důležitá věc při instalaci je, aby byly svorky instalovány na posledním izolátoru vodiče. Je zde na výběr z mnoha druhů, které jsou vhodné pro použití mezi paličku a pánvičku, kde zajišťují dostatečný tlak pro průraz vrstvy oxidu.

### d) Trvalé propojení

Nejvýhodnějším řešením je trvalé flexibilní propojení přes každý kovový článek izolátorového řetězce propojením od zemního konce izolátoru na jeho nosný příčník a spojením od svorky vodiče na koncový izolátor. Tento druh spojení by měl být řešen nerezovým lanem nebo měděným kabelem, které by měli být buď přivařeny, nebo přichyceny šrouby. Kabel by měl mít plastové krytí kvůli ptactvu. Vytahuje prasklé prameny.

## e) Kovové závaží pro izolátorové řetězce nedostatečně mechanicky zatížené

Aby se docílilo dobrého kontaktu mezi čapkou a paličkou sousedních jednotek izolátorů, měl by celý řetězec obsahovat kovové závaží s oblými okraji (aby se neobjevila korona).

## f) Pérové a plastické pružiny

Je-li použito dřevo jako materiál na nosné konstrukce, je vhodné použít pérové nebo plastové podložky. Pérové podložky zabrání povolení konstrukcí vlivem vysychání dřeva. Plastické podložky z acetátu nebo nylonu zabezpečí lepší utažení matic. V místech kde se nainstalují samosvorné matice nebo plastické podložky, se musí dbát na to, aby zde nevznikly izolační mezery. Tyto podložky se dají použít v místech mezi maticí a dřevěným stožárem či ramenem.

## g) Jednoduchý izolátor

Výhodou je menší množství výskytu vysokofrekvenčního šumu.

## h) Roubíkové izolátory s vodivou glazurou

U tohoto typu izolátoru se setkáváme s jiskřením na povrchu. Konkrétně v místě dotyku vodiče a vázacího drátu v krčku izolátoru. Tento problém lze odstranit použitím vodivého nátěru nebo pokovením izolátoru v místě dotyku. Tento způsob je účinný pouze tehdy, je-li aplikován již při výrobě izolátoru. Pokud je roubík přímo šroubován do porcelánového izolátoru se závitem, pak tento závit musí být opatřen vodivým nátěrem. Nejvýhodnější je však na toto myslet již při výrobě a díru nanést roubíkovou glazuru.

## i) Připevnění pomocí materiálů z plastů a izolovanými sponami

Při užití tohoto způsobu upevnění zemního lana k dřevěnému stožáru. Zamezíme tím jiskření mezi zemním lanem a jeho přichycením. Tato výhoda se projeví zejména při uvolnění nebo korozi upevňovacích prvků.

### 4.3 Metoda detekce a lokalizace nedokonalých spojení

Nedokonalá spojení se mohou vyskytovat jak na vedení tak na rozvodně. Detekce a zjištění místa vysokofrekvenčního šumu je podstatnější než měření výsledného pole. Dále jsou pak sepsány postupy na detekci nedokonalých spojení. Všechny metody se provádějí za suchého počasí.

Tyto poruchy se často lokalizují pomocí reproduktorů nebo sluchátek. Tento postup se používá kvůli zjištění konkrétní poruchy.

#### 4.3.1 Příklady přístrojů pro odhalení nedokonalého spojení

- a) Běžně dostupný (AM) přijímač. V rozmezí alespoň 500 kHz do 18 MHz
- b) Zařízení na měření intenzity vysokofrekvenčních polí s širokopásmovou anténou a předzesilovačem. Výstup z tohoto zařízení se vyhodnocuje přes reproduktor a osciloskop.
- c) Osciloskop s dostačující intenzitou pro práci během dne s kmitočtem přibližně 500 Hz.
- d) Přístroj na měření pole v pásmu UHF s dvěma Yagi anténami. Každá s antén pracuje v jiném pásmu, a to konkrétně 500 MHz a 800 MHz. Toto zařízení je konstruováno tak aby se dalo obsluhovat jednou osobou.
- e) Malý vysokofrekvenční detektor, který pracuje v oblasti pro střední a velmi krátké vlny. Nesmí obsahovat automatické vyrovnávání citlivosti.

- f) Další možností je použít AM rozhlasový přijímač bez vyrovnávání citlivosti. Toto zařízení musí být uzavřené v kovovém krytu. Anténa může mít dvě provedení, a to konkrétně teleskopické, nebo feritové umístěné uvnitř kovového krytu. Kryt je instalován na jedné straně izolační trubice. Vyhodnocení je pak prováděno přes sluchátka. Zdroj, který je slyšet se získává z mikrofonu do kterého ústí hlukový signál skrz trubku. Výhodou tohoto zařízení je, že může být použito blízko zdroje rušení.
- g) Citlivý ultrazvukový detektor s parabolickým reflektorem. Tento přístroj je vhodné použít například na rozvodnách k zjištění zdroje šumu. Možnost použití je pouze za suchého počasí.

#### 4.3.2 Doporučený postup pro nalezení zdroje nedokonalých spojení

- I. Pomocí přístroje detekujeme šum a zjistíme jeho rozsah.
- II. Pro lokalizaci se vychází z předpokladu, pokud se přibližujeme k poruše pak se objevují vyšší kmitočty. Pokud však dané místo mineme, kmitočet se naopak sníží. Pokud se porucha vyskytuje na dřevěných stožárech využije se úderu perlíkem do konstrukce a tím zjistíme zdroj šumu na stožárech.

Dalším způsobem pro lokalizaci je zacílení proudu vody na všechna pochybná místa. Kvůli dodržení izolace se na dlouhou izolační tyč namontuje nádržka s vodou. Chod tohoto zařízení zajišťuje pracovník na zemi tím že přivádí stlačený vzduch od nádržky s vodou. Pokud údržba lokalizuje místo poruchy, stejným zařízením se do postiženého místa vstříkne tuk odpovídajících vlastností.

- III. Pokud byl zjištěn zdroj poruchy na rozvodně, měl by být použit přístroj popsáný v kapitole e) 4.3.1. Jako další variantu je možné použít malý přenosný rozhlasový přijímač (kapitola f) 4.3.1). U druhého způsobu musíme uvažovat o možnosti ovlivnění měření místní kabeláží. Ta může fungovat jako anténa. Proto by se mělo postupovat krok za krokem.

- IV. Jestliže jako místo poruchy byl identifikován stožár, mělo by být použito zařízení z odstavce d) kapitola 4.3.1. u tohoto měření by měla být použita jak vertikální tak horizontální anténa.
- V. Jako závěrečný krok pro přesné určení místa poruchy by měl být použit přístroj popsany v odstavci f) kapitola 4.3.1. Prospěšné může být zkontrolovat izolátory jak na stožárech tak na rozvodně aby se vyloučila přítomnost šumu.
- VI. Pro lokalizaci se používá citlivý ultrazvukový detektor a to v případě že hluk je slyšitelný a dochází k výbojům na mezeře.



## **5 Závěr**

Princip jiskření a jeho vznik byl popsán v kapitole 1. Zde pak byly detailněji uvedeny i zdroje. Ty pak byly detailněji upřesněny a popsáno jak je ovlivňuje počasí.

V další části byl navržen model jiskřiště který byl vypočítán podle výše uvedených vzorců v kapitole 2. Získané údaje byly použity pro zhotovení fyzického modelu jak samotného jiskřiště tak improvizovaných izolátorů. Nákresy jsem zhotovil pomocí programu AutoCAD. Ty pak posloužili k projektové dokumentaci.

Na závěr byly popsány praktická omezení poruch na síti a byl blíže specifikován způsob jejich odhalení a odstranění.

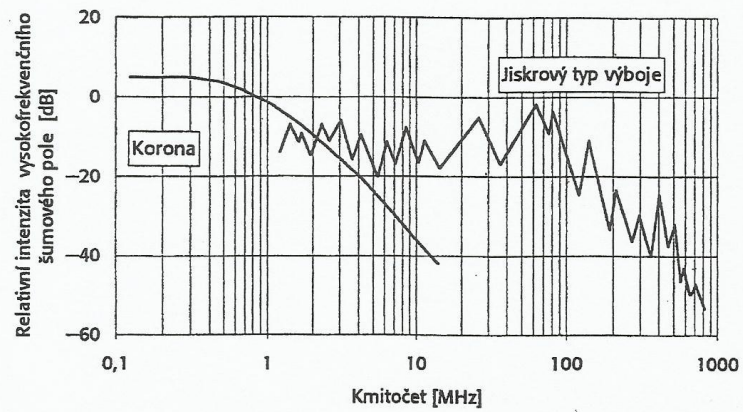
## 6 Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] ČSN CISPR 18-1. Charakteristiky rušení od venkovních vedení a zařízení vysokého napětí
- [2] ČSN CISPR 18-3. Charakteristiky rušení od venkovních vedení a zařízení vysokého napětí
- [3] ČSN EN 60052. Měření napětí pomocí normalizovaných vzduchových jiskříšť
- [4] FINKELSTEIN, Ellen. *Mistrovství v AutoCADu*. Vyd. 1. Brno: CP Books, 2005, 1057 s. ISBN 80-251-0567-9.

## 7 Přílohy

Poskytnuto za poplatek - Západočeská univerzita v Plzni - Marie Chottova  
Rozmnozování a rozšiřování českých technických norem nebo jejich částí bez souhlasu UNMZ je porušením zákona č. 22/1997 Sb. a podleha pokute

ČSN CISPR 18-1



Obrázek 11 – Příklad relativní intenzity vysokofrekvenčního šumového pole jako funkce kmitočtu

Obrázek 11 příloha 1