

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Diagnostika vysokonapěťových izolačních systémů

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2018/2019

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Martin KUNT**
Osobní číslo: **E16B0011K**
Studijní program: **B2644 Aplikovaná elektrotechnika**
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**
Název tématu: **Diagnostika vysokonapěťových izolačních systémů**
Zadávající katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

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

1. Popište současný stav vysokonapěťové techniky s ohledem na rozvoj přenosových sítí.
2. Proveďte analýzu využití kompozitních izolačních prvků v přenosové soustavě.
3. Popište diagnostické metody využitelné v přenosových sítích pro detekci a lokalizaci částečných výbojů.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah kvalifikační práce: 30 - 40 stran

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

1. High Voltage Engineering and Testing, Hugh M. Ryan, 2013.
2. Condition Assessment of High Voltage Insulation in Power System Equipment, James, Ron E.; Su, Qi.
3. Elektronické informační zdroje, Databáze Sciecedirect, Wiley Interscience, Ieeexplore.
4. Mentlík, V. a kol. Diagnostika elektrických zařízení, BEN 2008.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Josef Pihera, Ph.D.


Katedra technologií a měření

Datum zadání bakalářské práce: 5. října 2018

Termín odevzdání bakalářské práce: 13. června 2019


Prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D.
děkan




Prof. Ing. Václav Kůs, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 5. října 2018

Abstrakt

Předkládaná bakalářská práce na téma diagnostiky vysokonapětových izolačních systémů je zaměřena na problematiku detekce částečných výbojů. Druhá část zadání se váže ke způsobu využití a poruchám kompozitních izolačních materiálů v rámci sítí přenosové soustavy ČR. Pro přehlednost a ujasnění návazností dané problematiky je celá práce doplněna o úvodní kapitolu zaměřenou na popis prvků vedení a plánovaný rozvoj sítí přenosové soustavy ČR v návaznosti na životnost těchto prvků. Práce je doplněna o vyhodnocení diagnostiky korónových výbojů na vedení V452, kterého jsem se zúčastnil.

Klíčová slova

Přenosová soustava, kompozitní izolátory, korónový výboj, hydrofobnost, životnost...

Abstract

The presented bachelor theses on the topic of the diagnostic of high voltage insulation systems is focused on issues of the detection of partial discharges. The second part of the assignment is dedicated to the utilization and the failures of the composite polymer materials for insulation within the Czech transmission system. To clarify the whole issue there is an introductory chapter focused on the description of parts of over-head lines and the planned development of Czech transmission systems according to the ageing of these parts. The work is supplemented by evaluation of the diagnostics of corona discharges on over-head line V452, in which I have participated.

Key words

Transmission System, Composite Insulator, Corona Discharge, Hydrophobicity, Lifetime

Prohlášení

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

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

.....
podpis

V Plzni dne 10.6.2019

Martin Kunt

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Josefu Piherovi, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce. Současně bych chtěl tímto poděkovat kolegům ze společností ČEPS, a.s. a EGÚ – HV Laboratory, a.s. za cenné rady a poskytnuté podklady. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat i své rodině za podporu a nekonečnou trpělivost.

Obsah

OBSAH	8
ÚVOD	9
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	10
1 SOUČASNÝ STAV VYSOKONAPĚŤOVÉ TECHNIKY S OHLEDEM NA ROZVOJ SÍTÍ PŘENOSOVÉ SOUSTAVY	11
1.1 STOŽÁROVÉ KONSTRUKCE	14
1.2 IZOLÁTOROVÉ ZÁVĚSY	16
1.3 FÁZOVÉ VODIČE	20
1.4 ZEMNÍCI LANA.....	24
1.5 DOPLŇUJÍCÍ PRVKY	26
2 KOMPOZITNÍ IZOLAČNÍ PRVKY V PŘENOSOVÉ SOUSTAVĚ	29
2.1 HISTORIE VYUŽITÍ KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ PRO IZOLÁTOROVÉ ZÁVĚSY	29
2.2 VYUŽITÍ NA VEDENÍCH PŘENOSOVÉ SOUSTAVY	30
2.2.1 Typy kompozitních izolátorových závěsů a mezifázové rozpěrky.....	32
2.2.2 Konstrukce kompozitních izolátorů a použité materiály.....	34
2.2.3 Druhy sledovaných a zjištěných závad	37
2.2.4 Problematika vyššího výskytu úspěšných opětovných zapnutí.....	44
2.3 VYUŽITÍ V ROZVODNÁCH	46
2.3.1 Kompozitní materiály u izolátorových závěsů	47
2.3.2 Kompozitní materiály u přístrojů.....	47
3 DIAGNOSTICKÉ METODY VYUŽITELNÉ V PŘENOSOVÉ SOUSTAVĚ PRO DETEKCI A LOKALIZACI ČÁSTEČNÝCH VÝBOJŮ	49
3.1 KORÓNOVÝ VÝBOJ	50
3.2 AKUSTICKÁ DETEKCE.....	52
3.3 RADIODETEKCE.....	53
3.4 NOČNÍ SNÍMÁNÍ UV ZÁŘENÍ.....	54
3.5 DENNÍ SNÍMÁNÍ UV ZÁŘENÍ	56
3.6 DOPLŇUJÍCÍ TERMOVIZNÍ SNÍMKY IR KAMEROU	57
3.7 MÍSTA VÝSKYTU KORONY NA VEDENÍCH PŘENOSOVÉ SOUSTAVY	59
3.7.1 Diagnostika na vodičích a kovových armaturách.....	59
3.7.2 Diagnostika na izolátorech.....	60
3.7.3 Diagnostika na vedeních	61
3.8 DIAGNOSTIKA KORONY NA VEDENÍ V452	63
ZÁVĚR	66
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	69
SEZNAM OBRÁZKŮ	73
SEZNAM TABULEK	75
SEZNAM GRAFŮ	75
PŘÍLOHY	76

Úvod

Předkládaná práce je zaměřena na diagnostiku vysokonapětových izolačních systémů v rámci sítě přenosové soustavy ČR, která je provozována společností ČEPS, a.s. Vzhledem k zaměření zadání práce na analýzu využití kompozitních izolačních prvků, které se využívají na vedeních i v rozvodnách PS, je problematika rozvoden a transformačních stanic také okrajově zmíněna na dokreslení celkového obrazu o současném stavu PS.

Text je na základě rozsahu stanoveného v zadání bakalářské práce rozdělen do tří částí; první se zabývá popisem současného stavu vysokonapětové techniky s ohledem na rozvoj sítě PS, druhá analyzuje využití a poruchy kompozitních izolačních prvků. Třetí část popisuje diagnostické metody využitelné pro detekci a lokalizaci částečných výbojů spolu s vyhodnocením možných příčin jejich vzniku a vyhodnocením diagnostiky na lince V452.

Seznam symbolů a zkratk

DS.....	Distribuční soustava (současní provozovatelé: ČEZ, E.ON a PRE)
PS.....	Přenosová soustava (současný provozovatel: ČEPS)
ČEPS.....	Česká energetická přenosová soustava
SEPS.....	Slovenská elektrizační přenosová soustava
ÚCL.....	Úřad pro civilní letectví
ČHMÚ.....	Český hydrometeorologický ústav
IEC.....	Mezinárodní elektrotechnická komise
VVN.....	Velmi vysoké napětí (110 a 220 kV)
ZVN.....	Zvláště vysoké napětí (400 kV)
FV.....	Fázový vodič
IZ.....	Izolátorový závěs
ZL.....	Zemnicí lano
KZL.....	Kombinované zemnicí lano
SK.....	Stožárová konstrukce
p.b.	Podpěrný bod (pozice umístění SK v rámci trasy vedení)
OZ.....	Opětovné zapnutí vedení po poruše (úspěšné / neúspěšné)
TR.....	Transformovna – elektrická stanice s transformační vazbou
R245, R420.....	Rozvodna o dané napětíové hladině (220 kV a 400 kV)
PTN/PTP/PTK...	Přístrojový transformátor napětí / proudu / kombinovaný
V2xx, V4xx.....	Číselné označení vedení o dané napětíové hladině 220 a 400 kV
DyZ.....	Dynamické proudové zatěžování vedení
eSADA.....	Informační systém evidence a kontroly zařízení, zatížitelnost, ČEPS, a.s.
IS-PD.....	Informační systém provozní dokumentace vedení – ČEPS, a.s.
TN.....	Technické normy ČEPS, a.s.

1 Současný stav vysokonapětové techniky s ohledem na rozvoj sítí přenosové soustavy¹

Přenosová soustava prochází v současné době mohutnou proměnou, která spočívá v navýšení její přenosové schopnosti a přechodu na jednotnou úroveň 400 kV (Příloha č.5). Vedení o napětí 400 kV se upravují na vyšší proudovou zatížitelnost (2000 – 2500 A) a případně zdvojují či staví zcela nové. U vybraných vedení o napětí 220 kV se v návaznosti na úpravy v rozvodnách, plánují přestavby na vyšší napětovou hladinu 400 kV, resp. se počítá s jejich odprodejem DS, případně zrušením cca do roku 2060. Na linkách, které nejsou těmito změnami prozatím dotčeny, je navíc prováděna obměna jednotlivých prvků dle jejich životnosti uvedené v Tab. 1.1, ze které je patrné, že touto obnovou již část vedení z let 1945-1965 musela projít a tu zbývající to čeká v následujících cca 20-ti letech.

Tab.1.1 – Technická životnost zařízení vedení PS (obnova dle [19] a [21])

Typ konstrukce	Interval obnovy	Max.předp. životnost ²
Stožárová konstrukce	40 let ³	> 80 let
Sanace spojů (Atmofix)	10 let	-
Nátěrový systém (2-3 vrstvy)	10-15 let	-
Betonový základ	40 let ⁴	> 80 let
Fázový vodič	40 let	50-65 let
Izolátorový závěs	40 let	50-65 let
Zemnicí lano / KZL	40 let	50-65 let

¹ Přehled rozvoje PS od jejího vzniku koncem 40. let 20. století do roku 2040 viz Přílohy č.1 – 5.

² Maximální životnost prvků je zásadně ovlivněna korozní agresivitou prostředí, ve kterém se vyskytují. Vzhledem k tomu, že prakticky celá PS vznikla před rokem 1989, byla tak po jistou dobu vystavena několikanásobně vyššímu znečištění ovzduší než dnes. I s ohledem na různost materiálů a konstrukčních řešení nelze jednoznačně stanovit maximální dovolené stáří. Vždy se musí vycházet ze sledování stavu konkrétních typů prvků. Z laboratorních zkoušek provedených na vzorcích demontovaných FV se dá např. vyvodit kritická hranice životnosti 65 let pro standardní AlFe lana z 60-tých let.

Uvedené údaje o maximální předpokládané životnosti jsem odvodil z obnovy prvků vedení mezi roky 1960-2019 (IS-PD ČEPS, a.s.) a *Desetiletého plánu rozvoje PS* (dostupné z: <https://www.ceps.cz/cs/rozvoj-ps>). Orientační stáří v době obnovy pro jednotlivá vedení PS je patrné i z Příloh 9-1 a 9-2.

³ Možno navýšit opakovaným prováděním ochranného nátěru, resp. sanace spojů u Atmofixu. Potřeba těchto oprav, resp. vyhodnocení stavu konstrukce vychází z pravidelných pochůzkových kontrol.

⁴ Možno navýšit při provedení opravy zhlaví betonového základu – tzn. cca 400 mm nad a 300 mm pod úrovní okolního terénu. Nutnost opravy vyplývá z pravidelné roční pochůzkové kontroly.

Výše uvedené úpravy probíhající nad rámec pravidelné údržby souvisí s přenosem přeshraničních přetoků⁵, se zvýšenými nároky na připojení nových zdrojů nebo pokrytím narůstající spotřeby elektrické energie v rámci ČR, o čemž se vedou společná jednání s investory na poli výroby elektrické energie, resp. se zástupci DS. I když některé větší stavby a rozšíření stávajících elektráren jsou prozatím pozastaveny, musí se příprava rozšíření sítě, vzhledem k délce schvalovacích procesů v rámci stavebních řízení, začít již v současné době. V případě nového vedení totiž uplyne od první studie možné trasy po dokončení vlastní realizace cca 15 let.

Tab.1.2 – Celková délka provozovaných vedení PS.⁶

Napěťová hladina	Délka vedení PS	Poměr dle počtu potahů		Poměr dle napěť.hladiny
		jednoduché	násobné	
400 kV	3 735 km	66,4 %	33,6 %	65.2 %
220 kV	1 909 km	41,3 %	58,7 %	33.3 %
110 kV ⁷	84 km	7,1 %	92,9 %	1.5 %

Rozšíření a výstavba nových vedení je samozřejmě úzce spojena s posílením spojovacích uzlů, tzn. rozvoden a transformačních stanic. U těch se v rámci místních prostorových omezení jde cestou kompaktnějšího řešení, které spočívá v přestavbě stávajících lanových na trubková pole (cca $\frac{3}{4}$ šířky lanového) a v případě nedostatečnosti tohoto řešení dokonce cestou zapouzdřené rozvodny. Tento případ nastává převážně u rozvoden, jež jsou součástí větších městských celků. Jako tomu bylo u výstavby stávající TR Chodov (dokončení v roce 1995) nebo jak tomu bude u plánované přestavby TR Malešice na 420 kV (předp. dokončení v r.2032) či v případě plánované nové TR Praha Sever (předp. dokončení v r.2026).

Samostatnou kapitolou jsou pak probíhající úpravy stávajících rozvoden R420 kV související se zvýšením jejich zkratové odolnosti ze 40/100 kA na 50/125 kA a u některých výhledově až na 63/160 kA realizované v souvislosti s rozšiřováním PS a požadavky na připojení nových zdrojů (při zachování cca 20% rezervy pro možný další rozvoj).

⁵ V současné době jsou mezi ČR a severní částí Německa dle potřeby omezeny díky instalaci transformátorů s posuvem fáze v TR Hradec u Kadaně, které byly uvedeny do plného provozu ve druhé polovině roku 2017.

⁶ Data převzata z *Výroční zprávy ČEPS, a.s. za rok 2017, 05/2018.*

⁷ Součástí PS jsou i vedení 110 kV, jde však pouze o krátké úseky pro vyvedení výkonu z elektráren do TR. Délka těchto vedení se pohybuje v řádu jednotek kilometrů. Tato vedení jsou postupně předávána DS.

V neposlední řadě se provádí také úpravy stávajících polí v R420 kV (vypínače, PTP, PTN, proudové dráhy) na proudovou zatížitelnost do 3150 A, které vyplynuly z výzkumu možnosti navýšení přenosové schopnosti vybraných stávajících vedení⁸ díky jejich dynamickému proudovému zatěžování s ohledem na aktuální klimatické podmínky. Tento systém⁹ dokáže při minimálních nákladech navýšit možnost maximálního proudového zatížení stávající sítě o 10 % (v létě) – 50 % (v zimě). Vychází z rezervy, kterou má každé vedení v sobě zahrnutou při návrhu na normové zatížení, jež je nejhorší možnou kombinací větru (rychlost 0,5 m/s, pod úhlem 45°) a vnější teploty (+ 35 °C)¹⁰ při slunečním záření 1000 W/m² (dle TN 46 – bod 9.2 [23], resp. ČSN EN 50341-3-19).

Systém DyZ vychází z aktuálních vnějších teplot¹¹, které ČEPS, a.s. získává ve spolupráci s ČHMÚ. Omezujícím faktorem jsou zde zákonné předpisy a regulace z hlediska povolených izolačních vzdáleností mezi vodičem a zemí – tzn. dovolený průhyb vodiče. Data jsou převzata do řídicího systému, který je vyhodnocuje a umožňuje pracovníkům řídicího dispečinku PS na základě aktuální situace jít za stanovenou hodnotu proudového zatížení dané linky v případě jejího přetížení, aniž by museli zavádět okamžité úpravy či omezení.

⁸ Podrobněji k dané problematice viz: ŠNAJDR, Jaroslav. *Dynamická proudová zatížitelnost vodičů přenosové soustavy*. Disertační práce. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická, Plzeň, 2015. Dostupné z: <https://otik.uk.zcu.cz/xmlui/handle/11025/23043>

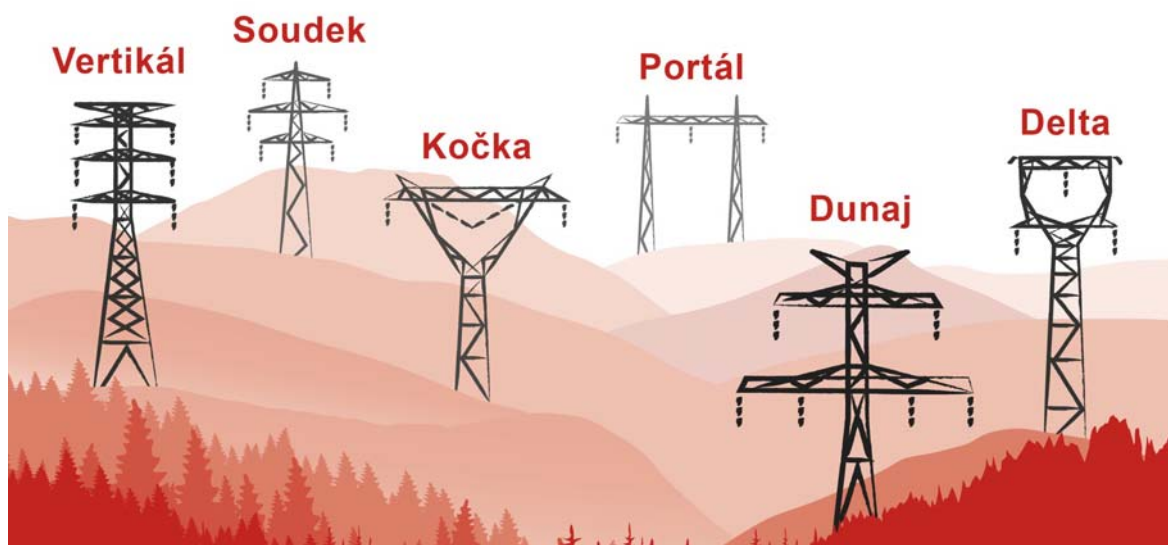
⁹ V Evropě není ojedinělý, je ale potřeba konstatovat, že se jedná o systém, který je dotažen až do přímé aplikace v dispečerském řízení při dobrém poměru ceny, výkonu a spolehlivosti. Ačkoli není v tuto chvíli nezbytně nutný s ohledem na jistou míru bezpečnostních rezerv stávajících vedení PS, je do budoucna vhodnou pojistkou při řešení krizových situací, na které se bude moci naše dispečerské řízení připravit i s ohledem na náročný plán investic a obnovy PS mezi roky 2020-2050.

¹⁰ Vedení PS byla navrhována na teplotu vodiče + 40 °C, což odpovídalo normovým hodnotám zatížení klimatickými vlivy [12]. V současné době dobíhají úpravy vedení na hodnotu + 80 °C, která odpovídá zatížení klimatickými vlivy se započtením ohřevu vodiče vlivem procházejícího proudu. Tato teplota je limitní pro standardně používané typy FV. Podrobněji o materiálech a možném řešení této problematiky viz kap. 1.3.

¹¹ Vliv působení větru je zanedbán => uvažuje se nejhorší varianta. Je tomu tak z důvodu obtížného sledování v rámci celého vedení (není možno aproximovat) a také z důvodu možné rychlé změny situace, na kterou by nemohl dispečer v řídicím středisku včas reagovat.

1.1 Stožárové konstrukce

Konstrukce stožárů pro vedení VVN a ZVN PS ČR nedoznala v průběhu let 1944-2019 žádných významnějších změn. Je tvořena prostorovou ocelovou příhradovou konstrukcí založenou na blokových nebo stěnových betonových základech. Konkrétní typ SK (Obr. 1.1, podrobněji viz Přílohy 6-8) se vybírá dle požadavků na šířku koridoru pro trasu linky a přenosové parametry potahů, které budou na konstrukci osazeny.



Obr. 1.1 – Běžné typy nosných stožárových konstrukcí 220 a 400 kV¹²

Konstrukce se vyrábějí z nelegované oceli třídy S235 a S355¹³ (oceli třídy 11 3xx a 11 5xx¹⁴), dříve bez povrchové úpravy s následným třívrstevným nátěrem, v současné době se osazují i jako pozinkované (dle ČSN EN 1461) s následným dvouvrstevným nátěrem.

Koncem 60. let minulého století byla v tehdejší ČSSR vyvinuta nízkolegovaná ocel třídy 15 217¹⁵ – „Atmofix“ (v USA již od 30. let pod názvem „Corten“), která vytváří na svém povrchu působením atmosférických plynů patinu, jež působí jako povrchová ochrana. Stožárové konstrukce tedy nebylo potřeba opatřovat ochranným nátěrem. Tato

¹² Z informační prezentace *Představení společnosti ČEPS, a.s.* pro rok 2018.

¹³ Odpovídá značení oceli dle ČSN EN 10027-1

¹⁴ Odpovídá starému značení oceli dle ČSN 42 0002:1976

¹⁵ Odpovídá starému značení oceli dle ČSN 42 0002:1976. Podrobnosti k výzkumům působení klimatických podmínek dostupné z: http://www.atmofix.cz/ocel_cz.php

vlastnost se však zároveň ukázala jako veliký problém vzhledem ke spárové korozi¹⁶. V okamžiku, kdy se začala závada projevovat, bylo od použití „Atmofixu“ u SK postupně upuštěno. Byl používán mezi roky 1970 až 1995.

V souvislosti s novou výstavbou vedení se společnost ČEPS, a.s. rozhodla pro novou typizaci SK 1x 400 kV (typ Portál 2017 a Delta 2012) a 2x 400 kV (typ Donau 2012). Proces vlastní typizace spočívá nejprve ve vyhotovení rozsáhlé projektové dokumentace pro jednotlivé typy SK (N – nosný, K – kotevní, atd.)¹⁷. Po jejím zpracování jsou vybrány základní typy SK, které se nechají vyrobit a jsou podrobeny tzv. zatěžovacím zkouškám (viz Obr. 1.2), spočívající v simulaci zatížení konstrukce v některé z akreditovaných zkušeben. Tyto zkoušky se provádějí pro ověření statického výpočtu a stanovení rezervy pro zatížení konkrétního typu SK a končí jeho destrukcí.



Obr. 1.2 – Stožár Donau 2012 - N+4 – zatěžovací zkoušky v Bukurešti 09/2013¹⁸

¹⁶ Postupná hloubková spárová koroze vzniká v místě neuzavřených spojů (nedokonalý svár, šroubový spoj), kde se prvky vzájemně dotýkají bez kontaktního oddělení (tmel, barva). V takovémto spoji nedochází k pravidelnému vysoušení, což vede k postupné degradaci materiálu. Nárůst koroze může způsobit otevření spoje až v řádu centimetrů s možným následným porušením spoje (prasknutí sváru, utržení šroubů).

¹⁷ Nosné SK jsou méně zatížené než kotevní, které musejí odolat i silám při jednostranném tažení a napínání FV. Délka kotevního úseku vyplývá primárně z montážních limitů (tzn. váha bubnu dle navinutého průřezu vodiče) a ze směrových lomů na trase vedení – vlivu terénu, majetkoprávních vztahů, atd.

Nově stavěná vedení se vyznačují poměrem K/N do 1/4 (v minulosti až 1/7). Vzdálenost mezi SK může být od desítek metrů (např. u zaústění do rozvodny) až po 1 km (např. při překonání údolí s vodním tokem).

¹⁸ Archiv ČEPS, a.s.

Z návrhů nových konstrukčních řešení SK, které se objevují ve světě, bere provozovatel PS v potaz pouze ohraňované konstrukce z plechů. Dle prozatím provedených testů a posudků se však jeví toto řešení jako nevhodné především z pohledu provozu a zajištění dostatečné životnosti. Konstrukce znemožňuje provádění podrobné revizní kontroly uvnitř konstrukce i výměny a zesílení jednotlivých prvků SK v případě závad. Když se k tomu přičtou vyšší výrobní náklady, pak jedinou výhodou je jiné estetické řešení, které je však také diskutabilní. V následujících letech se tedy nedá očekávat žádná zásadní změna stávajícího osvědčeného konstrukčního řešení, které při provádění ošetření povrchu dle Tab. 1.1 zajistí funkčnost SK po dobu cca 60-100 let.

Součástí každého podpěrného bodu je kromě vlastní stožárové konstrukce i její založení s uzemněním. Založení se provádí pomocí odstupňovaných betonových patek, případně stěnových základů. V případě špatné únosnosti podloží jsou pod základem provedeny mikropiloty. V rámci obnovy SK se řeší i opravy zhlaví těchto základů v závislosti na stupni degradace materiálu betonového základu, resp. na stupni vyreznutí ocelových prvků v místě styku s tímto základem (viz. pozn. č. 4 k Tab. 1.1).

1.2 Izolátorové závěsy

Vlastní izolátory lze rozdělit podle umístění (závěsné, podpěrné) nebo dle použitého materiálu (keramické, skleněné, kompozitní). V rámci PS se **podpěrné izolátory** (keramické, kompozitní) objevují pouze v rozvodnách u přístrojů (např. PTP). **Závěsné izolátory** se pak používají jak na všech vedeních, tak na přípojnicích v rozvodnách.

S ohledem na zaměření práce se budu v této kapitole věnovat izolátorům závěsným. Tyto izolátory lze rozdělit podle tvaru na tyčové (keramické, kompozitní) a talířové (keramické¹⁹, skleněné). Izolátory jsou z důvodu zajištění přeskových vzdáleností (závisí na napěťové hladině) sestavovány do řetězců a ty se dále sestavují do vlastních izolátorových závěsů, jejichž konstrukční návrh vyplývá z velikosti a dynamiky přenášeného zatížení z FV.

¹⁹ Na vedeních 220 a 400 kV (1945-60) byly ještě použity keramické talířové izolátory (tzv. čapkové) [4]. V současné době se však již tento typ izolátorů na vedení PS nevyskytuje.

Typy izolátorových závěsů²⁰ lze rozdělit do dvou základních skupin dle místa instalace – na nosný nebo kotevní stožár (příklady²¹ viz Přílohy 18 a 19):

Nosné IZ (na nosných SK):

- JN – jednoduchý nosný závěs (při nižším silovém zatížení, 110 a 220 kV)
- DN – dvojitý nosný závěs (možno i v provedení DNV u SK Kočka / Mačka)
- PK_A/PK_T – polokotevní IZ (použití při nevyhovující výšce FV nad zemí)

Kotevní a pomocné IZ (na kotevních SK):

- DK – dvojitý kotevní závěs (nejčastější – 110, 220 a 400 kV)
- TK – trojitý kotevní závěs (pro větší silové zatížení než DK, 400 kV)
- PN – pomocný nosný závěs (např. v některých přeponkách kotevních SK)
- ZZ – zákrutový závěs (u transpozice)

Využití materiálů pro izolátorové závěsy se v průběhu času vyvíjelo dle zlepšujících se technologií a aktuální dostupnosti na trhu. V počátcích PS bylo využíváno keramických tyčových izolátorů, nejstarší nyní osazené jsou z r.1965 na V205²², u linek vystavěných před rokem 1965 již proběhla výměna (skoro všechny linky 220 kV). O tom, že začátky výstavby úrovně 400 kV v ČR nebyly jednoduché svědčí i to, že u prvních izolátorů (keramické tzv. čapkové), které byly v první fázi (mezi roky 1959-65) provozovány na nižší napěťové úrovni, bylo dodatečně zjištěno, že nebudou pro 400 kV vhodné a bylo nutné provést plošnou přeizolaci – tzn. již cca po 10-ti letech od instalace (do 5-ti let od přepojení na 400 kV). Problém byl určitě i v obtížném zajištění pokročilých západních technologií (problém devizových fondů a výše cel od roku 1948). Byli jsme odkázáni na vlastní výrobu, resp. produkci států východního bloku (především SSSR a NDR). Současná situace je jiná a osazované prvky již plně vyhovují požadavkům na jejich bezporuchovost a životnost. Mezi hlavní výhody keramických IZ patří dlouhodobé zkušenosti a ověřené

²⁰ Podrobněji k jednotlivým typům IZ v rámci PS viz [24].

²¹ V uvedených příkladech je současně podrobně rozepsáno i použití jednotlivých spojovacích a ochranných armatur, které mohou být při špatné montáži významným zdrojem poruch – viz kapitola 3. V místě kotevních stožárů, kde dochází k větší změně směru linky (v přeponce) nebo i u nosných závěsů může docházet k přichýlení FV k SK => použití závaží pro jeho zmenšení (příklad viz Třídřík v Příloze 8).

²² Linka V205/6 vede z TR Čechy Střed do TR Malešice. Výměna FV+IZ je plánována na r.2019. Na druhém místě je linka V420 z TR Hradec u Kadaně do TR Havlíčkův Brod – Mírovka, na které jsou ještě z větší části IZ z roku 1966. U této linky je však vzhledem k její délce problém se zajištěním vypínání, takže bude nutné akci koordinovat po kratších etapách rozdělených na více let se zahájením prací po roce 2024.

vlastnosti těchto izolátorů a s tím související znalost životnosti a poruchovosti jednotlivých typů. Nevýhodou je velká váha izolátorů a složitost procesu výroby.

V době nedostatku tyčových keramických izolátorů v ČR se koncem 60. let přistoupilo k prvnímu využití skleněných talířových izolátorů na PS, ze kterých jsou stále osazené 3xTK na V413 z r.1969 a IZ na V402 z r.1970 (v obou případech ze SSSR). Výhodou skleněných IZ je (kromě rychlosti výroby oproti keramice), že při rozbití jednoho ze skleněných talířů nedochází k přetržení IZ ani k přeskokům a je možné provést náhradu poškozeného prvku s časovým odstupem. Nevýhodou je složitější montáž (např. u 400 kV je v jednom řetězci nutné sestavit až 24 izolátorů) a také problematika praskání talířů, které bývá způsobené buď špatným vytvrzením skla, nebo nevhodným zatměním.

Po roce 1995 se začíná s využíváním kompozitních izolátorů. S ohledem na obavy z procesu povrchové degradace těchto izolátorů (u keramiky a skla je prakticky nulová) se větší míra využití směřuje do aktuálně řešených přeizolací vedení 220 kV, u kterých se v té době počítá s jejich odstavením v průběhu následujících cca 20 let²³ (tzn. po roce 2010). Vzhledem ke změně priorit se však ukončení postupně odsouvalo (aktuální termín je 2040, čemuž odpovídá i Příloha 5). Na vedení 400 kV se jich využívá v první řadě v místech s nevyhovující výškou FV nad terénem (tzn. IZ typu PK_A a PK_T) – viz Graf 2.5. První využití na hladině 400 kV pro celou linku je až v roce 2006-7 při výstavbě příčné spojky V454/209.

Hlavní výhodou kompozitních izolátorů je nízká váha a provedení z jednoho kusu (tzn., že odpadá práce se sestavením řetězců IZ), což má za následek jednodušší manipulaci při osazení na SK. Dále pak relativní jednoduchost a rychlost výroby. Mezi nevýhody patří především stárnutí povrchu, možné poškození okusem (ptáci, hlodavci) a zjištěná problematika zvýšeného počtu úspěšných OZ v rámci PS, která možná souvisí s poslední výhodou, a tou je vlastní délka IZ²⁴.

²³ Viz [4]. Podrobněji o využití kompozitních izolátorů pojednává kapitola 2.

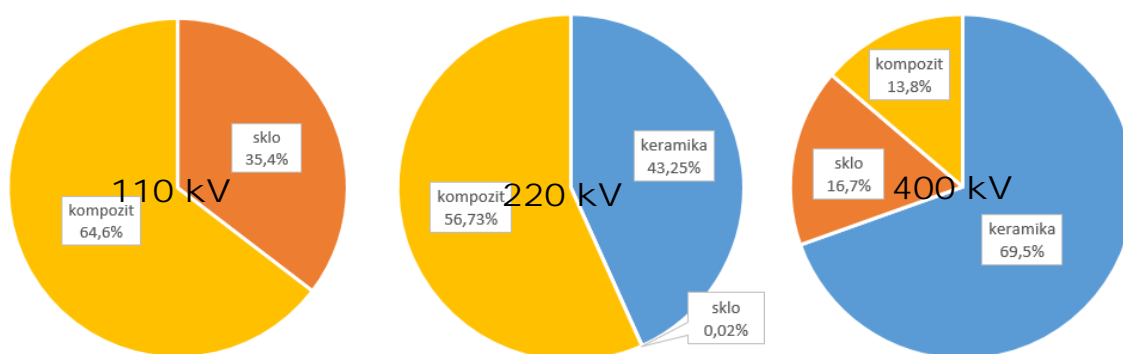
²⁴ Ve srovnání s keramickým IZ se dá zjednodušeně hovořit o tom, že skleněný IZ je kratší cca o 0,5 m a kompozitní o cca 1,5 m (přesněji viz [24]). Což je už významné zkrácení, pokud jde o práci s dodržním odstupové vzdálenosti nad terénem a tedy s výškou SK. Celkové délky IZ jsou dány převážně napětovou hladinou. Jak se ukazuje, tak tato skutečnost nejspíše úzce souvisí s problematikou OZ v kapitole 2.2.4.

Na straně bezpečné jsou rozměry SK v rámci PS navrhovány na nejméně výhodnou variantu, tedy na využití keramických izolátorů (pokud jde o odstup FV v rámci konzol v hlavě stožáru). To by umožnilo případnou budoucí přeizolaci na IZ z jiného materiálu. Dá se tedy konstatovat, že poslední zmíněná výhoda

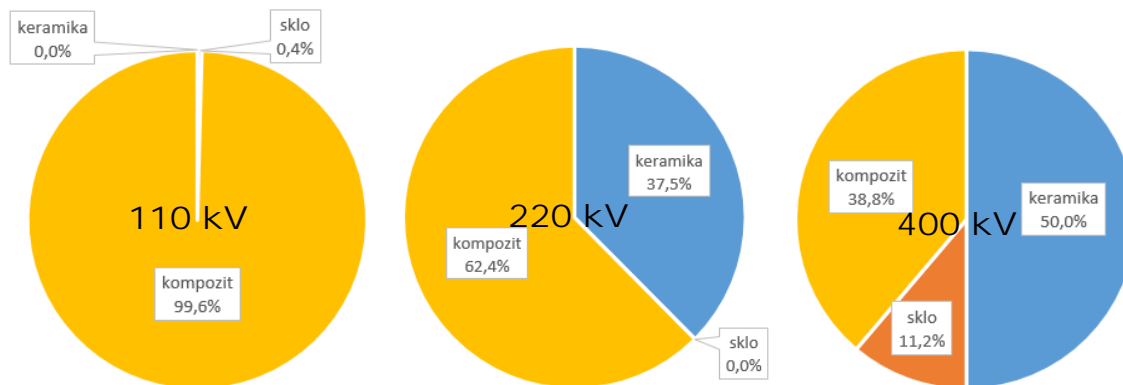
Každá z materiálových variant má své výhody a nevýhody, které je vždy potřeba při návrhu důkladně zvážit.

V následujících grafech je uvedeno poměrné zastoupení izolátorů dle materiálů vztažené na počty řetězců. Graf 1.1 srovnává počty všech instalovaných řetězců IZ, Graf 1.2 srovnává výběr instalací po roce 1997. Na hladině 220 kV je z minimálních rozdílů mezi oběma grafy jasně vidět, že cca 90% přeizolací těchto vedení proběhlo právě v období zachyceném v Grafu 1.2. Přesněji je to patrné z tabulek v Příloze 10 a 11.

Graf 1.1 – Poměr řetězců IZ dle použitých materiálů izolátorů v rámci vedení PS²⁵



Graf 1.2 – Výběr dat z Grafu 1.1 – pouze instalace v období 1997-2019²⁶
– období využití kompozitních materiálů



kratší délky není využívána v plné míře. Využívá se pouze v otázce odstupové vzdálenosti spodních FV od povrchu (v keramice by se dalo následně řešit pomocí PK_A závěsu).

²⁵ Vyhodnocení bylo provedeno nad zdrojovými daty ze systému IS-PD společnosti ČEPS, a.s. k datu 15.3.2019. Vstupní data pro graf jsou uvedena v Příloze 10.

²⁶ Vyhodnocení bylo provedeno nad zdrojovými daty ze systému IS-PD společnosti ČEPS, a.s. k datu 15.3.2019. Vstupní data pro graf jsou uvedena v Příloze 11.

1.3 Fázové vodiče

Fázové vodiče používané v rámci PS se osazují na linkách VVN 110 a 220 kV převážně jako jednoduché (v případě požadované větší proudové zatížitelnosti jako dvousvazek viz Příloha 6), na linkách ZVN 400 kV vždy ve formě trojsvazku. Využití svazkových FV souvisí s minimalizací korónových výbojů, o kterých pojednává kapitola 3.

V průběhu let dochází vzhledem k narůstajícím požadavkům na výši proudové zatížitelnosti ke zvětšování průřezů použitých vodičů. Zatímco ještě před 10 lety se vedení 400 kV upravovala na 2000 A, v současné době se již většina vedení staví na 2500 A, což sebou nese potřebu instalace větších průměrů standardních typů FV a tím pádem i větší nároky na únosnost IZ a SK.

Na vedeních PS se využívají standardně hliníková lana s ocelovým jádrem²⁷ (tzv. AlFe, dle mezinárodního značení **ACSR – aluminium conductor steel reinforced**), z nichž lze uvést z posledních instalací na hladině 400 kV typy²⁸: 430-AL1/100-ST1A, 434-AL1/56ST1A a 490-AL1/64-ST1A. Na hladině 220 kV pak např. 434-AL1/56ST1A. Jedná se o hliníkové dráty – AL1 s duší z pozinkovaných drátů – ST1A. Zvyšující se nároky na proudovou zatížitelnost a tím i na zvětšující se průměr vodičů ACSR by se daly řešit pomocí nových konstrukčních a materiálových typů FV.

Vývoj nových materiálů pro FV²⁹ jde několika směry (podrobněji viz [17, 18]), které mají za účel jednak snížit elektrický odpor, ale především zlepšit přípustnou provozní teplotu vodiče (ze současných + 80 °C na + 150 – 230 °C. Jedním z nich je zlepšování vlastností hliníku pomocí příměsí zirkonia (**TAL – Thermal Resistant Aluminium Alloy**

²⁷ AlFe lana začala v ČR nahrazovat původní Cu lana před začátkem 2. světové války. Při výstavbě vedení 220 kV v roce 1943-44 (viz Příloha 1) již byla použita AlFe lana 350 mm². Viz [3], [4].

Výhodou AlFe oproti Cu u VVN je větší průměr (při stejné vodivosti), tudíž vycházejí menší ztráty korunou. Výhoda je i u vzájemné indukčnosti, která je nepřímo závislá na průměru a nezávislá na kovu.

²⁸ Uvedená značení odpovídají EN 50182. Podrobněji ke značením viz [18] nebo ŠMÍD, J. *Vliv volby typu vodiče na modernizaci vedení VVN*. Diplomová práce. ČVUT v Praze, Fakulta elektrotechnická, Praha, 2015. Dostupné z: https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/61683/F3-DP-2015-Smid-Jakub-Diplomka_Smid.pdf?sequence=2

²⁹ Vysokoteplotní vodiče mohou mít, dle konstrukce, zvýšenou náročnost montážních prací a současně mají zvýšené nároky na použití speciálních závěsných svorek, vysokoteplotních ukončení a vysokoteplotních spojů. To vše zvyšuje cenovou náročnost, která pak může převýšit přínosy plynoucí z lepších parametrů FV.

(150°C), **ZTAL** – ultra teplotně odolný (200°C), **XTAL** – extra teplotně odolný (230°C), atd.), se kterým se přišlo již v 60. letech minulého století. Toto zlepšení má za následek, že vodič při vysokých teplotách neztrácí mechanickou pevnost a jeho změna průhybu je minimální.

Významný rozdíl mezi celohliníkovými vodiči a vodiči s ocelovým jádrem je v průměru ve dvakrát až třikrát nižší indukční reaktanci u celohliníkových při stejné ampacitě, což se projeví na poklesu ztrát oproti vodičům s ocelovým jádrem.

Typy FV, které mohou nahradit vodič ACSR, můžeme rozdělit dle materiálů na:

- Celohliníkové vodiče
 - **AAC** (All Aluminium Conductor) – se s výhodou dají využít v prostředí s vyšší mírou korozní agrese, např. na pobřeží moří a jezer. Mají však oproti klasickým AlFe lanům nižší mechanickou pevnost.
 - **AAAC ze slitiny hliníku, hořčíku a křemíku** – mají zvýšenou mechanickou pevnost oproti AAC. Oproti ACSR mají při stejném průměru výhodu vyšší vodivosti a nevýhodu vyššího koeficientu teplotní roztažnosti.
 - **ACAR** (Aluminium Conductor Alloy Reinforced) – se skládá ze slitinového jádra a čistě hliníkového obalu. Kombinuje vlastnosti vodičů AAC a AAAC a je používán v případech, kdy jsou na vedení kladeny velmi specifické nároky z hlediska rozměrů, pevnosti a vodivosti, které nelze dosáhnout přímým použitím jednoho z těchto vodičů.
- Hliníkové vodiče s jádrem z jiného materiálu
 - Ocelové jádro
 - **TACSR** (Thermal Alloy Conductor Steel Reinforced) – má až o 55 % vyšší ampacitu než vodič ACSR. Jedná se o kombinaci jádra z tradiční galvanizované oceli s vysokoteplotním pláštěm (Z,X)TAL. **Pokusně osazen na vedení V245/246 do Polska (TACSR/ACS 380/50).**
 - **TACIR** (Thermal Alloy Conductor Invar Reinforced) – má oproti TACSR jádro z vysokoteplotní slitiny, kde se kombinuje klasická galvanizovaná ocel s vysokou pevností a speciální Fe-Ni galvanizovaná ocel – tzv. Invar.
 - **ACSS** (Aluminium Conductor Steel Supported) – využívá vlastností plně žíhaného hliníkového pláště, většinou bývá v konstrukčním provedení TW (viz níže), které zvyšuje jeho pevnost.
 - Kompozitní jádro
 - **ACFR** (Aluminium Conductor Carbon Fiber Reinforced) – jádro je tvořeno maticí z pryskyřice obsahující uhlíková vlákna uložená v obalu ze skleněných vláken, aby se zamezilo galvanické korozi mezi hliníkovým vodičem a uhlíkovými vlákny. Skleněná vlákna zároveň poskytují dostatečnou pevnost v ohybu, která je nutná pro zacházení s vodiči při jejich instalaci na vedení. Vyznačují se nízkou vahou a nízkým koeficientem teplotní roztažnosti.

- **ACCR** – varianta s matricí z hliníku s obsahem hliníkových vláken.
- **ACCC/CRAC** – kompozit ze skelných vláken.
- Vodiče z měděných slitin
 - **CAC** (Copper Alloy Conductors) – měrná elektrická vodivost mědi je o více než polovinu vyšší, než vodivost hliníku. Měď tedy nabízí značné snížení ztrát na vedení, mezi nevýhody patří vyšší pořizovací cena a vyšší měrná hmotnost (dopad na rozměry SK a obtíže při zajištění dostatečné mechanické pevnosti vodiče).
 - **BCC** (Bare Copper Conductors) – nevýhody CAC řeší použitím za studena tažených měděných vodičů navinutých do jednotlivých svazků. Vodivost této upravené mědi sice mírně poklesne, ale dochází ke značnému navýšení pevnosti v tahu. Takto vytvořené vodiče se nazývají holé měděné vodiče.
 - **Mikroslitinové mědi** – zajišťují dostatečnou mechanickou pevnost. Oproti tradičním hliníkovým vodičům odpadá potřeba užití ocelového jádra, a proto je vodivost při stejném průřezu vodiče až několikanásobně vyšší. Žihání mědi při vysokých teplotách (>300 °C) zajišťuje vysokou adhezní schopnost povrchu vodiče, a proto je snadnější na něj aplikovat protikorozní ochranu. Ochranná vrstva může mimoto zajišťovat i odolnost proti UV záření, zamezovat vzniku korózy, anebo mít hydrofobní účinky, které zabráňují námraze vedení v chladných oblastech.



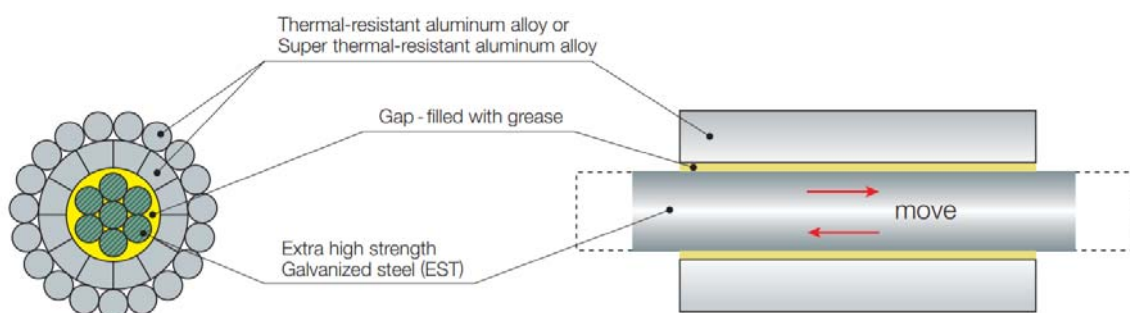
Obr. 1.3 – Srovnání konstrukce tradičního AlFe lana s ACCC (dráty s úpravou TW) při stejném průměru vodiče³⁰

Kromě zlepšování vlastností vodiče pomocí změny materiálu je zde ještě cesta změny tvaru použitých drátů, jak je patrné z Obr. 1.3. Dráty jsou tvarovány tak, aby byly v průřezu vodiče minimalizovány mezery. Tím se dosáhne zvýšení obsahu vodivého

³⁰ Převzato z <https://www.textileweb.com/doc/afl-global-collaborate-accessories-conductors-0001>. Zobrazený vodič ACCC je výrobkem firmy CTC Global, Inc. (<https://www.ctcglobal.com/>)

materiálu (dle Obr. 1.3 až o 28 %) a zároveň hladšího povrchu vodiče, což má vliv na zlepšení aerodynamických vlastností vodiče a na snížení výskytu korónového výboje uvnitř vodiče. Tyto vodiče bývají obvykle označeny jako **TW** (trapezoidal wire). Tvar drátů může být i složitější – **Z**. To sebou přináší zlepšení tuhosti vodiče, zlepšení udržení maziva, ale je to cenově náročnější. Hladší povrch zajistí menší zachytávání vody a nečistot na jeho povrchu a má dopad i na rozložení elektrického pole v okolí vodiče, čímž opět dochází ke zmírnění korónového výboje.

Další možnou konstrukční variantou je použití vodiče s mezerou mezi pláštěm typu TW a jádrem – **G(Z)TACSR** (G = gap – mezeru), která je vyplněna teplotně odolnou silikonovou vazelínou, zamezující tření mezi těmito vrstvami. Nevýhodou této konstrukce je náročnější instalace oproti klasickým vodičům. Problémy jsou potom jednak s provedením kompresních svorek ve spojích FV a dále pak s úniky vazelíny při poruše pláště v rozpětí FV.



Obr. 1.4 – Konstrukce lana G(Z)TACSR s mezerou vyplněnou mazivem³¹

Problémem nových materiálů i tvarů drátů je vysoká pořizovací cena (tudíž nižší návratnost investice) oproti tradičním AlFe lanům. Další nevýhodou některých typů je výpočtově příliš velký průhyb při nerovnoměrném zatížení námrazou při $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ v místě křižovatky. Vzhledem k uvedeným skutečnostem nepřípadá prozatím využití nových materiálů v rámci PS do úvahy. I nadále tak budou ze strany ČEPS, a.s. preferována tradiční AlFe (ACSR) lana. Na více zatížených linkách / oblastech ČR se počítá spíše se zdvojnásobáním stávajících vedení, případně s výstavbou zcela nových linek, které by umožnily lepší rozložení přenášeného výkonu v rámci ČR (viz Přílohy 1 – 5).

³¹ Převzato z https://www.jpowers.co.jp/english/product/pdf/gap_c1.pdf

1.4 Zemní lana

Každé vedení 400 kV je osazeno dvojicí zemních lan, na vedeních 220 kV to může být buď jedno nebo dvě zemní lana dle typu SK (viz Příloha 6). Mohou být i v provedení KZL, tedy s vloženými optickými vlákny. Zemní lano je uzemněný vodič, umístěný nad fázovými vodiči vedení. Hlavním úkolem je chránit FV před přímými údery blesku a snížit indukované přepětí, tzn. že jsou osazovány obvykle v nejvyšším místě SK tak, aby FV chráněného vedení byly v prostoru vymezeném ochranným úhlem ZL³². Jako zemního lana se dříve používala ocelová lana. V současnosti se používají např. lana AlFe 185-AL1/43-ST6C, 234-AL4/55-ST6C, atd.

Po roce 1989 došlo v ČR ke komplexní obnově datových sítí, v rámci které bylo ve společnosti ČEZ, a.s.³³ rozhodnuto o vytvoření samostatné datové sítě pro potřeby přenosu signálů dálkového dispečerského řízení a komunikaci ochran vedení v rozvodnách PS. Nejvhodnější alternativou bylo využití, v té době nejmodernější konstrukce, optických vláken³⁴ umístěných uvnitř ZL – tzv. KZL. Toto propojení je využíváno i na mezinárodní úrovni.

Výhodou optického propojení nad metalickým nebo mikrovlnným (radioreléovým) spojem je odolnost proti rušení datového kanálu³⁵ a možnost velké přenosové kapacity na velké vzdálenosti³⁶. V prvních fázích (cca 1993-96) bylo, vzhledem k relativně nízkému stáří velké části ZL, využíváno technologie ovíjení stávajícího ZL celoplastovým optickým kabelem o průměru cca 7 mm (tzv. OOK – ovíjený optický kabel). Tato technologie vyžadovala speciální zařízení pro ovíjení, takže se od ní časem upustilo i v souvislosti s nutnou postupnou komplexní výměnou stávajících ZL (z důvodu blížícího se konce životnosti), v rámci které již došlo k přímé náhradě ZL za KZL. Předpokládaná životnost

³² Normou ČSN EN 62305 stanovené hodnoty (35° pro 220 kV a 30° pro 400 kV) byly novelizací upraveny na úroveň 25° pro 220 kV a 20° pro 400 kV, což mělo za následek úpravu uchycení ZL na SK.

³³ Společnost ČEPS, a.s. vznikla až po roce 1998. V tomto roce bylo na valné hromadě rozhodnuto o vyčlenění Divize přenosové soustavy z akciové společnosti ČEZ - viz [4]

³⁴ Jedná se o vlákna z křemenného skla, která mají řádově nižší útlum (cca desetiny dB/km) než vlákna z umělých hmot (100 dB/km při 650 nm) - viz [4]

³⁵ Na optický signál nemá vliv elektromagnetické rušení ani rádiové kmitočty, atmosférické bouře apod.

³⁶ A to při relativně nízké pořizovací ceně, malé hmotnosti a rozměrech, malých přechodových ztrátách a vysoké spolehlivosti. Navíc jsou snadno udržovatelná.

40 let (uvedená v Tab. 1.1) se zatím bere, s ohledem na postupně se zvyšující útlum optických vláken, jako konečná.

DS i PS využívají jednovláková optická vlákna. DS v technologii CWDM³⁷ na vlnové délce 1310 nm, v PS v technologii DWDM³⁸ s rychlostí přenosu 10 Gbit/s na vlnové délce 1450 – 1650 nm. Z počátku byla instalována KZL s 12-ti optickými vlákny (např. 157T/57 (1x12) na V204/207), posléze se začalo s instalací lan s 24-mi optickými vlákny ve 2 nerezových trubičkách pro zajištění dostatečné kapacity a bezpečnosti (např. 159-AL3/49-A20SA (2x12) na V480). V letech 2010-2018 se již standardně osazovala optická lana se 48 vlákny (např. 74-AL3/43-A20SA (2x24) na V216). Namísto zvyšování počtu vláken se plánuje spíše navýšení rychlosti přenosu na 100 Gbit/s.

Vlákna jsou v trubičce uložena v tixotropním gelu, trubička musí být stočena do šroubovice a nesmí být použita jako centrální prvek uprostřed³⁹. Krátkodobá teplota KZL při zkratu může dosáhnout maximálně +200 °C dle ČSN EN 50341-3-19.

Jednotlivé úseky KZL se spojují ve spojovací krabici osazené na SK, ve které jsou optická vlákna spojena (svařena) a jsou chráněna před vnějšími vlivy. Délky spojovaných úseků vyplývají z realizovatelné délky, která s ohledem na dopravu a montáž činí cca 3,5-5 km a bývá částečně přizpůsobena délce kotevního úseku vedení. Pokud jsou však změny směru trasy četnější, je možné (na rozdíl od FV) jít i přes více kotevních úseků FV.

Každé spojení (svár) optického vlákna zvyšuje jeho celkový útlum a limitní hodnotou pro návrh optické trasy je 30 dB⁴⁰. S ohledem na útlum trasy a počet spojení se tedy pohybujeme s realizovatelnou celkovou délkou KZL v úrovni cca 120-150 km. V rámci PS

³⁷ CWDM – Coarse Wavelength Division Multiplex = Hrubé vlnové dělení multiplexu (8-16 vlnových délek v jednom optickém vlákně). U DS většinou 8 vlnových délek v jednom vlákně.

³⁸ DWDM – Dense Wavelength Division Multiplex = Jemné vlnové dělení multiplexu (88-100 vlnových délek v jednom optickém vlákně). U PS je používáno 44 vlnových délek v jednom vlákně. Vyžaduje použití přesnějšího a tedy i dražšího laseru než CWDM.

³⁹ Tento požadavek vyplývá z bezpečnostních standardů fy ČEPS, a.s. Jinak se samozřejmě vyrábí a mohou instalovat i KZL, u kterých je trubička použita jako centrální nosný prvek.

⁴⁰ Útlum optické trasy se postupně zvětšuje, může také postupně docházet k poškození jednotlivých vláken. Z toho důvodu se počítá s nutností výměny KZL po 30-40 letech, i když z elektromechanického hlediska bude životnost stejně jako u ZL cca do 65 let. Je tedy na uvážení, zda nevyužívat KZL po skončení životnosti optiky jako ZL, ale to by bylo možné pouze v případě, že by druhé ZL bylo starší a vyměnilo se za nové KZL, aby byla zachována optická trasa po dané lince.

jsou některá vedení s délkou nad 150 km, která jsou z důvodu útlumu optické trasy prozatím bez KZL. To by bylo realizovatelné pouze při jeho svedení do některé přilehlé rozvodny cca v 1/3 – 1/2 trasy.

Ověření požadovaných vlastností optického vlákna probíhá u výrobce na tzv. zkouškách FAT⁴¹. Konečné parametry optické trasy se měří po dokončení vlastní realizace, měří se celková hodnota optického útlumu a vyhodnocují se sváry. Ověřuje se tak splnění konečného požadavku na max. útlum 30 dB.

1.5 Doplnující prvky

Na vedení VVN a ZVN se používají i další doplňkové prvky, které jsou však jeho nezbytnou součástí. Uvádím nejčastější z nich:

- **Tyče proti usedání ptáků**

V posledních letech dochází k systémovému osazování těchto tyčí na místa s doloženým vyšším výskytem úspěšných OZ, kde hrozí větší riziko přeskočení vlivem ptačích výkalů (podrobněji vysvětleno v kapitole 2.2.4).

Obr. 1.5 – Tyče na V457 (foto archiv ČEPS, a.s.)



- **Letecké a bezpečnostní značení**

Smaltované tabulky s čísly vedení a čísly podpěrných bodů jsou osazovány ve vrcholu SK a slouží ke snadné identifikaci vedení. Vlastní letecké značení se skládá z výstražných koulí umístěných na ZL/KZL. Tyto koule slouží jako výstraha v místech leteckých koridorů a v místech možného zásahu Letecké záchranné služby. Rozhodnutí o provedení tohoto typu značení je plně v kompetencích ÚCL⁴².

Kromě koulí se ještě provádí výstražný nátěr SK v daném úseku min. o výšce 20 m, přičemž nátěr je proveden střídavě bílou a červenou krycí barvou o minimální šířce pruhu 4 m (viz Příloha 6).

⁴¹ FAT (Factory Acceptance Test) se měří metodou OTDR (Optical Time Domain Reflectometer) – útlum na vlnové délce 1310, 1550 a 1625 nm. Tato metoda nám ověří, zda nedošlo při výrobě ke vzniku bodových nehomogenit.

⁴² Podrobněji viz Letecký předpis L14. Dostupné z: https://lis.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-14/data/print/L-14_cely.pdf. K rozsahu barevného nátěru podrobněji viz TN33 [21].

- **Tlumiče vibrací**

Osazují se ve vzdálenosti cca do 1,5 m od SK jak na ZL/KZL, tak na FV za účelem omezení vibrací způsobených větrem nebo odpařující námrazou. Jejich počet a rozmístění stanoví výrobce těchto prvků. Absence tlumičů vibrací může způsobit snížení životnosti FV až o cca 25%⁴³ což se projevilo v roce 2013-14 několika poruchami přetržení FV na vedení V210 v místě svorky nosného IZ.



Obr. 1.6 – Tlumič vibrací na ZL – V452. (foto archiv ČEPS, a.s.)

- **Distanční a tlumící rozpěrky**

Osazují se na svazkové vodiče (na PS dvou/tří svazkové) pro zamezení jejich kmitání a udržení odstupů lan v rámci FV. Jejich počet a rozmístění v rozpětí stanoví výrobce těchto prvků. V první fázi výstavby vedení 400 kV nebyl v okolních zemích využíván trojsvazek, ale spíše dvousvazky nebo čtyřsvazky. Z toho důvodu bylo využíváno dvojrozpěrek osazených ve skupině přes všechny tři lana (Obr. 1.7).



Obr. 1.7 – Distanční dvojrozpěrky na FV – 400kV. (foto archiv ČEPS, a.s.)

S postupem času, po zdokonalení konstrukce a materiálů pro tlumení rázů uvnitř rozpěrky, se začalo s využitím trojrozpěrek (viz Obr. 1.8), které jsou nyní standardem. Fungují také jako bezpečnostní prvek pro případ porušení jednoho z vodičů ve svazku. Jak je vidět z přiloženého obrázku, vyrábějí se nyní už i v provedení s integrovaným závažím pro udržení pozice svazku v přeponce (tzn. v místě přechodu FV přes kotevní závěsy) nebo ve verzi s tlumením – tzn. že na FV již nejsou v takovém případě osazovány tlumiče vibrací.

⁴³ Stáří FV v době poruchy 50 let, předp. max. životnost 65 let. Po zjištění příčiny první poruchy byla naplánována okamžitá výměna FV, která proběhla v letech 2014-16.



Obr. 1.8 – Distanční trojrozpěrka klasická, se závažím a s tlumením vibrací – 400kV⁴⁴

- Mezifázové rozpěrky

Pro omezení překmitů lan při jejich tančení⁴⁵, které je způsobeno větrem, se využívá tzv. mezifázových rozpěrek. Jsou to jednoduché tyčové kompozitní izolátory (fy ELBA nebo RIBE), jejichž délka je např. 9 m (viz Obr. 1.9) a vyplývá z konfigurace FV v návaznosti na typ SK.

Místa využití souvisí s mnoha vnějšími vlivy, mezi které patří síla větru a úhel pod kterým dopadá na FV a k jejich osazení se přistupuje až na základě přímého zjištění této závady. Podrobněji k typům a umístění v kapitole 2.2.1.



Obr. 1.9 – Příklad instalace rozpěrek ELBA na V459 (foto archiv ČEPS, a.s.)

⁴⁴ Fotografie 1 a 2 z archivu ČEPS, a.s. a 3 z archivu autora – V452 – 23.11.2017

⁴⁵ angl. galloping, může vzniknout jednoduchý v polovině nebo dvojitý ve třetinách délky rozpětí. Dojde při něm k překroucení FV a v místě překmitu dojde k propojení vodičů v trojsvazku. Problematika zmíněna již ve [12] – strana 37. Podrobněji k dané problematice *State of the Art of Conductor Galloping*, 2005, CIGRE. Dostupné z: http://gallopingsolutions.com/wp-content/uploads/2016/11/WGB21106_brochure_061106.pdf

2 Kompozitní izolační prvky v přenosové soustavě

2.1 Historie využití kompozitních materiálů pro izolátorové závěsy

Vývoj kompozitních materiálů pro izolátorové závěsy byl zahájen ve druhé polovině 50. let minulého století v Anglii. S využitím konstrukce ze sklolaminátové tyče a kaučuku se začalo v polovině 60. let. První využití kompozitů v Evropě se datuje do roku 1967 v Německu⁴⁶. Vzhledem k jejich relativně snadné a rychlé výrobě, malé váze a možnosti realizace řetězců pomocí jednoho izolátoru se dostaly rychle do popředí zájmu.

Od první chvíle byly podrobně sledovány a vyhodnocovány vlivy, které způsobují jejich degradaci (na rozdíl od keramických a skleněných izolátorů, které degradaci povrchu nepodléhají). Výrobci pracovali v průběhu let jak s materiálem nosné části, který se ustálil na sklolaminátu, tak se směsí a tvarem vlastních stříšek vnější vrstvy izolátoru. Na základě výsledků⁴⁷ těchto vyhodnocení se dá konstatovat, že se vlastnosti izolátorů (i na základě pokynů plynoucích z průběžného sledování stavu a příčin poruch IZ) postupně zlepšují, avšak vlivem změn v materiálech a konstrukčním řešení nelze udělat jednoznačnou studii, která by mohla statisticky vyhodnotit celých cca 50 let jejich použití.

V České republice se s kompozitními izolátorovými závěsy začalo experimentovat až v 80. letech 20. století, kdy byl pokusně osazen jeden IZ typu PN na p.b.140 V450 (podrobněji viz kapitola 2.2). Pokračování se odehrálo až v první polovině 90. let, kdy bylo ve společnosti ČEZ, a.s. (vznik ČEPS, a.s. až od roku 1998) rozhodnuto o možných typech izolátorů a výběr výrobců byl proveden na základě porovnávacích zkoušek uskutečněných v roce 1994⁴⁸ pro napětí 110 kV. Výsledky těchto porovnávacích zkoušek prokázaly, že jsou pro podmínky České republiky vhodné izolátory s pláštěm ze silikonu nebo ESP (podrobněji viz kap. 2.2.2).

Výběr dodavatelů a vhodných typů izolátorů pro vedení a stanice 110 kV, 220 kV a 400 kV byl proveden na základě výběrového řízení, které ČEZ, a.s. zorganizoval ve

⁴⁶ Podrobněji viz [34]

⁴⁷ Podrobněji viz [33-37]

⁴⁸ na různých typech izolátorů 110 kV (různí výrobci, různý materiál pláště) Viz [16] a [39]. Měřilo se přeskokové napětí ve slané mlze před a po dlouhodobé zkoušce (1000 hodin) napodobující vliv prostředí.

spolupráci se SEPS, a.s. Požadavky na izolátorové závěsy byly vypracovány v EGÚ – HV Laboratory, a.s. (dříve EGÚ – Laboratoř velmi vysokého napětí, a.s.). Na izolátorových závěsech z vybraných typů izolátorů byly v EGÚ – HV Laboratory, a.s. a Zkušebnictví, a.s. provedeny všechny typové zkoušky (napětíové, zkratové a mechanické dynamické) a tyto izolátorové závěsy (tzn. izolátory + opalovací kruhy + ostatní související prvky, příklady viz Příloha 18 a 19) byly zařazeny do typizační směrnice ČEPS a.s. (současná TN48 [24]).

První plné využití kompozitních IZ v rámci ČEZ, a.s., resp. ČEPS, a.s. na vedeních VVN lze datovat do roku 1995 u 110 kV a do roku 1998 u 220 kV. U ZVN 400 kV tomu tak bylo v roce 2000. Jak je vidět, tak současné nejstarší kompozitní IZ jsou cca na polovinu požadované minimální životnosti dle Tab. 1.1 a je tedy otázkou, jak se bude v následujících 20-ti letech jejich stav vyvíjet (s ohledem na postupující degradaci povrchu a spojení pláště s jádrem).

2.2 Využití na vedeních Přenosové soustavy

První dohledatelné pokusy s využitím kompozitních IZ na vedeních PS v rámci ČR spadají do června roku 1984⁴⁹, kdy byl na lince V450 na jednom PN závěsu v transpozici na p.b.140 instalován izolátor Ohio Brass (typ 1232027-3002, materiál EPM).

V roce 1992 následuje na V441 pár instalací DK a DN závěsů z izolátorů Rodurflex – CeramTec. Další pokusné instalace byly provedeny až po laboratorních testech (kap. 2.1) v roce 1995 na lince V1561/2 (v současné době pod správou DS), kde bylo na p.b. 8 umístěno pět izolátorů od různých výrobců (CeramTec, Ohio Brass, Rebosio, Reliable a Sediver). V roce 2000 k nim byl ještě doplněn izolátor Furukawa. Podrobněji v kap.2.2.3.

Jak bylo již v kapitole 1.2 naznačeno, tak od roku 1997 (V1344/5) začalo praktické využívání kompozitních materiálů při obnově a výstavbě vedení náležejících k PS.

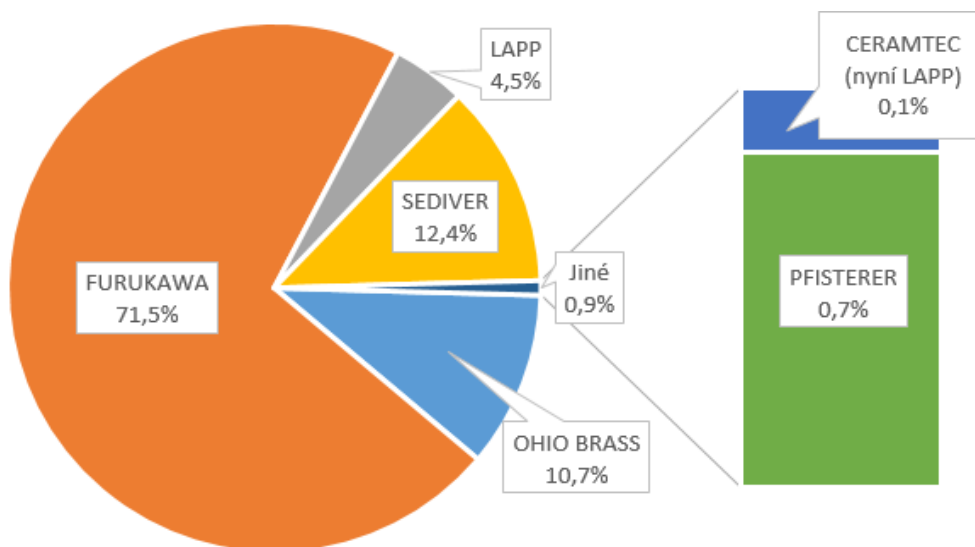
⁴⁹ Viz [49]. Izolátor byl sejmут v roce 2003 po cca 19 letech. K jeho stavu blíže v kapitole 2.2.3. Vzhledem k tomu, že je z jiného materiálu než ostatní instalované izolátory v rámci PS (viz Tab. 2.1), bude jakékoli srovnání touto skutečností jistě zatíženo. Je tedy z mého pohledu potřeba dále pokračovat s pravidelným sledováním stavu kompozitních izolátorů.

V návaznosti na kapitolu 1.2, kde jsou uvedeny grafy poměru využití kompozitních materiálů oproti keramice a sklu, uvádím v Tabulce 2.1 přehled využití kompozitních izolátorů dle výrobců s uvedením materiálového řešení. Procentní rozdělení v Grafu 2.1 a použité typy izolátorů v Tab. 2.2.

Tab.2.1 – Rozdělení kompozitních izolátorů PS ČEPS, a.s. dle výrobců
(stav ke dni 15.3.2019)⁵⁰

Výrobce izolátoru	celkem izolátorů	materiál pláště	Typ mezivrstvy (plášť/jádro)
OHIO BRASS	3 825	ESP	silikonový tuk
FURUKAWA	25 515	SIR	chemická vazba
LAPP	1 593	SIR	chemická vazba
SEDIVER	4 426	SIR	chemická vazba
CERAMTEC (nyní LAPP)	50	SIR	chemická vazba
PFISTERER	262	SIR	chemická vazba
Celkem izolátorů	35 671		

Graf 2.1 – Procentní zastoupení výrobců kompozitních izolátorů v PS⁵¹



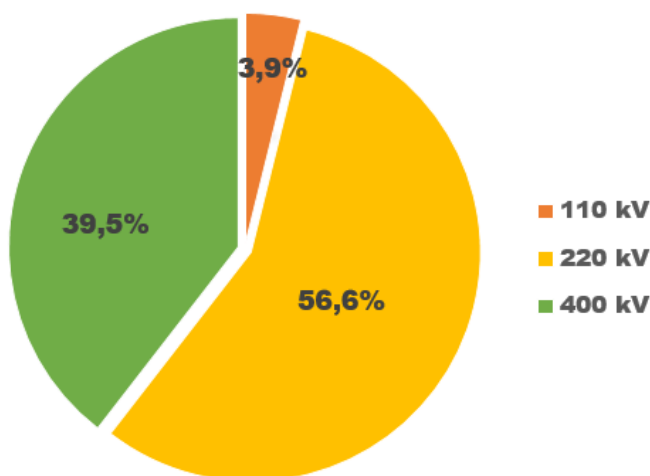
⁵⁰ Vyhodnocení bylo provedeno nad zdrojovými daty ze systému IS-PD společnosti ČEPS, a.s. k datu 15.3.2019. Předp. odchylka od skutečného počtu IZ je do 1,7% - zjištěná nepřesnost zdrojových dat.

⁵¹ Vyhodnocení bylo provedeno nad zdrojovými daty ze systému IS-PD společnosti ČEPS, a.s. k datu 15.3.2019. Vstupní data pro graf jsou uvedena v Tabulce 2.1.

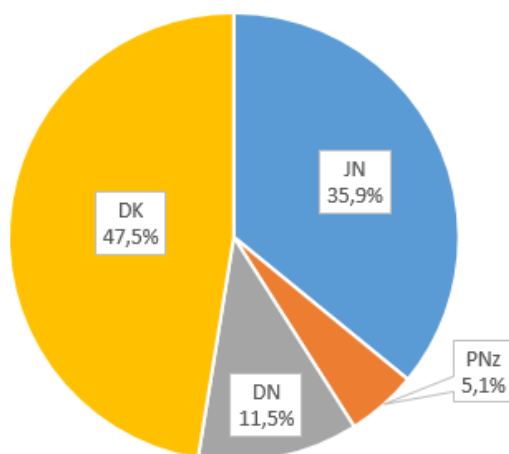
2.2.1 Typy kompozitních izolátorových závěsů a mezifázové rozpěrky

Kompozitní izolátory uvedené v předchozí kapitole se sestavují do jednotlivých IZ uvedených v kapitole 1.2 v návaznosti na napěťovou hladinu (=> délka izolátoru, rozložení v Grafu 2.2) a způsob použití (=> počet řetězců, procentní zastoupení typů IZ dle napěťových hladin v Grafech 2.3, 2.4 a 2.5). V Grafu 2.5 je jasně patrné vyšší procento využití PK_A a PK_T závěsů pro vyřešení nevyhovujících odstupů FV od terénu.

Graf 2.2 – Rozdělení kompozitních izolátorů dle napěťových hladin v PS⁵²



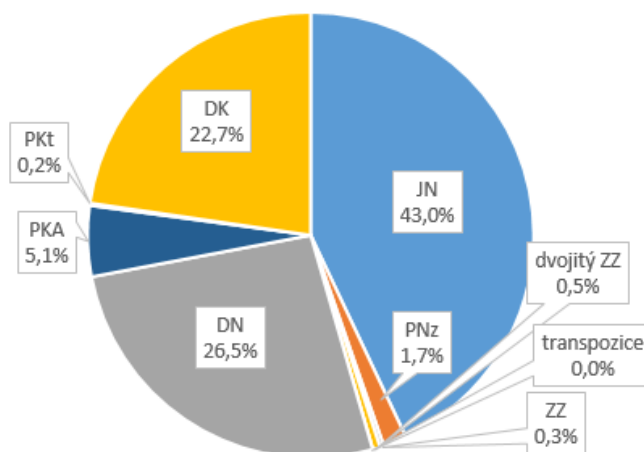
Graf 2.3 – Zastoupení typů kompozitních IZ na hladině 110 kV v PS⁵³



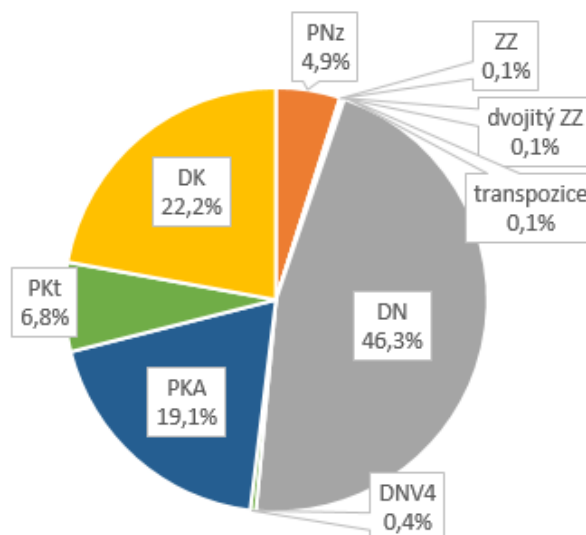
⁵² Vyhodnocení bylo provedeno nad zdrojovými daty ze systému IS-PD společnosti ČEPS, a.s. k datu 15.3.2019. Vstupní data pro graf jsou uvedena v Příloze 10.

⁵³ Vyhodnocení bylo provedeno nad zdrojovými daty ze systému IS-PD společnosti ČEPS, a.s. k datu 15.3.2019. Předp. odchylka od skutečného počtu IZ je do 1,7% - zjištěná nepřesnost zdrojových dat.

Graf 2.4 – Zastoupení typů kompozitních IZ na hladině 220 kV v PS⁵⁴



Graf 2.5 – Zastoupení typů kompozitních IZ na hladině 400 kV v PS⁵⁵

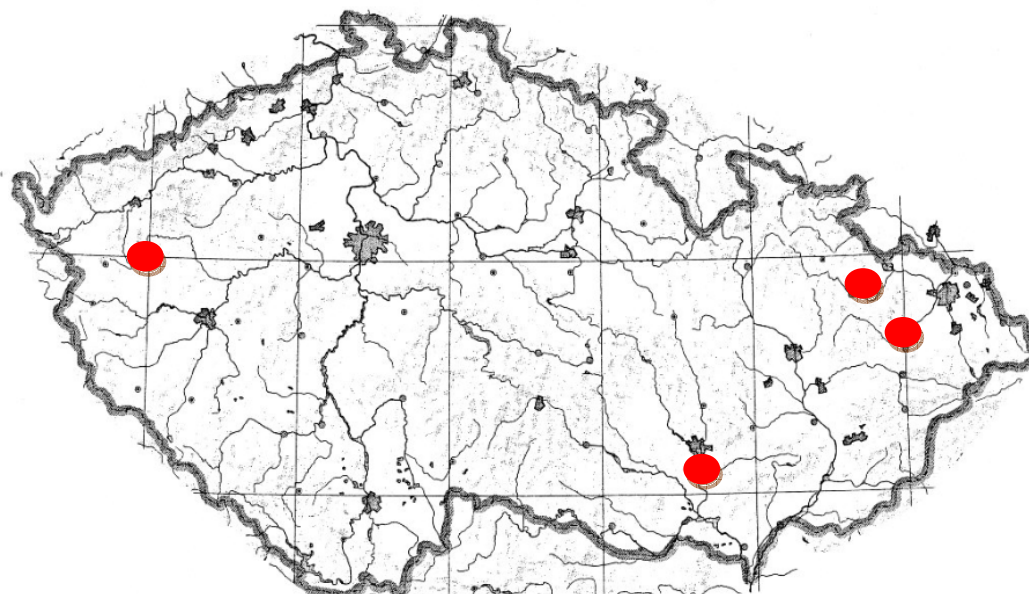


Kromě standardních izolátorových závěsů se užívat na vedení 400 kV se svazkovými vodiči tak zvaných **mezifázových rozpěrek** (viz kapitola 1.5). Mezi dodavatele využívané v PS ČEPS, a.s. patří RIBE a ELBA, a.s. (počty viz Tab. 2.3). V konstrukci rozpěrky jsou zakomponovány dva kompozitní izolátory (např. Furukawa, Argillon, atd.) spojené distanční tyčí. Celková délka může být 9 – 13 m. Problémem jsou dynamické rázy, kterým je rozpěrka vystavena. První rozpěrky osazené na vedení PS v roce 2006 měly potíže s praskáním a musely být vyměněny. Osazují se mezi dva FV (Obr. 1.9) nebo FV a ZL.

⁵⁴ Vyhodnocení bylo provedeno nad zdrojovými daty ze systému IS-PD společnosti ČEPS, a.s. k datu 15.3.2019. Předp. odchylka od skutečného počtu IZ je do 1,7% - zjištěná nepřesnost zdrojových dat.

⁵⁵ Vyhodnocení bylo provedeno nad zdrojovými daty ze systému IS-PD společnosti ČEPS, a.s. k datu 15.3.2019. Předp. odchylka od skutečného počtu IZ je do 1,7% - zjištěná nepřesnost zdrojových dat.

V rámci PS jsou instalovány na vedeních V405, V435/6, V441 a V459 v úsecích (Obr. 2.1), kde došlo dříve opakovaně k havarijnímu stavu překroucení FV.



Obr. 2.1 – Oblasti s instalovanými mezifázovými rozpěrkami⁵⁶

Tab.2.3 – Soupis instalovaných mezifázových rozpěrek⁵⁷

Výrobce	počet úseků	ks na úsek	rok instalace	počet ks
RIBE	20	3 - 6	2014-19	84
ELBA	13	2 - 8	2006-12	40
Celkem				124

2.2.2 Konstrukce kompozitních izolátorů a použité materiály

Ze závěrů programu CIS (viz kap. 2.2.3) vyplývají požadavky na zvýšení kvality výroby pro výrobce kompozitních izolátorů. Díky tomu se podařilo odstranit většinu závad (jako např. zvýšená eroze, tvorba vodivých stop, odštěpení, průraz, obnažení jádra,...), které provázely kompozitní izolátory ještě na počátku 90. let 20. století. Tyto závady se objevily většinou v prvních 10 letech provozu. Na to reagovali renomovaní výrobci

⁵⁶ Vytvořeno na základě dat z IS-PD společnosti ČEPS, a.s. k datu 20.5.2019.

⁵⁷ Vyhodnocení bylo provedeno nad zdrojovými daty ze systému IS-PD společnosti ČEPS, a.s. k datu 20.5.2019. Předp. odchylka od skutečného počtu IZ je do 1,7% - zjištěná nepřesnost zdrojových dat.

změnou postupů, které však mají za následek, že data získaná mezi 80tými a 90tými léty neumožňují průběžné srovnání výsledků měření.

K vlastní výrobě izolátoru:

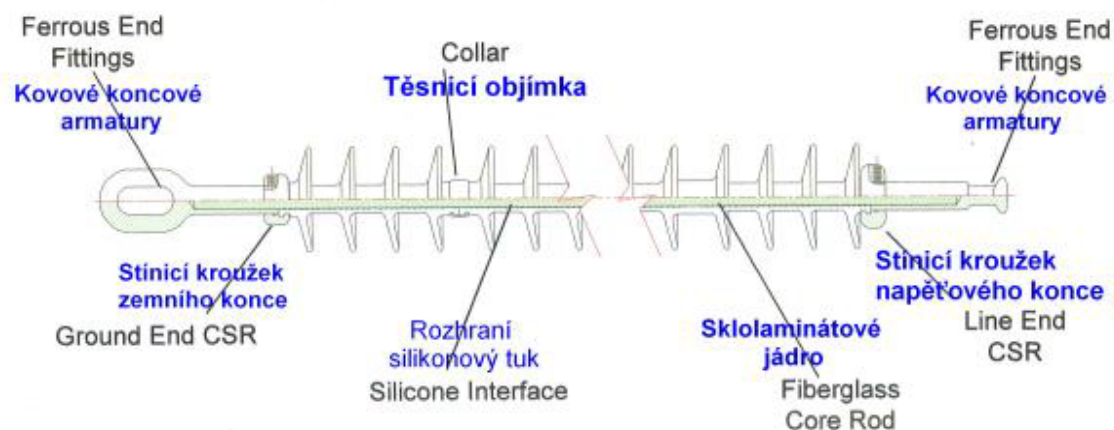
Jádro je vytvořeno ze sklolaminátu – epoxidové pryskyřice vyztužené skleněnými vlákny jsou spojovány při kontinuálním procesu tažení tzv. pultruzi. Potřebné délky jsou následně z tyče odřezány.

Nejčastější typy použitých materiálů izolačního pláště (směsi se dále liší dle výrobce):

- SIR – silikonový kaučuk (silicon rubber)
- EPDM – ethylen propylen dien monomer
- ESP – směs EPDM a silikonu
- Jiné (EPM – ethylen propylen monomer, ethyl vinil, polyolefin,...)

Technologie výroby kompozitního izolátoru se pak dá rozdělit na dvě základní metody. Při té první (tzv. „life interface“) je vnější plášť odlit samostatně a izolátor je následně sestaven (např. ESP). Při té druhé se odlévá vnější plášť ve formě s vloženým jádrem a spojení je zajištěno chemickou vazbou (např. EPDM, SIR) – viz Přílohy 16 a 17.

Pokud jde například o izolátory Ohio Brass, tak ty mají plášť vyrobený ze směsi silikonu a EPDM (tedy hmota ESP). Vnější plášť se skládá z různě dlouhých sekcí navlečených na sklolaminátové jádro, které jsou vzájemně spojeny těsnícími kroužky. Vzniklá mezivrstva mezi jádrem a pláštěm je vyplněna silikonovým tukem. Schéma konstrukce izolátoru Ohio Brass je na Obr. 2.2.



Obr. 2.2 – Schéma kompozitního izolátoru Ohio Brass viz [54].

Tab.2.2 – Typy kompozitních izolátorů použitých v PS ČEPS, a.s.
(stav ke dni 15.3.2019)⁵⁸

Výrobce / typ IZ	celkem izolátorů	Napěťová hladina	Využití izolátorů dle typů IZ
OHIO BRASS	3 825		
OB-511007-2000	840	110	DK
OB-511007-2808	567	110	JN, PN, DN
OB-522016-2008	24	220	ZZ
OB-513213-4808	999	220	JN, PN, DN, DK
OB-511014-2808	1 395	220	JN, PN, ZZ, DN, PK _A , DK
FURUKAWA	25 515		
H220 120.2376.CC16L	13 515	220	JN, PN, ZZ, DN, PK _A , PK _T , DK
H220 160.2380.CC19L	466	220	JN, PN, ZZ, DN, PK _A
H400 160.4960.CC19L	9	220	transpozice
H400 210.3130.CC22L	12	220	DK
H120 120.1300.CC19L	812	400	PK _T
H220 210.2410.CC22L	1 648	400	PK _T , PK _T -SPEC
H400 120.3100.CC19L	6 644	400	PN, ZZ, DN, DNV _{PK2} , PK _A
H400 120.3400.CC19L	40	400	DNV ₄
H400 160.4960.CC19L	27	400	transpozice
H400 210.3130.CC22L	2 294	400	PN, DN, PK _T -SPEC, DK
H400 210.3192.CC19L	48	400	DNV ₄
LAPP	1 593		
S30EE-03K2071	12	220	PK _A
CS120CC 22/57(170/130)3100	1 017	400	PN, ZZ, DN, PK _A
CS225CC 30/57(178/138)3130	564	400	DK
SEDIVER	4 426		
FCC 120 XM 075 S0	2 604	220	JN, PN, ZZ, DN, PK _A , PK _T , DK
FCC 120 XL 101 S0 R0	92	400	DN, PK _A
FCC 160 XF 039 S0 R0	40	400	PK _T
FCC 210 XF 073 S0 R0	8	400	PK _T
FCC 210 XL 073 S0 R0	72	400	PK _T
FCC 210 XL 101 S0 R0	40	400	PK _T
19L FCC 120	160	400	PK _A
19L FCC 160	1 410	220	DN, PK _A , PK _T
CERAMTEC (nyní LAPP)	50		
Rodurflex 30/73	26	400	PN, DN
Rodurflex 43/102	24	400	DK
PFISTERER	262		
138 200-281	262	400	DN
Celkem izolátorů	35 671		

⁵⁸ Vyhodnocení bylo provedeno nad zdrojovými daty ze systému IS-PD společnosti ČEPS, a.s. k datu 15.3.2019. Předp. odchylka od skutečného počtu IZ je do 1,7% - zjištěná nepřesnost zdrojových dat.

2.2.3 Druhy sledovaných a zjištěných závad⁵⁹

Stav kompozitních izolátorů se sleduje na vybraných vedeních pravidelnou vizuální prohlídkou spojenou s měřením povrchové vodivosti⁶⁰ a stupně hydrofobnosti povrchu (viz Příloha 12) na izolátorech bez napětí.

Společnost EGÚ – HV Laboratory, a.s., která pro ČEPS, a.s. tyto prohlídky primárně zajišťuje, využila možnosti zapojení do programu „Composite Insulator Status“ (CIS). Tento program zahájený v roce 1994 je koordinován švédským výzkumným ústavem STRI AB a jeho účastníci mohou využívat databázi získanou sledováním kompozitních izolátorů od více než 40 uživatelů z celého světa.

Důležitým závěrem kontrol v rámci programu CIS je, že stejné typy izolátorů s různým materiálem pláště vykazují stejné typy a způsob vývoje poškození, je rozdíl pouze ve stupni a rychlosti vývoje. A dále, že většina lehkých a těžkých poškození kompozitních izolátorů je spíše spojena s konstrukčními a výrobními problémy než se stárnutím materiálu samotného.

Při vizuálních prohlídkách na vedeních dle metodiky STRI-CIS (resp. STRI-ICARUS ve stanicích) se sledují následující parametry :

- **Změny povrchu** (nemající vliv na životnost izolátoru – přijatelné stárnutí)
 - o Křídování povrchu izolátoru
 - o Změna barvy povrchu izolátoru
 - o Popraskání (mikrotrhlina na povrchu hloubky 0,01 – 0,1 mm)
 - o Koroze koncových kovových armatur
 - o Lehká eroze povrchu
 - o Růst organického materiálu na povrchu pláště (lišejníky, houby – není v ČR)
 - o Lehká netěsnost – pronikání silikonového tuku (oleje) z mezivrstvy mezi pláštěm a sklolaminátovým jádrem / rourou viz 2.3.1 (neplatí pro chemickou vazbu)
 - o Malé odštěpení (odtržení, trhlina nebo prasklina v polymerovém plášti)

⁵⁹ Výběr z [16], [49], [50], [51], [52], [54]

⁶⁰ Měří se pomocí sondy dle ČSN IEC 60 507. Povrch izolace se zvlhčí rozprašovačem s destilovanou vodou a měří se vodivost při stavu aktuální hydrofobnosti. Následně se voda rozetře a měří se povrchová vodivost dočasně hydrofilního povrchu.

- **Poškození** (mající vliv na životnost izolátorů – nepřijatelné stárnutí)
 - o Silná netěsnost (průnik silikonového tuku nebo oleje z mezivrstvy)
 - o Obnažení materiálu sklolaminátového jádra / roury
 - o Ztráta vazby – oddělení různých částí izolátoru, které zkracuje povrchovou dráhu o více než 10% (například mezi stříškami a dříkem, pokud stříšky nejsou odlévány společně s pláštěm dříku)
 - o Tvoření vodivých stop na povrchu (následkem povrchových výbojů)
 - o Eroze povrchu (degradace povrchu – hloubka více než 1 mm)
 - o Odtrhávání (ztráta adheze těsnění koncových kovových armatur)
 - o Poškození obloukovým výbojem (po elektrickém přeskoku na izolátoru)
 - o Průraz izolačního materiálu
 - o Odštěpení / trhliny (hloubka více než 1 mm – může být způsobeno i korónovými výboji)
 - o Roztržení – vzniklé mechanickým poškozením (např. stříšek), může dojít i k okusu hlodavci a ptactvem

Příklad vyhodnocení kompozitních izolátorů na V1561/2 v roce 2006 viz [16]⁶¹:

V roce 2006, po 11 letech provozu, byly sejmuty izolátory na nosném stožáru č.8 na vedení V1561/2 a podrobeny laboratorním testům v EGÚ – HV Laboratory, a.s. Mezi hlavní parametry, které doznaly největší změny, patřilo zhoršení hydrofobnosti povrchu, silné křídování (již dřívější zkoušky EGÚ prokázaly, že křídování nesnižuje elektrické vlastnosti izolátoru) a popraskání (Rebosio, CeramTec – je potřeba dále sledovat). Zjištěné závady byly tak spíše kosmetického charakteru (viz Obr. 2.3 – 2.8 při testu stupně hydrofobnosti).



Obr. 2.3 – Izolátor Ohio Brass 511206-1400 (rok 1995 a 2006)

⁶¹ Data a fotografie (obr. 2.3 - 2.8) vybrány z průběžných vyhodnocení mezi lety 1999-2006 – viz [16].



Obr. 2.4 – Izolátor Sediver CT 120 XM37 (rok 1995 a 2006)



Obr. 2.5 – Izolátor Rebosio E00624 M (rok 1995 a 2006)



Obr. 2.6 – Izolátor Reliable C144055GVW (rok 1995 a 2006)



Obr. 2.7 – Izolátor CeramTec 30/22 (148) 1200 (rok 1995 a 2006)



Obr. 2.8 – Izolátor Furukawa H120 120.1245.TT (rok 2000 a 2006)

Tab.2.4 – Vyhodnocení stavu izolátorů V1561/2 po 11-ti letech provozu⁶²

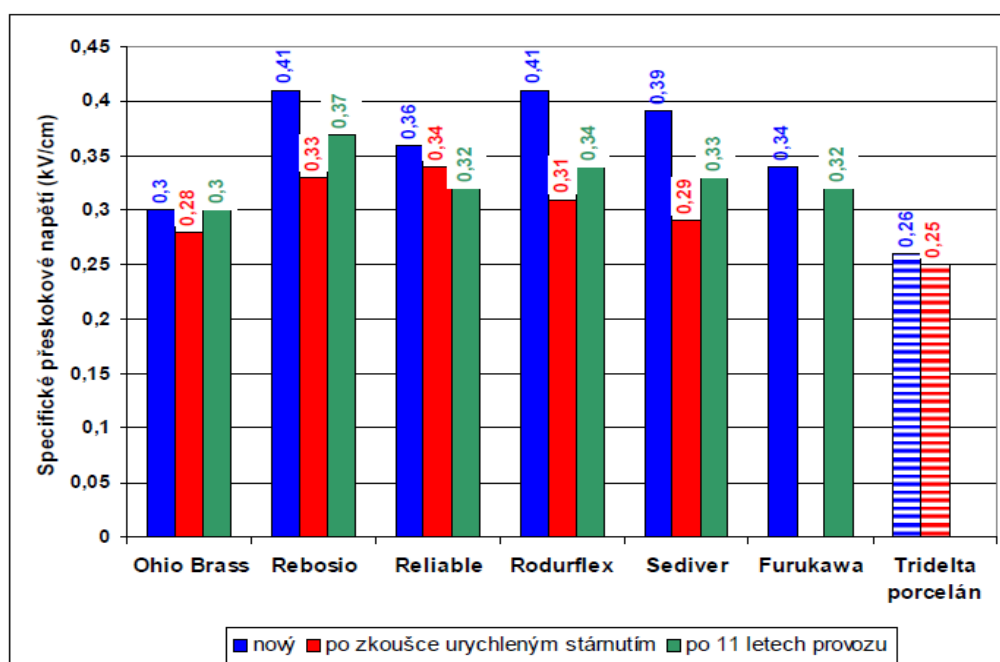
Výrobce	Typ izolátoru	Materiál pláště	Stupeň hydrofobnosti izolátoru			Vizuální prohlídka		Povrchová vodivost [μS] (hydrofilní povrch)		
			1995	2000	2006	2000	2006	1995	2000	2006
Ohio Brass	511206-1400	ESP	4 - 6	5 - 7	7	lehké křídování	silné křídování	0	6	6 - 12
Sediver	CT 120X M37	EPDM	2 - 3	4 - 5	2 - 4	bez poškození	křídování	0	6	6 - 9
Rebosio	E 00624 M	SIR	1	2 - 3	1 - 2	bez poškození	drobné trhliny na povrchu	0	3 - 6	3 - 6
Reliable (MacLean)	C 144055 GVW	SIR	1	2	1 - 2	odchlípnutí u spodní koncové armatury r.1998	odchlípnutí u spodní armatury (nezvětšuje se)	0	3 - 6	3 - 6
CeramTec (Rodurflex)	30/22(148)1200	SIR	1	5 - 6	2 - 4	bez poškození	větší trhliny na povrchu, při ohybu praská	0	6	6 - 9
Furukawa	H 120.120.1295 T.T	SIR	instalace r.2000	1	1	bez poškození	bez poškození	instalace r.2000	0	6

Izolátory byly podrobeny zkoušce měření elektrické pevnosti (Graf 2.6) se zjištěním, že u všech izolátorů kromě typu Reliable došlo za 11 let k menšímu snížení elektrické pevnosti než u izolátorů podrobených v roce 1994 zkoušce urychleným stárnutím s trváním 1000 hodin dle kapitoly 2.1 (pozn. č.47). Ve všech případech byla elektrická pevnost izolátorů dostatečná, vyhovující skutečnému napětovému namáhání při provozním napětí.

Z výše uvedených skutečností vyplynulo, že je proces stárnutí kompozitních izolátorů v očekávaných mezích a že jejich předpokládaná životnost (běžně uvažovaná cca 30 let) bude s největší pravděpodobností dodržena nebo i překročena.

⁶² Vyhodnocení bylo provedeno nad zdrojovými daty z [16], [49], [52], [54] zpracovaných mezi lety 2003 - 2006. Izolátor Furukawa vyhodnocen po 6-ti letech provozu.

Graf 2.6 – Výsledky zkoušek izolátorů V1561/2 ve slané mlze⁶³



Příklady zjištěných typů změn povrchu a poškození na kompozitních IZ v PS:

Mezi závady které se projevily za dobu využívání kompozitních izolátorů, patří závada na p.b.140 V450 zjištěná při kontrole v roce 2003 u prvního použitého izolátoru Ohio Brass (mat. EPM, typ 1232027-3002). **Vlivem korónových výbojů zde došlo k odštěpení v místě utěsnění u spodní koncové kovové armatury** (viz Obr. 2.9). Celý izolátor byl matný a křídový (vyloučené plnivo z materiálu pláště), povrch zcela hydrofilní – HC7.



Obr. 2.9 – Praskliny u spodní koncové kovové armatury – stav po 18-ti letech v provozu⁶⁴

⁶³ Viz [16].

⁶⁴ Převzato z [49]. Vyměněn v roce 2003. Jako jediný z instalovaných kompozitních IZ vystaven působení vyššího znečištění ovzduší před rokem 1990 (po dobu cca sedmi let).

Při kontrole provedené v roce 2003 na vedení V1344/5 byl zjištěn u jednoho z izolátorů Ohio Brass (mat. ESP, typ 511 007-2808) **lehký únik silikonového oleje** ze spoje dílů polymerového pláště (Obr. 2.10).



Obr. 2.10 – Lehký únik silikonového oleje z mezivrstvy – stav po 6-ti letech v provozu⁶⁵

Při kontrole na začátku roku 2019 na odstaveném vedení V221 bylo zjištěno poškození izolátoru Sediver (mat. SIR, typ FCC 120 XM 075 S0) **okusem od ptáků**. Poškození vzniklo v době, kdy nebylo vedení pod napětím (Obr. 2.11). Obdobná závada se zatím jinde neobjevila.



Obr. 2.11 – Poškození izolátoru okusem – stav po 9-ti letech provozu⁶⁶

V roce 2006 došlo na vedení V225/6 na DK izolátoru Ohio Brass (mat. ESP, typ 511014-2808) k zatím nejzávažnějšímu **poškození přetržením izolátoru**. Jak ukázaly podrobné laboratorní testy, tak k porušení došlo v místě styku dvou sekcí pláště

⁶⁵ Převezato z [49].

⁶⁶ Foto archiv ČEPS, a.s.

(konstrukce viz kap. 2.2.2) pod těsnicí objímkou (Obr. 2.12). Ke „křehkému lomu“ došlo vlivem netěsnosti této objímky, což bylo doloženo křídováním jejího vnitřního povrchu (při vystavení slunci – UV záření). Díky vlhkosti, vzdušnému dusíku a působení elektrického pole může vzniknout kyselina dusičná, která jádro naruší. Zvláštností poruchy bylo to, že nebyla provázena výraznějším únikem tuku z mezivrstvy (př. u DN - Obr.3.10).



Obr. 2.12 – Přetržený izolátor na V225/6 – stav po 6-ti letech provozu⁶⁷

V případě sejmutí izolátoru je tento podroben následujícím lab.zkouškám⁶⁸:

- Měření povrchové vodivosti
- Měření střídavého přeskovového napětí ve slané mlze
- Měření střídavého přeskovového napětí za deště a výdržná zkouška střídavým napětím
- Mechanická zkouška SML (Specific Mechanical Load) – zatížení stanovené výrobcem

Základní doporučení pro uživatele kompozitních izolátorů dle [16]:

- Používat izolátory s min.tloušťkou izolačního pláště (bez ohledu na typ materiálu) 3 mm.
- Používat vhodné ochranné armatury (kruhy) pro izolátory 110 kV a výše.
- Izolátory s vhodným typem těsnění koncových kovových armatur (ne miskovitý tvar).
- Používat izolátory s osvědčenou konstrukcí (lisované koncové armatury, odlévání do forem bez distančních kovových kroužků).

⁶⁷ Převzato z [46] a [54]. Jádro bylo dle ČSN EN 61109 podrobena zkoušce na pronikání barviva a zkoušce na difúzi vody. Rozdíl v úniku tuku z mezivrstvy mohl být způsoben jinou polohou izolátoru DK oproti DN.

⁶⁸ Prováděných dle ČSN EN 61109 – Izolátory pro venkovní vedení – Kompozitní závěsné a kotevní izolátory pro systémy střídavého napětí se jmenovitým napětím vyšším než 1000 V – Definice, zkušební metody a přijímací kritéria. Podrobněji ke zkouškám izolátorů např. viz [40] a [41].

Výběr izolátorů pro laboratorní zkoušky je prováděn ze strany pracovníků ČEPS, a.s.

- Nepoužívat izolátory s příliš malou vzdáleností stříšek (větší než 25 mm u nevystřídáných stříšek).
- Používat izolátory od výrobce s kvalitním řízením jakosti výroby.
- Vyžadovat od výrobců prokázání shody s příslušnými standardy (provedení konstrukčních a typových zkoušek). Zejména dlouhodobé zkoušky pro zjištění odolnosti proti tvoření vodivých stop podle norem IEC pro příslušný typ izolátorů jsou pro prokázání dlouhodobé životnosti izolátorů důležité.
- Provádět periodické kontroly kompozitních izolátorů v provozu.

2.2.4 Problematika vyššího výskytu úspěšných opětovných zapnutí

Při provozu může dojít k nenadálým výpadkům v přenosu elektrické energie, které mohou být způsobeny různými vlivy. V rozvodnách, do kterých jsou jednotlivá vedení napojena, je každá tato porucha zachycena systémem ochran, poté následuje pokus o opětovné zapnutí (OZ). Rozlišuje se úspěšný OZ, při kterém dojde k obnovení přenosu a neúspěšný OZ⁶⁹, při kterém se vedení definitivně odepne. Úspěšné OZ souvisejí s příčinou výpadku, která má jen dočasné trvání.

Možné příčiny úspěšných OZ:

- Přepětí (atmosférické nebo spínací, dočasné střídavé přepětí)
- Přeskoky na znečištěném izolátoru
- Dočasné snížení vzdušné vzdálenosti vodičů od konstrukce stožárů nebo od země

V rámci ČEPS, a.s. je od roku 2000 zaveden systém pravidelného sledování a vyhodnocování příčin výpadků a poruch, který byl v roce 2010 doplněn o výstup ze systému detekce blesků Evropské sítě EUCLID⁷⁰. Díky tomu je možné vyloučit úspěšné OZ zapříčiněné bleskem. Již při prvních přeizolacích na vedení V225/6, kde došlo v roce 2000 k náhradě vadných keramických izolátorů LS 75/21 a LS 85/21⁷¹ kompozitními

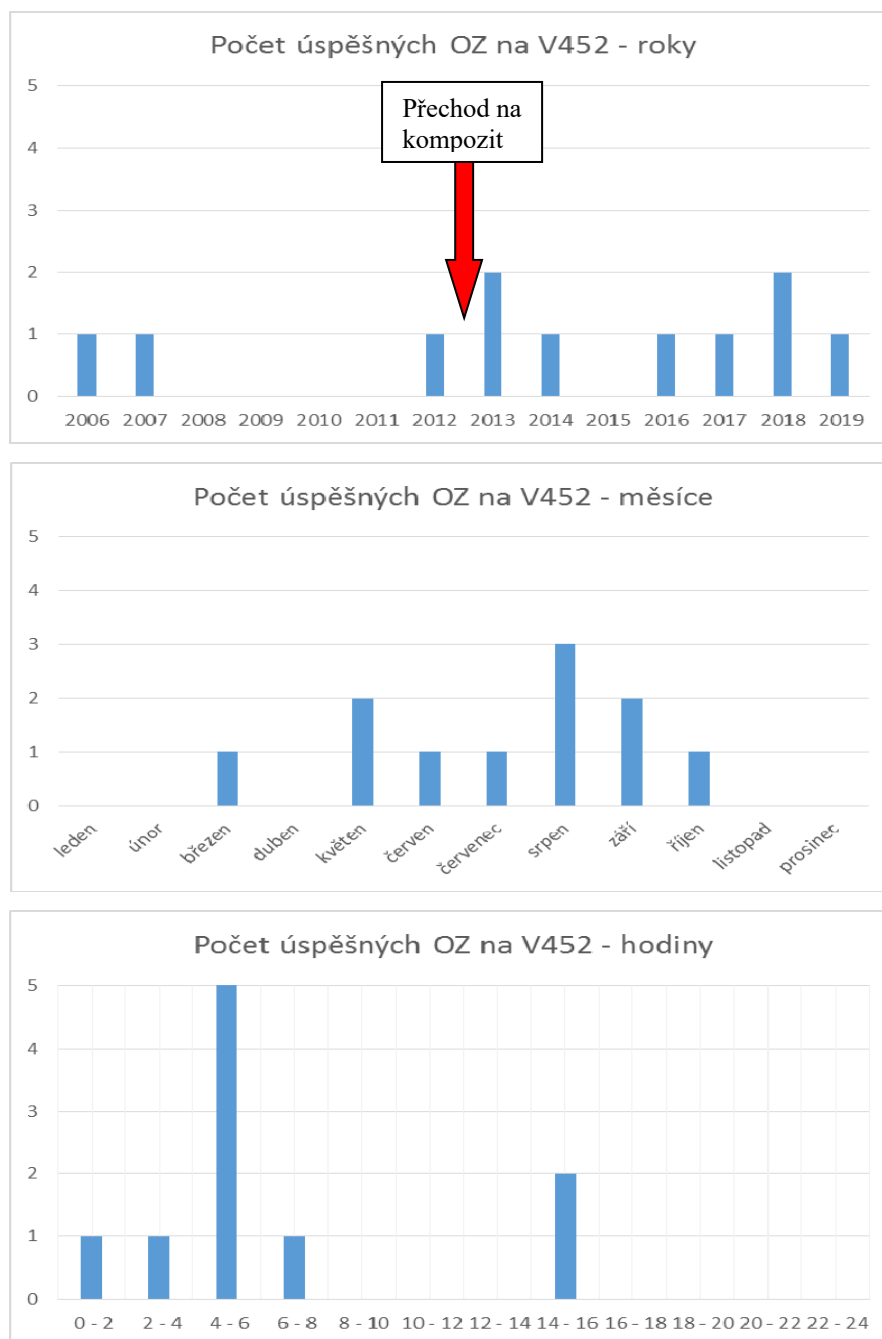
⁶⁹ Dle str 417 [4]

⁷⁰ Aktuální stav možno sledovat na <http://www.euclid.org/realtime.html>.

⁷¹ Důkazem toho jak kvalitní materiál mohou ovlivnit technologické vady, jsou keramické izolátory z bývalé NDR (typ LS fy Margaretten Hüte/KWH Sonneberg a Spirelek fy EPL) s rokem výroby 1960-1990 z křemičitého porcelánu se zatmelením sírografitem. U typu LS dochází k lupínkovému lomu v porcelánu a celkově upadají i jejich ostatní parametry. U typu Spirelek jsou praskliny v porcelánu u zatmelení vnitřních koncových armatur. Životnost těchto izolátorů se pohybuje mezi 15-40 lety s tím, že má v průběhu času zhoršující se kvalitu výroby. Proto je v rámci PS realizována kompletní přeizolace těchto IZ. Podrobněji [44].

izolátory Ohio Brass, byl po dvou letech zaznamenán nárůst četnosti úspěšných OZ. Tato skutečnost se s přibývajícími roky potvrzuje. V následujícím Grafu 2.7 jsem provedl vyhodnocení úspěšných OZ na V452 z časového hlediska.

Graf 2.7 – Vyhodnocení úspěšných OZ na V452⁷²



⁷² Vyhodnocení bylo provedeno nad zdrojovými daty ze systému eSADA společnosti ČEPS, a.s. k datu 20.5.2019. Vedení V452 bylo přestavěno ve dvou etapách mezi 02/2012 - 07/2013 a součástí přestavby byla i změna izolátorů z keramických na kompozitní (OZ v roce 2012 byl na keramickém IZ, podrobnější technické parametry viz kap. 3.8 a Přílohy 16-19). Z grafů je vidět zvýšení četnosti úspěšných OZ, které připadají (po vyloučení bleskové aktivity) s největší pravděpodobností na přeskoky na IZ. Dále je patrné rozložení četnosti OZ dle jednotlivých měsíců v roce a v poslední části grafu je vidět rozložení úspěšných OZ během dne.

Jak vyplývá z pozorování této problematiky nejen na vedeních PS, ale i za hranicemi naší země, tak tyto přeskoky budou zapříčiněny nejspíše velkými ptáky, kteří při vzletu vypustí exkrementy v blízkosti izolátorového závěsu. Vzhledem k jejich vysoké vodivosti pak dochází k přeskoku na izolátorovém závěsu, jenž ptáka v letu již neusmrtí.

Této teorii odpovídají nejen laboratorní pokusy, ale i roční období a ranní hodiny, jak dokládám v Grafu 2.7⁷³. A tak se čeká pouze na jasné doložení této teorie videozáznamem, či alespoň fotodokumentací (např. pomocí osazené fotopasti) => *přímý důkaz*. Současně se u vytipovaných úseků, kde k těmto OZ dochází, přistupuje k pokusným instalacím tyčí proti usedání ptáků (viz kapitola 1.5, Obr. 1.5) => *nepřímý důkaz*.

Hlavní důvod, proč dochází ke zvýšení četnosti přeskoků na kompozitních izolátorech lze nejspíše nalézt v jejich laboratorně deklarované izolační schopnosti. Z té vyplynula jejich aplikace v PS pro případy zvýšení odstupu vodiče nad terénem při zkrácení délky IZ oproti původně použitému keramickému IZ (viz kapitola 1.2 – poznámka pod čarou č.24). Kratší vzdálenost způsobí následně větší náchylnost k přeskoku při těsném průletu nebo přímém dopadu exkrementů na IZ.

2.3 Využití v rozvodnách

Využití kompozitních materiálů v rozvodnách lze rozdělit do dvou oblastí. První z nich je využití kompozitních izolátorových závěsů v polích rozvodny, druhou oblastí jsou podpěrné izolátory pro přístroje. Kompozitní IZ použité v rozvodně jsou stejné konstrukce jako v rámci venkovních vedení – viz předchozí kapitoly. U přístrojů jsou využívány duté kompozitní izolátory, které byly poprvé využity v 80. letech minulého století. K širšímu využívání dutých kompozitních izolátorů došlo až v 90. letech (např. fy ABB, ALSTOM, SIEMENS, TRENCH, TYCO) pro vypínače, průchodky, měřící transformátory, kabelové koncovky a svodiče přepětí. V současnosti je téměř každý vysokonapětový přístroj nabízen i v provedení s kompozitní izolací⁷⁴.

⁷³ Podrobněji k této problematice viz [53] a *Analýza příčin vyššího výskytu OZ na izolátorových závěsech s kompozitními izolátory*, přednáška EGÚ – HV Laboratory, a.s., 2015

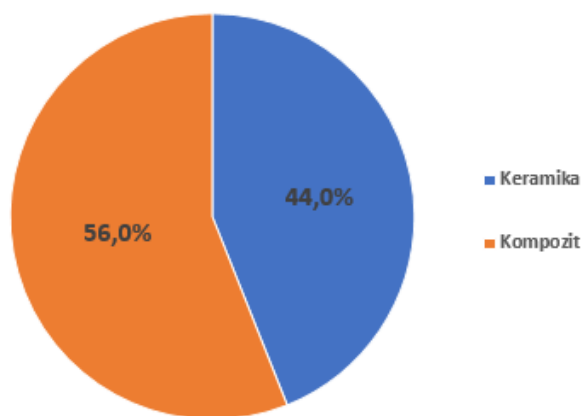
⁷⁴ Viz [50], [51]

Obdobně jako u venkovních vedení běží program na sledování stárnutí kompozitních izolátorů STRI - CIS, tak byl u izolátorů pro přístroje švédským výzkumným ústavem STRI AB spuštěn projekt ICARUS. Metodika hodnocených parametrů viz kapitola 2.2.3.

2.3.1 Kompozitní materiály u izolátorových závěsů

Využití kompozitních materiálů v rámci rozvodn PS je omezeno skutečností, že zatím neexistují dlouhodobé statistiky pro konkrétní varianty směsí. Proto jsou v rozvodnách s ohledem na zajištění požadované bezpečnosti provozu a s ohledem na požadovanou životnost těchto prvků využity primárně IZ z keramiky. Kompozitní IZ byly osazeny zkušebně pouze v R245 kV na některých rozvodnách PS rekonstruovaných mezi roky 2005-18, kde je výhledově počítáno s útlumem sítě 220 kV do roku 2040 (viz. Příloha 5). Kompozitní izolátory tak budou v provozu cca 20-35 let což by z pohledu jejich stárnutí mělo zajistit bezporuchový stav. Prozatím se na nich nevyskytly žádné poruchy.

Graf 2.8 – Poměr zastoupení materiálů u IZ v R245 kV stanic PS⁷⁵



2.3.2 Kompozitní materiály u přístrojů

Sklolaminátová trubka (roura) se vyrábí ze skelného vlákna a epoxidové pryskyřice. Zajišťuje mechanickou pevnost izolátoru a určuje elektrické charakteristiky izolátoru.

⁷⁵ Vyhodnocení bylo provedeno nad zdrojovými daty ze systému eSADA společnosti ČEPS, a.s. k datu 22.5.2019. Všechny kompozitní izolátory jsou dle dostupných informací od fy MacLean Power Systems (dříve Reliable).

Kovové armatury zajišťují připojení k ostatním částem přístroje a jsou proto speciálně konstruovány pro daný elektrický přístroj. Vyrábí se převážně ze slitin hliníku.

Plášť izolátoru zajišťuje elektrickou pevnost venkovní izolace přístroje a je téměř výlučně ze silikonového kaučuku – SIR.

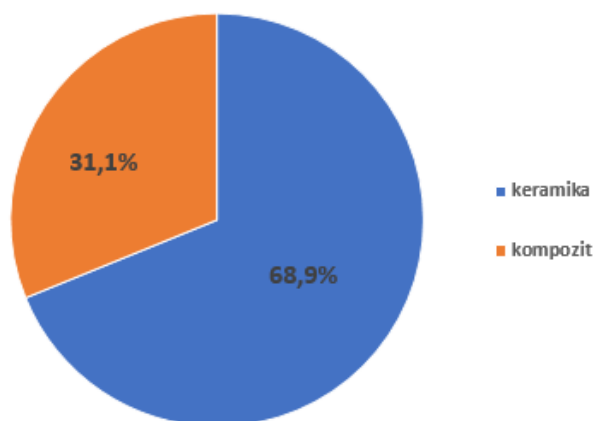
Kompozitní materiály se v PS využívají u následujících přístrojů:

- Přístrojové transformátory (PTN, PTP, PTK)
- Průchodky u transformátorů, tlumivek (jednotky kusů)
- Odpojovače (bez přímé instalace v PS, zatím příprava)

V přenosové soustavě se začaly používat přístrojové transformátory pro hladinu napětí 420 kV v roce 1991 a pro hladinu 245 kV v roce 1995. Jsou tedy k dispozici údaje za cca 25 let provozu. Při plánované životnosti přístrojů 30 let (dle TN 11) je tedy již teď vidět, že dané konstrukční řešení splňuje (navzdory jisté degradaci povrchu) potřebné parametry a požadavky na životnost. Jediným problémem do budoucna by mohl být asi jen možný okus hlodavci a ptáky.

Z výše zmíněných instalací se zatím projeví problémy pouze u jedné šarže PTN, PTP, a PTK fy Trench Germany, která vykazovala nadměrnou rychlost stárnutí povrchu. Dle kontroly byla výrobcem dodána špatná směs základní hmoty ([45], [51]).

Graf 2.9 – Poměr zastoupení materiálů u přístrojových transformátorů k roku 2015⁷⁶



⁷⁶ Založeno na interní databázi ČEPS, a.s. Na základě vnitropodnikových norem je stanoven požadavek na provedení přístrojových transformátorů, ze kterého současně vyplývá, že uvedené přístroje s keramikou jsou olejové a s kompozitem jsou izolované SF6.

3 Diagnostické metody využitelné v přenosové soustavě pro detekci a lokalizaci částečných výbojů

Vzhledem ke skutečnosti, že veškerá vedení 220 a 400 kV jsou realizována formou venkovních nadzemních vedení, tzn. formou vodičů přichycených na stožárové konstrukce pomocí izolátorových závěsů, lze detekovat dvě formy částečného výboje tzv. **průraz** a **korónu** s charakteristickými parametry dle Tab. 3.1. Problematika korónových výbojů mezi elektrodou a plynem je dále řešena podrobněji v kapitole 3.1.

Tab. 3.1 – Parametry koróny a částečného výboje ve formě průrazu⁷⁷

Typ pulsu	Amplituda (mA)	Doba nárůstu pulsu (ns)	Doba trvání pulsu (ns)	Četnost opakování (s ⁻¹)
Kladná koróna	10 - 50	50	250	10 ³ - 5·10 ³
Záporná koróna	1 - 10	10	100	10 ⁴ - 10 ⁵
Částečný výboj	500 - 2000	1	5	10 ² - 5·10 ³

Pokud jde o průraz vzduchové izolace mezi dvěma blízkými elektrodami (řádově milimetr vzdálenými), tak k tomuto jevu dochází buď uvnitř (možno měřit pomocí akustických nebo elektromagnetických měřidel), nebo na povrchu zkoumaného objektu (korónová kamera). Typickým příkladem tohoto jevu je špatné nebo dokonce žádné galvanické spojení mezi šroubem a matkou v místech s velkým elektrickým polem. Chová se stejně pro obě polarity (převzato ze [42]).

Z toho je na vedeních PS pravidelně využívána pouze technologie snímání UV záření korónovou kamerou izraelské společnosti OFIL Systems (podrobněji viz kap. 3.5). Při některých variantách poruch dochází současně i k ohřevu prvků v místě výboje a můžou se tak objevit ve výstupu z termovizního snímání vedení viz kap. 3.6. Větší poškození prvků pak může být zaznamenáno v rámci pravidelných leteckých vizuálních kontrol – vyhodnocení kontinuálního videozáznamu (viz Obr. 3.10). Kombinace těchto kontrol pak poskytuje provozovateli PS možnost zpětného ověření rozvoje a možných příčin případných poruch.

⁷⁷ Viz [42]

3.1 Korónový výboj⁷⁸

Ztráty jsou nedílnou součástí přenosu elektrické energie. Jejich nezanedbatelnou částí jsou ztráty korónou, o jejichž minimalizaci se snažíme už při vlastním návrhu vedení. Omezení ztrát může pomoci hladký povrch vodiče, zvětšení jeho průřezu, využití svazkového vodiče (od 220 kV výše), zvětšením vzdálenosti vodičů. Veškeré rozměry jako např. vzdálenosti vodičů ve svazku, průměry vodičů atd. jsou tedy navrženy pro minimalizaci rušení, tzn. minimalizaci koróny, dle tzv. hygienických limitů [42].

Koróna vzniká tehdy, pokud intenzita elektrického pole překročí elektrickou pevnost vzduchu (závisí na zvyšujícím se napětí a na počasí). Proudění elektronů začnou unikat do vzduchu a okolní atomy vzduchu se ionizují (platí pro zápornou polaritu/půlperiodu, u kladné se více uplatňuje ionizace zářením). Ionizační procesy vedoucí ke vzniku neúplného samostatného výboje probíhají v malém objemu (tzv. korónovém objemu⁷⁹). Ve větší vzdálenosti od centra koróny má výboj charakter temné oblasti a projevuje se pouze prskáním a syčením. Zápalné napětí závisí na špičatosti ostří. Korónový výboj hoří v okolí hrotů a vodičů.

V závislosti na výši napětí a polaritě elektrody, rozlišujeme různé druhy korónových výbojů – viz Přílohy 14-1 a 14-2. U střídavého napětí je tento proces velice složitý, protože se s časem mění intenzita i polarita elektrody a mohou tak být v jednom cyklu napětí různé typy koróny (podle tvaru výbojového proudu).

Výboje mají nízkou intenzitu a kvantitativně jsou dány pouze přibližně na základě vztahu k rozptylu ztrátového výkonu⁸⁰. V rámci PS se sleduje pouze celková ztráta soustavy (z bilance dodávek a odběrů) bez podrobnějšího sledování jednotlivých typů ztrát (korónou, Jouleovy ztráty, ztráty při transformaci, atd.).

⁷⁸ Dle [42], [43] a [55] (a dále [5], [4], [2], [13], [14], [60])

⁷⁹ Maximální vzdálenost, kterou ionty dosáhnou je závislá na přiloženém napětí a pohyblivosti iontu (napětí 100 kV pohyblivost 3cm²/Vs je asi 30 cm). Dá se očekávat, že proud nosičů náboje přenesou stejné množství náboje v každé půlperiodě. [14]

⁸⁰ Viz RUDOLF, L. *Komplexní rozbor elektrických ztrát vedení přenosové soustavy*. Habilitační práce. VŠB-Technická univerzita Ostrava, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Ostrava, 2009. Dostupné z: http://projekty.osu.cz/akreditace2017/Habilita%C4%8Dn%C3%AD%20pr%C3%A1ce_ZTR%C3%81TY.pdf

Následky korónových výbojů:

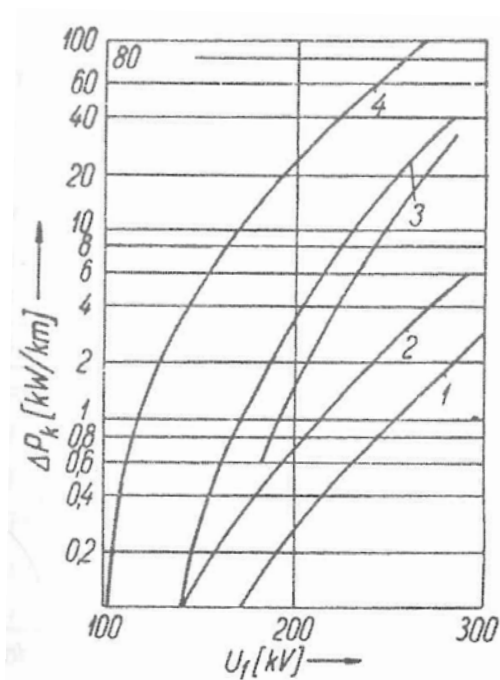
- Ztráty korónou
- Rádiové (televizní) rušení
- Degradace některých prvků vedení (vzniká ozon a kysličník dusíku => koroze)
- Slyšitelný hluk

Ztráty korónou

Při korónových výbojích vznikají nosiče nábojů, vzduch se stává vodivým. Základem pro výpočet ztrát je intenzita pole na povrchu fázových vodičů a počáteční gradient koróny základního vodiče. Pro výpočet ztrát korónou existují různé metodiky.

Ve zprávě [56] od fy EGÚ – HV Laboratory, a.s., bylo provedeno porovnání všech metodik spolu s výpočty. Tyto ztráty jsou závislé na počasí, podrobněji viz Graf 3.1.

Graf. 3.1 – Měření ztrát korónou na vedení trojsvazkem (viz [4]), kde 1- pěkné počasí, 2- suchý sníh, 3- dešť, 4- jinovatka



Rádiové rušení

Výboje mají charakter impulzů a šíří kolem vodiče vysokofrekvenční elektromagnetické pole. Intenzivní koróna může působit rušení v kmitočtovém rozsahu 0,15 – 30 MHz.

Degradace některých prvků vedení

Jedná se zejména o kompozitní izolátory. Koróna na povrchu polymerového pláště může působit jeho degradaci (eroze, tvoření vodivých stop). Koróna na izolátorech může vznikat při intenzitě el.pole 2,2 kV_{ef}/mm (3,1 kV_{vrchol}/mm). Proto je nutno na kompozitních izolátorech použít ochranné armatury (protikorónové disky, klasické ochranné armatury) viz [39].

Slyšitelný hluk

Tento problém je spojen zejména s kompaktizací vedení. Vlivem zkracování vzdáleností mohou růst gradienty elektrického pole na povrchu vodičů, což může způsobit zvýšenou tvorbu koróny a slyšitelného hluku s tím spojeného. Intenzivní koróna a tedy i slyšitelný hluk jsou častější zejména za deště a námrazy.

Slyšitelné jsou nejen korónové výboje v širokopásmovém spektru s převládající vysokofrekvenční oblastí nad 1000 Hz, ale může vznikat i tónová složka v úrovni 100 Hz, způsobená například vlivem kmitání vodních kapek na vodičích.

3.2 Akustická detekce⁸¹

Každý částečný výboj je provázen vznikem akustické emise, zvukových vln širokého spektra frekvencí šířených od místa svého vzniku do okolí. Tyto akustické signály jsou měřeny akustickou detekcí, ke které se využívají vhodné mikrofony snímající ve slyšitelném (16 Hz – 20 kHz) nebo ultrazvukovém pásmu (více než 20 kHz). Vzhledem k venkovnímu prostředí, ve kterém je množství okolního hluku, bývá zpravidla vhodnější využití snímání v ultrazvukovém pásmu. Ultrazvukové vlny jsou krátké, vykazují větší směrovost a jsou spíše charakteristické pro částečné výboje než okolní prostředí.

K dočasnému zvýšení hlučnosti výbojů může dojít za deště nebo mlhy. Hladinu intenzity hluku za deště určují dle provedených měření (na úrovni dvojnásobku síťové frekvence tzn. 100 Hz – viz [42]) dva rozhodující parametry: gradient elektrického pole na kapkách a počet kapek na metr délky vedení. Hlučnost za deště tak může být vyšší, než jsou přípustné limitní hodnoty celkové hladiny akustického tlaku L_{aeq} ⁸², pro jejich dodržení se při návrhu FV bez úpravy povrchu (vodiče typu ACSR) počítá s limitní laboratorně stanovenou hodnotou gradientu elektrického pole⁸³ v úrovni 15,5 kV/cm.

Starší vodiče díky své porézности, která způsobuje menší tvorbu kapek na vodiči, vykazují lepší vlastnosti z hlediska hluku.

⁸¹ Citovány výsledky měření z [14], [43] a [47].

⁸² Hodnota je dána Nařízením vlády č.272/2011 Sb. o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací. Pohybuje se v úrovni 50 dB a v případě tónových složek v úrovni 45 dB. Měření dokázala, že v případě koróny tónové složky vznikají a vzrůstají se zvýšením počtu zdrojů koróny tedy i za deště.

⁸³ Čím vyšší je jeho hodnota, tím vyšší je i úroveň hluku z korónových výbojů. Gradient roste se zkrácením vzájemné vzdálenosti mezi FV a vzdálenosti mezi FV a zemí nebo ZL, a nebo snižováním průměru vodiče. To vše jsou parametry, které se musí zvažovat při návrhu typu SK.

Jedním z možných měřících přístrojů je např. ULD-40 (Ultrasonic Corona / Arcing Detector) firmy NDB Technologies Inc., který byl použit i při měření na V452 v kap.3.8 (Obr.3.12). Pro zlepšení příjmu pracuje se směrovou anténou viz. Obr. 3.1 na vlnovém rozsahu 38 – 48 kHz.



Obr. 3.1 – Ultrazvukový detektor částečných výbojů⁸⁴

3.3 Radiodetekce⁸⁵

S ohledem na vysokofrekvenční elektromagnetické rušení generované korónovým výbojem, které se pohybuje v úrovni cca 0,1 – 30 MHz, lze pro jeho změření použít zařízení založené na bázi detekce těchto signálů. Příkladem možného postupu je měřící technika využívaná EGÚ - HV Laboratory, a.s., která kombinuje hrubou a přesnou detekci.

Pro hrubou lokalizaci poruch využívá nekalibrovaný přístroj STV 401⁸⁶ fy VEB Messelektronik Berlin se směrovou anténou typu log-periodic vlastní konstrukce, zaměřující směr signálu vyzařování elektromagnetických vln v pásmu 30 – 300 MHz, s možností kmitočtového ladění. Toto pásmo se vzdáleností tlumí pomaleji než je tomu u nižších frekvencí a je tedy vhodné pro lokalizaci vzdálenějších poruch (z jednoho místa je možno ověřit větší úsek vedení).

Pro přesné vyhodnocení parametrů lokalizovaného korónového výboje je následně využit přístroj ESH2 s rámovou anténou HFH2-72 (viz Obr. 3.2) od firmy Rohde-Schwarz, který měří kmitočtovou charakteristiku v pásmu 0,15 – 30 MHz.

⁸⁴ Dostupné z: <https://www.ndbtech.com/wp-content/uploads/2018/05/Brochure-ULD-40-ENG-V2018-05-14.pdf>

⁸⁵ Viz [47]

⁸⁶ Selektivní mikrovoltmetr



Obr. 3.2 – Měřicí anténa a zkušební přijímač Rohde-Schwarz (viz [47])

Metoda měření odpovídá normě IEC TR CISPR 18-2 a ČSN EN 61936-1. Např. u vedení o napětí 400 kV sledujeme překročení meze 55 dB radiového rušení v přímé vzdálenosti 20 m od nejbližšího FV do středu antény. Překročení limitních hodnot by nemělo být delší než 1700 hod/rok (cca 1/5 roku). Využití metody je nejvhodnější v laboratorních podmínkách, resp. v rozvodnách nebo elektrárnách. S ohledem na rozměry stanice a vlastní antény je využití takovéhoto zařízení v terénu velmi nepraktické. Proto se používá pouze v případech nahlášeného rušení v konkrétní oblasti.

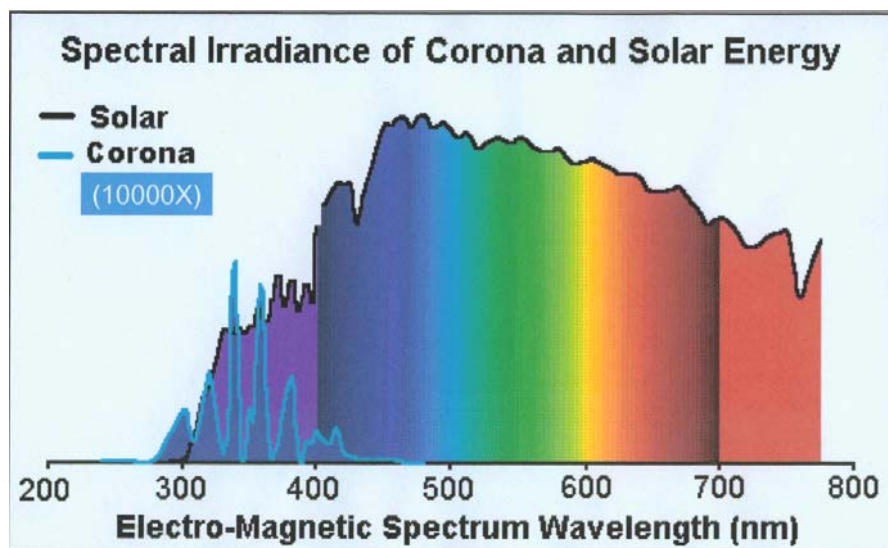
3.4 Noční snímání UV záření

Korónovou diagnostikou lze identifikovat povrchové (obloukové), kapacitní a korónové výboje, které jsou přímo viditelné objektivem kamery. Většina korónových výbojů je v pásmu spektra od 230 nm do 405 nm⁸⁷ (Obr. 3.3), tedy ve dne lidským okem neviditelná. Pouze za tmy lze vizuálně identifikovat část koróny v pásmu 380 – 405 nm⁸⁸ jako modrofialově až narůžověle slabě svítící vrstvu. Výhodou korónové diagnostiky je, že pro vznik koróny stačí napětí (nemusí být proudové zatížení).

⁸⁷ Viz [47]. Z toho UV-C 100-280 nm, UV-B 280-315 nm, UV-A 315-400 nm, viditelné záření 380-750 nm. Podrobněji k této problematice viz VLČEK, J. *Automatické vyhodnocování spektra slunečního záření*. Diplomová práce. VUT v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Brno, 2015.

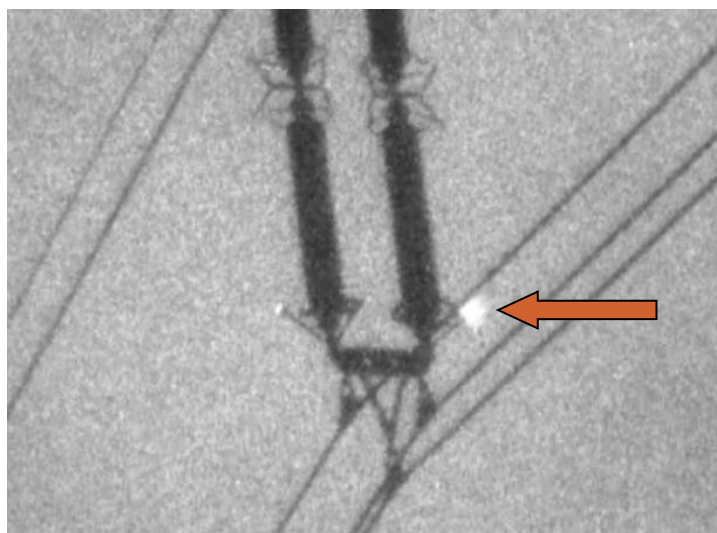
Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=103128

⁸⁸ Ve vzduchu je převážně dusík a jeho světelné spektrum je v oblasti vlnových délek 300-400 nm. Viz [55].



Obr. 3.3 – Spektrum záření korónového výboje (viz [59])

Nejjednodušší zařízení (bez nutnosti filtrace ostatních složek spektra) jsou určena ke snímání koróny v noci, kdy nedochází k rušení denním světlem. Příkladem takové kamery je např. výrobek CoroCam I⁸⁹ (Obr. 3.4). Pro praktické využití je však vhodný převážně v laboratorních podmínkách, v exteriéru může být příliš rušivých vlivů od světla hvězd po světelné znečištění z pouličního osvětlení. K tomu je potřeba připočíst i obtíže s přístupností trasy vedení PS. Výhodné by to naopak mohlo být při použití ve stanicích.



Obr. 3.4 – Noční snímek z korónové kamery CoroCam I na V450
(výboj na dolní ochranné armatuře fáze L3 viz [47])

⁸⁹ Více k daným výrobkům na <http://www.specialcamera.com/>, nebo firma UVIRCO, pod licencí od fy CSIR – dostupné z: <https://www.uvirco.com/about-us/>

3.5 Denní snímání UV záření

Pro detekci korónových výbojů za denního světla je v současné době využíváno technologie vyvinuté firmou OFIL Systems⁹⁰ z Izraele. Ta pracuje na principu kontinuálního skládání obrazu z dvojice kamer. První kamera (klasická) zachycuje obraz ve viditelném spektru. Druhá pak zachycuje v tom samém místě ultrafialové emisní spektrum z korónového výboje. Výsledný obraz vzniká vzájemným překrytím těchto obrazů (viz. Obr 3.5) a operátor ho může v reálném čase sledovat na displeji tohoto přístroje (viz Obr. 3.12). Snímání ultrafialového spektra probíhá díky použití speciálních filtrů ve vlnovém rozsahu 240 – 280 nm, tedy v oblasti UV-C, která se běžně na povrchu Země nevyskytuje, protože je zachycena při průchodu slunečního záření atmosférou v ozónové vrstvě. Funkčnost je zaručena i za plného denního světla.



1 – viditelné spektrum

2 – UV-C

3 = snímek 1+2

Obr 3.5 – Skládání snímku z korónové kamery⁹¹

V současné době je využívána technologie DayCorII⁹², která zaručuje vysokou citlivost při níž dokáže rozeznat výboje hodnot několika pC ve vzdálenosti 10 m⁹³. V předchozích letech byla diagnostika korónových výbojů na vedeních přenosové soustavy ČR zajišťována firmou Gruber, s.r.o.⁹⁴, která provádí leteckou kontrolu za pomoci

⁹⁰ Více o společnosti na <http://www.ofilsystems.com/>

⁹¹ Převzato z <http://www.ofilsystems.com/technology/index.html>

⁹² Dostupný popis starší verze <http://yik.co.kr/kkk/ofil-catalogue.pdf>

⁹³ Viz RUDOLF, L. *Komplexní rozbor elektrických ztrát vedení přenosové soustavy*. Habilitační práce. VŠB-Technická univerzita Ostrava, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Ostrava, 2009. Dostupné z: http://projekty.osu.cz/akreditace2017/Habilita%C4%8Dn%C3%AD%20pr%C3%A1ce_ZTR%C3%81TY.pdf

⁹⁴ Více informací k této společnosti dostupné z <http://www.gruber-lkv.cz/>

vrtulníku (Obr. 3.6), na které je v gyroskopicky stabilizované plošině SWESystem 400 (4-osá stabilizace) osazena vyjímatelná korónová kamera DayCorII se spektrálním rozsahem 250 – 280 nm. Při leteckých kontrolách z vrtulníku se létá linka vždy z jedné strany (tzn. jednoduché vedení 1x a dvojité 2x) – dle [60], tzn. že je snímání prováděno ze vzdálenosti cca 15 – 45m (dle odstupu listu rotoru od FV a konfiguraci FV na daném typu SK).

Letecké kontroly korónových výbojů jsou společností ČEPS, a.s. využívány při přejímce realizovaných akcí – vždy do jednoho roku od uvedení do provozu – viz [20]. Nejsou součástí žádných pravidelných kontrol.



Obr. 3.6 – Instalace plošiny s korónovou kamerou na vrtulníku MBB Bö 105CB⁹⁵

3.6 Doplnující termovizní snímky IR kamerou

Postupy provádění termovizních měření na vedeních PS jsou definovány v rámci TN43 (viz [22]). Důležitým bodem této TN je stanovení podmínek termovizních měření, které v případě vedení znějí následovně :

- Teplota okolí do -15°C
- Nízká intenzita slunečního záření (zataženo)
- Bez dešťových nebo sněhových srážek

⁹⁵ Poskytla firma Gruber, s.r.o. – snímek z 18.5.2016.

- Rychlost větru ≤ 8 m/s (rychlost větru se měří anemometrem před a po měření, dále se využijí údaje o rychlosti větru z okolních meteorologických stanic, získané od ČHMÚ)
- Proudové zatížení měřeného vedení minimálně 30% I_N

Četnost nejen těchto prohlídek, ale např. i těch pochůzkových je dána TN22 – [20]. V případě termovizních měření je četnost 1x za 6 let. Vzhledem k tomu, že z velké části nejsou korónové výboje doprovázeny takovým oteplením, které by se projevilo na termovizním snímkování, měla by dle mne být se stejnou periodou prováděna i kontrola koróny, alespoň u kompozitních izolátorů. Srovnání metod na Obr. 3.7 a 3.8.

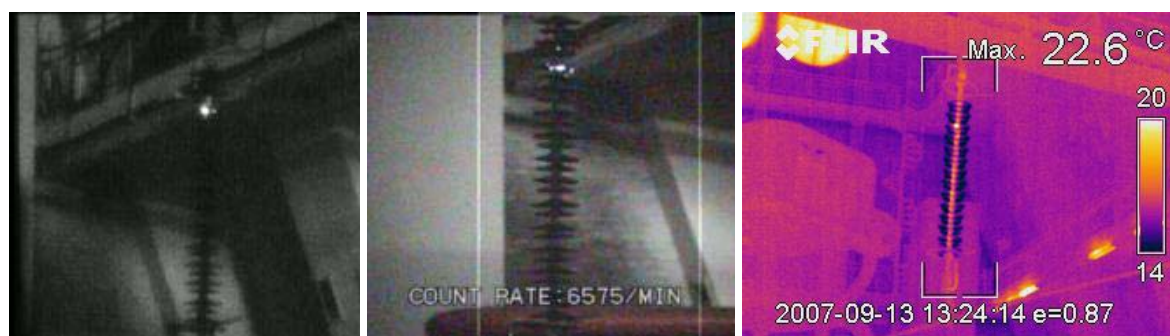


Noční UV (CoroCam I)

Denní UV (DayCor I)

Termovize (E300)

Obr. 3.7 – Porovnání metod – laboratorních měření – rozpletený vodič [55]



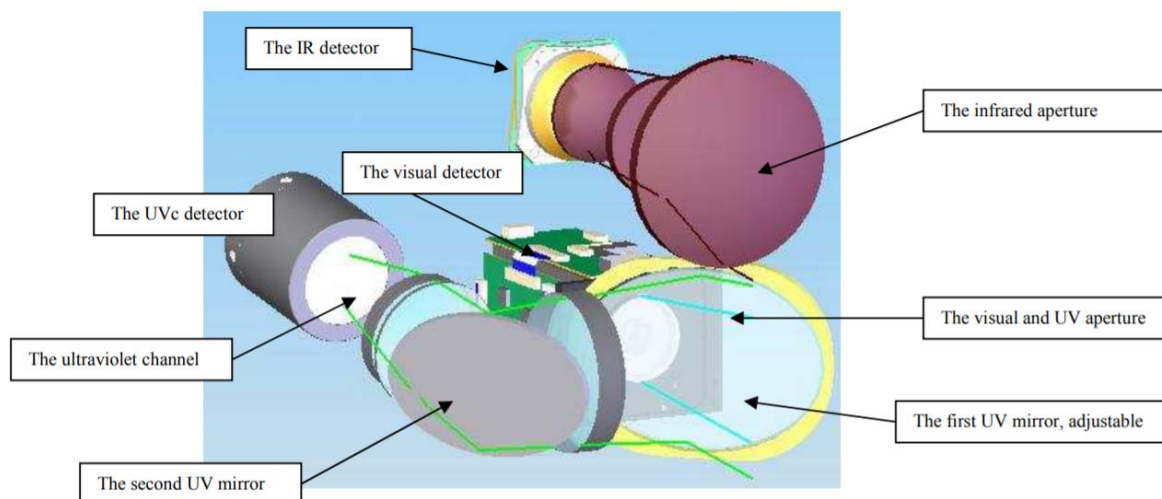
Noční UV (CoroCam I)

Denní UV (DayCor I)

Termovize (E300)

Obr. 3.8 – Porovnání metod – laboratorních měření – poškozený kompozitní izolátor [55]

Nejvhodnějším řešením by bylo, kdyby se použilo zařízení kombinující výhody UV a IR diagnostiky, jak naznačuje následující Obr. 3.9. Vyhodnocení takovýchto záběrů by mohlo poskytnout komplexnější představu o aktuálním stavu prvků na daném vedení při mírném navýšení o pořizovací cenu sestavy a větší rozsah vyhodnocení.



Obr. 3.9 – Koncept kombinace UV-C a IR diagnostiky (viz [59])

3.7 Místa výskytu koróny na vedeních přenosové soustavy⁹⁶

Ke korónovým výbojům dochází v místech, kde intenzita elektrického pole překročí kritickou hodnotu, která je obvykle 24 až 30 kV/cm. Hodnota kritické intenzity je ovlivněna tlakem vzduchu (se snižujícím se tlakem klesá), vlhkostí vzduchu (vyšší vlhkost pomáhá vzniku koróny, při extrémně nízkých hodnotách vlhkosti může koróna zhasnout) a teplotou (při vyšší teplotě se snižuje tlak). Při dešti nebo silné kondenzaci vody na komponentech vedení se kapky stávají zdrojem koróny a při vyhodnocování je toto nutno brát v úvahu.

Odhalení místa výskytu poruch a možnosti jejich diagnostiky v terénu jsou mnohdy obtížné. V prvních dvou podkapitolách je tedy nejdříve proveden souhrn a diagnostika v rámci laboratorních testů. Třetí podkapitola se zabývá praktickými aplikacemi.

3.7.1 Diagnostika na vodičích a kovových armaturách

S velkou spolehlivostí je možno diagnostikovat poruchy na vodičích (prasklé a rozpletené dráty lan, povolená lana), nevhodný tvar nebo poruchy ochranných armatur (malé průměry dílčích součástí ochranných armatur, poškození nebo vysoká koroze

⁹⁶ Výběr ze [48], [55] a [60]

armatur). Při diagnostice vodičů a kovových armatur pomocí korónových kamer je nutno brát v úvahu následující možné problémy:

- **Možnost odstínění porušené (vadné) části** – v některých případech může být intenzita koróny menší, než odpovídá dané poruše. Jedná se o odstínění prasklých drátů lana, jsou-li vyhnuté dovnitř trojsvazku, poškození ochranných armatur uvnitř kruhů, nebo malý průměr povolené „klece“ vodiče a jiné kapacitní výboje skryté v dutinách.
- **Diagnostika koróny neodhalí všechny možné zdroje rádiového rušení** – Koróna je jenom jedním ze zdrojů rádiového rušení a působí zejména v kmitočtovém rozsahu 0,15 – 30 MHz. Rušení ve vyšších kmitočtových pásmech jsou způsobena zejména kapacitními výboji. Protože k těmto výbojům může docházet uvnitř spojení jednotlivých armatur, nejsou tyto výboje viditelné a nemohou být proto korónovými kamerami diagnostikovány.
- **Při malých intenzitách koróny nelze v některých případech přesně identifikovat a kvalifikovat zdroj koróny ze záznamu kamery pro denní vidění. V těchto sporných případech je vhodné provést kontrolní záznam pomocí kamery pro noční vidění.**

3.7.2 Diagnostika na kompozitních izolátorech

Z dosud provedených laboratorních měření na izolátorech poškozených v provozu a uměle poškozených izolátorech vyplývá, že diagnostika kompozitních izolátorů pomocí korónové kamery není tak jednoznačná a spolehlivá, jako diagnostika kovových částí.

Měření a diagnostika se prováděla na izolátorech se silným stupněm eroze. Uměle erodované části měly ale malou vodivost (nejednalo se o poruchy izolátorů zvané „tracking“ – tvoření vodivých stop). Z prvních měření vyplývá, že za sucha nelze erozi na izolátorech pomocí korónových kamer identifikovat, protože koróna nevzniká.

Koróna se vyvine pouze na zvlhčených poškozených částech izolátoru a to zejména v případě eroze u napěťového konce izolátoru. I v těchto případech je nutno pečlivě vyhodnocovat (podle intenzity a výskytu jednotlivých zdrojů koróny), zda se jedná o korónu na erodovaných částech izolátoru nebo korónu způsobenou kapkami vody na povrchu neporušené části izolátoru.

Zkoušené izolátory 110 kV se silným stupněm eroze a vodivými stopami měly toto poškození dále od napětového konce izolátoru a za sucha ani na takto poškozených izolátorech koróna nevzniká. Průraz izolátoru na jeho napětovém konci vytvořený strmým impulzem napětí nebylo možné korónovou kamerou identifikovat, protože průrazem nedošlo k vytvoření vodivé stopy. Ta by se pravděpodobně vytvořila po delší době provozu takového izolátoru vlivem výbojů za deště a vlhka.

3.7.3 Diagnostika na vedeních

Vodiče, proudové a bezproudové (spojovací, ochranné) armatury

Měření na vedeních potvrdila závěry z laboratorních zkoušek sledování koróny na vodičích, že sledování koróny je dobrý a spolehlivý diagnostický nástroj pro sledování stavu a poruch vodičů a ochranných armatur izolátorových závěsů. Z intenzity koróny lze usuzovat i na povrchový gradient vodičů a ochranných armatur a tím i hodnotit dostatečnost rozměrů a tvarů (průměr vodiče, svazkové vodiče, rozměry a tvary ochranných armatur).

Nejvhodnější je provádět tuto diagnostiku za sucha. Za silného deště mohou být zdroje koróny na vodičích a armaturách zcela zakryty korónou na vodních kapkách nebo jejich identifikace je obtížná. Za vlhka (po dešti nebo při slabší kondenzaci) lze diagnostiku provádět, ale při vyhodnocování je nutno dbát na eliminaci případných korónových výbojů na vodních kapkách.

Dobře provedenou korónovou diagnostikou vodičů, proudových a bezproudových armatur lze identifikovat téměř 100 % závad a poruch, které působí jako zdroj koróny. Neodhalí pouze odstíněné zdroje koróny viz 3.7.1.

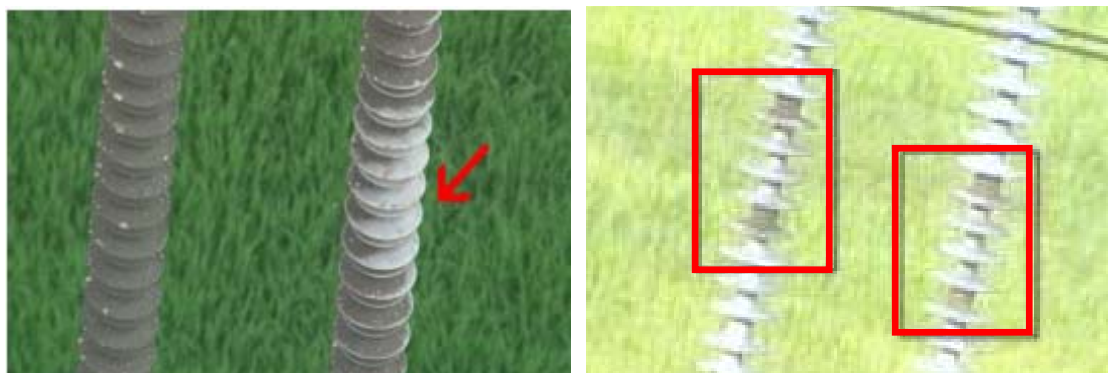
Porcelánové a skleněné izolátory (tyčové nebo talířové)

Diagnostiku poruch a závad koncových armatur izolátorů, průrazů talířových izolátorů je vhodné provádět za sucha nebo za mírné vlhkosti. U porcelánových (skleněných) izolátorů nemůže identifikovat všechny závady a poruchy, které působí korónu nebo výboje.

Například koróna na koncových armaturách může být za normálních podmínek odstíněná ochrannými armaturami a vzniká pouze za nepříznivých podmínek (silném dešti, námraze apod.), kdy nemůže být diagnostikována. Rovněž výboje v proražených talířových izolátorech nemusí být viditelné a koróna na izolátoru, který za proraženým talířovým izolátorem je více napětově namáhán vznikne pouze při překročení hodnoty kritického elektrického pole pro vznik koróny.

Kompozitní izolátory

Problematika diagnostiky kompozitních izolátorů je složitější. Na základě letecké a pochůzkové revize vedení je možno vytipovat podpěrné body s izolátorovými závěsy na kterých jsou viditelné změny v barvě pláště nebo jiná poškození (viz Obr. 3.10).



Změny barevnosti - Izolátor Furukawa [57]

Únik silikonového tuku - OhioBrass [55]

Obr. 3.10 – Příklad výstupu z letecké kontroly

Z fotografie na levé straně je zřejmé, že na izolátorech jsou výrazně světlejší místa (červená šipka), ale žádné stopy výrazných popalů, které by měly vzniknout při silovém obloukovém zkratu s trváním alespoň 0,2 s.

Snížená hydrofobnost napětového konce kompozitního izolátoru ve středních fázích stožárů typu Portál je způsobena tím, že spodní část těchto izolátorů je více namáhána elektrickým polem (korónou) z důvodu jiného rozložení elektrického pole v okně portálu než je tomu u krajních fází. Rovněž spodní ochranné armatury jsou více korodovány, než armatury krajních fází. Změny hydrofobnosti ve spodní části izolátorů, ani poněkud větší koroze armatur neznamení vážný problém z hlediska elektrických vlastností nebo stárnutí izolátorů.

Místa výskytu koróny:

Koróna na koncové armatuře na napětovém konci izolátoru je nebezpečný jev, protože poškozuje izolátor v místě utěsnění kovové armatury, jádra a pláště izolátoru a signalizuje jeho postupnou degradaci a nebezpečí vážného poškození izolátoru (Obr. 2.9). Dobře se diagnostikuje na kompozitním izolátoru bez ochranných armatur.

U kompozitního izolátoru s ochrannými armaturami může být za normálních podmínek koróna odstíněna a může vznikat pouze za určitých podmínek (vlhký a znečištěný izolátor). Proto je vhodné provádět diagnostiku za vlhka (po dešti nebo při kondenzaci vlhkosti). Při vyhodnocování je nutno eliminovat korónu vznikající na vodních kapkách. Vhodná je kombinace této diagnostiky s diagnostikou pomocí videokamery nebo termovize. Toto doporučení platí i u dalších možných typů poruch.

Mezi další způsobené poruchy patří:

- eroze pláště (způsobena korónou nebo povrchovými výboji)
- tvoření vodivých stop (při větší intenzitě povrchových výbojů) – velmi vážná porucha, dochází k intenzivnějšímu lokálnímu oteplení => možno využít termovize
- průraz pláště (vzniká na něm koróna pokud není odstíněn ochrannou armaturou nebo není v místě malého napětového namáhání)
- obnažené jádro izolátoru (nevzniká na něm korónový výboj, pokud není okolí obnaženého jádra vodivé => provádění diagnostiky za vlhka)

Na nepoškozených izolátorech za mokra k tvorbě korónových výbojů dochází sporadicky a nejsou lokalizovány na jedno místo. Lze je od korónových výbojů na poškozených místech izolátoru ve většině případů dobře odlišit. Provozní korónová diagnostika (letecká) nemůže být z technických důvodů prováděna za deště, ale může být provedena v období po skončení deště, kdy poškození, závady a poruchy na kompozitních izolátorech kdy izolátory zůstávají vlhké nebo v době, kdy dochází ke kondenzaci vlhkosti (ranní rosa, změny teplot apod.).

U kompozitních izolátorů je vhodná kombinace korónové diagnostiky s diagnostikou termovizní. Již pouhým porovnáním výsledků těchto diagnostik lze získat základní informaci o stavu kompozitního izolátoru.

Pokud jde o problematiku poruch u izolátorů podpěrných, pak je obdobná, akorát umístění porušených oblastí odpovídá jinému rozložení elektrického pole – viz Příloha 15. Pomalejší degradace u těchto izolátorů je způsobena menší proudovou hustotou na jejich povrchu a podstatně větším průměrem (zejména dřívku – jádro tvoří roura), než mají závěsné izolátory pro vedení (tyč).

3.8 Diagnostika koróny na vedení V452

Modernizace vedení V452 byla provedena ve dvou etapách (r.2012 – 2013). Spočívala v kompletním odstranění původních SK typu Portál (viz Příloha 7) z atmofixu včetně potahů s ponecháním základů. V místě vetknutí SK bylo částečně odbouráno betonové zhlaví pro vyspravení vetknutí, na které byly osazeny nové konstrukce typu Portál s prolamovanými mosty viz Obr. 3.11. Srovnání původní a nové specifikace viz Tab. 3.2.

Od začátku spuštění modernizovaného vedení do provozu se objevily problémy s častějšími úspěšnými OZ (viz Graf 2.7). Současně byl v rámci první letecké korónové

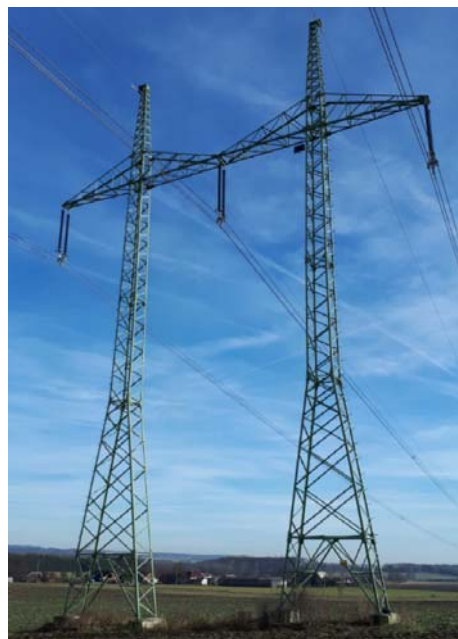
kontroly v roce 2013 pozorován zvýšený výskyt korónových výbojů na uzemněných ochranných armaturách IZ (horní armatura v případě nosného závěsu), který se potvrdil kontrolou v roce 2017. Z toho důvodu byl proveden pokus o pozemní detekci koróny při kombinaci denního snímání UV a měření hluku za účelem objasnění příčin vzniku těchto výbojů (viz [58]).

Tab. 3.2 – Specifikace použitých prvků na V452 (původní a po modernizaci)⁹⁷

Vedení V452	Typ SK	Typ FV	Typ kotevního řetězce IZ	Typ nosného řetězce IZ	Typ ZL	Typ KZL
původní r.1974	Portál 1x400 kV 1965	3x450 AIFe 8	5xLS 85/14	3xLS 75/21	Lynx 183/43, Pastel 185/43	BICC Fibral 434C17,24SM - 1x24
modernizace r.2012	Portál 1x400 kV 2012	3x434-AL1/56-ST1A	1xCS225CC 30/57 (178/138) 3130	1xCS120CC 22/57 (170/130) 3100	183-AL1/43-ST1A	177-AL3/52-A20SA 1x48 vláken



Kotevní stožár p.b. 291 (324+330)



Nosný stožár p.b. 295 (296+392)

Obr. 3.11 – Fotografie z diagnostiky V452 – 23.11.2017 (archiv autora)

Při provedené pochůzkové kontrole byl korónovou kamerou potvrzen výskyt výbojů z letecké kontroly na všech nosných stožárech. U kotevních stožárů se výskyt nepotvrdil v plném rozsahu, což může být dle závěrů ze zprávy [59] způsobeno nižší intenzitou korónových výbojů a jejich směřováním směrem vzhůru. Údaje uvedené v Tab. 3.3 se vztahují k podpěrnému bodu jako celku a ne ke konkrétní horní armatuře.

⁹⁷ Data byla převzata ze systému IS-PD k datu 15.3.2019.

Měření hluku akustickým detektorem se ukázalo v této situaci jako neprůkazné. Vlivem již zmíněné nižší intenzity výbojů a vzdálenosti cca 20 metrů nebylo možné změřit žádné hodnoty. Výboje zanikly v šumu pozadí. Při pochůzce jsem zaregistroval jasně slyšitelné korónové výboje, které však nebyly v místech horních armatur, ale spíše na fázových vodičích. Ani ty však nebylo možno zachytit akustickým detektorem. Dle možností byly jako zdroj identifikovány FV a vzhledem k aktuálnímu počasí byla na vině nejspíše zvýšená vlhkost na FV, čemuž by odpovídaly i časy a počasí dle Tab. 3.3..

Tab. 3.3 – Záznam z měření na V452 (archiv autora)

číslo p.b.	datum	čas	Teplota [°C]	počasí	korona		
					sluch	hluk	UV-C
291	23.11.2017	10:50	4	slunečno + přízemní opar	ano	ne	ano
295	23.11.2017	11:20	4,5	slunečno	ano	ne	ano
296	23.11.2017	11:34	6	slunečno	ne	-	-
324	23.11.2017	12:20	8,5	polojasno	ne	ne	ano
330	23.11.2017	13:25	9,5	polojasno	ne	ne	ne
392	23.11.2017	14:25	9		ne	ne	ano



UV-C diagnostika



Měření hluku

Obr. 3.12 – Měření hluku z korónového výboje na V452 – 23.11.2017⁹⁸

Ani v jednom z případů nedošlo ke shodě použitých metod, protože poslechem zachycené výboje byly v jiných místech, než ukazovala korónová kamera. Příčina výbojů tak nebyla zjištěna a dále budou následovat laboratorní testy. Vzhledem k malé intenzitě a směrovosti korónových výbojů se ukazuje jako nejvhodnější detekce při letecké kontrole.

⁹⁸ Foto – archiv autora. Diagnostika: UV-C - Gruber, s.r.o., Akustická detekce - EGÚ – HV Laboratory, a.s.

Závěr

Jak vyplývá z údajů v první kapitole, tak je přechod na nové typy fázových vodičů vázán primárně na jejich aktuální vyšší pořizovací cenu a složitější montážní práce. Provozovatel přenosové soustavy ČEPS, a.s. jde cestou navýšení rezervy formou zdvojení vedení, které výhledově umožňuje i zlepšení možnosti zachování částečného provozu v dané oblasti, při možné budoucí přestavbě jednoho z dvojice potahů.

Pokud jde o již instalované kompozitní izolátory, bude společnost ČEPS, a.s. vzhledem k jejich současné předpokládané životnosti mezi 30 a 40 roky a skutečnosti, že drtivá většina vedení 220 kV (cca 80%) jimi byla osazena v období 1997 - 2010 (viz Příloha 13), vystavena jistému riziku koordinace ukončení provozu těchto vedení s ohledem na konec životnosti použitých izolátorů (viz Příloha 5). Dle současného vývoje lze zvýšené riziko očekávat u izolátorů z materiálu ESP se silikonovým tukem v mezivrstvě – cca 12% z kompozitních IZ na této hladině, konkrétně vedení V203 a V225/6 (jednotky kusů IZ na V201 a V280). Hlavně u V225/6, kde se počítá s provozem i po roce 2035, bude stáří izolátorů v kritické úrovni 35 až 40 let. Dle současného vývoje stárnutí izolátorů ze SIR se dá předpokládat spolehlivé překročení hranice životnosti 40 let.

S ohledem na tyto skutečnosti by měl dle mne provozovatel pokračovat v provádění pravidelných kontrol stavu kompozitních izolátorů (dle výstupů v kapitole 2.2.3) v intervalu cca 2-7 let – dle materiálu izolátoru a aktuálního výstupu z pravidelných kontrol vedení uvedených v adresné příloze AP01 z TN 22 [20]. Zde je uvedeno, že všechna vedení prochází každoroční pochůzkovou kontrolou a 1x za 5 let podrobnou lezeckou kontrolou. Pokud jde o letecké kontroly, tak:

- 1x za 3 roky vizuální kontrola
- 1x za 6 let termovizní kontrola
- do roka od dokončení stavby kontrola koróny (bývá spojena s vizuální kontrolou)

Následné požadavky na kontrolu koróny pak vycházejí z případného rušení radiového signálu nebo zjištění poškození prvků PS, které mohou souviset s korónou nebo přeskoky.

Jak je vidět z výše uvedeného, tak má provozovatel PS velmi podrobné informace o stavu jednotlivých prvků vedení. K problematice letecké kontroly koróny bych doporučil provedení pokusných kontrol na jednoduchých vedeních, především u SK typu Portál, s letem po obou stranách vedení - např. u vedení V452. Je zde totiž jistý nepoměr ve vzdálenosti od diagnostikovaných prvků PS, kde u vedení dvojitých je létán každý potah zvlášť – fáze ve vzdálenosti cca 15 – 20 m, kdežto u vedení jednoduchých (např. právě u typu Portál) může být odstup 15 – 45 metrů (od nejbližší k nejvzdálenější fázi). Navíc může snáze dojít k maskování výbojů u nejvzdálenější fáze.

S ohledem na jistou nedostatečnost termovizních kontrol při detekci poruch kompozitních izolátorů (viz kap. 3.6) bych dále doporučil provést 1x za 6 let společnou vizuální a korónovou leteckou kontrolu alespoň na vedeních s těmito izolátory (případně u vedení s prvky na konci jejich předp. max. životnosti – Tab. 1.1). Jak bylo již zmíněno, tak tento postup je v současné době využíván pouze při přejímce realizovaných vedení.

Výstupy z těchto kontrol pak mohou přímo zasáhnout do přípravy jednotlivých akcí, možná i ve formě vytvoření krizového scénáře pro předčasnou preizolaci kompozitních izolátorů po 40-ti letech jejich používání. V současném plánu (program SIP) se počítá s jejich využitím po dobu 50 – 60 let jako u keramických nebo skleněných IZ.

Plán na modernizaci, přestavbu nebo i výstavbu nových vedení je součástí strategického investičního programu (dále jen SIP) společnosti ČEPS, a.s. SIP je koncipován ve výhledu na následujících cca 25 let. Dle prověření návazností z pohledu stárnutí jednotlivých prvků již existujících linek bych však doporučil pro úplnost vést SIP alespoň v základním rozsahu plánování kritických oprav (zohlednění max. stáří prvků PS) na období cca 40-ti let. Usnadnilo by to lepší rozložení těchto akcí ve složitém vypínacím plánu, možná i za cenu jistého uspíšení termínů jejich realizací – tzn. výměna ne ve stáří 65 let (tedy na hranici použitelnosti), ale již o 10 let dříve, pokud by tato akce měla kolidovat s budoucí výstavbou a tedy nemožností vypínací plán dále rozšířit.

V souvislosti s tím by se jako vhodný podklad mohla využít data z Příloh 9-1 a 9-2, která jsem sestavil na základě kombinace výstupů ze systému evidence prvků (IS-PD), literatury [3] a [4], studie vývoje PS od EGÚ Brno a konzultací s pracovníky ČEPS, a.s., kteří procházejí historické dokumentace z období výstavby jednotlivých linek. Data jsem

sestavil při přípravě vyhodnocení max. předpokládané životnosti prvků vedení PS. Největší rozdíly ve stáří linek jsou patrné na napěťové hladině 400 kV. Souvisejí s tím, že linky vznikaly jako dlouhé propoje našeho území, a až postupem času byly děleny na menší úseky a zaústovány do nově vznikajících rozvodů. Dle těchto zjištění bych doporučil vypracovat grafickou nadstavbu nad systémem IS-PD, která by mohla umožnit přehledné grafické zvýraznění prvků na vedeních PS s překročenou plánovanou životností v jednotlivých letech (např. s výhledem na 40 let), jakožto podkladu při přípravě SIP.

Poslední problematikou, která by mohla být předmětem nějaké jiné, spíše diplomové práce, je pokus o podrobnější vyhodnocení ztrát korónou v rámci přenosové soustavy. To by mohlo přidat pomyslné pozitivní body k využití nových materiálů pro FV. Na druhé misce vah by pak byla možná poruchovost a maximální životnost těchto vodičů.

A pokud jde o kompozitní materiály, tak zde můžeme očekávat další vývoj a zlepšení směsí používaných pro jejich výrobu, které výhledově zajistí životnost na úrovni 60 let, pokud se nezačne objevovat nárůst počtu poškození vlivem okusu.

Jak je z uvedeného patrné, tak by i při sebelepší diagnostice nebylo možné výsledky dobře využít, kdyby neměl provozovatel přenosové soustavy ČEPS, a.s. dokonalý přehled o nainstalovaných prvcích. Bez těchto informací by neměl např. představu v případě vzniklého problému u izolátoru jedné šarže, kde všude může podobné problémy ještě očekávat. Tak by se dalo jen složitě plánovat v dlouhodobých horizontech, které jsou s energetikou na úrovni velkých elektráren a mezinárodních přenosových soustav úzce spjaté a kde každý den vypnutí vedení může znamenat velké problémy.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] MENTLÍK, V., PIHERA, J., POLANSKÝ, R., PROSR, P., TRNKA, P. *Diagnostika elektrických zařízení*. 1. vyd. Praha: BEN – technická literatura, 2008. 440 s. ISBN 978-80-7300-232-9.
- [2] KUBEŠ P. *Impulsní silnoproudé výboje a jejich diagnostika*. Studijní text. Praha: České vysoké učení technické – Fakulta elektrotechnická, katedra fyziky, 2004. 83 s. Dostupné z: <http://www.aldebaran.cz/studium/vyboje.pdf>
- [3] KUBÍN, M. *Proměny České energetiky*. 1. vyd. Praha: ČSZE, 2009. 615 s. ISBN 978-80-254-4524-2.
- [4] KUBÍN, M. *Přenosy elektrické energie ČR (v kontextu evropského vývoje)*. 1. vyd. Praha: ČEPS, 2006. 567 s. ISBN 80-2397-272-3.
- [5] RAIZER, Ju. P. *Fizika gazovogo razrjada*. 3. vyd. Moskva: Intelekt, 2009. 691 s. ISBN 978-5-91559-019-8. Dostupné z: http://www.rfbr.ru/rffi/ru/books/o_18104#1
- [6] HADDAD, A., WARNE, D. *Advances in High Voltage Engineering*. Dotisk 1. vyd. London: The Institution of Engineering and Technology, 2007. 647 s. ISBN 978-0-85296-158-2.
- [7] RYAN, H.M. *High-Voltage Engineering and Testing*. 3. vyd. London: The Institution of Engineering and Technology, 2013. 960 s. ISBN 978-1-84919-263-7.
- [8] JAMES, R.E., SU, Q. *Condition Assessment of High Voltage Insulation in Power System Equipment*. 1. vyd. London: The Institution of Engineering and Technology, 2008. 276 s. ISBN 978-0-86341-737-5.
- [9] HILEMAN, A. R. *Insulation Coordination for Power Systems*. 1. vyd. New York: Marcel Dekker Inc., 1999. 767 s. ISBN 978-0-82479-957-1.
- [10] MÁŠLO, K. *Řízení a stabilita elektrizační soustavy*. 1. vyd. Praha: Asociace energetických manažerů, 2013. 272 s. ISBN 978-80-260-4461-1.
- [11] VEVERKA, A. *Technika vysokých napětí*. 2. přepracované vyd. Praha-Bratislava: SNTL-ALFA, 1976. 296 s.
- [12] LIST, V., POCHOP, K. *Mechanika venkovních vedení*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1955. 464 s.
- [13] MACH, V. *Technika vysokého napětí*. 2. přepracované vyd. Ostrava: Vysoká škola Báňská – Technická univerzita, 2006. 112 s. ISBN 80-248-1161-8.
- [14] KOČIŠ, L., KOPEJTKO, P., BROSCH, M. *Měření radiového rušení, slyšitelného hluku a výpočty elektrických gradientů na různých konfiguracích vedení 220 kV a 400 kV. Možnosti simulace některých konfigurací vedení v laboratorních podmínkách*, 12/2008, zpráva 6236/08, EGÚ – HV Laboratory, a.s.
- [15] BUBNÍK, L., KLAJBL, J., MAZUCH, P. *Optoelektrotechnika*. Brno: Code Creator, s.r.o., 2015. ISBN 978-80-88058-20-5. Dostupné z: <https://publi.cz/books/185/Cover.html>
- [16] SKLENIČKA, V., JEŽEK, O. *Laboratorní zkoušky kompozitních izolátorů sejmutých z vedení po delší době provozu – odhad zbytkové životnosti*, 11/2006, zpráva 6198/06, EGÚ – HV Laboratory, a.s.

- [17] PROCHÁZKA, R., MÜLLER, Z., ŠVEC, J. *Využití nových typů vodičů venkovních vedení v přenosové soustavě ČR – rozvojově-vývojová studie*. Praha: České vysoké učení technické – Fakulta elektrotechnická, katedra elektroenergetiky, 2017.
- [18] kolektiv autorů. *Monitorování, řízení a chránění elektrizačních soustav*. 1. vyd. Praha: České vysoké učení technické – Fakulta elektrotechnická, 2011. 256 s. ISBN 978-80-01-04940-2. Dostupné z: <http://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/cvut-5-monitorovani.pdf>
- [19] TN 11 – Technická životnost zařízení PS
- [20] TN 22 – Řád preventivní údržby – Adresná příloha č. 1A : Venkovní vedení VVN a ZVN
- [21] TN 33 – Nátěry a sanace ocelových konstrukcí vedení a elektrických stanic
- [22] TN 43 – Termovizní měření na zařízení NN, VN, VVN a ZVN PS
- [23] TN 46 – Lanové vodiče pro elektrická vedení přenosové soustavy
- [24] TN 48 – Typizované a schválené izolátorové závěsy pro vedení PS
- [25] TN 79 – Kombinovaná zemnicí lana a spojovací krabice pro vedení přenosové soustavy
- [26] PNE 33 0000-2 – Stanovení základních charakteristik vnějších vlivů působících na rozvodná zařízení distribuční a přenosové soustavy
- [27] PNE 33 0000-3 – Revize a kontroly elektrických zařízení přenosové a distribuční soustavy
- [28] PNE 33 0405-1 – Navrhování venkovní elektrické izolace podle stupně znečištění – Část 1: Porcelánové a skleněné izolátory pro sítě se střídavým napětím
- [29] PNE 33 0405-2 – Navrhování venkovní elektrické izolace podle stupně znečištění – Část 2: Polymerové izolátory pro sítě se střídavým napětím
- [30] PNE 33 3300 – Navrhování a stavba venkovních vedení nad AC 45 kV
- [31] PNE 34 8034 – Zkoušky izolátorových závěsů obloukovými zkraty
- [32] IEC 60815 – Selection and Dimension of High-Voltage Insulators Intended for Use in Polluted Conditions – Part 1: Definitions, Informations and General Principles
- [33] CIGRÉ WG C4.303 – Guide for the selection of insulators with respect to contamination conditions, 2010.
- [34] CIGRÉ – ref. 22-10 – Service experience with the german composite long rod insulator with silicone – rubber shields since 1967, 1980.
- [35] CIGRÉ – ref. 15-206 – New Experiences with Composite Insulators, 1998.
- [36] ELECTRA No.130 – CIGRÉ SWG 22.03.01 – Worldwide service experience with HV composite insulators, 1990.
- [37] ELECTRA No.191 – CIGRÉ WG 22.03 – Worldwide service experience with HV composite insulators, 2000.
- [38] OHIO BRASS – Polymer materials for insulator weathersheds, 1991.
- [39] SKLENÍČKA, V., ZEMAN, I. *Utilization and service experience with composite insulators in Czech power system*. INMR conference, Shanghai 2001.

- [40] JÁNYŠ, P. *Izolátorové závěsy venkovních vedení 220 a 400 kV*, Bakalářská práce. Praha: České vysoké učení technické – Fakulta elektrotechnická, 2011. 42 s.
- [41] JÁNYŠ, P. *Napětové zkoušky izolátorových závěsů*, Diplomová práce. Praha: České vysoké učení technické – Fakulta elektrotechnická, 2013. 96 s.
- [42] KOČIŠ, L., KOPEJTKO, P., BROSCH, M. *Optimalizace návrhu vedení z hlediska dodržení hygienických limitů – etapa I. a II.*, 11/2009, zpráva 6248/09, EGÚ – HV Laboratory, a.s.
- [43] RIZIK, F., TRINH, G. *High Voltage Engineering*. 1. vyd. London: CRC Press, 2014. 801 s. ISBN 978-1-4665-1377-8.
- [44] SKLENIČKA, V., VOKÁLEK, J. *Hodnocení poruchovosti izolátorů ve stanicích a na vedeních PS ČEPS, a.s. – Etapa 1 – Vypracování přehledu stavu poruchovosti všech typů izolátorů použitých ve stanicích a na vedeních PS ČEPS, a.s. Etapa 2 – Analýza příčin poruch poškozených izolátorů. Trendy poruchovosti jednotlivých typů izolátorů*, 12/2003, zpráva 6143/03-05, EGÚ – Laboratoř velmi vysokého napětí, a.s.
- [45] SKLENIČKA, V. *Zjištění příčiny stárnutí silikonových izolátorů vybraných přístrojových transformátorů proudu a napětí výroby Trench Germany – Etapa 1*, 12/2005, zpráva 6174/05-06, EGÚ – Laboratoř velmi vysokého napětí, a.s.
- [46] SKLENIČKA, V., BROSCH, M., NOVOTNÝ, M. *Vyhodnocení poruchovosti porcelánových izolátorů a sledování stavu kompozitních závěsných izolátorů ve stanicích a na vedeních PS ČEPS, a.s. – Etapa 2 – Sledování stavu kompozitních závěsných izolátorů ve stanicích a na vedeních PS ČEPS, a.s.*, 12/2008, zpráva 6237/08, EGÚ – HV Laboratory, a.s.
- [47] ŠVANCAR, M., MUSIL, L. *Ověření eliminace zdrojů rušení na vedení V450 u obce Břvany*, 10/2017, zpráva 6213/17/11, EGÚ – HV Laboratory, a.s.
- [48] SKLENIČKA, V., BROSCH, M. *Diagnostika venkovních vedení pomocí korónové kamery*, 12/2008, zpráva 6235/08, EGÚ – HV Laboratory, a.s.
- [49] SKLENIČKA, V. *Vyhodnocení stavu kompozitních izolátorů a přístrojové kompozitní izolace na vedeních a ve stanicích 245 a 420 kV. Porovnání s výsledky podobných průzkumů v zahraničí. Etapa 1 – Zpracování přehledu používaných kompozitních izolátorů, měření stavu kompozitních izolátorů na vybraných přenosových vedeních PS ČEPS, a.s. a vypracování porovnávací studie*, 11/2003, zpráva 6131/03-04, EGÚ – Laboratoř velmi vysokého napětí, a.s.
- [50] SKLENIČKA, V. *Vyhodnocení stavu kompozitních izolátorů a přístrojové kompozitní izolace na vedeních a ve stanicích 245 a 420 kV. Porovnání s výsledky podobných průzkumů v zahraničí. Etapa 2 – Zpracování přehledu a měření stavu kompozitních přístrojových izolátorů ve vybraných stanicích ČEPS, a.s.*, 07/2003, zpráva 6131/03-04, EGÚ – Laboratoř velmi vysokého napětí, a.s.
- [51] SKLENIČKA, V. *Vyhodnocení stavu kompozitních izolátorů a přístrojové kompozitní izolace na vedeních a ve stanicích 245 a 420 kV. Porovnání s výsledky podobných průzkumů v zahraničí. Etapa 3 – Pokračování měření stavu kompozitních přístrojových izolátorů ve vybraných stanicích ČEPS, a.s. a vypracování porovnávací studie*, 11/2004, zpráva 6131/03-04, EGÚ – Laboratoř velmi vysokého napětí, a.s.

- [52] SKLENIČKA, V. *Vyhodnocení stavu kompozitních izolátorů a přístrojové kompozitní izolace na vedeních a ve stanicích 245 a 420 kV. Porovnání s výsledky podobných průzkumů v zahraničí. Etapa 4 – Pokračování měření stavu kompozitních izolátorů na vybraných přenosových vedeních PS ČEPS, a.s. a aktualizace porovnávací studie*, 11/2004, zpráva 6131/03-04, EGÚ – Laboratoř velmi vysokého napětí, a.s.
- [53] kolektiv autorů. *Posouzení stavu izolátorových závěsů z vedení V225/226. Zjištění příčin zvýšeného počtu OZ na tomto vedení*, 10/2005, zpráva 6190/05, EGÚ – Laboratoř velmi vysokého napětí, a.s.
- [54] SKLENIČKA, V. *Sledování stavu kompozitních závěsných izolátorů na vedeních a rozvodnách PS ČEPS, a.s.*, 11/2006, zpráva 6197/06, EGÚ – HV Laboratory, a.s.
- [55] SKLENIČKA, V., BROSCHE, M. *Sledování stavu kompozitních závěsných izolátorů ve stanicích a na vedeních PS ČEPS, a.s. Diagnostika pomocí korónové kamery*, 12/2007, zpráva 6226/07, EGÚ – HV Laboratory, a.s.
- [56] VOKÁLEK, J., BROSCHE, M., ŠTÍPEK, M. *Vyhodnocení ztrát korónou a ztrát na izolátorových závěsech v přenosové soustavě ČEPS, a.s.*, 07/2005, zpráva 6177/05, EGÚ – Laboratoř velmi vysokého napětí, a.s.
- [57] SKLENIČKA, V., NOVOTNÝ, M. *Sledování stavu kompozitních závěsných izolátorů ve stanicích a na vedeních PS ČEPS, a.s.*, 12/2010, zpráva 6274/10, EGÚ – HV Laboratory, a.s.
- [58] LACHMAN, J. *Problematika výskytu koróny na horních (uzemněných) ochranných armaturách nosných izolátorových závěsů 400 kV – Etapa I*, 12/2017, zpráva 6213/17/12, EGÚ – HV Laboratory, a.s.
- [59] STOLPER, R., HART, J., MAHATHO, N. *The design and evaluation of a Multi-Spectral Imaging Camera for the inspection of transmission lines and substation equipment*, CSIR & Eskom, South Africa, 2005.
Dostupné z: http://www.specialcamera.com/MC/MCAM_Dev.pdf
- [60] TN 85 – UV diagnostika vedení PS ČEPS

Seznam obrázků

Obrázek 1.1 – Běžné typy nosných stožárových konstrukcí 220 a 400 kV	14
Obrázek 1.2 – Stožár Donau 2012 - N+4 – zatěžovací zkoušky	15
Obrázek 1.3 – Srovnání konstrukce tradičního AlFe lana s ACCC	22
Obrázek 1.4 – Konstrukce lana G(Z)TACSR s mezerou vyplněnou mazivem	23
Obrázek 1.5 – Tyče proti usedání ptáků nad IZ na V457	26
Obrázek 1.6 – Tlumič vibrací na ZL – V452.....	27
Obrázek 1.7 – Distanční dvojrozpěrky na FV – 400 kV	27
Obrázek 1.8 – Distanční trojrozpěrka klasická, se závažím a s tlumením vibrací	28
Obrázek 1.9 – Příklad instalace rozpěrek ELBA na V459	28
Obrázek 2.1 – Oblasti s instalovanými mezifázovými rozpěrkami	35
Obrázek 2.2 – Schéma kompozitního izolátoru Ohio Brass	36
Obrázek 2.3 – Izolátor Ohio Brass 511206-1400 (rok 1995 a 2006)	38
Obrázek 2.4 – Izolátor Sediver CT 120 XM37 (rok 1995 a 2006)	39
Obrázek 2.5 – Izolátor Rebosio E00624 M (rok 1995 a 2006)	39
Obrázek 2.6 – Izolátor Reliable C144055GVW (rok 1995 a 2006)	39
Obrázek 2.7 – Izolátor CeramTec 30/22 (148) 1200 (rok 1995 a 2006)	39
Obrázek 2.8 – Izolátor Furukawa H120 120.1245.TT (rok 1995 a 2006)	40
Obrázek 2.9 – Praskliny u spodní koncové kovové armatury – stav po 18-ti letech v provozu	41
Obrázek 2.10 – Lehký únik silikonového oleje z mezivrstvy – stav po 6-ti letech v provozu	42
Obrázek 2.11 – Poškození izolátoru okusem – stav po 9-ti letech provozu	42
Obrázek 2.12 – Přetržený izolátor na V225/6 – stav po 6-ti letech provozu	43
Obrázek 3.1 – Ultrazvukový detektor částečných výbojů	53
Obrázek 3.2 – Měřicí anténa a zkušební přijímač Rohde-Schwarz	54
Obrázek 3.3 – Spektrum záření korónového výboje	55

Obrázek 3.4 – Noční snímek z korónové kamery CoroCam I na V450	55
Obrázek 3.5 – Skládání snímku z korónové kamery	56
Obrázek 3.6 – Instalace plošiny s korónovou kamerou na vrtulníku Bö 105CB	57
Obrázek 3.7 – Porovnání metod – laboratorních měření – rozpletený vodič	58
Obrázek 3.8 – Porovnání metod – lab.měření – porušený kompozitní izolátor	58
Obrázek 3.9 – Koncept kombinace UV-C a IR diagnostiky	59
Obrázek 3.10 – Příklad výstupu z letecké kontroly	62
Obrázek 3.11 – Fotografie z diagnostiky V452 – 23.11.2017	64
Obrázek 3.12 – Měření hluku z korónového výboje na V452 – 23.11.2017	65

Seznam tabulek

Tabulka 1.1 – Technická životnost zařízení vedení PS	11
Tabulka 1.2 – Celková délka provozovaných vedení PS	12
Tabulka 2.1 – Rozdělení kompozitních izolátorů PS ČEPS, a.s. dle výrobců	31
Tabulka 2.2 – Typy kompozitních izolátorů použitých v PS ČEPS, a.s.	32
Tabulka 2.3 – Soupis instalovaných mezifázových rozpěrek	35
Tabulka 2.4 – Vyhodnocení stavu izolátorů V1561/2 po 11-ti letech provozu	40
Tabulka 3.1 – Parametry koróny a částečného výboje ve formě průrazu	49
Tabulka 3.2 – Specifikace použitých prvků na V452 (původní a po modernizaci)	64
Tabulka 3.3 – Záznam z měření na V452	65

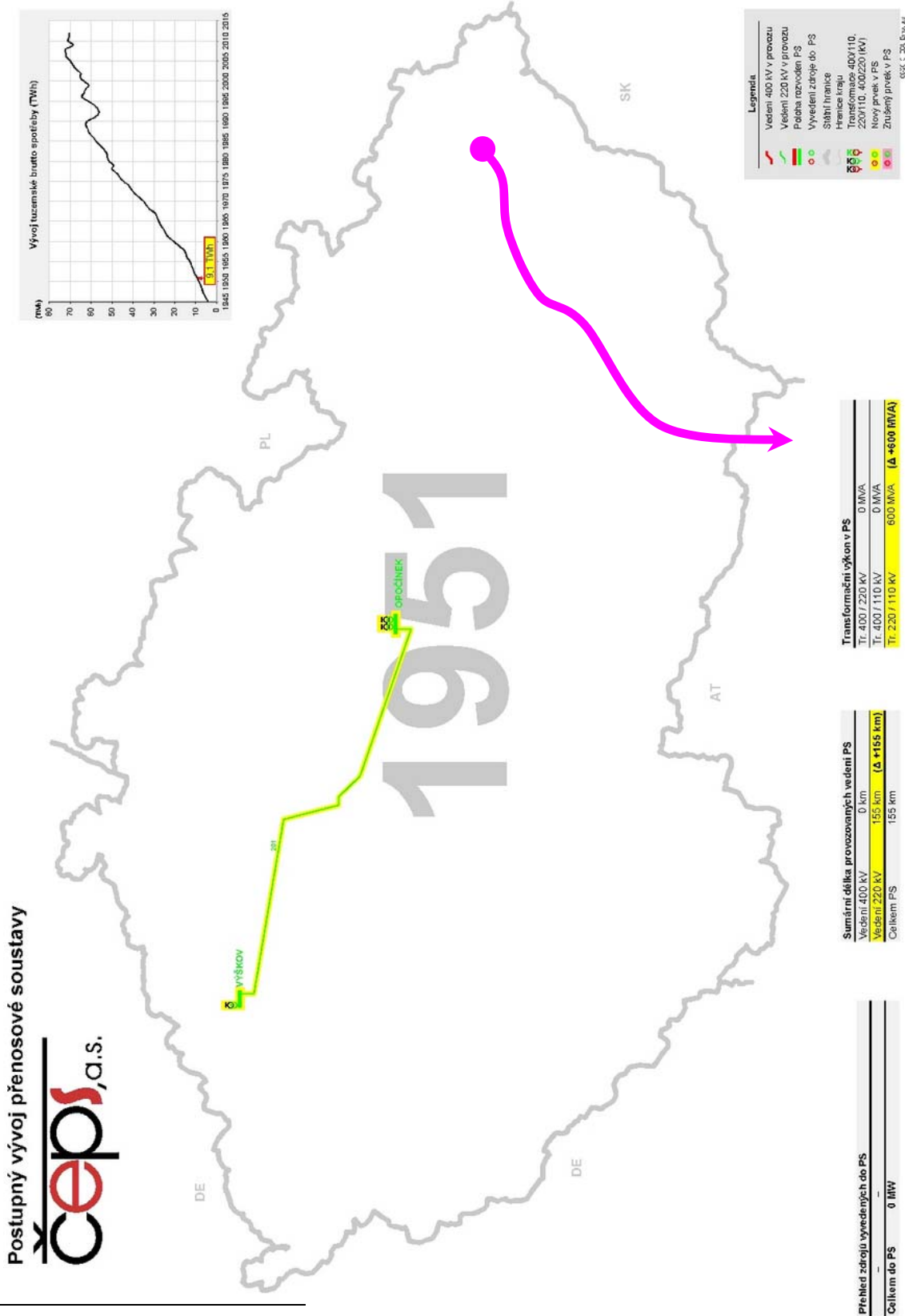
Seznam grafů

Graf 1.1 – Poměr řetězců IZ dle použitých materiálů izolátorů v rámci PS	19
Graf 1.2 – Výběr dat z Grafu 1.1 – pouze instalace v období 1997-2019	19
Graf 2.1 – Procentní zastoupení výrobců kompozitních izolátorů v PS	31
Graf 2.2 – Rozdělení kompozitních izolátorů dle napětových hladin v PS	33
Graf 2.3 – Zastoupení typů kompozitních IZ na hladině 110 kV v PS	33
Graf 2.4 – Zastoupení typů kompozitních IZ na hladině 220 kV v PS	34
Graf 2.5 – Zastoupení typů kompozitních IZ na hladině 400 kV v PS	34
Graf 2.6 – Výsledky zkoušek izolátorů V1561/2 ve slané mlze	39
Graf 2.7 – Vyhodnocení úspěšných OZ na V452	45
Graf 2.8 – Poměr zastoupení materiálů u IZ v R245 kV stanic PS	47
Graf 2.9 – Poměr zastoupení materiálů u přístrojových transformátorů k roku 2015	48
Graf 3.1 – Měření ztrát korónou na vedení trojsvazkem	51

Přílohy

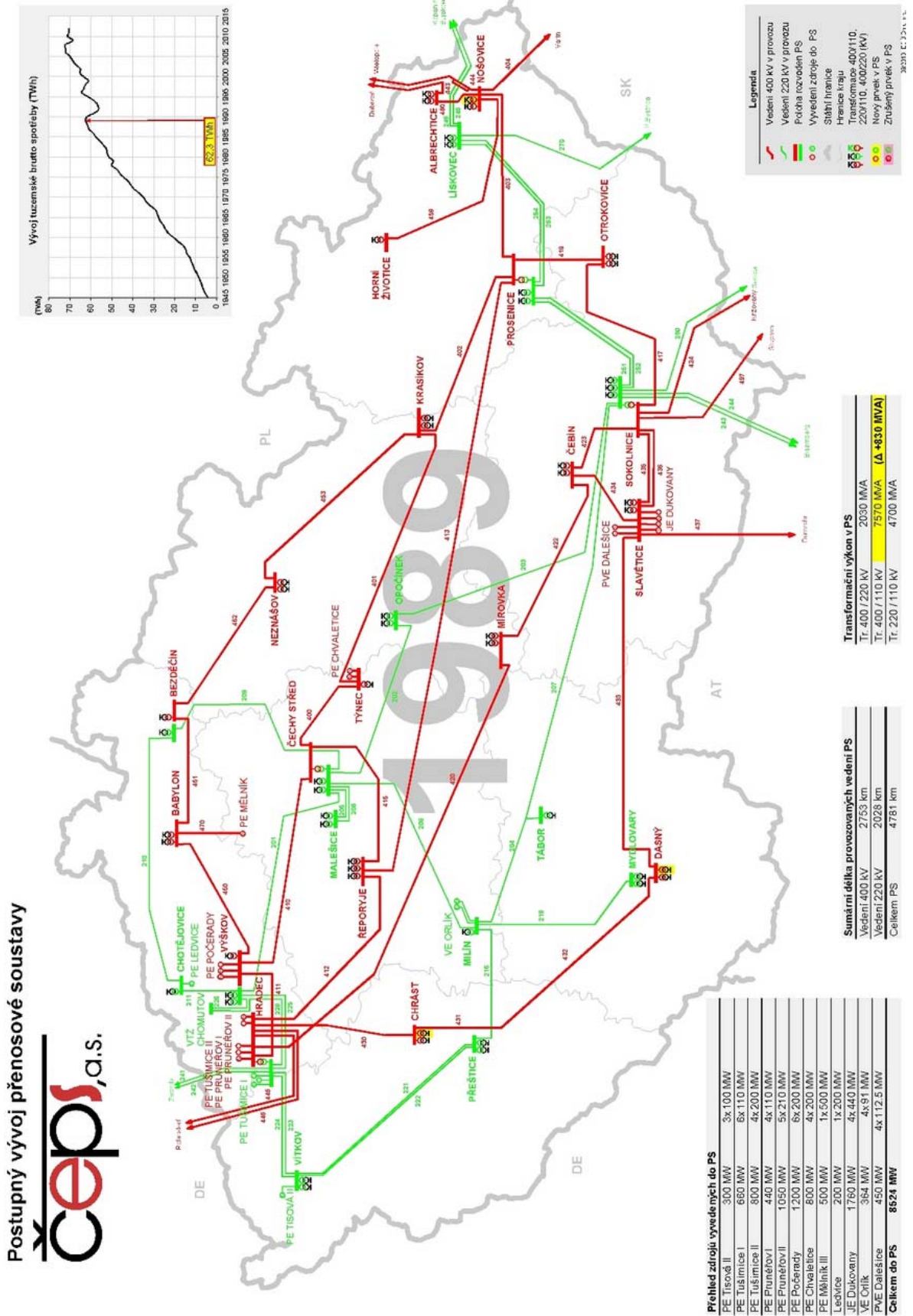
Příloha 1:	Přenosová soustava v roce 1951	77
Příloha 2:	Přenosová soustava v roce 1989	78
Příloha 3:	Přenosová soustava v roce 2015	79
Příloha 4:	Přenosová soustava – plánovaný rozvoj do roku 2026	80
Příloha 5:	Přenosová soustava – náhrada sítě 220 kV soustavou 400 kV	81
Příloha 6:	Základní typy stožárových konstrukcí vedení ČEPS 220 kV	82
Příloha 7:	Základní typy stožárových konstrukcí vedení ČEPS 400 kV	83
Příloha 8:	Základní typy stožárových konstrukcí vedení ČEPS 400 kV	84
Příloha 9-1:	Stáří vedení 220 kV v roce 2019	85
Příloha 9-2:	Stáří vedení 400 kV v roce 2019	86
Příloha 10:	Celkový počet izolátorových závěsů v rámci PS	87
Příloha 11:	Výběr dat z Přílohy 10 – pouze instalace v období 1997-2019	88
Příloha 12:	Měření hydrofobnosti metodou STRI AB	89
Příloha 13:	Rozložení instalací kompozitních izolátorů dle výrobců v čase	90
Příloha 14-1:	Typy korónových výbojů při záporné polaritě	91
Příloha 14-2:	Typy korónových výbojů při kladné polaritě	92
Příloha 15:	Intenzita elektrického pole u závěsného a podpěrného izolátoru	93
Příloha 16:	Kompozitní izolátor LAPP – Rodurflex CS120CC 22/57	94
Příloha 17:	Kompozitní izolátor LAPP – Rodurflex CS225CC 30/57	95
Příloha 18:	V452 – výkres sestavy DN2 závěsu	96
Příloha 19:	V452 – výkres sestavy DK2 závěsu	97

Příloha 1 – Přenosová soustava v roce 1951⁹⁹



⁹⁹ Schéma vedení v provozu na hladině 220kV PS, viz *Postupný vývoj PS ČEPS: EGÚ Brno, a.s., 2013*. Zobrazuje první vedení V201 v roce dostavby a zapojení. Ve skutečnosti byla v té době již cca 3-5 let provozována i dvojitá vedení na částečném propojení tahu Rakousko-Slezsko (budoucí V243/4, V251/2 a V253/4), avšak na hladině 110 kV (koridor jsem orientačně vyznačil fialovou barvou). K postupnému přepojení do dokončovaných transformoven 220/110 kV došlo až v letech 1952-58. Doplněno dle [3] a [4].

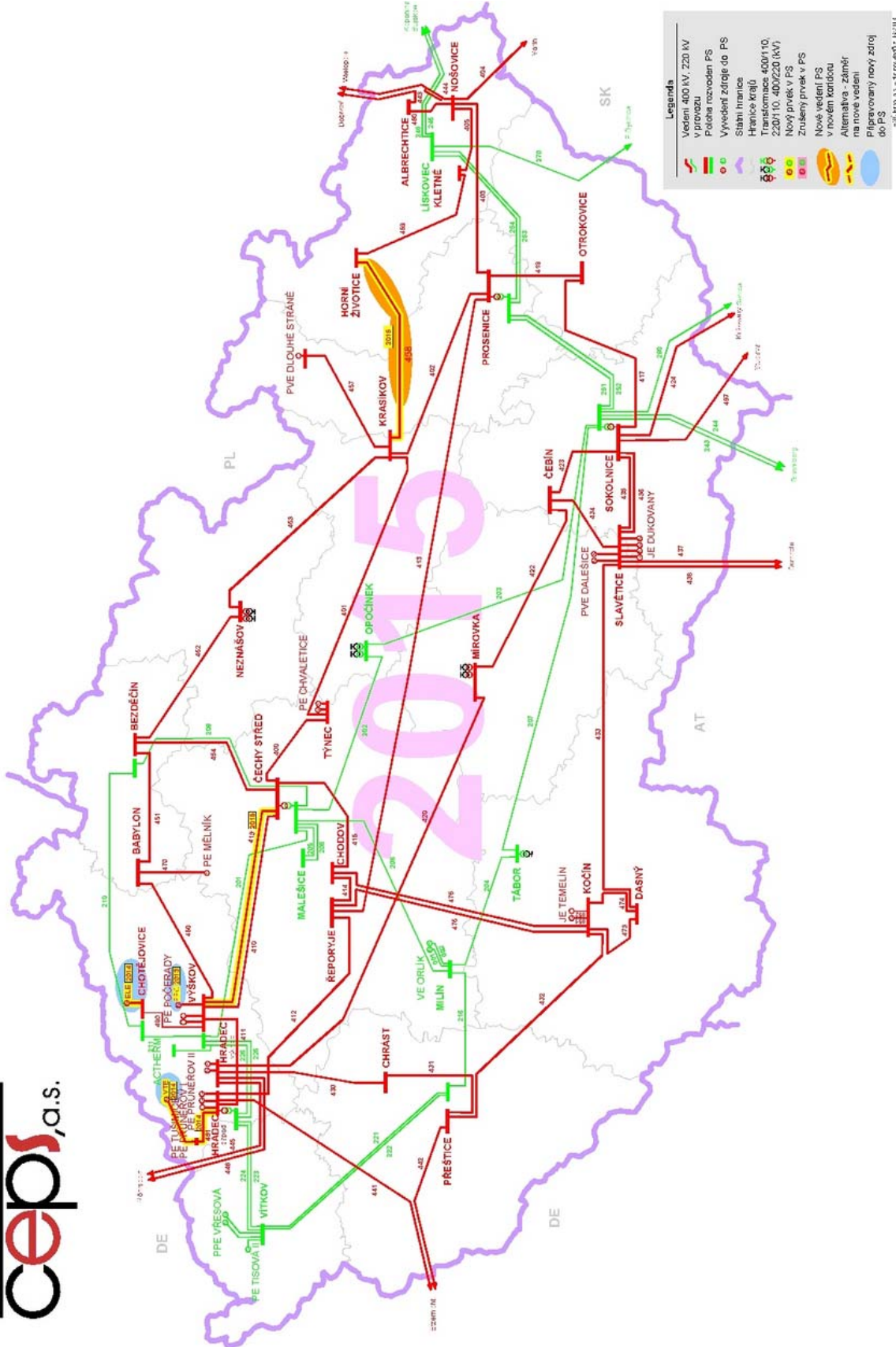
Příloha 2 – Přenosová soustava v roce 1989¹⁰⁰



¹⁰⁰ Schéma vedení v provozu na hladině PS, viz *Postupný vývoj PS ČEPS: EGÚ Brno, a.s., 2013*

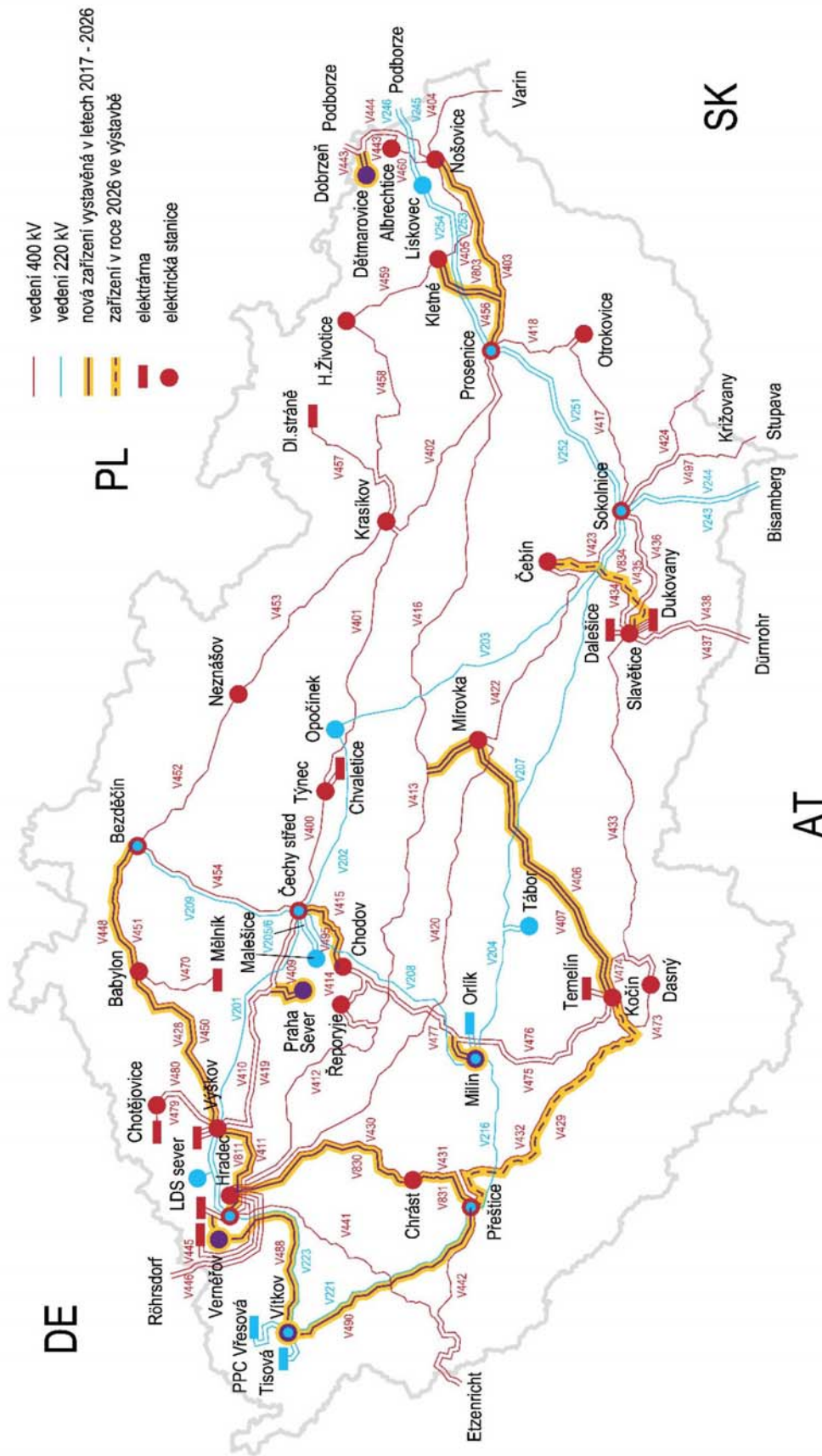
Příloha 3 – Přenosová soustava v roce 2015¹⁰¹

Postupný vývoj přenosové soustavy – připravovaný rozvoj PS do 2015



¹⁰¹ Schéma vedení v provozu na hladině PS, viz *Postupný vývoj PS ČEPS: EGÚ Brno, a.s., 2013*

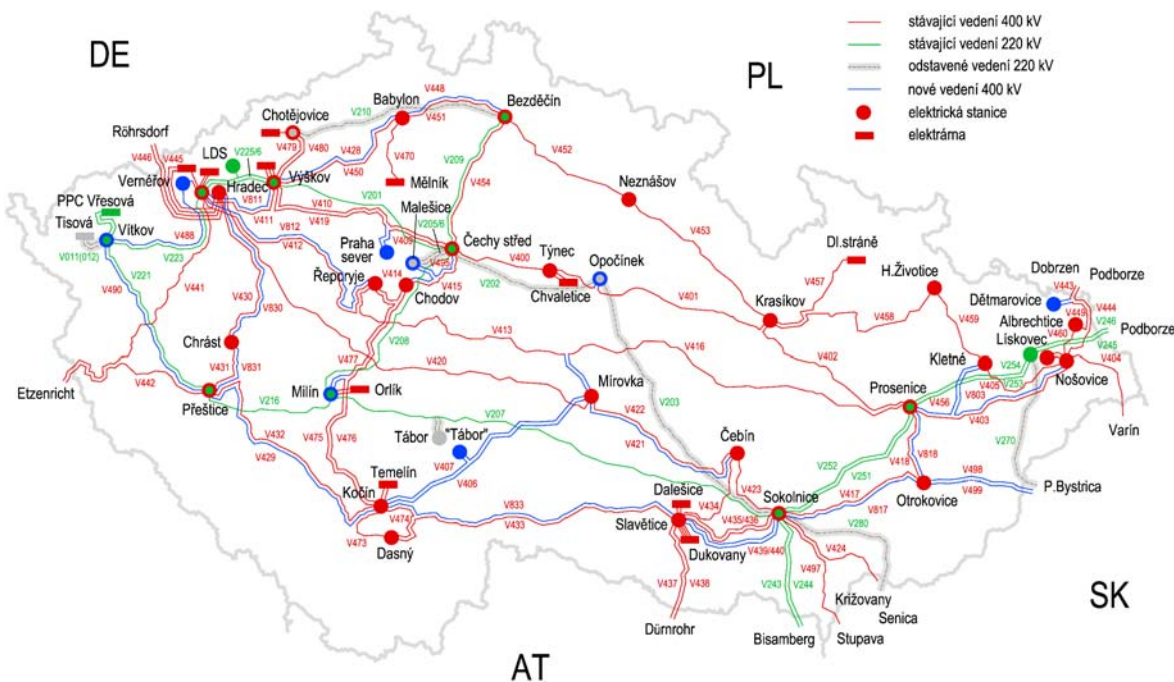
Příloha 4 – Přenosová soustava – plánovaný rozvoj do roku 2026¹⁰²



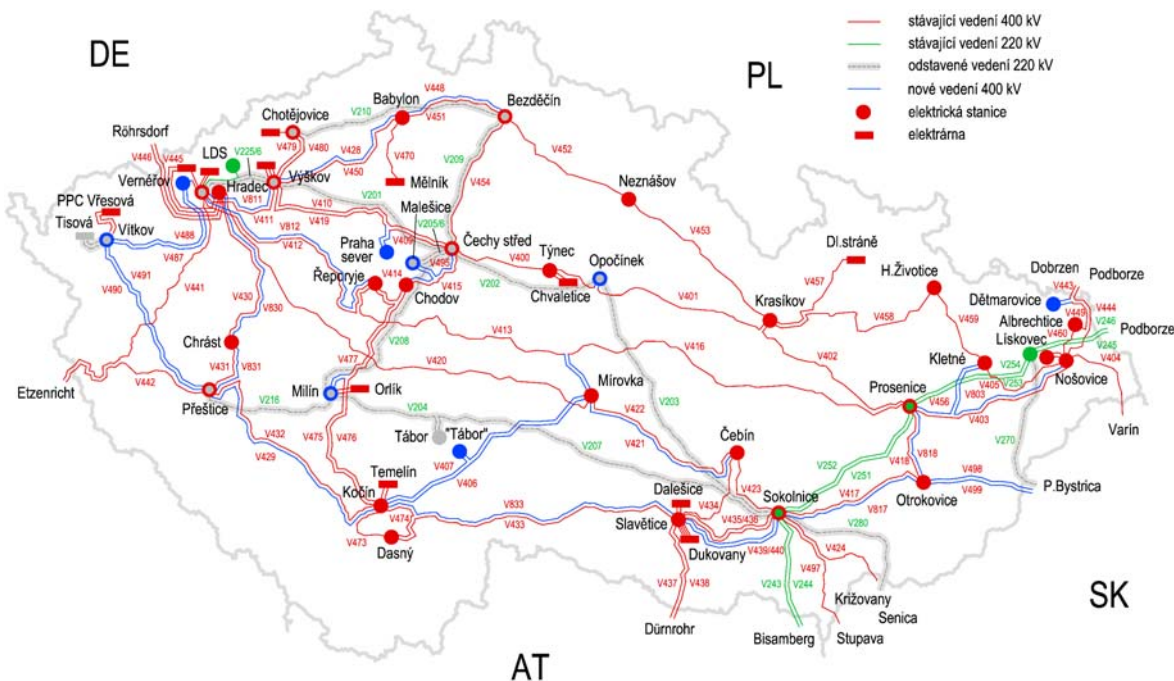
¹⁰² Schéma zprovozněných vedení na hladině PS, viz *Plán rozvoje PS ČR 2017-2026*, ČEPS, a.s., 21.2.2017

Příloha 5 – Přenosová soustava – náhrada sítě 220 kV soustavou 400 kV¹⁰³

Rozvoj PS a odstavení sítě 220 kV k roku 2035



Rozvoj PS a odstavení sítě 220 kV k roku 2040



¹⁰³ viz *Desetiletý plán rozvoje PS ČR 2019-2028*, ČEPS, a.s., 2019. O této problematice se jednalo již v roce 1985 s výsledkem, že zachování sítě nemá pro budoucnost PS význam a dále se bude pokračovat pouze s úrovní 400 kV [4]. V roce 1994 bylo rozhodnuto o prodloužení životnosti sítě 220 kV do roku 2010. V současné době, jak je patrné z této přílohy, se počítá s útlumem až v roce 2040. Zda bude tato hranice opět posunuta je otázkou. Je však potřeba si uvědomit, že část SK bude tou dobou již skoro 100 let stará.

Příloha 6 – Základní typy stožárových konstrukcí vedení ČEPS 220 kV¹⁰⁴



Portál – nosný (1x220 kV)
(závěsy DN-keramika, 2xZL)



Portál dvojnásobný – nosný (2x220 kV)
(FV dvojsvazek, závěsy DN-kompozit, 2xZL)



Soudek – nosný (2x220 kV)
(závěsy JN-keramika, 1xZL)



Donau – nosný (2x220 kV)
(závěsy PK_A-keram., 1xZL, letecké znač.)

¹⁰⁴ Informační brožura *Základní typy stožárových konstrukcí*, ČEPS, a.s., 2018. Doplnil jsem popis sestav IZ.

Příloha 7 – Základní typy stožárových konstrukcí vedení ČEPS 400 kV¹⁰⁵



Delta – nosný (1x400 kV)
(závěsy DN-keramika, 2xZL)



Mačka – nosný (1x400 kV)
(krajní závěsy DN, střední DNV₄-ker., 2xZL)



Kočka – nosný (1x400 kV)
(krajní závěsy PK_A, střední DNV₄-ker, 2xZL)



Portál – nosný (1x400 kV)
(závěsy DN-keramika, 2xZL)

¹⁰⁵ Informační brožura *Základní typy stožárových konstrukcí*, ČEPS, a.s., 2018. Doplnil jsem popis sestav IZ.

Příloha 8 – Základní typy stožárových konstrukcí vedení ČEPS 400 kV¹⁰⁶

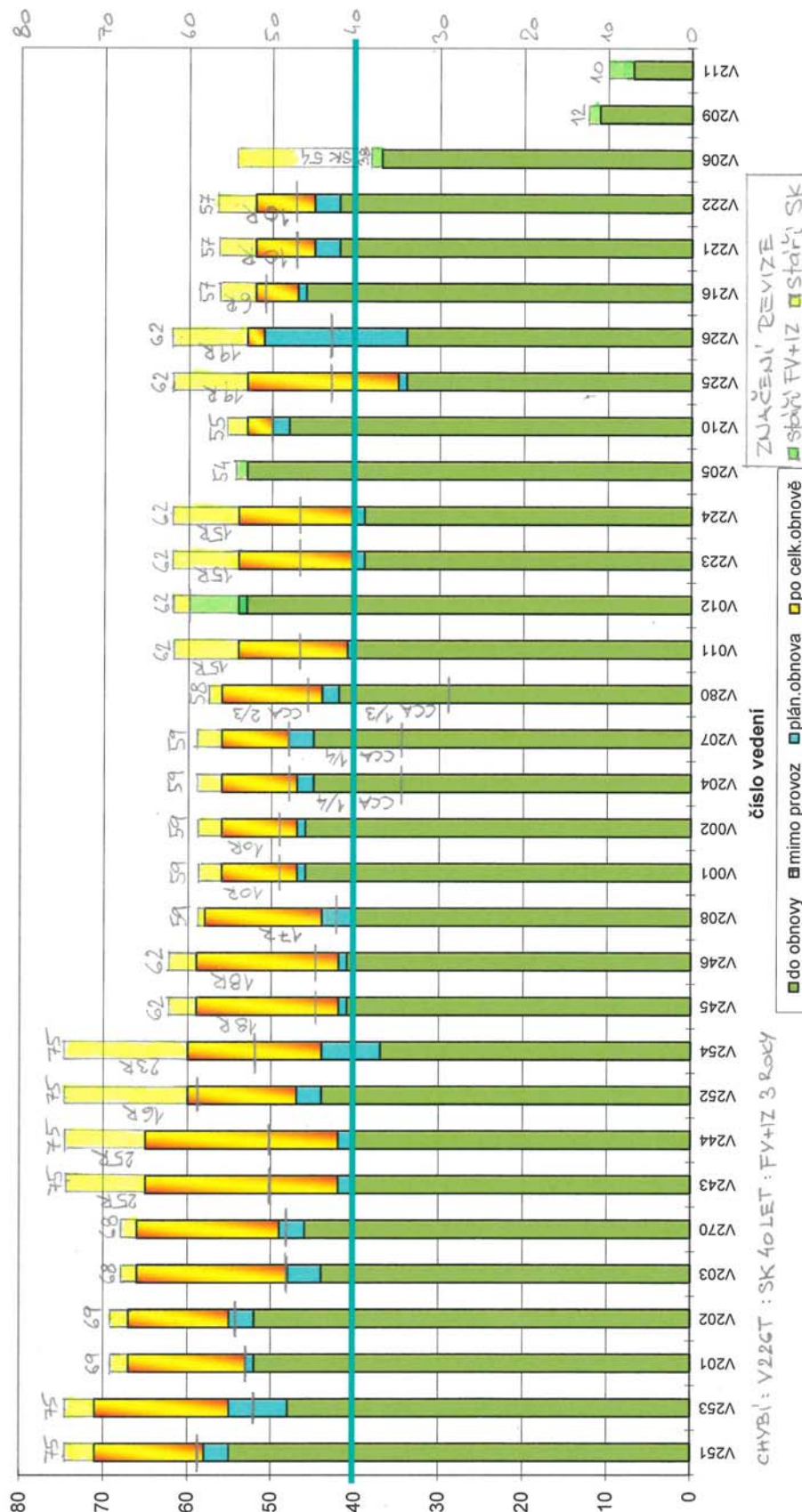
Třídřík – kotevní (1x400 kV)
(závěsy TK a PN se závažím v přeponce - keramika, 2xZL)



Donau – kotevní (2x400 kV)
(závěsy TK a ZZ se závažím - keramika, transpozice všech FV, 2x ZL)

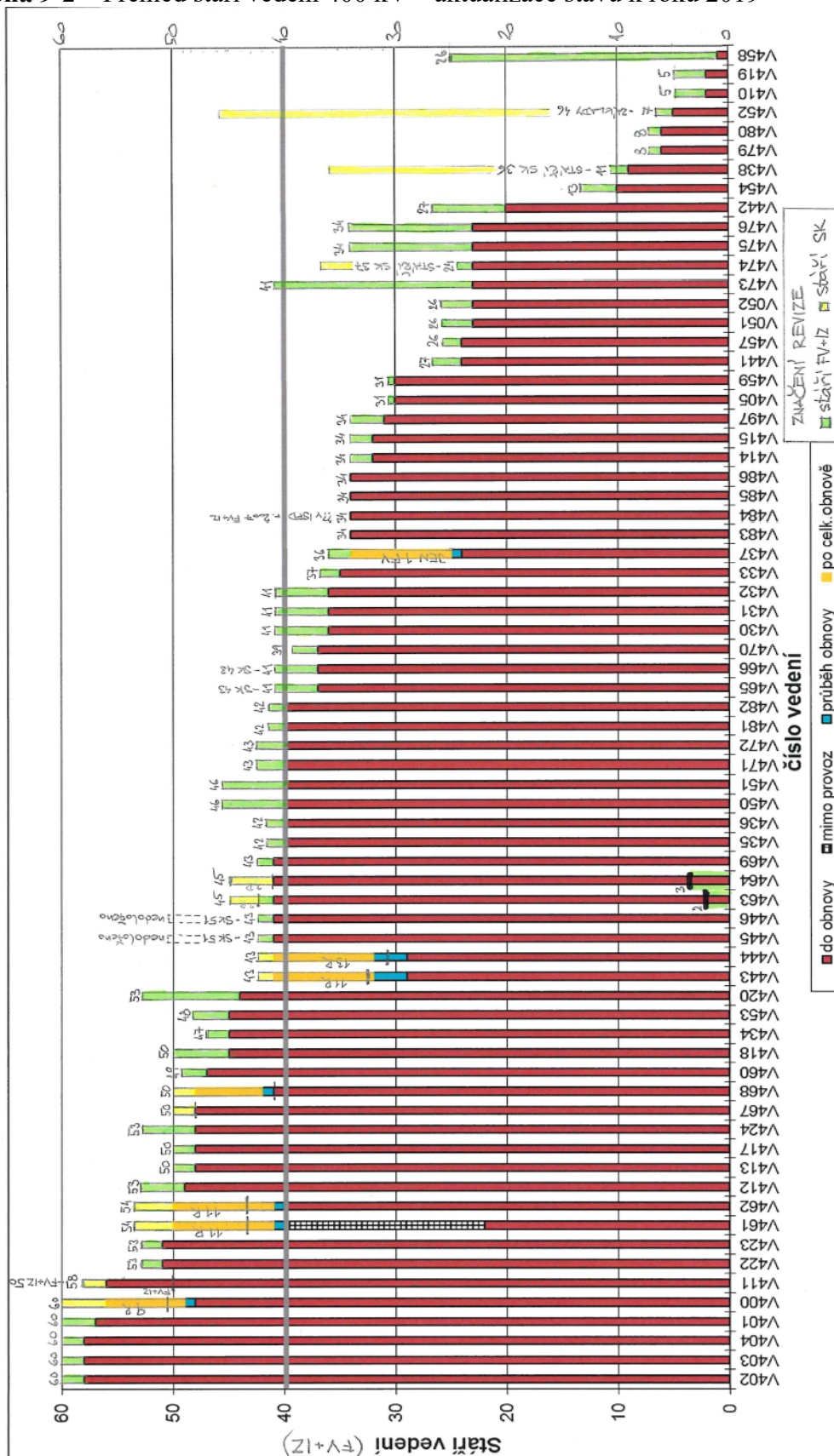
¹⁰⁶ Informační brožura *Základní typy stožárových konstrukcí*, ČEPS, a.s., 2018. Doplnil jsem popis sestav IZ.

Příloha 9-1 – Přehled stáří vedení 220 kV – aktualizace stavu k roku 2019¹⁰⁷



¹⁰⁷ Aktualizace přehledové tabulky ČEPS, a.s. z Desetiletého plánu rozvoje PS ČR 2017-26 interními daty systému IS-PD ČEPS, a.s., [3], [4] a dle výstupů z materiálu Postupný vývoj PS ČEPS: EGÚ Brno, a.s., 2013

Příloha 9-2 – Přehled stáří vedení 400 kV – aktualizace stavu k roku 2019¹⁰⁸



Vypracoval: 20.3.2019 MARTIN KUNT

¹⁰⁸ Aktualizace přehledové tabulky ČEPS, a.s. z *Desetiletého plánu rozvoje PS ČR 2017-26* interními daty systému IS-PD ČEPS, a.s., [3], [4] a dle výstupů z materiálu *Postupný vývoj PS ČEPS: EGÚ Brno, a.s., 2013*

Příloha 10 – Celkový počet izolátorových závěsů v rámci PS, v závislosti na konstrukčním materiálu a napěťové hladině¹⁰⁹

Celá PS (110+220+400 kV)				
typ materiálu	počet izolátorů	počet řetězců	počet IZ	průměrný počet izolátorů na IZ ¹¹⁰
keramika	306 156	88 324	40 063	7,6
sklo	416 222	18 250	9 371	44,4
kompozit	36 293	36 290	20 477	1,8
celkem	758 671	142 864	69 911	

110 kV				
typ materiálu	počet izolátorů	počet řetězců	počet IZ	průměrný počet izolátorů na IZ
keramika	0	0	0	-
sklo	6 478	771	447	14,5
kompozit	1 407	1 407	885	1,6
celkem	7 885	2 178	1 332	

220 kV				
typ materiálu	počet izolátorů	počet řetězců	počet IZ	průměrný počet izolátorů na IZ
keramika	30 945	15 632	8 930	3,5
sklo	171	7	7	24,4
kompozit	20 546	20 505	13 182	1,6
celkem	51 662	36 144	22 119	

400 kV				
typ materiálu	počet izolátorů	počet řetězců	počet IZ	průměrný počet izolátorů na IZ
keramika	275 211	72 692	31 133	8,8
sklo	409 573	17 472	8 917	45,9
kompozit	14 340	14 378	6 410	2,2
celkem	699 124	104 542	46 460	

¹⁰⁹ Vyhodnocení bylo provedeno nad zdrojovými daty ze systému IS-PD společnosti ČEPS, a.s. k datu 15.3.2019. Předp. odchylka od skutečného počtu IZ je do 0,5% - zjištěná nepřesnost zdrojových dat.

¹¹⁰ Průměrný počet izolátorů na závěs je orientační hodnota, která je samozřejmě do jisté míry zkreslena tím, v jakém vzájemném poměru jsou k sobě jednoduché a dvojité (trojitě) IZ na dané napěťové hladině.

Příloha 11 – Výběr dat z Přílohy 10 – pouze instalace v období 1997-2019, tedy pro období aktivního využití kompozitních materiálů¹¹¹

Celá PS (110+220+400 kV)				
typ materiálu	počet izolátorů	počet řetězců	počet IZ	průměrný počet izolátorů na IZ ¹¹²
keramika	80 313	30 848	15 267	5,3
sklo	93 705	4 144	1 910	49,1
kompozit	36 293	36 290	20 477	1,8
celkem	210 311	71 282	37 654	

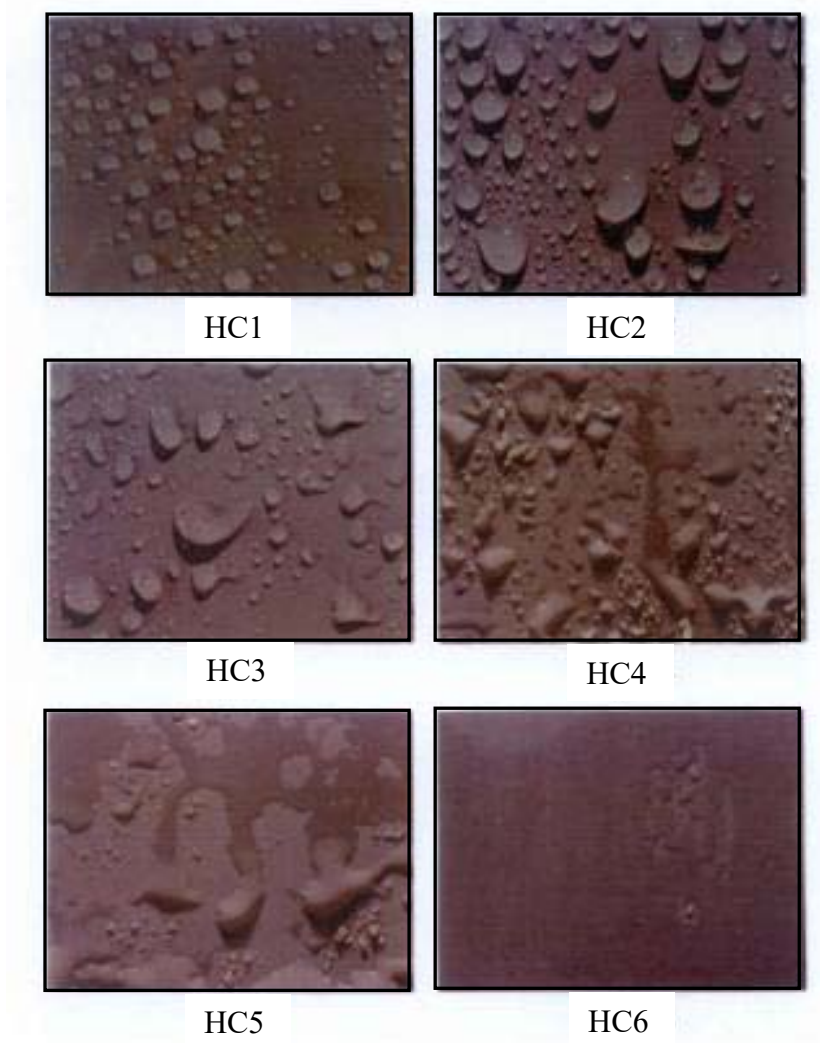
110 kV				
typ materiálu	počet izolátorů	počet řetězců	počet IZ	průměrný počet izolátorů na IZ
keramika	0	0	0	-
sklo	48	6	3	16,0
kompozit	1 407	1 407	885	1,6
celkem	1 455	1 413	888	

220 kV				
typ materiálu	počet izolátorů	počet řetězců	počet IZ	průměrný počet izolátorů na IZ
keramika	24 335	12 331	6 861	3,5
sklo	120	4	4	30,0
kompozit	20 546	20 505	13 182	1,6
celkem	45 001	32 840	20 047	

400 kV				
typ materiálu	počet izolátorů	počet řetězců	počet IZ	průměrný počet izolátorů na IZ
keramika	55 978	18 517	8 406	6,7
sklo	93 537	4 134	1 903	49,2
kompozit	14 340	14 378	6 410	2,2
celkem	163 855	37 029	16 719	

¹¹¹ Vyhodnocení bylo provedeno nad zdrojovými daty ze systému IS-PD společnosti ČEPS, a.s. k datu 15.3.2019. Předp. odchylka od skutečného počtu IZ je do 0,5% - zjištěná nepřesnost zdrojových dat.

¹¹² Průměrný počet izolátorů na závěs je orientační hodnota, která je samozřejmě do jisté míry zkreslena tím, v jakém vzájemném poměru jsou k sobě jednoduché a dvojité (trojitě) IZ na dané napěťové hladině.

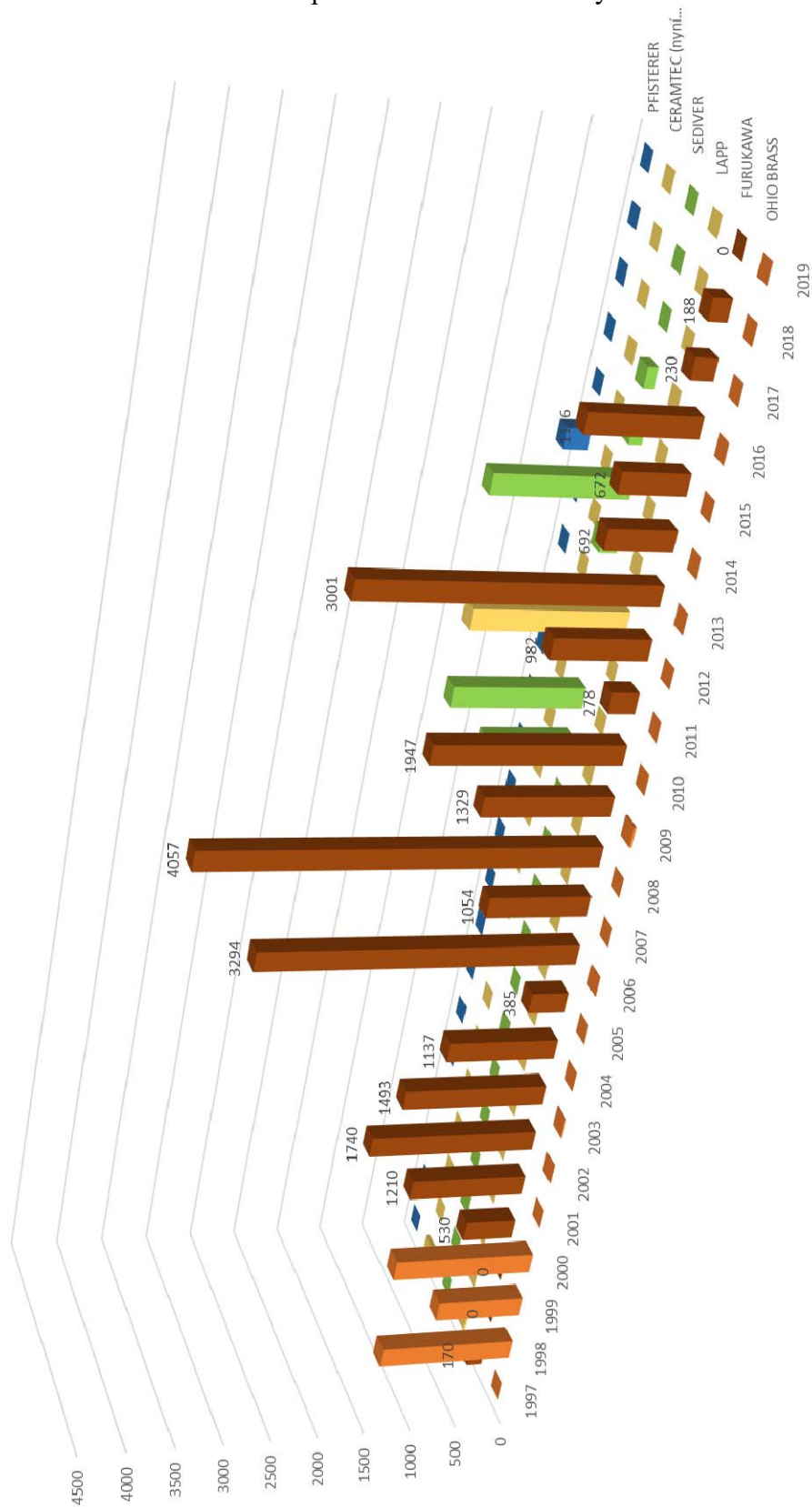
Příloha 12 – Měření hydrofobnosti metodou STRI AB¹¹³ (jako standard i v rámci IEC)**Pracovní postup:**

Kontrolovaný povrch kompozitního izolátoru se 20 vteřin zvlhčuje pomocí ručního rozprašovače. Stupeň hydrofobnosti se vyhodnocuje podle tvaru vodních kapek na povrchu izolátoru.

Metodika stanovuje 7 tříd hydrofobnosti, HC 1 – kompletně hydrofobní povrch až HC 7 – kompletně hydrofilní povrch viz přiložené obrázky.

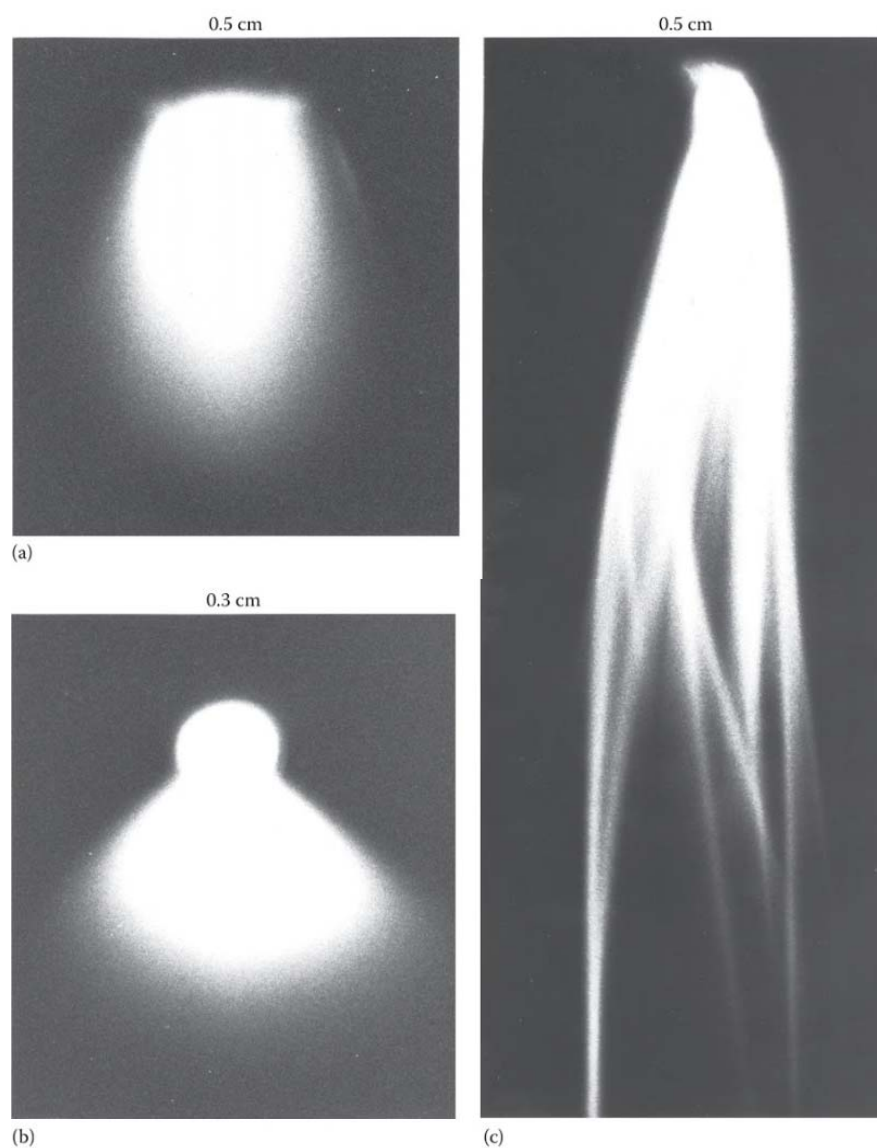
¹¹³ Převzato z [50]

Příloha 13 – Rozložení instalací kompozitních izolátorů dle výrobců v čase¹¹⁴



¹¹⁴ Vytvořeno na základě dat z IS-PD společnosti ČEPS, a.s. k 15.3.2019. Instalace před rokem 1997 vztaženy k tomuto roku. Informativní popis o počtu izolátorů vložen k nejvíce zastoupené řadě izolátorů Furukawa.

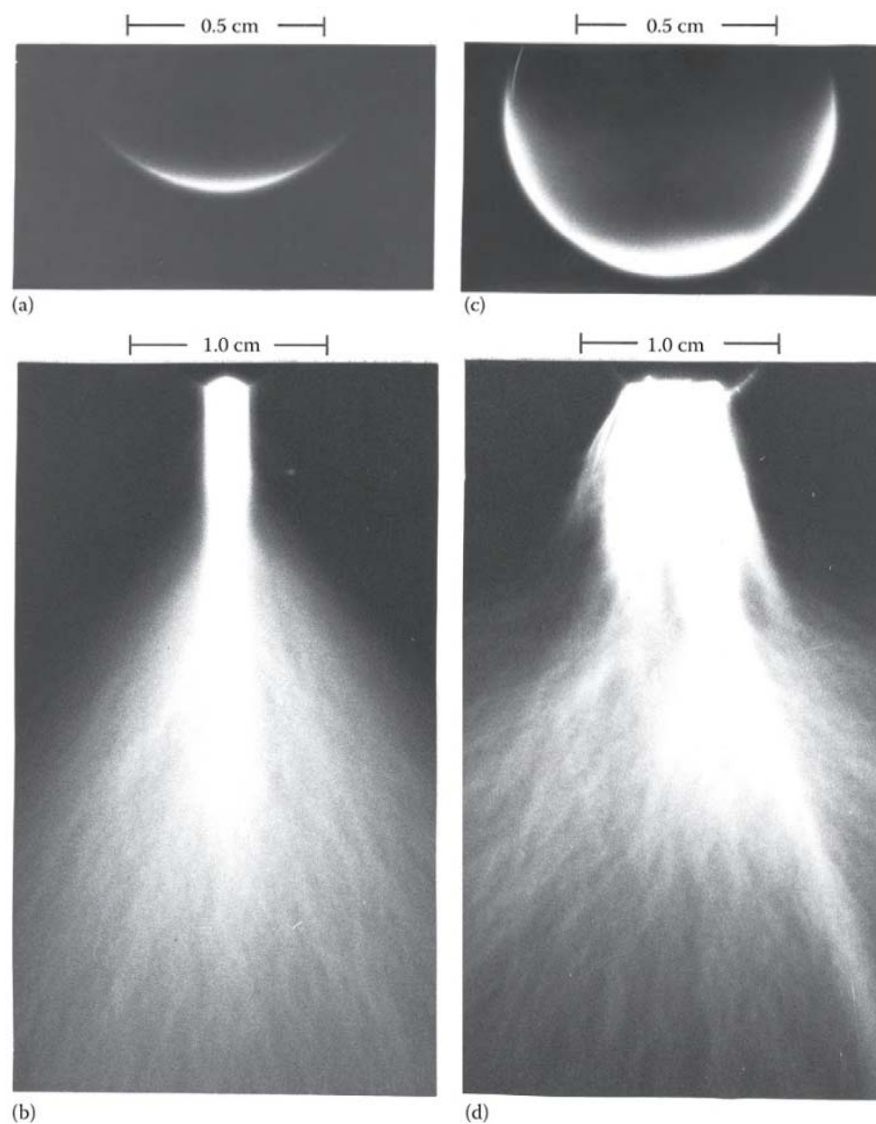
Příloha 14-1 – Druhy korónových výbojů při záporné polaritě¹¹⁵



a) Trichel streamers, b) negative pulseless glow, c) negative streamers

¹¹⁵ Převzato z [43]

Příloha 14-2 – Druhy korónových výbojů při kladné polaritě¹¹⁶

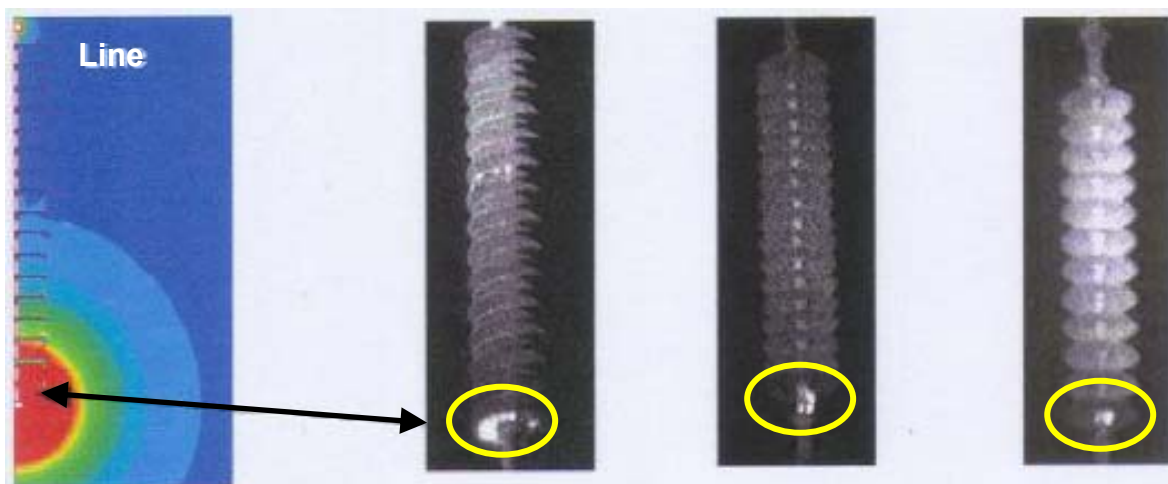


a) burst corona, b) onset streamers, c) positive glow corona, d) breakdown streamers

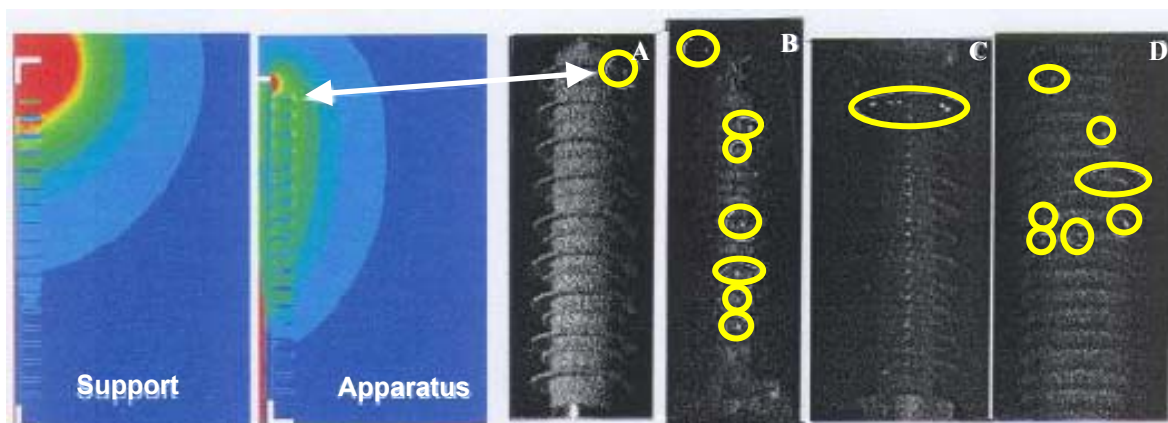
¹¹⁶ Převzato z [43]

Příloha 15 – Typické rozložení elektrického pole a výbojová aktivita u závěsného a podpěrného izolátoru¹¹⁷

Typické rozložení elektrického pole a výbojová aktivita na dřívku závěsného izolátoru



Typické rozložení elektrického pole a výbojová aktivita na dřívku podpěrného izolátoru



A – omezovač přepětí, silikon, 12 mm/kV B – omezovač přepětí, silikon, 23 mm/kV
 C – dutý izolátor, porcelán, 28 mm/kV D – dutý izolátor, silikon, 23 mm/kV

¹¹⁷ Převzato z [51]

Příloha 16 – Kompozitní izolátor LAPP – Rodurflex CS120CC 22/57(170/130) 3100¹¹⁸

Minimum creepage distance 11430 mm
 Arcing distance ca. 2890 mm

Electrical data
 Lightning impulse withstand volt. 1645 kV
 Power frequency withstand volt. wet 720 kV
 Switching impulse withstand volt. wet 1050 kV

Mechanical data
 Specified mechanical load tension 120.0 kN
 Routine test load tension 80.0 kN

Weight approx.:
 assembled 14.5 kg

Tests acc. to IEC 61109

Remarks:
 tolerances acc. to IEC 61109
 for all val. non-tol.

3 - HTV-silicone-rubber(3 mm)
 1 - Epoxy resin reinforced with ECR-glassfibres, (electrical grade corrosion resistant)

		2	Bolt S 19 x 48 (*sim. DIN 48073)	7	113057	602449	8.8 h.d.g. *(split pin stainless steel)
		2	Clevis fitting GP 16-55.04	6	354226	602639	St. hot dip galv.
		1	Insulation 130/22	5	353756/1	626036	HTV-SIR blue-grey
		1	Insulation 170/22	4	353757/1	626037	HTV-SIR blue-grey
		1	Insulation	3		609800	HTV-SIR blue-grey
		2x	Sealing	2		609850	SIR 612
		1	FRP-rod	1	351415	625000	FRP Ø 16 x 3004 mm

insul. part	part	drwg. no.	part no.	material	remark
(c) x x	x	(f) x x			x
(b) x x	x	(e) x x			x
(a) x x	x	(d) x x			x

modification		date name		modification		date name	
-CAD-FILE	name	10.06.09	WEBER				
95_542_12_91	verif.	01.02.11	ROEHRING				

mat.no.	7.095542.12.91.00	RODURFLEX® CS120CC 22/57(170/130)3100		mat.no.	7.095542.12.91.00
origin no.	x	IEC: x		reg.no./draw.no.	09K9390

This drawing/technical data remains the property of LAPP Insulators GmbH. It must not, even in part, be reproduced or made available to unauthorized persons without the express consent of LAPP Insulators GmbH and may be used only for the agreed purpose

©LAPP Insulators GmbH, 2009

¹¹⁸ Převzato z [24]

Příloha 17 – Kompozitní izolátor LAPP – Rodurflex CS225CC 30/57(178/138) 3130¹¹⁹

Minimum creepage distance	11420 mm
Arcing distance	ca. 2865 mm
Electrical data	
Lightning impulse withstand volt.	1640 kV
Power frequency withstand volt. wet	710 kV
Switching impulse withstand volt. wet	1050 kV
Mechanical data	
Specified mechanical load tension	225.0 kN
Routine test load tension	140.0 kN
Weight approx.:	
assembled	19.9 kg
Tests acc. to	IEC 61109
Remarks:	
tolerances acc. to	IEC 61109
for all val. non-tol.	

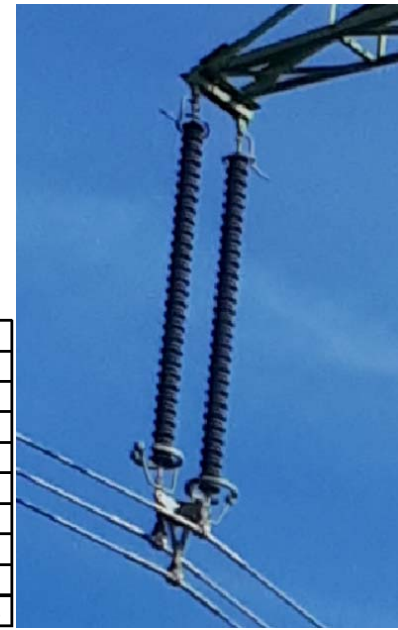
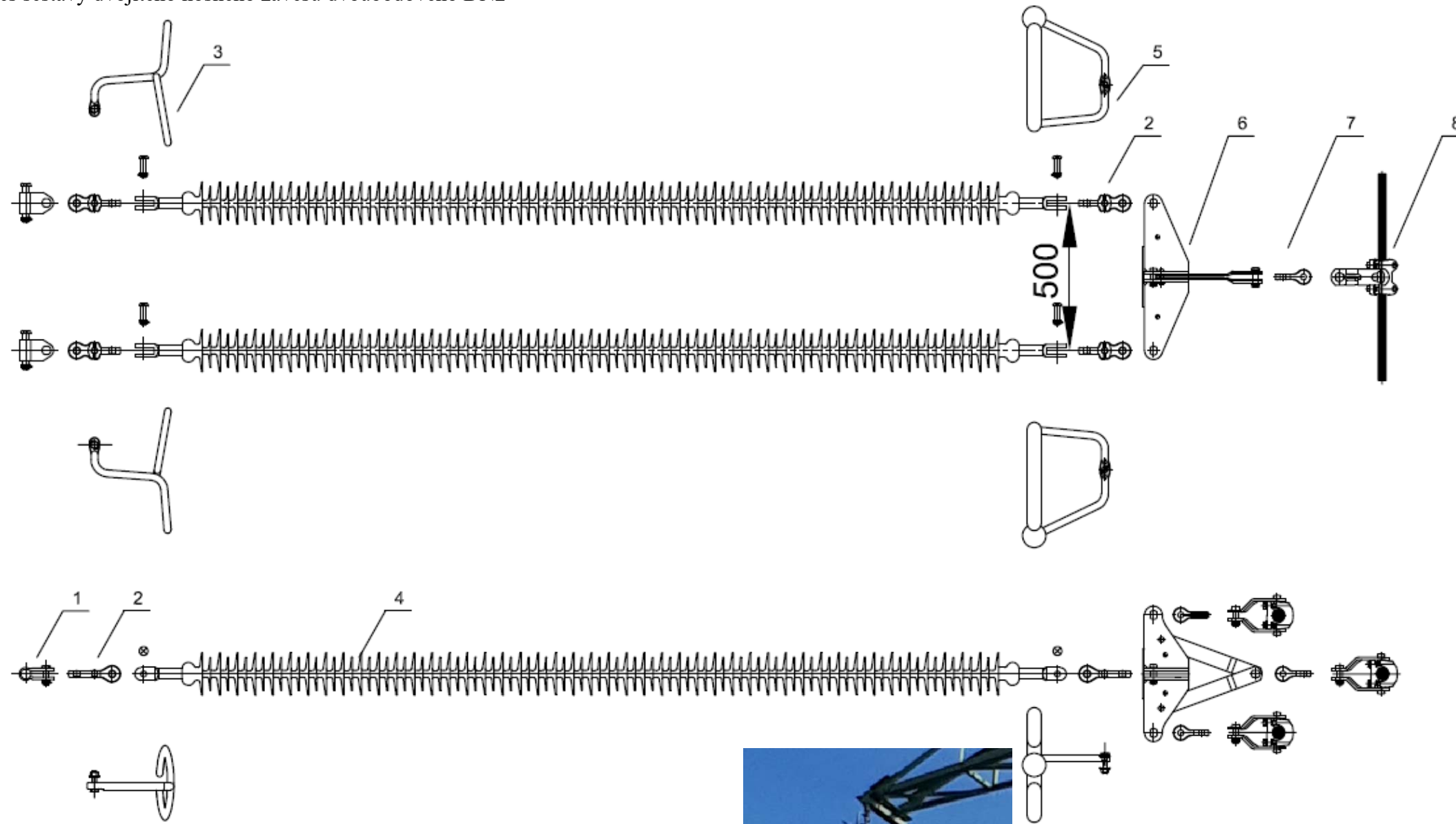
2	Bolt S 22 x 57 (DIN 48073)	7	113042	602456	8.8 hot dip galv.
2	Clevis fitting GP 24-70.01	6	355295	603145	St. hot dip galv.
1	Insulation 138/30	5	353756/1	626032	HTV-SIR blue-grey
1	Insulation 178/30	4	353757/1	626033	HTV-SIR blue-grey
1	Insulation	3		609802	HTV-SIR blue-grey
2x	Sealing	2		609850	SIR 612
1	FRP-rod	1	351415	625002	FRP Ø 23.8 x 3022 mm

		designation	part	drwg. no.	part no.	material	remark
incol. part XXX XXX XXX	(c)	x	x		(f)	x	x
	(b)	x	x		(e)	x	x
	(a)	x	connecting dimensions chang.; drwg. modif.; 01.02.11 We		(d)	x	x
			modification	date name	modification	date name	
	-CAD-FILE	name	10.06.09	WEBER			
	95_544_12_91	verif.	01.02.11	ROEHRING			
	ZB-depot xx.xx.xx	This drawing was issued electronically and is valid without any signature!					
	origin no.	replacement for:	scale:				
mat.no.				RODURFLEX®		mat.no.	
				CS225CC 30/57(178/138)3130		7.095544.12.91.00	
				IEC: x		reg.no./draw.no.	
				LAPP INSULATORS		09K9392	

©LAPP Insulators GmbH, 2009
This drawing/technical data remains the property of LAPP Insulators GmbH. It must not, even in part, be reproduced or made available to unauthorized persons without the express consent of LAPP Insulators GmbH and may be used only for the agreed purpose

¹¹⁹ Převzato z [24]

Příloha 18 – V452 – výkres sestavy dvojitého nosného závěsu dvoubodového DN2¹²⁰



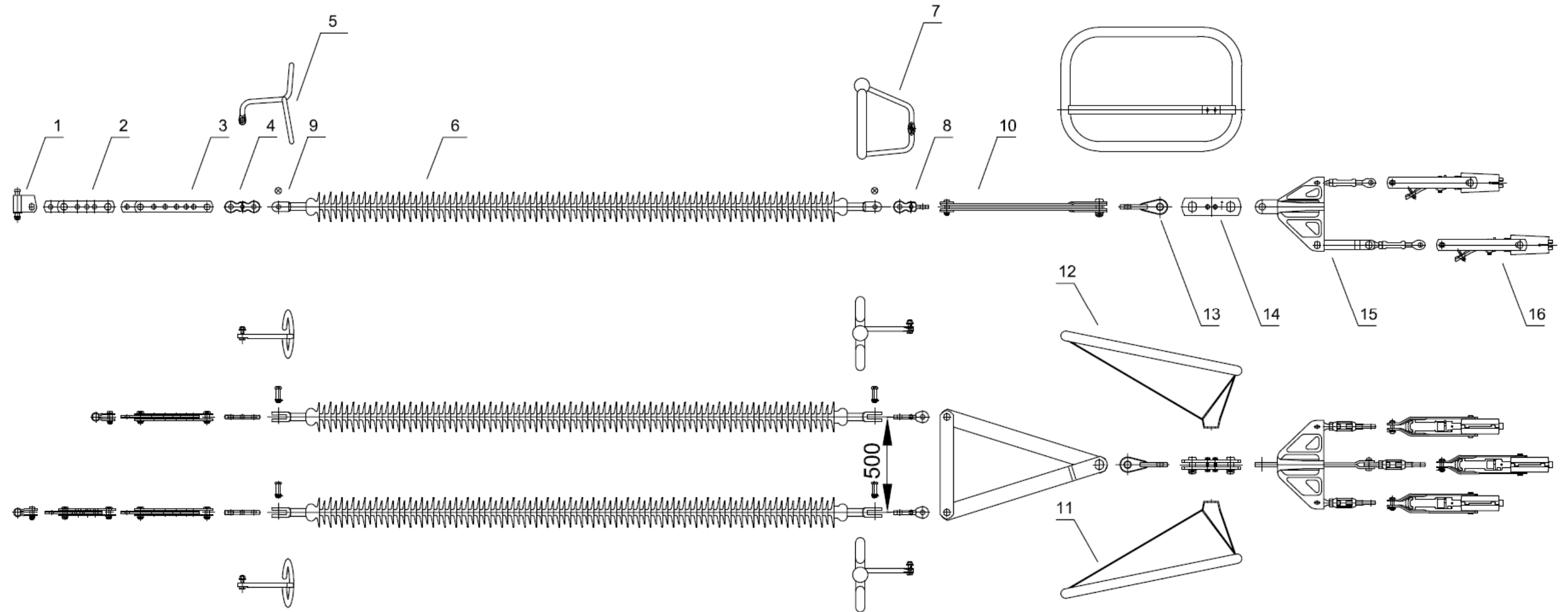
Pozn. *) specifikace ochranných armatur dle typu izolátoru
 Pozn. **) specifikace nosné svorky a ochranné spirály dle typu použitého vodiče (434-AL1/56-ST1A)
 Pozn. ***) jen v případě, že budou izolátory objednány bez svorníků, specifikace svorníku dle typu izolátoru

POZ.	NÁZEV MATERIÁLU	VÝROBCE	ČÍSLO MATER.	HMOT. [kg]	PEVN. [kN]	Izolat. [kA]	DĚLKA [mm]	ks
9	Svorník s maticí (pr. 19x48 mm) ***	ELBA	219304	0,209	-	-	-	4
8	Nosná svorka s ochrannou spirálou **	RIBE	104220KB	4,5	-	-	150	3
7	Dvojitě oko křížové	ELBA	231407	0,54	160	40	70	3
6	Rozpěrka	ELBA	213515.1	15,48	210	40	347	1
5	Ochranná armatura dolní *	ELBA	101509.6	7,1	-	40	-	2
4	Kompozitní tyčový izolátor 400kV	LAPP	CS120CC 22/57(170/130)3100	14,5	120	-	3100	2
3	Ochranná armatura horní *	ELBA	101503.3	3,81	-	40	-	2
2	Dvojitě oko křížové	ELBA	231411.3	0,7	200	30	106	4
1	Závěsný kloub nosný	ELBA	235149.1	1,54	160	43	70	2

Akce:	V452 TR Bezděčín-TR Neznášov Modernizace vedení
Investor:	ČEPS a.s. Elektrárenská 774/2 10152, Praha 10
Název dokumentace:	Dvojitý nosný závěs dvoubodový DN2

¹²⁰ Převzato z výkresu č.151 realizační dokumentace akce V452 – modernizace vedení, 01/2012, archiv ČEPS, a.s. Fotografie DN2 závěsu na p.b.295 vedení V452 z archivu autora – 23.11.2017. POZ.4 – viz Příloha 16.

Příloha 19 – V452 – výkres sestavy dvojitého kotevního závěsu dvoubodového DK2¹²¹



Pozn. *) viz. tabulka nastavení vidlic v závislosti na úhlu lomu trasy
 Pozn. **) specifikace ochranných armatur dle typu izolátoru
 Pozn. ***) Jen v případě, že budou izolátory objednány bez svorníků, specifikace svorníku dle typu izolátoru
 Pozn. ****) specifikace kotevní svorky dle typu použitého vodiče (434-AL1/56-ST1A)
 Pozn. *****) na st.č. 245 směrem k TR NEZ bude použita kotevní svorka lisovaná (175842.1)
 Pozn. *****) na st.č. 1,2 použít závěsný kloub 235112.1

16	Kotevní svorka klínová ****	ELBA	157506	8,15	140	—	410	3
15	Rozpěrka	ELBA	245460	30,58	400	40	830–1010	1
14	Dvojitá vidlice	ELBA	241523	6,48	400	80	200	1
13	Dvojité oko křížové	ELBA	241511	2,35	400	50	170	1
12	Ochranná armatura stínící	ELBA	102316	8,5	—	16	800	1
11	Ochranná armatura stínící	ELBA	102317	8,5	—	16	800	1
10	Rozpěrka	ELBA	248500	24	400	40	800	1
9	Svorník s maticí (pr. 22x58 mm) ***	ELBA	219406	0,29	—	—	—	4
8	Dvojité oko křížové	ELBA	231513	1,1	280	35	120	2
7	Ochranná armatura dolní **	ELBA	101509	7,9	—	40	—	2
6	Kompozitní tyčový izolátor 400kV	LAPP	CS225CC 30/57(178/138)3130	19,8	225	—	3130	2
5	Ochranná armatura horní **	ELBA	101503.1	3,85	—	40	—	2
4	Dvojité oko přímé	ELBA	231512	1,1	280	40	120	2
3	Vidlice s okem nastavitelná	ELBA	241570.1	5,69	210	40	420–700	2*
2	Vidlice s okem nastavitelná	ELBA	241546.1	4,56	210	40	300–460	1*
1	Závěsný kloub kotevní*****	ELBA	235166	2,27	210	40	75	2
POZ.	NÁZEV MATERIÁLU	VÝROBCE	ČÍSLO MATER.	HMOT. [kg]	PEVN. [kN]	Iskrat [kA]	DÉLKA [mm]	ks

Akce:	V452 TR Bezděčín-TR Neznášov Modernizace vedení
Investor:	ČEPS a.s. Elektrárenská 774/2 10152, Praha 10
Název dokumentace:	Dvojitý kotevní závěs dvoubodový DK2

¹²¹ Převzato z výkresu č.150 realizační dokumentace akce V452 – modernizace vedení, 01/2012, archiv ČEPS, a.s. Fotografie DK2 závěsu na p.b.291 vedení V452 z archivu autora – 23.11.2017. POZ.6 – viz Příloha 17.