



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

## ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

## KONTROLA VENKOVNÍHO VEDENÍ 22 KV PO PŘESUNU PODPĚRNÝCH BODŮ

DESIGN OF OVERHEAD LINE 22 KV WITH NEW SUPPORTING STRUCTURE POINTS

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

**Patrik Ślusarczyk**

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

**Ing. Michal Ptáček, Ph.D.**

**BRNO 2024**

# Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika**

Ústav elektroenergetiky

**Student:** Patrik Ślusarczyk

**ID:** 240802

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2023/24

## NÁZEV TÉMATU:

**Kontrola venkovního vedení 22 kV po přesunu podpěrných bodů**

## POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Mechanika venkovního vedení
2. Vliv změny teploty a přetížení na mechanické napětí ve vodiči
3. Zhodnocení stávajícího stavu vedení vzhledem k plánované rekonstrukci
4. Návrh a kontrola vedení po rekonstrukci

## DOPORUČENÁ LITERATURA:

doporučená literatura podle pokynů vedoucího závěrečné práce a konzultanta (Ing. Petr Šerý) externí firmy Enelogy s. r. o. poskytující vstupní data

**Termín zadání:** 05.02.2024

**Termín odevzdání:** 28.05.2024

**Vedoucí práce:** Ing. Michal Ptáček, Ph.D

**prof. Ing. Petr Toman, Ph.D.**  
předseda rady studijního programu

## UPOZORNĚNÍ:

Autor semestrální práce nesmí při vytváření semestrální práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

## **Abstrakt**

Práce se zabývá analýzou stávajícího úseku venkovního vedení 22 kV a následným návrhem nových podpěrných bodů, splňujících požadavky provozovatele i obecně platných norem. Zmíněný úsek se nachází v areálu transformátorové stanice Větrní, provozované společností EG.D a.s. Obsah je tímto zaměřen na komponenty vedení, které jsou využívány v zájmové oblasti právě této společnosti. Teoretická část pojednává o charakteristice dílčích prvků distribučních soustav a následně i o mechanických vlastnostech, při působení vnějších vlivů, které mají zásadní podíl na mechanickém namáhání všech zmíněných částí venkovních vedení. Je představen matematický aparát, který je následně pomocí výpočetního programu Spider-EN aplikován při návrhu a kontrole daného úseku. Praktická část práce se zabývá kritickým zhodnocením a kontrolními výpočty stávajícího stavu vedení, vůči plánované rekonstrukci. Následně je stěžejní část zaměřena na návrh nových podpěrných bodů. Tento krok je realizován formou výkresové dokumentace a kontrolních výpočtů nově navržených stavů, doplněných o montážní tabulky. Společně s těmito kroky je práce rozšířena o potřebnou dokumentaci k uzemnění podpěrných bodů, materiálovou specifikaci veškerých částí a samotnou základní projektovou dokumentaci, což může sloužit jako podpůrný materiál při rekonstrukcích čelícím podobné problematice.

## **Klíčová slova**

venkovní vedení 22 kV; podpěrný bod; vodiče venkovních vedení; mechanika venkovních vedení; rekonstrukce venkovních vedení

## **Abstract**

This bachelor's thesis deals with the analysis of the existing section of the 22 kV overhead line and the subsequent design of new support structure points, meeting the requirements of the operator and generally applicable standards. This section is located on premises of the Větrní transformer substation, which is operated by distribution company EG.D. The content of this work is focused mainly on components, that are used in the area of interest of this particular company. The theoretical part discusses the characteristics of sub-elements of distribution systems and subsequently the mechanical properties under the action of external influences, which have a fundamental role in the behavior of the entire system. A mathematical apparatus is introduced, which is then applied during the design and inspection of the given section. The practical part first deals with the critical evaluation and control calculations of the current state of the line, in relation to the planned reconstruction. Subsequently, the core part of the work is focused on the proposal for the reconstruction of the section of interest, including the relocation of overhead line towers. This step is implemented in the form of drawing documentation and control calculations of the newly designed states, supplemented by assembly tables. Together with these steps, the work is extended by the necessary documentation for grounding the support points, the material specification of all parts and the basic project documentation itself, which can serve as supporting material during reconstructions facing a similar problem.

## **Keywords**

22 kV overhead line; utility pole; conductors of overhead lines; mechanics of overhead lines; reconstruction of overhead lines

## **Bibliografická citace**

ŚLUSARCZYK, Patrik. *Kontrola venkovního vedení 22 kV po přesunu podpěrných bodů* [online]. Brno, 2024 [cit. 2024-05-28]. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/159560>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektroenergetiky. Vedoucí práce Michal Ptáček.

# Prohlášení autora o původnosti díla

**Jméno a příjmení studenta:** *Patrik Ślusarczyk*

**VUT ID studenta:** *240802*

**Typ práce:** *Bakalářská práce*

**Akademický rok:** *2023/24*

**Téma závěrečné práce:** *Kontrola venkovního vedení 22 kV po přesunu podpěrných bodů.*

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne 28. května 2024

-----  
podpis autora

## Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Michalu Ptáčkovi, PhD. za ochotu, účinnou metodickou, pedagogickou odbornou pomoc a další obecně cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

Dále bych chtěl poděkovat svému konzultantovi panu Ing. Petru Šerému, jenž mi byl odbornou podporou při tvorbě této práce.

V Brně dne 28. května 2024

-----  
podpis autora

# Obsah

<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>8</b>
<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>9</b>
<b>ÚVOD .....</b>	<b>10</b>
<b>1. PŘEDSTAVENÍ ZÁJMOVÉ ENERGETICKÉ STAVBY.....</b>	<b>11</b>
<b>2. PODPĚRNÉ BODY VENKOVNÍCH VEDENÍ .....</b>	<b>16</b>
2.1 ROZDĚLENÍ PB .....	16
2.1.1 Rozdělení podle účelu .....	16
2.1.2 Rozdělení podle materiálu a konstrukce .....	17
2.2 OCELOVÉ PŘÍHRADOVÉ STOŽÁRY PRO VEDENÍ DO 45 KV .....	17
2.2.1 Dřík.....	19
2.2.2 Konzole .....	19
2.2.3 Izolátory.....	20
2.2.4 Armatury .....	22
2.2.5 Kabelový svod.....	23
2.2.6 Uzemnění .....	24
2.2.7 Ochranné prvky.....	25
2.2.8 Zábrany proti dosedání ptactva .....	26
2.2.9 Základy.....	28
<b>3. VODIČE VENKOVNÍCH VEDENÍ.....</b>	<b>30</b>
3.1 OBECNÉ ROZDĚLENÍ .....	30
3.2 MATERIÁLY PRO VÝROBU.....	31
3.3 TYPY VODIČŮ VN.....	32
3.3.1 Holé.....	33
3.3.2 Jednoduché izolované (JIV) .....	33
3.3.3 Slaněné závěsné kabely.....	34
<b>4. KLIMATICKÉ POMĚRY OVLIVŇUJÍCÍ MECHANIKU VENKOVNÍCH VEDENÍ.....</b>	<b>35</b>
4.1 CHARAKTERISTICKÁ ZATÍŽENÍ PŮSOBÍCÍ NA VENKOVNÍ VEDENÍ.....	35
4.1.1 Zatěžovací stavy.....	36
4.2 DIMENZOVÁNÍ VODIČŮ S OHLEDEM NA POVĚTRNOSTNÍ VLIVY .....	36
4.3 TEPLOTA.....	37
4.4 VÍTR .....	38
4.5 NÁMRAZA .....	41
4.5.1 Metody pro odstranění námrazy z vedení .....	41
4.5.2 Výpočet návrhového zatížení námrazou .....	42
4.6 KOMBINOVANÉ ZATÍŽENÍ VĚTREM A NÁMRAZOU .....	43
<b>5. MECHANIKA VENKOVNÍCH VEDENÍ.....</b>	<b>45</b>
5.1 KŘIVKA ZAVĚŠENÉHO VODIČE.....	45
5.2 NESOUMĚRNÝ ZÁVĚS .....	46



5.2.1	<i>Mechanický výpočet nesouměrně zavěšeného vodiče</i> .....	48
5.3	STAVOVÁ ROVNICE ZAVĚŠENÉHO VODIČE .....	50
5.3.1	<i>Kritické rozpětí</i> .....	51
5.3.2	<i>Kritická teplota</i> .....	52
<b>6.</b>	<b>VÝPOČETNÍ PROGRAM SPIDER-EN</b> .....	<b>54</b>
6.1.1	<i>Vlastnosti</i> .....	54
6.1.2	<i>Tvorba dokumentace a kontrolních protokolů</i> .....	55
<b>7.</b>	<b>TR VĚTRNÍ – REALIZACE REKONSTRUKCE</b> .....	<b>59</b>
7.1	ZATÍŽENÍ PODPĚRNÝCH BODŮ – AKTUÁLNÍ STAV .....	61
7.2	ZATÍŽENÍ PODPĚRNÝCH BODŮ – NOVĚ NAVRŽENÝ STAV.....	64
7.3	MONTÁŽNÍ TABULKY PRO NOVĚ NAVRŽENÁ ROZPĚTÍ.....	65
7.4	UZEMŇOVACÍ SOUSTAVA NOVÝCH PŘÍHRADOVÝCH STOŽÁRŮ.....	66
	<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>71</b>
	<b>LITERATURA</b> .....	<b>74</b>
	<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>77</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH</b> .....	<b>80</b>

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1.1	– Areál transformátorové stanice Větrní [vlastní zpracování] .....	12
Obrázek 1.2	- Situační schéma areálu TR Větrní – aktuální stav [vlastní zpracování] .....	13
Obrázek 1.3	- Situační schéma areálu TR Větrní – nově navržený stav [vlastní zpracování] .....	14
Obrázek 2.1	- Části příhradového stožáru [vlastní zpracování] .....	18
Obrázek 2.2	– Nákras dříku stožáru, pootočený o 90° doprava [vlastní zpracování] .....	19
Obrázek 2.3	– Nákras neosazené konzoly A1-8-70-R [vlastní zpracování] .....	20
Obrázek 2.4	– Nákras a) kompozitního izolátoru, b) keramického izolátoru [zpracováno dle [9]] .....	22
Obrázek 2.5	– Svorka kotevní, segmentovaná pro JIV [11] .....	23
Obrázek 2.6	– 1) kloub závěsný – oko; 2) izolátor kompozitní závěsný; 3) svorka kotevní třmenová [9] .....	23
Obrázek 2.7	– Měření rezistivity půdy Wennerovou metodou [15].....	24
Obrázek 2.8	– Závislost činitele K na ročním období [upraveno dle [15]] .....	25
Obrázek 2.9	- Detail bezpečnostní tabulky a jejího uchycení [8] .....	26
Obrázek 2.10	– Ochranné prvky proti dosedání ptactva, svod na PS [20] .....	27
Obrázek 2.11	- Jednostupňový základ pro příhradové stožáry [21].....	29
Obrázek 3.1	- Typická konstrukční uspořádání drátů lan AlFe [25].....	33
Obrázek 4.1	- Síly větru na vodiče – obecný případ [4] .....	40
Obrázek 4.2	- Námraza na vodiči při současném působení vyhřívacího proudu [3].....	41
Obrázek 5.1	- Nesouměrně zavěšený vodič [27] .....	46
Obrázek 5.2	- Popis šikmého pole k určení vertikálních sil [7] .....	49
Obrázek 5.3	- Závislost mechanického napětí na délce rozpětí [7].....	52
Obrázek 6.1	– Výchozí rozhraní programu Spider-EN [vlastní zpracování] .....	55
Obrázek 6.2	– Přiřazení parametrů podpěrného bodu [vlastní zpracování] .....	56

Obrázek 6.3 – Přiřazení parametrů úseku vedení [vlastní zpracování] .....	56
Obrázek 6.4 – Parametry pro výpočet montážních tabulek [vlastní zpracování] .....	57
Obrázek 7.1 – Námrazová oblast transformátorové stanice Větrní [vlastní zpracování] .....	60
Obrázek 7.2 – Aktuálně umístěný příhradový stožár linky Kaplice a Přídolí [vlastní zpracování] .....	61
Obrázek 7.3 – Nákres uzemňovací soustavy [vlastní zpracování] .....	66
Obrázek 7.4 – Rozhraní výpočetního programu pro návrh uzemnění [vlastní zpracování] .....	69
Obrázek 7.5 – Výpočet odporu uzemnění pomocí programu [vlastní zpracování] .....	69

## SEZNAM TABULEK

Tabulka 1.1 - TR Větrní – rozdělení vývodů na PS 22 kV [vlastní zpracování dle [1]] .....	12
Tabulka 2.1 – Technické normy využité v [8] .....	18
Tabulka 2.2 - Typové konstrukce příhradových stožárů [8] .....	19
Tabulka 2.3 - Únosnost konzol stožárů z hlediska svislé a vodorovné síly [8].....	20
Tabulka 4.1 - Základní rychlosti větru [4] .....	38
Tabulka 4.2 - Parametr drsnosti $z_0$ a součinitel terénu $k_T$ pro kategorie terénu [4] .....	39
Tabulka 4.3 - Referenční zatížení extrémní námrazou s dobou návratu $T = 50$ let [4] .....	42
Tabulka 7.1 – Výchozí parametry pro kontrolu a návrh [vlastní zpracování].....	59
Tabulka 7.2 – Parametry vodičů, aktuální stav linky Kaplice a Přídolí [vlastní zpracování] .....	61
Tabulka 7.3 – Kontrola vodičů, aktuální stav linky Kaplice a Přídolí [vlastní zpracování] .....	62
Tabulka 7.4 – Kontrola stožáru, aktuální stav linky Kaplice a Přídolí [vlastní zpracování] .....	62
Tabulka 7.5 – Kontrola konzol a izolátorů, aktuální stav linky Kaplice a Přídolí [vlastní zpracování].....	63
Tabulka 7.6 – Kontrola vodičů, nově navržený stav linky Kaplice [vlastní zpracování].....	64
Tabulka 7.7 - Kontrola stožáru, nově navržený stav linky Kaplice [vlastní zpracování].....	65

# ÚVOD

Elektrická energie je pro lidstvo velice důležitá, jelikož se jedná o klíčový prvek napomáhající postupnému rozvoji. Je využívána ke každodennímu životu a nachází své uplatnění v každém odvětví lidského působení. Svět se nachází ve 21. století, kde je drtivá většina moderních technologií využívajících elektrickou energii teprve na samém počátku vývoje. Bude-li pojednáno o distribuci této energie, formou vysokonapětových (dále jen VN) venkovních vedení na podpěrných bodech (dále jen PB), historie je již téměř jedno století dlouhá. Ačkoliv tento způsob distribuce prošel řadou změn, začaly být kladeny vyšší bezpečnosti a provozní požadavky s nástupem moderních technologií, základní princip zůstává naprosto stejný. Klíčovou vlastností všech venkovních vedení je schopnost spolehlivé dodávky elektrické energie a provozní bezpečnost. Jednotlivé komponenty vedení jsou charakteristické svými vlastnostmi, podléhajícími vnějším vlivům, které mají za následek snížení pevnosti či kvality vykonávaného účelu.

V kontextu výše uvedeného, je cílem bakalářské práce (dále také jako práce) demonstrovat technické řešení návrhu venkovního vedení, jakožto síťového prvku, který je nezbytnou a neoddělitelnou součástí distribuční sítě. Konkrétně se pak práce zabývá analýzou stávajícího a návrhem nového úseku venkovního vedení 22 kV, u kterého dojde k rekonstrukci PB. Tento krok je učiněn z důvodu již zmíněné snížené mechanické pevnosti, změně způsobu uchycení a celkové modernizaci. Důležitost je kladena na specifika a provozní standardy českého provozovatele distribuční sítě, společnosti EG.D a.s. (dále jen EG.D), jelikož se zájmový úsek vedení nachází v oblasti pokrývaném toutle společností, konkrétně v areálu transformátorové stanice Větrní (dále jako TR Větrní nebo stanice). Návrh venkovních vedení je doprovázen mnoha normativními požadavky, zajišťujícími jak plynulost chodu všech soustav, tak jejich bezpečnost a efektivitu provedení. Pro úplnost technického řešení je předmětem práce taktéž rešerše teoretických informací, požadavků a nároků spjatých s návrhem vedení, proto je do jisté míry práce zaměřená také na představení dílčích komponent venkovních vedení, jejich charakteristiku a dělení, respektující požadavky kladené jednotlivými normami. Současně jsou také rozebrány klimatické vlivy působící na soustavy venkovních vedení a jejich následné mechanické chování, tak aby bylo možné detailně přihlídnout ke všem kritickým situacím, které mohou nastat a zároveň ohrozit celkovou provozuschopnost a bezpečnost vedení. Samotný představený matematický aparát a veškeré teoretické poznatky jsou cíleně uplatněny v části praktické, zahrnující výše uvedené kritické zhodnocení stávajícího stavu vedení v areálu TR Větrní a následný návrh nového úseku s přihlídnutím na veškeré požadavky provozovatele distribuční sítě EG.D.

# 1. PŘEDSTAVENÍ ZÁJMOVÉ ENERGETICKÉ STAVBY

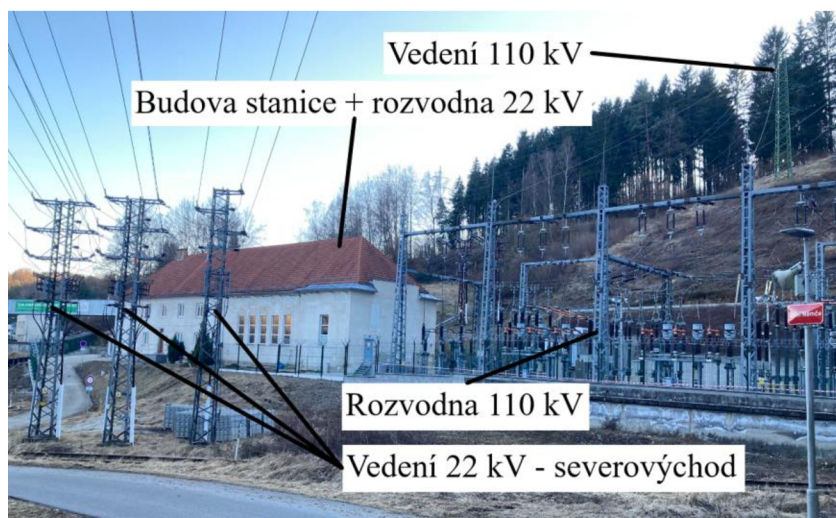
Tato kapitola je zaměřena na představení zájmové energetické stavby, která je předmětem samotného technického návrhu. Konkrétně je uvedena základní charakteristika areálu TR Větrní, a to s cílem konkretizovat plánované změny, dle pokynů provozovatele EG.D, respektive je nastíněn rámcový postup a forma jejich technického vypořádání. Veškeré zmíněné informace, související s představením energetické stavby, potažmo i plánovaných změn, jsou čerpány z dokumentu o zadání stavby [1], který byl poskytnut jako podpůrný materiál společností Enelogy s.r.o., jenž je současně i zadavatelem této bakalářské práce.

TR Větrní je součástí rozvodu elektrické energie elektrizační soustavy EG.D, nacházející se jihozápadně od Českého Krumlova. Do stanice je přiváděno napájení 110 kV dvěma vedeními (V1367 z vodní elektrárny Lipno a V1373 z papíren Větrní), které je dále napojeno na okružní vedení, přes které by byla buzena a fázována jaderná elektrárna Temelín v případě blackoutu<sup>1</sup>. Část stanice, do které je přiváděno napětí 110 kV je venkovního provedení, vybavena dvěma transformátory 110/22 kV se jmenovitými výkony 25 MVA. Dále je stanice vybavena dvěma zhášecími tlumivkami s plynulou regulací, jmenovitým napětím 13,3 kV a výkony 4000 kVAr, které jsou připojeny k uzlu transformátoru na hladině 22 kV. Dle [2] jsou tlumivky využity v kompenzovaných sítích, které mají nulový bod transformátoru spojený se zemnicí soustavou právě přes tyto regulovatelné zhášecí tlumivky. Hlavním úkolem tlumivek je poté kompenzovat velikost kapacitního proudu oblastí místem zemního spojení na velikost zbytkového proudu mnohem nižší úrovně (tzv. reziduálního proudu). Detailně je problematice distribučních sítí vysokého napětí a podrobné charakteristice zmíněných prvků věnována literatura [2], konkrétně ve 3. kapitole. Každoročně nastavované parametry těchto tlumivek budou využity při návrhu v podkapitole 7.4. Pod stanovišti obou transformátorů a tlumivek jsou v areálu vybudovány jímky na olej. U tlumivek jsou tyto jímky navíc vybaveny samo zhášecími rošty. Oplachová voda z transformátorů a tlumivek je přes čistírnu zaolejovaných vod GSO (gravitační sorpční odlučovač) odváděna do vodoteče pod samotnou stanicí. Na Obrázek 1.1 byl ilustrován jeden z pohledů na celý areál zájmové stanice. Na sekundární straně transformátorů je připojena druhá část stanice, konkrétně napěťové hladiny 22 kV, pomocí které je zajištěna dodávka elektrické energie pro oblast Větrní a přilehlého okolí. Jak je z Obrázek 1.1 patrné, rozvodná část 22 kV je vnitřního provedení, jelikož je umístěna v budově stanice. Vnitřní provedení je podélně děleno spínačem přípojnic na dvě části bez vývodových

---

<sup>1</sup> Blackout je rozsáhlý výpadek dodávky elektrické energie na velkém území po dobu několika desítek hodin nebo i dnů, kterým je postiženo velké množství obyvatel. [32]

odpojovačů. Vedení je ze stanice lokálně rozváděno ze dvou míst, severovýchodně (dále také SV) a jihozápadně (dále také JZ) od budovy.



Obrázek 1.1 – Areál transformátorové stanice Větrní [vlastní zpracování]

Na SV je vývod realizován pomocí tří kabelosvodných příhradových stožárů (dále také jako PS), které byly vybudovány v roce 2000 a jsou viditelné v levé části Obrázek 1.1. Na JZ jsou poté umístěny dva PS z roku 1977. Rozdělení linek na konkrétní stožáry shrnuje Tabulka 1.1.

Tabulka 1.1 - TR Větrní – rozdělení vývodů na PS 22 kV [vlastní zpracování dle [1]]

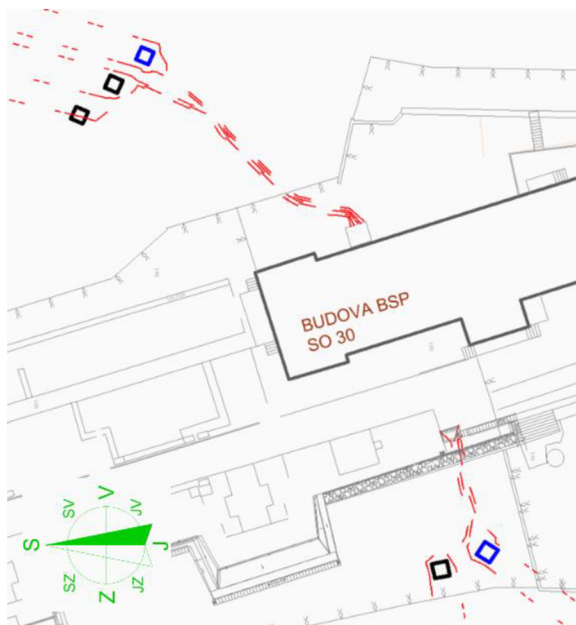
<b>SV</b>	<b>PS1</b>	linka Krumlov
	<b>PS2</b>	linka nádraží
		linka Spolí
<b>PS3</b>	linka Kaplice	
	linka Přidolí	
<b>JZ</b>	<b>PS4</b>	linka Olšina
		linka Planá
	<b>PS5</b>	linka Rožmitál
		linka Světlík

V současné době areál podléhá rozsáhlé rekonstrukci všech elektroenergetických i stavebních částí, jelikož jsou konkrétní prvky na hranici životnosti. Obecně je plánována kompletní demolice venkovní části 110 kV, která bude nahrazena částí novou, vybavenou čtyřmi novými moduly HIS. Tyto moduly kombinují technologie vzduchem izolované a plynem izolované. Dále bude nově v části 110 kV zajištěno podélné dělení pomocí

horizontálních odpojovačů. Jeden ze dvou zmíněných transformátorů bude vyřazen a nahrazen novým transformátorem 110/22 kV o výkonu 40 MVA. Tento krok bude učiněn pro možnost zajištění rezervního výkonu pro budoucí potenciálně nové odběratele. Tomuto kroku bude přizpůsobena i sekundární část 22 kV, ve které dojde k rozšíření o dvě nová pole vývodu.

**Práce je ale zaměřena pouze na určitou část rekonstrukce, konkrétně modernizaci PB stanovených linek 22 kV. Pro účely této bakalářské práce byl tímto pro kontrolu a následný návrh vybrán dle Tabulka 1.1 jeden PB ze severovýchodní (PS3 linky Kaplice a Přídolí) a druhý z jihozápadní strany (PS4 linky Olšina a Planá).**

Pro lepší představu byl na Obrázek 1.2 celý areál zaznamenán v situačním nákresu zachycujícím budovu stanice a všechny vývody zmíněných linek 22 kV.



Obrázek 1.2 - Situační schéma areálu TR Větrní – aktuální stav [vlastní zpracování]

Zvýrazněnými čtverci v Obrázek 1.2 jsou ilustrovány všechny stožáry, které jsou aktuálně v areálu umístěny a modře jsou označeny již zmíněné prvky pro účely této práce. Všechny PS jsou aktuálně ukotveny do fasády budovy pomocí kotevních lan. Podléhají výraznému opotřebení vlivem klimatu a délky působení v dané lokalitě. U stožárů jihozápadní strany je míra opotřebení vlivem stáří výrazně vyšší, jelikož se jedná o konstrukce vybudované před více jak 47 lety. S uvažováním těchto aspektů, byly stanoveny postupy a kroky, které budou učiněny při rekonstrukci celého areálu.

Mají-li být blíže představeny plánované změny realizované na napěťové hladině 22 kV, tak dle požadavků společnosti EG.D dojde u všech PS k odstranění kotevních lan

z fasády budovy. Modernizovány budou obecně všechny PS v areálu TR Větrní, opět ale bude zacíleno pouze na vybrané prvky pro účely této práce. Konkrétní základní požadované změny jsou následující:

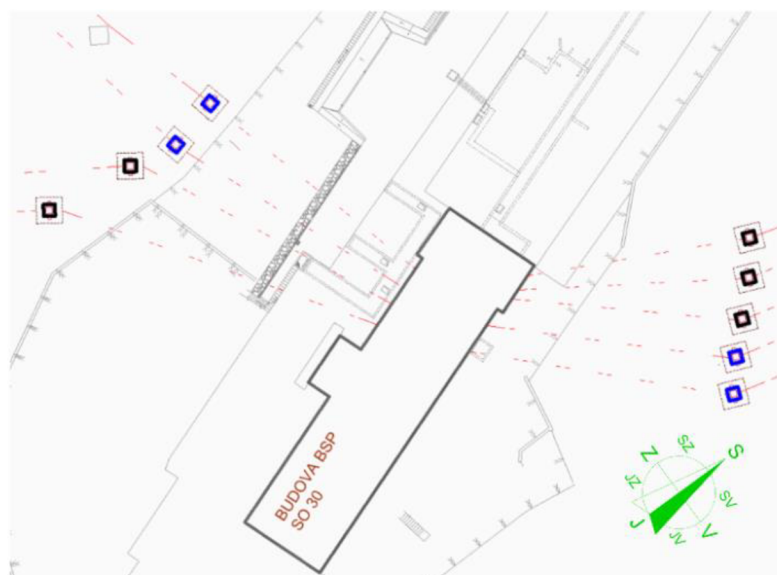
#### **Linka Olšina a Planá**

Stávající PS bude nahrazen dvěma novými pro každou linku zvlášť, které budou zároveň sloužit jako koncové. Tento krok je učiněn, jelikož se předpokládá, že po odpojení kotevních lan z fasády budovy, stožár nebude vyhovující z hlediska vrcholového zatížení. Nové PS budou umístěny za hranici areálu stanice a budou osazeny odpínatelnými kabelosvody s omezovači přepětí a odpovídajícím uzemnění. Z důvodu posunu PS za hranici areálu, dojde k natažení nových rozpětí mezi stožáry vodiči AIFe6 120 (linka Olšina) a AIFe6 70 (linka Planá).

#### **Linka Kaplice a Přídolí**

Stávající PS bude nahrazen dvěma novými pro každou linku zvlášť, které budou zároveň sloužit jako koncové. Tento krok je učiněn, jelikož se předpokládá, že po odpojení kotevních lan z fasády budovy, stožár nebude vyhovující z hlediska vrcholového zatížení. Nové PS budou umístěny na stejném místě a budou osazeny odpínatelnými kabelosvody s omezovači přepětí a odpovídajícím uzemnění. Jelikož budou vybudovány nové stožáry v místě působení starého PS, dojde k natažení nových rozpětí vodiči SAX 120.

Obdobně jako pro aktuální rozložení na Obrázek 1.2, byl celý areál s nově navrženým stavem zaznamenán na Obrázek 1.3.



Obrázek 1.3 - Situační schéma areálu TR Větrní – nově navržený stav [vlastní zpracování]

Existuje-li požadavek na rekonstrukci stanoveného úseku venkovního vedení 22 kV, je potřebná dokonalá znalost všech fyzických částí, ze kterých jsou tyto prvky složeny. Z tohoto důvodu jsou následující kapitoly 2 a 3 zaměřeny postupně na PB venkovních vedení, jejich vybavení a vodiče, kterými v praxi jednotlivé linky disponují. Charakteristiky jsou cíleně zaměřeny na prvky využívané společnostmi EG.D.

Klíčovým krokem bude odpojení kotevních lan z fasády budovy, čímž dojde k rozdílnému mechanickému namáhání jednotlivých stožárů. Z tohoto důvodu jsou v práci zařazeny kapitoly 4 a 5, napomáhající hlubšímu pochopení mechanicky venkovních vedení a všech povětrnostních vlivů, které mají zásadní podíl na výsledném zatížení celé soustavy. Celkové namáhání od betonových základů, až po nejvýše umístěné vybavení stožárů je podepřeno řadou normativních požadavků a kritérií, které musí být obecně při všech procesech návrhu a ověřování splněny. V kapitolách 4 a 5 bude obsažena pouze charakteristika potřebných postupů a výpočtů pro popisnou komplexnost. Těmito požadavky norem a definovanými kontrolními výpočty bude následně v praktické části pomocí výpočetního programu Spider-EN, jehož charakteristika bude obsažena v kapitole 6, postupováno při procesech ověření a návrhu současných i nových PB. Zmíněný program je charakterizován implementací pravidelně aktualizovaných matematických aparátů a postupů, které budou tímto kompatibilní s obsahem kapitol 4 a 5.

Tato bakalářská práce je tedy zaměřena pouze na obecnou charakteristiku všech fyzických částí venkovních vedení a požadavků norem, které jsou spojeny s procesy návrhu a tvorby projektové dokumentace. Veškeré zmíněné sekce budou ve výsledku použity při vypracování příslušných částí projektové dokumentace dané rekonstrukce.



## 2. PODPĚRNÉ BODY VENKOVNÍCH VEDENÍ

Jedním z hlavních aspektů technického návrhu této práce je i řešení PB v areálu TR Větrní. Z tohoto důvodu je více než odpovídající tuto problematiku představit teoreticky, aby tyto poznatky, respektive vybrané poznatky mohly být adekvátně zohledněny při samotné realizaci návrhu. Podpěrné body jsou důležitou součástí venkovních vedení. Jedná se o konstrukční části ve formě stožárů „nesoucích“ vodiče pomocí izolátorových závěsů a dalších podpůrných částí, které budou popsány v dalších podkapitolách. Existuje mnoho odlišných typů stožárů v závislosti na jejich konkrétním využití v dané oblasti. Tvary a rozměry stožárů jsou závislé na přenášené napěťové hladině, druhu a počtu fázových vodičů, ale také na profilu terénu, únosnosti půdy a materiálech použitých při výrobě. Stožáry neplní pouze nosnou a kotevní, ale také daleko důležitější funkci bezpečnostní. Je tedy nutné navrhnout výšku PB v závislosti na maximálním průhybu vodiče při všech možných povětrnostních stavech, viz kapitola 4. [3]

Všechny dovolené vzdálenosti vodičů od země a také vzdálenosti mezi jednotlivými vodiči jsou udávány v [4].

### 2.1 Rozdělení PB

Jak již bylo zmíněno, pro konkrétní případy umístění a za účelem přizpůsobení okolním vlivům, existuje mnoho druhů stožárů. Primární dvě kategorie zahrnují stožáry rozdělené na základě jejich účelu a využití:

#### 2.1.1 Rozdělení podle účelu

Nejčastější dělení dle účelu využití je dle [4] následující:

**Nosný PB (N)** – vybaven izolátory svěšenými kolmo k zemi, na které jsou upevněny vodiče. Zajišťují pouze nosnou funkci vodičů s armaturami a přídatným povětrnostním zatížením.

**Výztužný PB (V)** – vybaven kotevním izolátorovým závěsem, bránícím šíření lavinového efektu mechanické poruchy. Tento typ stožárů musí být každých 3-5 km po trase vedení.

**Rohový PB (R)** – vybaven stejně jako N. Na tomto stožáru ale dochází ke zlomu trasy vedení, a proto je navíc ovlivňován výslednicí tahů vodičů.

**Koncový PB (Ko)** – vybaven kotevními závěsy s výztužnou funkcí. Zatížen pouze tíhou vodičů z jedné strany.

**Odbočný PB (O)** – sloužící k rozbočení vedení alespoň do 3 různých směrů.

V praxi se lze setkat se souběžným vedením dvou odlišných linek, provedeným na jeden PB. Dochází tedy k úspoře materiálu, jelikož je možné dvě linky vedení umístit na

jeden stožár, ale za cenu zvýšeného namáhání samotného PB. Jelikož jsou stožáry tohoto typu momentálně využívány v areálu TR Větrní, budou detailněji popsány v podkapitole 7.1, kde dojde ke kritickému vyhodnocení efektivity tohoto typu stožáru a kontrole maximálního dovoleného zatížení.

### **2.1.2 Rozdělení podle materiálu a konstrukce**

**Dřevěné PB** – získány ze dřeva jehličnatých i listnatých dřevin, nejčastěji pak hlavně smrk, jedle a borovice. Budovány jsou jednoduché, dvojité a jako kozlíky. Dřevo je poté potřebné ošetřit impregnací proti hnilobě, aby byla zajištěna dlouhodobá životnost. Dřevěné sloupy je možné přímo usadit do země, nebo kotvit k betonové patce. V současnosti se jedná o druh využíván jen zcela výjimečně a v odůvodněných případech. Informace byly čerpány a jsou do hloubky popsány v PNE 34 8210 [5].

**Betonové PB** – zhotoveny ve tvaru sloupů zužujících se směrem nahoru. Materiálem je beton, zpravidla s armováním přepjatými ocelovými pruty. Hlavní nevýhodou betonových stožárů je jejich značná hmotnost, komplikující manipulaci při přepravě a výstavbě. Směs betonu musí být v souladu s normou ČSN EN 206+A2 [6]. Využití lze nalézt u vedení nízkého napětí (dále jen NN) a VN.

**Ocelové PB** – nejčastěji využívaný typ stožárů pro všechny napěťové hladiny. Hlavní výhodou tohoto typu je snadná montáž a doprava, zejména díky možnosti postupné výstavby jednotlivých částí. Na druhou stranu je jejich nevýhodou nutnost povrchového ošetření, a to i několikrát za dobu působení daného sloupu díky postupné korozi. Ačkoliv jsou nejvíce využívány u hladin velmi vysokého napětí (dále jen VVN), tato práce se zabývá vedením 22 kV, kde tento typ nachází nenahraditelné aplikace. U hladin VN zastupují tyto stožáry důležitou funkci v místech, kde je potřebné umístit lana do vyšších poloh z bezpečnostních důvodů, způsobených průhybem vodiče. Detailnímu chování vodiče vlivem klimatických je následně věnována kapitola 4. [7]

V posledním odstavci zmíněné ocelové PB jsou momentálně využívány a budou nově navrženy v zájmovém úseku stanice, která je předmětem této práce. Využití tohoto typu PB, které bylo stanoveno provozovatelem, je zapříčiněno již zmíněnou snadnou manipulací, diverzitou možných konfigurací, a především v předchozím odstavci definovanou bezpečností. V okolí transformátorových stanic, mají ocelové typy PB dlouhodobě výhodnější zmíněné vlastnosti, oproti obdobně definovaným dřevěným a betonovým konkurentům. Z tohoto důvodu bude v následující podkapitole detailně přihlédnuto k ocelovým příhradovým stožárům využívaným společností EG.D.

## **2.2 Ocelové příhradové stožáry pro vedení do 45 kV**

Práce se zabývá úpravou části venkovního vedení na distribučním území společnosti E.GD. Z tohoto důvodu budou v této podkapitole definovány konkrétní typy

příhradových stožárů, využívaných na celém území pokrývaném zmíněnou společností a také v samotném areálu TR Větrní. Informace byly zprostředkovány typizační směrnicí společnosti, konkrétně TNS 12 3610.07 [8], která je podložena normami uvedenými v Tabulka 2.1 a případně dalšími zmíněnými TNS.

Tabulka 2.1 – Technické normy využité v [8]

ČSN EN 10204	Druhy dokumentů kontroly
ČSN EN 10025	Výrobky válcované za tepla z nelegovaných konstrukčních ocelí
ČSN ENV 1993-1-1	Navrhování ocelových konstrukcí
ČSN ENV 1090-1	Provádění ocelových konstrukcí
EN ISO 1461	Žárové povlaky zinku nanášené na ocelové výrobky
PNE 34 8240	Příhradové stožáry pro elektrická venkovní vedení do 45 kV
PNE 33 3301	Elektrická venkovní vedení s napětím nad 1 kV do 45 kV včetně

Jak již bylo zmíněno, tento typ stožárů je využíván v místech, kde nelze dosáhnout předepsané výšky a tam, kde tah vodičů překračuje únosnost jiných typů PB. Pojem PB není pouze celistvá konstrukce vyhotovená jedním výrobním procesem, ale skládá se z několika různých částí. Pro detailnější pochopení následujících částí kapitoly byl vytvořen Obrázek 2.1, zachycující všechny dále zmíněné prvky PS.

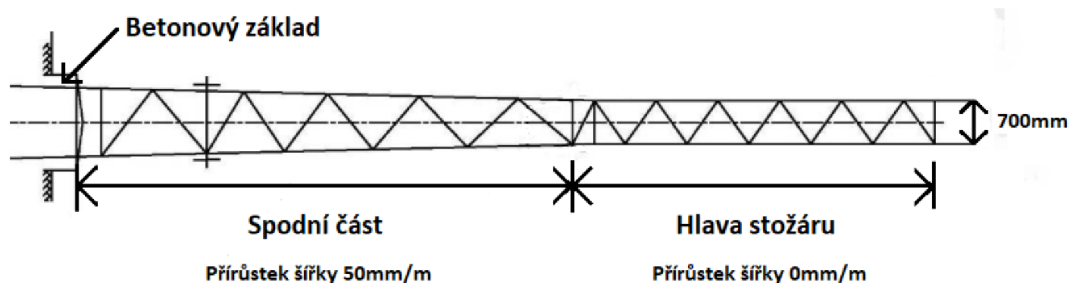


Obrázek 2.1 - Části příhradového stožáru [vlastní zpracování]

Tyto zmíněné části mají své vlastní normy a musí splňovat všechny bezpečnostní a mechanické mezní požadavky. Současně je také brán důraz na celkovou životnost daných materiálů formou ochranných nátěrů a vybavení.

### 2.2.1 Dřík

Jak je možné vidět na Obrázek 2.1, tak dřík neboli nosná konstrukce celého stožáru, je složena z různých ocelových profilů následně svařených nebo šroubovaných dohromady. Nutno podotknout, že díky korozi ocelových materiálů bývá z pravidla preferováno šroubování oproti svařování. První díl dříku (hlava stožáru) je v důsledku unifikace tvaru konzol vyráběn bez přírůstku šířky s konstantními čtvercovými rozměry 700x700 mm a délkou 5 550 mm. U celé řady vyráběných dříků je u spodní části použit jednotný přírůstek šířky 50 mm/m a délka dle konkrétních požadavků. Konstrukce dříků bývá opatřena maticemi pro uchycení konzol, bezpečnostních tabulek či jiných prvků. Na vrchol nejvyššího segmentu bývá zpravidla vyřezán otvor pro uchycení zemního lana. Ilustrovaný příklad dříku, dle charakteristiky zmíněné v tomto odstavci, je na Obrázek 2.2.



Obrázek 2.2 – Nákres dříku stožáru, pootočený o 90° doprava [vlastní zpracování]

Existuje celá řada typových výšek vyráběných dříků a při návrhu musí být projektantem určeno vnější zatížení na stožár, přepočtené na vrcholovou sílu a následně vybrán vyhovující typ s požadovanou výškou a vrcholovým výdržným zatížením dle následující Tabulka 2.2.

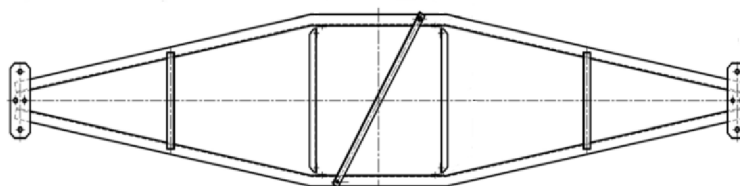
Tabulka 2.2 - Typové konstrukce příhradových stožárů [8]

Typová délka (m)	Mezní výpočtová síla (kN)						
12	-	30	40	-	60	-	80
13,5	20	30	40	50	60	70	80
15	20	30	40	50	60	70	80
16,5	20	30	40	50	60	70	80
18	20	30	40	50	60	70	80
21	20	30	40	50	60	70	80
24	20	30	40	-	60	-	80

### 2.2.2 Konzole

Konzole jsou platformy připevněné ve vrchní části dříků. Využívány jsou k uchycení armatur a následně izolátorů „nesoucích“ fázové vodiče. Lze tedy říct, že umožňují

bezpečné a stabilní uchycení vedení nebo kabelů na stožár. Pro vhodné uspořádání vodičů se rozdělují na konzoly jednostranné (typ B) nebo oboustranné (typ A).



Obrázek 2.3 – Nákres neosazené konzoly A1-8-70-R [vlastní zpracování]

Značení těchto konzol udává základní údaje o výrobku a je tím ulehčen proces výběru a návrhu nových stožárů. Název konzoly na Obrázek 2.3 tedy udává:

- A1** – typové značení,
- 8** – nosný profil U (cm),
- 70** – rozměr hlavy dřívku (cm),
- R** – součástí konzoly je výstužný rámeček.

V distribučních soustavách společnosti E.GD je dle [8] možné identifikovat různé typy standardních konzol, jejichž souhrn je obsažen v příloze A.1. Konzole je nutné dle způsobu zatížení posuzovat z hlediska maximálních svislých a vodorovných sil v případě přetržení jednoho vodiče nebo jiných okolností, které mají vliv na zvýšené namáhání. Mezní hodnoty zatížení shrnuje Tabulka 2.3.

Tabulka 2.3 - Únosnost konzol stožárů z hlediska svislé a vodorovné síly [8]

Označení konzoly	Vyložení konzoly (mm)	Rozměr profilu U	Maximální únosnost (kN)	
			svisle	vodorovně
<b>B</b>	0	U 80	9,0	12,5
		U 100	9,0	17,0
<b>BZ</b>	0	2 x U 80	20,0	30,0
<b>A1, B1</b>	1000	U 80	11,0	30,0
<b>A3, B3</b>	1500	U 80	5,0	30,0
		U 100	10,0	30,0
<b>A4, B4</b>	2000	U 100	5,0	21,0
<b>A4T</b>	2000	U 100	20,0	21,0

Na dřívky je ve speciálních případech možné připevnit doplňkové konzoly, jejich popis a využití je předmětem příslušných norem v závislosti na účelu doplnění.

### 2.2.3 Izolátory

Izolátory jsou keramické, skleněné nebo kompozitní konstrukce sloužící pro mechanické

upevnění a elektrické oddělení elektricky živých částí. V praxi se obvykle lze setkat s izolátory kompozitními, které mají jádra tvořeny ze sklolaminátů a plášťů vyráběných technologiemi na vysokotlakých vstřikovacích strojích. Pro výrobu je využit např. silikonový kaučuk s vysokou odolností proti ultrafialovému záření. Kovové části jsou vyrobeny z oceli odolné proti korozi, případně jsou žárově zinkovány. Výhodou kompozitních izolátorů oproti jiným typům izolátorů je jejich vysoká elektrická a mechanická pevnost, malá hmotnost snižující přepravní náklady, zvyšující manipulovatelnost, a nakonec výhodný silikonový bezúdržbový povrch. [3]

Často je ale možné se setkat i s izolátory keramickými, které jsou vyráběny z bílé keramické hmoty a povrch je glazován hnědou glazurou, která je hladká, lesklá a souvislá. Výhodou keramických izolátorů je snadná identifikace poškození mechanického nebo elektrickým výbojem, po kterém dojde vlivem tepla od elektrického výboje k odlomení již zmíněné hnědé glazury a odhalení bílého keramického těla izolátoru. [9]

Současně s nosnou funkcí zajišťují i funkci ochrannou, jelikož je nejvíce namáhán izolátor u vodiče pod napětím. Pro lepší rozložení napětí a eliminaci škod jsou využívány ochranné kruhy nebo rohy, chránící izolátory před poškozením při přeskoku.

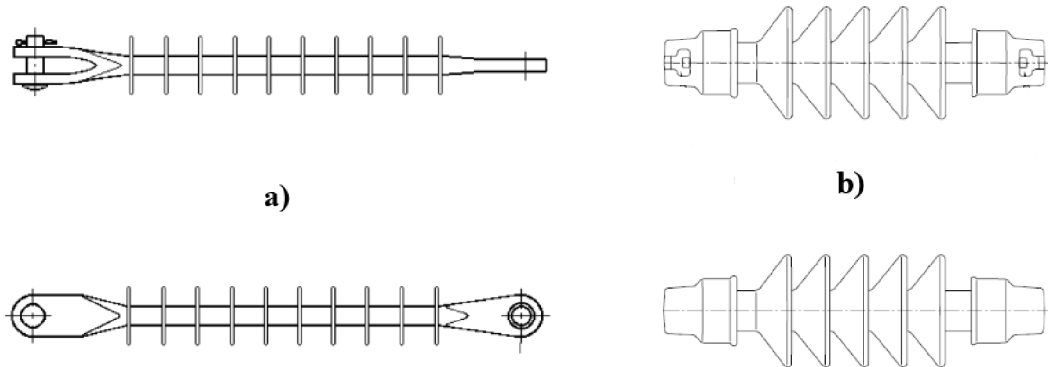
Na Obrázek 2.4 jsou zaznamenány také vizuální rozdíly mezi keramickými a kompozitními izolátory. Všechny typy izolátorů jsou rozdělovány dle následujících parametrů [3]:

1. Jmenovité napětí, na základě kterého je určena délka izolátoru,
2. Mechanická pevnost v ohybu (pro podpěrné izolátory) nebo v tahu (pro závěsné izolátory),
3. Výdržné napětí při atmosférickém impulsu  $1,2/50 \mu\text{s}$  a tomu odpovídající výdržné jednodominutové střídavé napětí za deště,
4. Provedení podpěrné, závěsné nebo kladkové a talířové.

**Izolátory závěsnými** lze upevnit vodiče na nosné body v rovných úsecích vedení, kotevní body a ostatní místa vhodná k upevnění vodiče propojující kotevní úseky ke konstrukci PB. V praxi je možné se setkat s jednoduchými (jeden izolátorový řetězec) nebo dvojitými (dvojice izolátorových řetězců) skládajícími se ze závěsného izolátoru nebo izolátoru a jednotlivých spojovacích armatur. Konkrétní připevnění armatur je prováděno dle použitého typu izolátoru, typu upevnění daného závěsu k PB a způsobu upevnění svorky s vodičem k závěsu. Běžné provedení tohoto typu izolátorů je dle požadovaného využití děleno následovně:

1. Nosné (závěs je namáhán především svislou silou hmotností vodiče včetně námrazku),
2. Rohové (závěs je namáhán v lomu vedení výslednicí vodorovné síly od tahu vodiče a svislé síly od hmotnosti vodiče včetně námrazku) a
3. Kotevní (závěs je namáhán především jednostranným tahem vodiče).

**Izolátory podpěrné** pro venkovní vedení VN jsou využívány pro izolované upevnění živých částí vedení k nosné konstrukci PB. Jsou umístovány na nosné body opět v rovných úsecích a ostatních místech vhodných pro upevnění vodiče propojujícího kotevní úseky ke konstrukci PB. [9]



Obrázek 2.4 – Nákres a) kompozitního izolátoru, b) keramického izolátoru [zpracováno dle [9]]

#### 2.2.4 Armatury

Armatury jsou prvkem zajišťujícím upevnění nebo spojení jednotlivých částí izolátorových řetězců, vodičů a v určitých případech i zemnicích lan. Pro venkovní vedení lze rozdělit armatury do dvou hlavních skupin, konkrétně pro vodiče a pro izolátorové závěsy. [7]

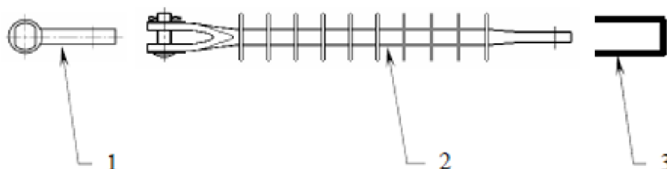
Pro vodiče je možné se setkat s armaturami spojovacími, odbočovacími, kotevními, nosnými a dalšími typy pro konkrétní účel. Detailně je jednotlivým typům věnována [7], ve které jsou rozebrány a popsány konstrukční postupy a využití těchto prvků. V této podkapitole budou detailně rozebrány armatury kotevní, jelikož bude tento typ využit na PS působících v areálu TR Větrní. Příkladem je uvedena kotevní svorka pro JIV vodiče na Obrázek 2.5. Kotevní svorky jsou určeny k upevnění vodičů namáhaných tahem k izolátorovému závěsu na konzolách PB.

Společnost E.GD se při výrobě a aplikaci těchto svorek řídí normami [10] (pro holé vodiče) a [11] (pro izolované vodiče). Tyto svorky jsou vyráběny z hliníkových slitin se spojovacím materiálem z nerezavějících ocelí a ocelových součástí chráněných žárově zinkovaným povrchem. Každá svorka je určena k upevnění pouze vybraných průměrů vodičů a je konstruována tak, aby mechanicky neporušovala vodiče na výstupu ze svorky, a přitom pevně vodiče svírala.



Obrázek 2.5 – Svorka kotevní, segmentovaná pro JIV [11]

Pro izolátorové závěsy existuje mnoho druhů armatur sloužících k jejich spojení, zavěšení na PB nebo regulaci délky. Armatury využitě pro kompozitní izolátor, které budou využity na nově navržených PS, jež jsou předmětem této práce, jsou na Obrázek 2.6. Nosné i kotevní řetězce izolátorů jsou ke konzolám na PB připevňovány pomocí kladkových nebo třmenových kotevních svorek. Naopak spojení izolátorových závěsů s armaturami pro vodiče je realizováno kloubově pomocí paličky s okem nebo dvojitého oka a třmenu. [3], [11]



Obrázek 2.6 – 1) kloub závěsný – oko; 2) izolátor kompozitní závěsný; 3) svorka kotevní třmenová [9]

### 2.2.5 Kabelový svod

V praxi se lze setkat s kabelovým svodem neodpínatelným a odpínatelným v závislosti na požadavcích provozovatele a samotném umístění PB. Pro účely této práce bude popsán pouze kabelový svod odpínatelný, jelikož je to jediný typ, který se aktuálně nachází na stožárech v areálu TR Větrní. Pro příhradové stožáry bude popsán pomocí další z technických norem společnosti E.GD, konkrétně [12]. Kabelový svod je využíván při přechodu z venkovního vedení do kabelové sítě VN s možností rozpojení, pokud se jedná o již zmíněný odpínatelný typ.

Rozpojení je uskutečňováno pomocí svislého odpínače olejovými komorami nebo růžkovým odpínačem dle platných norem. Dalšími variantami a druhy úsekových spínačů pro venkovní vedení do 45 kV se zabývá norma [13].

Odpínané kabelové svody jsou umístěny buď na koncové nebo průběžné PB. Jsou složeny z konzol pro svislý odpínač, konzol omezovačů přepětí, propojek mezi svislým odpínačem a omezovači přepětí, plastovými kryty kabelů, držáků kabelů, zkratových kulových bodů, sestavy pro 6 m pohon odpínače a samotného odpínače. Samotná



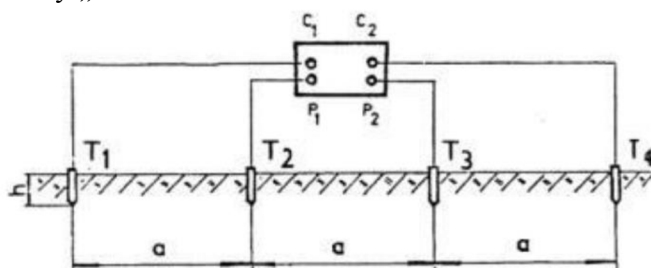
konstrukce je poměrně robustních rozměrů dosahujících až 100 kg bez odpínače. Detailní složení konstrukce lze nalézt v příloze A.2.

### 2.2.6 Uzemnění

Práce se při technickém návrhu PB zabývá i patřičným uzemněním těchto prvků. Z tohoto důvodu bude následující podkapitola zaměřena na charakteristiku postupů, které vychází z technické normy [14] společnosti EG.D a musí být splněny při samotném návrhu uzemňovací soustavy stožárů. Všechny PB z vodivého materiálu bývají z principu uzemněny svými částmi k zemi pomocí zemnicího lana. U příhradových stožárů využívaných zmíněnou společností, bývají zemnicí přichytky na stožárech upevňovány uhlopříčně na protilehlých rohových úhelnících 200 mm pod prvním nadzemním stykem. Návrh všech uzemňovacích soustav musí splňovat následující požadavky [4]:

- Zajištění mechanické pevnosti a odolnosti proti korozi,
- Odolnost vůči teplotám nejvyššího poruchového proudu (ověřeno výpočty),
- Zajištění bezpečnosti osob před krokovým a dotykovým napětím a zamezení poškození majetku.

Rozhodujícími parametry při návrhu a dimenzování konkrétních typů uzemňovací soustavy tudíž jsou vlastnosti půdy, trvání poruchy a velikost poruchového proudu. Každá nově navržená zemnicí soustava musí mít vhodně vypracovaný situační plán, obsahující materiály a umístění zemnicích pásek, body jejich větvení a hloubky uložení. Základní podmínkou pro návrh zemnicích soustav je znalost rezistivity půdy. Měření může být prováděno metodou čtyř elektrod např. Schlumbergovým nebo Wennerovým uspořádáním. Jelikož bylo Wennerovo uspořádání využito pro měření rezistivity půdy na místech nově vybudovaných PB v areálu TR Větrní, bude následující text zaměřen na detailnější charakteristiku právě této metody. Při měření jsou 4 tyčové elektrody o průměru 15 až 20 mm zaraženy v jedné přímce do hloubky přibližně 0,2 m a obsluhou určeného rozestupu délky „a“ dle Obrázek 2.7.

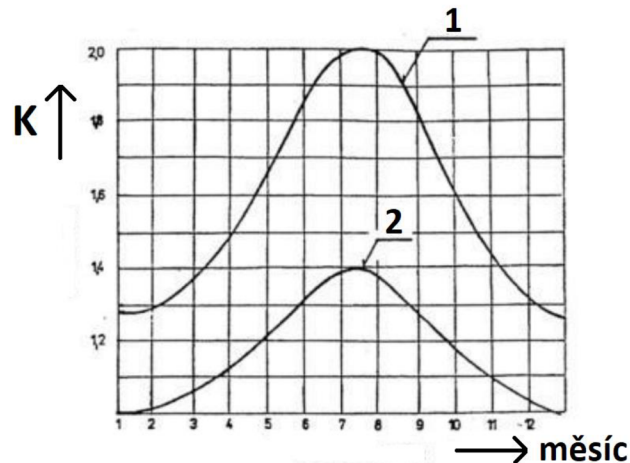


Obrázek 2.7 – Měření rezistivity půdy Wennerovou metodou [15]

Proudové elektrody (vnější) jsou připojovány na svorky T1, T4 měřicího přístroje a potenciálové (vnitřní) na svorky T2 a T3. Rezistivita  $\rho$  ( $\Omega\text{m}$ ) je následně měřícím přístrojem určena vztahem:

$$\rho = 2 \cdot \pi \cdot a \cdot R, \quad (1.1)$$

kde je  $a$  (m) vzdálenost měřících elektrod a  $R$  ( $\Omega$ ) naměřený odpor. Jelikož hodnota rezistivity půdy do hloubky 3 m často kolísá v závislosti na ročním období, je využíván korekční činitel  $K$ , kterým se vypočítaná rezistivita vynásobí.



Obrázek 2.8 – Závislost činitele  $K$  na ročním období [upraveno dle [15]]

V Obrázek 2.8 je křivka označená číslicí 1 závislost pro deštivá období a křivka 2 pro období sucha. Dle výsledku měření je následně navrženo množství páskových zemničů, případně tyčových zemničů. Tyto zemniče jsou kladeny horizontálně do vyhloubených zemních rýh nebo na dno základových jam v hloubce 0,5 m až 1 m. Poznatky a protokoly měření se následně stávají součástí dokumentace skutečného provedení stavby. [14]

Problematice nově navržených uzemnění je v praktické části práce věnována podkapitola 7.4. Současně byl také do elektronické přílohy práce pod označením D4, vložen výsledný protokol měření rezistivity půdy v okolí nově vybudovaných PB, protokol uzemnění značený D5 a výkres nově navržené uzemňovací soustavy označen D18, kterými je zmíněná problematika charakterizována i z praktického hlediska.

### 2.2.7 Ochranné prvky

Ochrana může být brána z pohledu chránění okolí vůči prvkům vedení nebo naopak ochrana konkrétních prvků PB a všech částí vedení. Při návrhu nových PB bodů a jejich částí v areálu TR Větrní je jakákoliv ochrana důležitou součástí pro zabezpečení samotných konstrukcí, ale i okolních objektů či osob. Dle [8] jsou příhradové stožáry opatřeny několika doplňkovými ochrannými prvky.

**Povrchová ochrana** ocelových konstrukcí je zajišťována dle [16] ochranou proti korozi žárovým zinkováním, které je nanášeno ponorem a finální vrstvou minimálně 80  $\mu\text{m}$ . Stejně jako konstrukční části musí být povrchově ošetřeny veškeré spojovací materiály. V průběhu technické životnosti konstrukce nesmí dojít ke snížení únosnosti,

a proto je potřebné povrchovou ochranu zajistit opakovanými nátěry dle pokynů provozovatele.

Každý PB musí být podle [17] vybaven **bezpečnostní výstražnou tabulkou** se symbolem blesku a nápisem „Vysoké napětí – Životu nebezpečno dotýkat se elektrických zařízení nebo drátů i na zem spadlých!“, tak jako na Obrázek 2.9. Uchycení tabulky je dle [8] realizováno na diagonále ve výšce 2 až 2,5 m nad terénem v těchto případech:

1. Na všech PB v zastavěném území,
2. při křížení pozemních komunikací, vodních cest, jiných staveb či venkovních vedení a objektů spojených s přítomností osob (nebo v případech, je-li vzdálenost svislé roviny procházející krajním vodičem od hrany krajnice pozemní komunikace či jiných frekventovaných cest menší než 20 m),
3. na všech PB s ocelovými dřívky.



Obrázek 2.9 - Detail bezpečnostní tabulky a jejího uchycení [8]

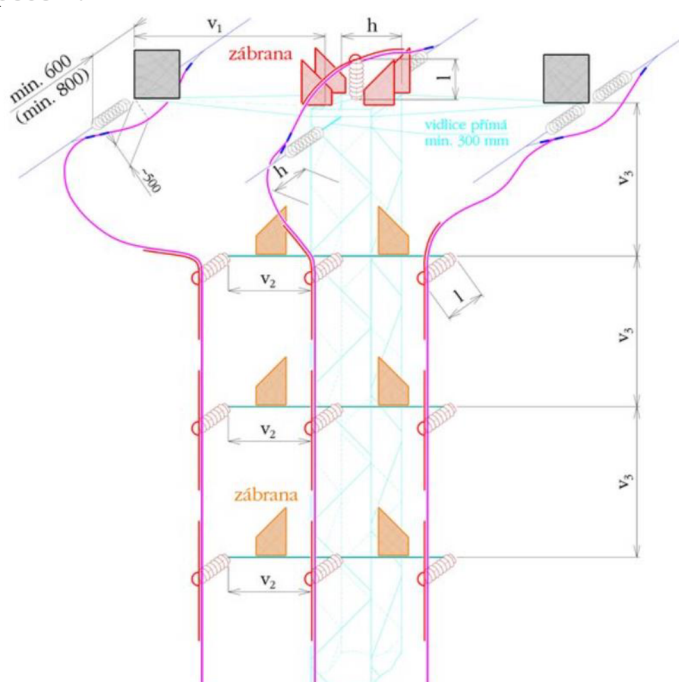
### 2.2.8 Zábrany proti dosedání ptactva

Informace zmíněné v této části jsou interpretovány z odborného stanoviska [18], vydaného Agenturou ochrany přírody a krajiny ČR (dále také AOPK ČR). Mezi negativní vlivy venkovních vedení je řazeno zraňování a usmrcování ptáku na nevhodných konstrukcích vedení v důsledku úrazu elektrickým proudem. K tomuto typu úrazů dochází, pokud dojde k propojení vodiče a konstrukce části vedení nebo pokud dojde k propojení dvou vodičů tělem ptáka. Důležitost těchto zábran má největší význam právě u vedení VN (22 kV, 35 kV), jelikož se jedná o konstrukce s rozměry a parametry, které jsou mnohem víc náchylné tomuto typu incidentů. U vedení VVN a zvláště vysokého napětí (dále jen ZVN), tedy 110 kV, 220 kV a 400 kV jsou z bezpečnostních důvodů využívány konzoly robustnějších parametrů a větších vzdáleností, čímž klesá riziko propojení tělem ptáka.

Z tohoto důvodu vydalo Ministerstvo životního prostředí dne 30.12.2016 metodický pokyn [19] k zajištění ochrany ptáků před úrazy na elektrických vedeních podle zákona č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny. Tento pokyn je zaměřen právě na již zmíněné vedení vysokého napětí (22 kV, 35 kV). Na základě tohoto ustanovení je

provozovatel distribuční sítě povinen použít pouze řešení či výrobky, které jsou bezpečné z hlediska ochrany ptáků. Hodnocením této bezpečnosti byla pověřena již zmíněná AOPK ČR. Seznam vydaných stanovisek pro jednotlivé konfigurace prvků venkovních vedení, které prošly hodnocením AOPK ČR, lze nalézt na stránkách [20].

V tomto případě bude detailně popsán konkrétní typ, který bude využit při výstavbě nových stožárů v TR Větrní, a to svod na příhradovém stožáru. Tyto informace budou vycházet z [18]. Zmíněný dokument pojednává a použití svodu u nových či rekonstruovaných vedení pouze s podmínkou aplikace ochranných opatření. Tyto opatření zahrnují buď osazení zábran proti přisednutí ptáků na konzoly a na vrchol stožáru nebo provedení proudových spojů a dalších připojení izolovanými vodiči či kombinací popsaných zabezpečení.



Obrázek 2.10 – Ochranné prvky proti dosedání ptactva, svod na PS [20]

Dle parametrů a značení na Obrázek 2.10 je pro použití zábran v místech označených  $v_1$  a  $v_2$  je nutno dodržet následující pravidla:

1. Jestliže bude délka  $v_1$  menší než 130 cm, je nutná instalace zábran takovým způsobem, aby neosazený prostor byl menší než 60 cm. U těchto délek  $v_1$  je na konzoli větší riziko, že pták (káně či větší druhy ptáků) propojí křídly vodiče na kotevních izolátorech. Jestliže se aplikací zábran tento neosazený prostor redukuje na méně než 60 cm, toto riziko se minimalizuje.
2. Pro případy rovinných konzol s délkou značenou  $v_2$  se jedná o stejné riziko. V tomto případě je ale nutné zmenšit volný prostor na méně než 10 cm. U prostoru

této velikosti se nepředpokládá, že by jej i sebemenší druhy ptáků využívaly k přisednutí.

Druhou možností je také provedení proudových spojů a dalších připojení izolovanými vodiči, viz fialové vyznačení na Obrázek 2.10, a prodlužovací vidlice nebo případná kombinace obou zmíněných způsobů zajištění ochran. Provozovatel je povinen provádět pravidelné kontroly ochran a při zjištění závady zajistit její neprodlené odstranění. [18]

Dle [8] je montáž zábran proti dosedání ptactva na stožáry využívané v zájmové oblasti společnosti E.GD prováděna:

1. Na hlavu dříku – tvořeny ze sady dvou plastových desek a nosníků z profilů FeZn. Tento typ zábran je na hlavu stožáru montován vždy s konzolou typu B nebo BZ. V odůvodněných případech je možné se setkat i s montáží na jiné konzoly typu A nebo B.
2. Na konzoly – tvořeny sadou dvou stříšek svařených z FeZn páskoviny. Tento typ je montován na každý konec konzoly typu A nebo B pouze k podpěrným izolátorům a v odůvodněných případech i k izolátorovým závěsům.
3. Na nosník U80 – tvořena deskou z umělé hmoty UV stabilní, odolávající povětrnostním vlivům a nosníkem z ocelového plechu. Tento typ je naopak využíván pouze na konzoly A1 a B1, umístěných pod vrcholem dříku, a to pouze v případě upevnění vodiče v jednoduchém závěsu na podpěrném izolátoru.

Jak již bylo zmíněno, ochrana ptactva se stala povinnou součástí, na kterou musí být při procesech návrhu nových venkovních vedení přihlíženo. Prvky zajišťující danou ochranu byly implementovány do elektronické přílohy práce, konkrétně technické zprávy pod označením D3 a výkresu nových typů stožárů značeným D17.

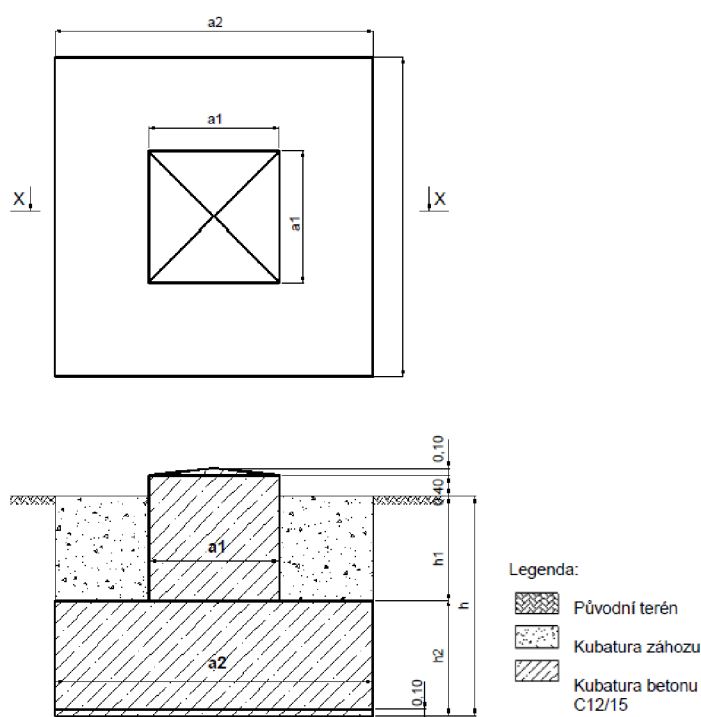
### **2.2.9 Základy**

Úlohou betonových základů je s dostatečnou spolehlivostí přenést zatížení z PB na okolní zeminu a zajistit tak celkovou stabilitu. Běžnými typy jsou základy válcové, hranolové nebo stupňové monolitické z betonu. Při jejich návrhu je nutné brát v úvahu velikost vypočítaných zatížení, tvar základů, mezní hodnoty posuvů, geotechnické parametry a způsob propojení s PB. [4]

Základy pro příhradové stožáry využívány v krajině zájmového území společnosti EG.D, jsou navrhovány v souladu s platnou normou PNE 33 3301 [4] pro všechny typy zemin. Zmíněná společnost vydala pro souhrn obecných informací a technických specifikací základů příhradových stožárů [21], sloužící pro účely návrhu a realizace. Tento dokument uvádí stanovené rozměry základů a jejich součástí pro typové výšky a vrcholové zatížení stožárů, které byly uvedeny v Tabulka 2.2. Veškeré hodnoty a parametry základů udávané v této normě, byly navrženy a staticky posouzeny tak, aby

při zatížení limitní vrcholovou silou nebyla za žádných okolností ohrožena stabilita stožáru a překročena únosnost základové spáry.

Pro příhradové stožáry společnosti EG.D jsou podle [21] určeny jednostupňové základy, jejichž nadzemní část betonové hlavy (a1) je v souladu s [4] navržena na celkovou výšku 0,4 m nad terénem, ukončená jehlanem o výšce 0,1 m. Geometrický tvar a hlavní konstrukční části těchto základů jsou znázorněny na Obrázek 2.11. Pro celistvé nearmované základy se využívá dle [6], zabývajícím se specifikacemi, vlastnostmi a výrobou betonu, beton třídy C12/15. Tento typ je vyroben z kvalitního cementu, čistého šterkopísku s vhodným zastoupením jednotlivých frakcí a z kvalitní odborně zvané „záměsové vody“, tedy dokonale čisté a chemicky upravené vody pro maximalizaci efektivity účelu betonové směsi.



Obrázek 2.11 - Jednostupňový základ pro příhradové stožáry [21]

Základová spára se dle typu stožáru nachází v hloubce 1,65 až 3,10 m. Dle [21] byl vypracován souhrn parametrů pro typy stožárů, které budou využity v areálu TR Větrní, z Tabulka 2.2 konkrétně typové délky 16,5 m, jelikož budou v areálu umístěny jediné stožáry této délky. Dokument je součástí elektronické přílohy této bakalářské práce pod označením D6 a shrnuje veškeré důležité parametry pro potřeby návrhu nových PB.

### 3. VODIČE VENKOVNÍCH VEDENÍ

Vodiče představují funkčně nejdůležitější část venkovních vedení. Současně jsou také rozhodujícím ekonomickým faktorem celé soustavy. Jedním z ekonomických faktorů je vysoká pořizovací cena materiálů, ze kterých jsou vodiče vyrobeny. Z finančního hlediska je ale přihlíženo i na následnou konfiguraci PB, v závislosti na využívaném typu vodičů, a hlavně zajištění provozní bezpečnosti. Poškození nebo v extrémních případech přetržení vodičů způsobí přerušení dodávky elektrické energie, možnost vzniku požáru, či zhroutení několika kilometrů venkovních vedení. Následná oprava nebo kompenzace vzniklých škod je proces ekonomicky nejnáročnější, a proto je potřeba těmto incidentům dokonalou znalostí problematiky předejít. Na vodiče působí celá škála povětrnostních vlivů, popsanych v kapitole 4, kvůli kterým může v důsledku např. přetržení dojít k ohrožení okolních objektů, osob nebo i celého úseku venkovního vedení. [22]

Dle literatury [3] jsou na vodiče kladeny tyto často i protichůdné požadavky:

1. Kvůli dopravě a montáži je požadována malá měrná hmotnost. Současně je ale potřebná měrná hmotnost co nejvyšší, aby nedocházelo k nadměrnému vychýlení větrem.
2. Za účelem omezení účinné plochy působení větru, je vyžadován co nejmenší průměr vodiče. Na druhou stranu je ale potřebné eliminovat ztráty korónou<sup>2</sup> a z toho důvodu využít vodiče vyšších průměrů.
3. Pro potřebné zajištění bezpečnosti je požadována velká mechanická pevnost.
4. Důležitost je taktéž kladena na odolnost proti chemickým vlivům, chvění a změnám teplot.
5. Jak již bylo zmíněno, zastřešujícím faktorem je poté co nejnižší cena vodičů.

Tyto zmíněné nároky je nutné obzvlášť při návrhu nových úseků vedení vnímat a v závislosti na konkrétním umístění, vnějším vlivům či pokynům provozovatele vytvořit jistý kompromis tak, aby navržené vedení vyhovovalo po všech stránkách. Z čeho se skládají a s jakými typy vodičů se v praxi lze setkat? Na tyto otázky bude zodpovězeno ve zbylé části této kapitoly.

#### 3.1 Obecné rozdělení

V sítích venkovních vedení je celkově možné se setkat se třemi typy vodičů, konkrétně fázovými vodiči, zemnicími lany nebo kombinovanými zemnicími lany. Nejvýznamnějším a obecně známým fázovým vodičem lze přenášet elektrickou energii

---

<sup>2</sup> Koróna je autonomní výboj, vznikající okolo vodiče v případě, že intenzita pole na povrchu vodiče přesáhne hodnotu, při níž dochází k ionizaci okolního vzduchu. Tento jev je zpravidla doprovázen světelnými modrofialovými a zvukovými efekty [5].

z místa A do místa B. Zejména u tohoto typu vodičů je tedy nutné respektovat podmínky zmíněné na začátku této kapitoly. Druhým používaným typem jsou uzemňovací lana, která se konstrukčně neodlišují od vodičů fázových. Zemnicím lanem je nazýván vodič, který bývá úmyslně uzemněn a zajišťuje neméně důležitou funkci, a tou je ochrana vedení před několika aspekty. Prvním z nich je ochrana před úderem blesku, jelikož je tento jev velice častý, protože se jedná o konstrukce budované ve volném venkovním prostoru. Zemnicí lano v kombinaci se zemnicí soustavou, popsanou v části 2.2.6, ale dokáže eliminovat i přepětí vzniklé elektrostatickou indukcí, krokové napětí v okolí stožárů a proudy vedoucí do země při vzniklých zkratech na vedení. [22]

Kombinované zemnicí lana jsou vodiče, ve kterých jsou umístěny optická vlákna, sloužící jako prostředek pro možnou komunikaci. Na zmíněný typ vodičů je možné narazit pouze v přenosové soustavě a pro potřeby této práce jim již nebude věnována pozornost. Podrobněji se ale těmito typy vodičů zabývá [23].

Vodiče byly v předchozích odstavcích rozděleny dle jejich významu a funkce, hlouběji jsou ale dále rozděleny na různé konstrukční typy a těmi jsou dráty, lana či závěsné kabely. Využití drátů a závěsných kabelů je velice ojedinelé. Dráty nachází své uplatnění zejména v sítích NN a pouze v provozovatelem odůvodněných případech VN. Závěsné kabely jsou také využívány u vedení VN ve vzácných případech, o čemž bude pojednáno v části 3.3.3. Nejvíce využívaným typem vodičů u všech napěťových hladin venkovních vedení jsou lana, jelikož jsou ohebnější a bezpečnější z provozního hlediska. Tato bezpečnost je zajištěna zejména tím, že dosahují větší konstrukční rovnoměrnosti jednotlivých tenčích drátů a také proto, že se vztahy ve vodičích přenášejí lépe lany nežli dráty. Jedním z hlavních důvodů přednostního využití lan je fakt, že případné přetrhnutí jednoho drátu automaticky znehodnotí celý vodič, zatímco u lan přetrhnutí jednoho drátu znehodnotí celý vodič, ale pouze přenesené namáhání na zbylé dráty ve svazku. Následující charakteristiky materiálů a dělení bude zaměřeno pouze na vodiče lanové. [7]

Lanové vodiče jsou děleny do tří hlavních podkategorií, kterými jsou klasické, kompaktní a speciální neboli také vysokoteplotní vodiče. Pro účely této práce bude ale detailně přihlédnuto pouze na vodiče klasické, složené z jednoho nebo i více materiálů, jelikož je to jediný typ, který bude využit v praktické části této práce. Všem zmíněným typům je podrobně věnována 6. kapitola literatury [24].

## 3.2 Materiály pro výrobu

Dle literatury [7], ze které bude v této podkapitole čerpáno, jsou nejvíce využívanými materiály pro výrobu lan venkovních vedení měď, bronz, hliník, ocel a jejich slitiny. Výhodou měděných prvků je jejich obecně nejnižší měrný odpor, odolnost proti chemickým a atmosférickým vlivům, tím i vysoká životnost a dobré mechanické



vlastnosti. Ze všech materiálů je ale nejvíce využíván hliník, jelikož je nejlevnější a nejvíce dostupný. Mezi výhody hliníku je řazena nižší hmotnost, tím i jednodušší doprava a menší ztráty korónou, jelikož je potřebný větší průměr. Širší průměr má za následek lepší chlazení, vlivem větší plochy, a tím i možnost nadměrného elektrického zatížení. Mezi hlavní nevýhody hliníkových lan je naopak řazena větší námaha námrazou a větrem, právě kvůli širšímu průměru. Další nevýhodou je díky již zmíněné snížené hmotnosti větší možnost kmitání a další aspekty rozebrané v [7].

Za zmínění také stojí různé hliníkové slitiny, u kterých je hlavním důvodem jejich využití kombinace výhodnějších mechanických vlastností v porovnání s vodiči z čistého elektrotechnického hliníku. Při návrhu vedení a výběru materiálů, ze kterých budou tyto lana zhotoveny, je nutné mít na paměti, že požadované optimum mezi mechanickými a elektrickými vlastnostmi je vzájemně vázané složením těchto slitin. Jinak řečeno, je nemožné zlepšit kteroukoliv z těchto veličin na úkor druhé.

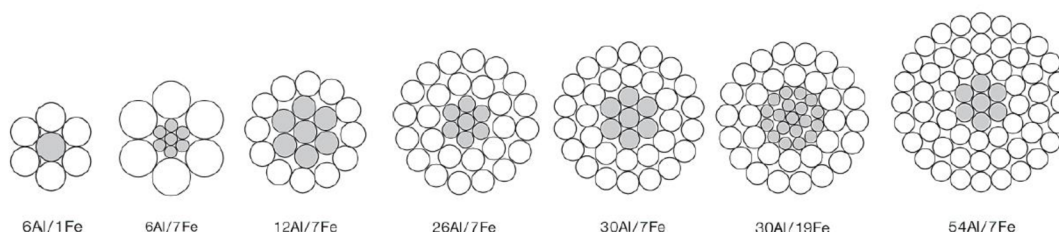
Předchozí odstavce byly zaměřeny zejména na lana složená z jednoho materiálu. V provozu se ale ve většině případů lze setkat s lany kombinovanými. Tyto lana se vyrábějí za účelem zvýšení pevnosti, nebo zvětšení průměru bez vzniku koróny. Mezi nejčastější kombinace jsou považována lana složená z hliníku a oceli (dále jen AlFe), které jsou nejvíce využívány, dále také mědi a oceli (dále jen CuFe) či mědi a bronzu. Zmíněná kombinace AlFe je typ využívající dobré vodivosti hliníku, mechanické pevnosti oceli a obecně platí, že AlFe lano určitého průměru je pevnější, než lano CuFe stejných rozměrů a vodivosti. Tato pevnost zprostředkovává možnost volby vyššího rozpětí při použití AlFe lan a dochází tak k úspoře materiálu, jelikož bude na výstavbu vedení potřeba méně izolátorů, stožárů a tím i betonových základů. V návaznosti na výše uvedené bude podkapitola 3.3 zaměřena na konkrétní typy vodičů, kterými disponují vedení VN a se kterými se v praxi lze běžně setkat.

### **3.3 Typy vodičů VN**

V sítích VN je možné se setkat s několika typy využívaných vodičů. Výběr vodiče pro daný úsek je na těchto napěťových hladinách podmíněn zejména charakteristikou okolí, kterým vedení prochází, a bezpečností přilehlých objektů, osob a dalších aspektů, které budou rozebrány v následujících částech této podkapitoly. Vodiče holé a jednoduché izolované jsou a také nadále budou využívány ve stanovených linkách pro účely této práce, které jsou vyváděny z TR Větrní. Jejich konkrétní parametry a způsob využití v praktické části je popsán v kapitole 7, která je zaměřena na posouzení aktuálního stavu a návrh stavu nového již avizovaných linek. Souhrn všech parametrů a postup rekonstrukce je následně popsán v technické zprávě vložené do elektronické přílohy práce pod značením D3.

### 3.3.1 Holé

V sítích VN se jedná o standartní využívaný typ, nejčastěji pak již zmíněné AlFe lana. Předností těchto lan je kombinace nosné ocelové (Fe) duše a hliníkového (Al) vodivého pláště. Norma [25], vydaná společností E.GD, specifikuje výrobu těchto lan s požadovanými průřezy a s jednou až čtyřmi vrstvami hliníkových drátů. Hliníkové dráty jsou vyráběny z elektricky vodivého hliníku (Al 99,5 %) a ocelové nosné dráty jsou chráněny proti korozi žárovým zinkováním. Při výrobě jsou tyto vrstvy stáčeny v opačném směru, aby bylo zabráněno samovolnému rozplétání. Nejčastěji využívané typy lan AlFe jsou shrnuty na Obrázek 3.1.



Obrázek 3.1 - Typická konstrukční uspořádání drátů lan AlFe [25]

Značení těchto vodičů udává základní informace o výrobku pro snadnou identifikaci a výčet parametrů. Dle [26] je uvedena dnes již stále častěji využívaná možnost značení pro vodič např. 110-AL1/22-ST1A, kde je:

- 110 ... typový průřez vnějších Al vrstev ( $\text{mm}^2$ )
- AL ... materiál drátů vnějších vrstev
- 1 ... druh (typ 1-3) drátů vnějších vrstev
- 22 ... typový průřez duše FeZn ( $\text{mm}^2$ )
- ST ... materiál drátů duše FeZn
- 1A ... typ (1-6) a třída (A-E) drátů duše FeZn

Pro stejný typ vodiče se v některých literaturách lze setkat se strašim, ale stále hojně využívaným typem značení 110/22 AlFe, kde je obdobně:

- 110 ... typový průřez vnějších Al vrstev ( $\text{mm}^2$ )
- 22 ... typový průřez duše FeZn ( $\text{mm}^2$ )
- Al ... materiál drátů vnějších vrstev
- Fe ... materiál drátů duše FeZn

V praxi se také často využívá označení např. AlFe6 120, kde první číslo 6 udává poměr průřezů elektricky vodivého pláště a duše lana. Druhé číslo 120 jmenovitý průřez elektricky vodivé části lana. [25]

### 3.3.2 Jednoduché izolované (JIV)

Jedná se o komprimovaná lana, slaná z drátů hliníkové slitiny a opatřená pouze

jednoduchou izolací. Tato izolace je vyrobena z vodovzdorné izolace ze stíněného polyetylénu. Jelikož se jedná o izolaci základní, jsou tyto lana z hlediska ochrany před nebezpečným dotykem živých částí brána jako vedení bez ochrany. V současnosti bývají klasická holá kombinovaná lana, popsána v předchozí sekci této podkapitoly, nahrazována právě tímto typem lan. Konstrukční postupy jsou stejné jako u vodičů holých, jediný rozdíl je v kratší mezifázové vzdálenosti a menším ochranném pásmu, dle příslušných aktuálně platných norem. Tyto vodiče jsou využívány v rizikovějších lokalitách jako např. místech se zvýšeným nebezpečím pádu stromů na vedení, kde také umožňují vykácení užších lesních úseků. Ve výjimečných případech se lze setkat i s vícenásobným typem tohoto vedení a to např. u vývodů z rozveden. Obecně snižují četnost poruch a tím zvyšují provozní spolehlivost celého vedení, zajišťují lepší začlenění do krajiny a díky těsnějšímu uspořádání vodičů disponují lepšími elektrickými parametry. [3], [2]

Tento typ vodičů je v současnosti využit na určité části vedení v areálu TR Větrní, který je předmětem této práce. Konkrétně se jedná o vodiče typu SAX 120, jejichž parametry budou konkretizovány v podkapitole 7.1 a technické zprávě nacházející se v elektronické příloze práce pod označením D3. Běžně se ale u tohoto typu vodičů lze setkat se značením ADX, PAS nebo JIV. V ČR je hojně využíváno průřezů 35, 50, 70 a již zmíněných 120 mm<sup>2</sup>. [2]

### **3.3.3 Slaněné závěsné kabely**

V tomto případě se jedná o svazkové tři žilové kabely s plnou izolací a stíněním. Zavěšení je realizováno pomocí pozinkovaného nosného ocelového lana nebo se lze setkat se samonosnými typy připevněnými ke konstrukci PB. Tento typ kabelů je finančně nejnáročnější a kvůli tomu je využíván jen ve výjimečných případech, kterými jsou např. [2]:

- v případě umístění vedení v blízkosti přilehlých objektů nebo zalesněných prostorů,
- v případě využití pro dočasné nebo havarijní odběry,
- v případě umístění, kde není možné použít holé či jednoduše izolované vodiče a kabelové vedení v zemi není z technických důvodů realizovatelné.

Tento typ vodičů nebude nijak využit při vypracování praktické části této práce a je zde uváděn pouze pro popisnou komplexnost a možné budoucí využití dle zmíněných případů.

## 4. KLIMATICKÉ POMĚRY OVLIVŇUJÍCÍ MECHANIKU VENKOVNÍCH VEDENÍ

Klimatické poměry jsou hlavním aspektem rozhodujícím o celkovém provedení projektu daného venkovního vedení, především jeho ceny a bezpečnosti při provozu. Tyto poměry mají náhodný charakter a jsou v každém státě specifické. Dané jevy je nutné dokládat charakteristickými daty, podloženými na základě dlouhodobých meteorologických pozorování, společně s provozními zkušenostmi z již sestavených a funkčních venkovních vedení. Při návrhu a dimenzování je tato část velice důležitá, jelikož je nutné brát v úvahu atmosférické podmínky a jevy daného území, za účelem zamezení zhroucení celého systému venkovních vedení. [22]

Které jevy jsou především důležité a jak správně dimenzovat celková zatížení vlivem klimatu? Tato problematika bude detailně rozebrána v této kapitole, kde budou představeny konkrétní druhy klimatických zatížení a aparáty pro jejich charakteristiku a výpočet. Účelem této kapitoly je prohloubení znalostí spojených s klimatickými poměry, které se podílí na mechanickém namáhání venkovních vedení. Matematický aparát je v jednotlivých podkapitolách uváděn pro popisnou komplexnost práce, jelikož je implementován ve výpočetním softwaru Spider-EN, který bude využit v praktické části práce a popsán konkrétně v kapitole 6. Zdroje a jednotlivé normy, kterými se zmíněný program řídí, budou uvedeny v příslušných částech této kapitoly. Souhrn všech pravidelně aktualizovaných norem, které jsou pro korektnost výpočtů v programu implementovány, je obsažen v části 6.1.1. Obecně je souhrn všech norem, které musí být při procesech návrhu venkovních vedení uvažovány, obsažen v úvodu technické zprávy, která je součástí elektronické přílohy práce pod označením D3.

### 4.1 Charakteristická zatížení působící na venkovní vedení

Existuje mnoho aspektů ovlivňujících celkovou tíhu vedení a je potřebné je s velkou důležitostí respektovat a realizovat návrh zohledňující veškeré typy zatížení. V zásadě jsou rozděleny na tyto druhy [4]:

- Stálá zatížení (G) - **vlastní tíha** vodičů a účinky tahu vodičů při referenční teplotě.
- Proměnná zatížení (Q) - zahrnující změny tahu ve vodiči způsobené **větre**m, **námrazou** a odchylkami od referenčních **teplot**.
- Mimořádná zatížení (A) – jedná se o souhrn zabezpečovacích zařízení zabraňujících šíření poruchy (při přetržení jednoho vodiče, zemního lana). Řadí se zde i přídatná zatížení způsobená zařízením pro údržbu a revizi.

Z těchto charakteristických hodnot působících v bodech závěsu se poté určují celkové zatěžovací stavy poukazující na spolehlivost vedení.

#### 4.1.1 Zatěžovací stavy

Venkovní vedení by mělo být kontrolováno a současně navrhováno s ohledem na celkovou mechanickou a elektrickou pevnost. Z hlediska mechanické pevnosti, spojené se spolehlivostí daného vedení a bezpečností osob pracujících na stavbách a následných úpravách, probíhá kontrola tzv. mezních stavů zatížení. Dle [27] přesněji mezní stav únosnosti a mezní stav použitelnosti.

**Mezním stavem únosnosti** je myšlena situace spojená s konstrukčními poruchami způsobenými nadměrným přetvořením, zkroucením, přetržením a všem stavům předcházejícím zhroucením konstrukce. Pro tento stav nesmí tah vodiče v kterémkoliv místě rozpětí, při návrhových zatíženích přesáhnou 65 % matematické pevnosti pro vodiče, které byly vyrobeny na bázi hliníku a 68 % pro vodiče na bázi oceli.

**Mezní stavy použitelnosti** souvisí se stanovenými podmínkami, při jejichž překročení vedení již nesplňuje provozní požadavky. Jedná se o mechanickou pevnost podpěrných bodů, vodičů, výzbroje a bezpečné elektrické vzdálenosti. Tah vodiče v kterémkoliv místě rozpětí, odpovídající spolehlivostní úrovni 1, nesmí pro jakýkoliv zatěžovací stav překročit 55 % matematické pevnosti opět pro vodiče na bázi hliníku a 58 % na bázi oceli.

**Úroveň spolehlivosti** je ukazatel určující důležitost daného vedení. Pro návrh vedení jsou dle [4] rozlišovány 3 úrovně spolehlivosti, vyjádřeny současně s dobou návratu  $T$ . **Doba návratu  $T$**  je předpokládaná doba životnosti a použitelnosti daného vedení. Obecně je uvažována na 50 let, ale celková skutečná škála se pohybuje od 30 do 80 let v závislosti na vyhodnocení pravidelných kontrol. Jako referenční hodnota je brána úroveň spolehlivosti 1. Tyto úrovně jsou určovány podle dopadu případné poruchy na:

1. Zásobování elektřinou (důležitost odběratelů, vícenásobná vedení atd.)
2. Bezpečnost obyvatelstva (příměstské, městské a hustě osídlené oblasti)
3. Ostatní infrastrukturu (železnice, dálnice, jiná vedení atd.)

## 4.2 Dimenzování vodičů s ohledem na povětrnostní vlivy

Na venkovní vedení působí povětrnostní vlivy jako jsou změny teplot, vítr, bouře nebo i sněhové vánice způsobující nadměrné namáhání. Aby nebylo překročeno maximální povolené namáhání, musí se tyto vlivy připočítat vůči samotné tíze vodiče a tím předejít vzniku škod. V následujících podkapitolách budou popsáni hlavní činitelé, podílející se na zvýšeném namáhání vodičů, kterými jsou podle [22] nejvyšší a nejnižší teplota vzduchu, vítr, námraza a kombinované zatížení větrem a námrazou.

## 4.3 Teplota

Teplota vodičů je jedním ze zásadních faktorů při dimenzování a návrhu vedení. Důležitým činitelem ovlivňujícím její hodnotu je teplota vzduchu, která v našich podmínkách nabývá hodnot v rozmezí od  $-30\text{ °C}$  do  $+40\text{ °C}$ . Dále je také ovlivňována intenzitou slunečního záření, prouděním vzduchu a proudovým zatížením samotného vodiče. Změnou teploty dochází ke změně celkové délky vodiče a tím i celkového namáhání, průhybu a silového působení vodiče na konkrétní části konstrukce podpěrných bodů. Zmíněné aspekty jsou ovlivňovány teplotní roztažností materiálů, kdy u vysokých teplot dochází k roztažení daného materiálu, což má konkrétně u vodičů za následek zvětšení průhybu a v extrémních případech i ztrátu pevnosti. Proto je nutné ověřit bezpečné vzdálenosti od terénů a křižujících vedení. [7]

Součástí každé projektové dokumentace musí být stanovená nejvyšší návrhová teplota vodičů, určená s uvažováním následujících podmínek [4]:

1. Nejvyšším zatížení fázových vodičů v letním období (teplota vodičů na bázi hliníku, využívaných v praktické části této práce, musí být při nominálním proudovém zatížení vyšší než  $+60\text{ °C}$  a nižší než  $+80\text{ °C}$ .)
2. Teplotě okolí  $+35\text{ °C}$
3. Rychlosti větru  $0,5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  pod úhlem  $45^\circ$  na osu vodiče
4. Intenzitě slunečního záření  $1000\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$
5. Velikost součinitele absorpce  $0,5$
6. Velikost součinitele emisivity  $0,5$

Naopak při velice nízkých teplotách dochází k smršťování materiálů. Vodiče svůj průhyb zmenšují, což způsobuje zvýšení námahy u podpěrných částí vedení a izolátorů. Těmto situacím je nutné předejít dimenzováním dovolených napětí. Podle [4] je pro potřeby navrhování venkovních vedení udávána referenční teplota  $-5\text{ °C}$ . Každý projekt návrhu vedení musí obsahovat hodnoty tahů všech vodičů bez vnějšího zatížení při této referenční hodnotě. V dalších návrhových situacích jsou uvažovány:

- Minimální teploty bez dalších klimatických zatížení
  - a) Mezní stav použitelnosti:  $-30\text{ °C}$
  - b) Mezní stav únosnosti
    - Spolehlivostní úroveň 1:  $-30\text{ °C}$
    - Spolehlivostní úroveň 2:  $-35\text{ °C}$
    - Spolehlivostní úroveň 3:  $-40\text{ °C}$
- Teploty v kombinaci s dalším klimatickým zatížením
  - a) Při zatížení větrem:  $-5\text{ °C}$
  - b) Při zatížení námrazou:  $-5\text{ °C}$
  - c) Při zatížení větrem a námrazou:  $-5\text{ °C}$

## 4.4 Vítr

Nerovnoměrným zahříváním zemského povrchu, rozdílnými tlaky v různých vrstvách atmosféry a také rotací Země vzniká vítr, který je dalším klimatickým jevem výrazně ovlivňujícím vlastnosti venkovních vedení. Je charakterizován svým směrem a rychlostí působení. Vzduch se pohybuje směrem k oblastem s vyšší teplotou a nižším tlakem. Je dokázáno, že čím větší jsou rozdíly atmosférických tlaků, tím je rychlost proudění vyšší. Tímto jevem dochází k většímu silovému namáhání vůči předmětům, na které proud vzduchu působí. [28]

Dle mapy větrných oblastí, která je součástí této práce v Příloha B - a která vychází z [29], je ČR rozdělena na 5 typů větrných oblastí s rozdílnými základními rychlostmi větru  $V_{b,0}$ . Tyto oblasti jsou rozděleny dle Tabulka 4.1.

Tabulka 4.1 - Základní rychlosti větru [4]

Větrová oblast	Označení oblasti	Základní rychlost $V_{b,0}$ ( $m \cdot s^{-1}$ )
I.	bílá	22,5
II.	světle hnědá	25,0
III.	tmavě hnědá	27,5
IV.	růžová	30,0
V.	červená	36,0

Základní rychlost větru  $V_{b,0}$  je vyjádřena desetiminutovou střední rychlostí větru, stanovenou nezávisle na směru větru a ročním období. V Tabulka 4.1 jsou tyto hodnoty konkrétně pro referenční výšku nad zemí  $h = 10$  m (výšku zavěšení na PB) a kategorii terénu II. Jedná se o charakteristickou hodnotu s pravděpodobností překročení 0,02. Tato pravděpodobnost odpovídá střední době návratu 50 let. Základní rychlosti pro jiné kategorie terénu lze přepočítat dle hodnot uvedených v Tabulka 4.2.

Stanovením základní rychlosti větru  $V_{b,0}$  je možné dále vypočítat střední rychlost větru  $V_h$  podle rovnice (4.1):

$$V_h = V_{b,0} \cdot k_T \cdot c_{dir} \cdot c_o \cdot \ln\left(\frac{h}{z_o}\right), \quad (4.1)$$

kde je  $k_T$  (-) součinitel terénu,  $c_{dir}$  (-) součinitel směru větru,  $c_o$  (-) součinitel ortografie a  $z_o$  (-) parametr drsnosti terénu. Na území ČR je dle [4] doporučeno stanovit součinitele směru větru  $c_{dir}$  a ortografie  $c_o$  rovno 1.

Referenční výška  $h = 10$  m je udávána za účelem zjednodušení náročnosti výpočtů a je uvažována u PB s maximální výškou do 24 m. Pro PB s výškou nad zemí 24–40 m je uvažována referenční hodnota  $h = 30$  m. Rozdílný je postup u hladin VVN, kde výšky přesahují 40 m.

Tabulka 4.2 - Parametr drsnosti  $z_0$  a součinitel terénu  $k_T$  pro kategorie terénu [4]

Kategorie terénu	Charakteristika terénu	$k_T$	$z_0$
I.	Rovná krajina bez překážek, velké vodní plochy	0,169	0,01
II.	Zemědělské plochy s rozptýlenou zástavbou a porosty	0,189	0,05
III.	Předměstské a průmyslové plochy a trvale zalesněná území	0,214	0,30
IV.	Oblasti, ve kterých je alespoň 15 % povrchu pokryto pozemními stavbami a jejichž průměrná výška bývá $> 15$ m.	0,233	1,00

Součinitel terénu  $k_T$  je možné pro různé parametry drsnosti  $z_0$  přepočítat dle [4] následující rovnicí (4.2):

$$k_T = 0,189 \cdot \left( \frac{z_0}{0,05} \right)^{0,07} \quad (4.2)$$

Poté je vypočten střední tlak větru  $q_h$  (Pa) rovnicí (4.3):

$$q_h = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_h^2, \quad (4.3)$$

kde je  $\rho$  hustota vzduchu,  $\rho = 1,25$  ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ).

Dále je intenzita turbulence  $I_v$  ( $\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$ ), napomáhající k určení maximálního tlaku větru v referenční výšce nad zemí  $h$ , vyjádřena vztahem (4.4):

$$I_v = \frac{1}{c_o \cdot \ln \left( \frac{h}{z_0} \right)}. \quad (4.4)$$

Se znalostí intenzity turbulence  $I_v$  a středního tlaku větru  $q_h$  (Pa), pomocí rovnice (4.5) lze získat maximální tlak větru  $q_p$  (Pa), opět v referenční výšce nad zemí  $h$ :

$$q_p = (1 + 7 \cdot I_v) \cdot q_h. \quad (4.5)$$

Rovnicí (4.6) je následně stanovena síla větru na libovolnou složku vedení, jejichž konstanty jsou stanoveny rovnicemi uvedenými v [4]:

$$Q_{Wx} = q_p \cdot G_x \cdot C_x \cdot A_x, \quad (4.6)$$

kde je  $G_x$  (-) součinitel konstrukce pro danou složku,  $C_x$  (-) součinitel aerodynamického odporu závislý na tvaru uvažované složky a  $A_x$  (-) průmět plochy uvažované složky vedení do roviny kolmé na směr větru.

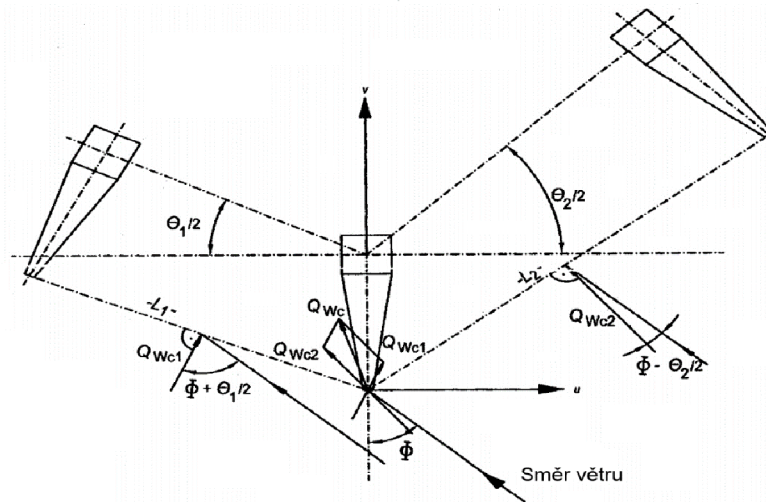


Složky síly větru působící na PB ze dvou sousedních rozpětí od každého vodiče lze určit rovnicemi (4.7) ve směru konzoly a (4.8) kolmo na konzolu:

$$Q_{W_{c_V}} = q_p G_c C_c d \left[ \pm \frac{L_1}{2} \cos^2 \left( \theta + \frac{\theta_1}{2} \right) \cos \left( \frac{\theta_1}{2} \right) + \frac{L_2}{2} \cos^2 \left( \theta - \frac{\theta_2}{2} \right) \cos \left( \frac{\theta_2}{2} \right) \right], \quad (4.7)$$

$$Q_{W_{c_U}} = q_p G_c C_c d \left[ \pm \frac{L_1}{2} \cos^2 \left( \theta + \frac{\theta_1}{2} \right) \cos \left( \frac{\theta_1}{2} \right) - \frac{L_2}{2} \cos^2 \left( \theta - \frac{\theta_2}{2} \right) \cos \left( \frac{\theta_2}{2} \right) \right], \quad (4.8)$$

kde je  $d$  (m) průměr vodiče,  $\theta$  ( $^\circ$ ) úhel mezi směrem větru a podélnou osou konzoly,  $\theta_1$  ( $^\circ$ ) a  $\theta_2$  ( $^\circ$ ) úhly změny směru trasy,  $C_c$  (-) součinitel aerodynamického odporu běžně používaný pro slané vodiče, izolované vodiče a další typy. Podrobně jsou všechny veličiny rozebrány v [4], kde je také uvedena hodnota součinitele aerodynamického odporu  $C_c = 1$ . Celá právě matematicky vyjádřená situace je popsána Obrázek 4.1.



Obrázek 4.1 - Síly větru na vodiče – obecný případ [4]

Síla větru působící na příhradové stožáry  $Q_{wt}$  může být určena rovnicí (4.9). Tato síla je tvořena silami přenášenými z působení větru na vodiče a tlaku větru na vlastní konstrukci stožáru:

$$Q_{wt} = q_p \cdot G_t \cdot C_t \cdot A_t, \quad (4.9)$$

kde je  $G_t$  součinitel konstrukce pro příhradové stožáry, normou [4] stanoveno  $G_t = 0,9$  (-) a  $C_t$  součinitel aerodynamického odporu. Hodnota je  $C_t = 2,6$  (-) pro vítr kolmo na stěny stožáru a  $C_t = 3,0$  (-) pro vítr úhlopříčně na stožár.  $A_t$  ( $m^2$ ) je účinná plocha prvků stěny stožáru, tzv. plocha nárožníků a příček.

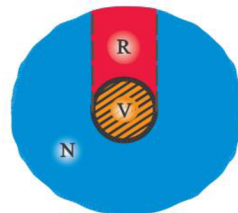
## 4.5 Námraza

Dalším z přírodních jevů působících na mechaniku vedení je námraza, což je stav povětrnosti, při kterém se na vodičích a ostatních částech vedení usazuje zatížení ve formě těžké jinovatky, sněhu, ledu apod. To má za následek zvýšené silové namáhání jak na vodiče, tak PB a jejich vybavení. Z toho důvodu je žádoucí předejít celkovému mechanickému zhroucení systému kvůli přetížení a mezifázovým zkratům. Tyto jevy vznikají odpadáváním ledu a sněhu z vodičů a jejich následném kmitání. [22]

Vznik námrazy na území ČR je velice častý jev ovlivňující nejen výběr trasy daného vedení, ale i celkovou spolehlivost provozu. Zpětné studie poruch a výpadků dokázaly, že je 30–40 % případů způsobeno právě tímto typem namáhání i přes to, že je možnost výskytu námrazy přibližně 2 měsíce v roce. [7]

### 4.5.1 Metody pro odstranění námrazy z vedení

Práce na venkovním vedení v důsledku poškození námrazou je velice obtížné realizovat kvůli současně působícím mrazům, výskytu sněhu a vánic. Z tohoto důvodu je nutné poškození předejít např. sklepáváním sněhu izolačními tyčemi nebo vyhříváním vodičů proudem. První z těchto způsobů nachází své uplatnění především na vedeních VN a rozvodnách, kde jsou vodiče umístěny v relativně nízké výšce nad zemí. U vedení VVN a obecně všech rozměrově a napětově vyšších distribučních soustav, bývá využit druhý z těchto způsobů. Principem je krátkodobý průchod takového proudu vodičem, aby ztráty na činném odporu rozpustily část námrazku. [27]



Obrázek 4.2 - Námraza na vodiči při současném působení vyhřívacího proudu [3]

Teplo podle Obrázek 4.2 z fyzikální podstaty proudí směrem nahoru, čímž dojde k rozpuštění „R“ části a zbylá „N“ část následně upadne. Při tomto procesu je nutné vzít v úvahu:

1. Upadnutím námrazy z vodiče dojde k eliminaci veškerého zatížení, které postupným rozšiřováním vrstvy a tím zvyšování hmotnosti, zvětšovalo průhyb vodiče mezi dvěma podpěrnými body. To bude mít za následek rozkmitání vodičů a může dojít k již zmiňovaným mezifázovým zkratům.
2. Průchodem proudu dojde k nadměrnému oteplení vodiče a je nutno kontrolovat maximální přípustnou teplotu, aby nedošlo ke ztrátě pevnosti, viz podkapitola 4.3.

#### 4.5.2 Výpočet návrhového zatížení námrazou

Dle [4] je stanoveno na území ČR zatížení námrazou ve formě těžké jinovatky o hustotě  $\rho_1 = 500 \text{ kg m}^{-3}$ . ČR je dále rozdělena do základních námrazových oblastí, které jsou k této práci přiloženy ve formě mapy námrazových oblastí ČR do Příloha C -. Po stanovení námrazové oblasti, je nutné určit z Tabulka 4.3 referenční hodnotu zatížení námrazou  $I_{R50}$ . Tato hodnota udává zatížení námrazou na jednotku délky a je vypočtena pro referenční výšku nad zemí  $h = 10 \text{ m}$  s dobou návratu  $T = 50 \text{ let}$ .

Tabulka 4.3 - Referenční zatížení extrémní námrazou s dobou návratu  $T = 50 \text{ let}$  [4]

Námrazová oblast	$I_{R50} (\text{N}\cdot\text{m}^{-1})$ na jednotku délky vodiče o průměru $d$ (mm)	
	$d \leq 30 \text{ mm}$	$d > 30 \text{ mm}$
I-0	$1,064 + 0,1280 d$	$3,963 + 0,0314 d$
I-1	$3,175 + 0,2212 d$	$8,515 + 0,0432 d$
I-2	$8,661 + 0,3653 d$	$17,53 + 0,070 d$
I-3	$15,00 + 0,481 d$	$25,46 + 0,132 d$
I-5	$29,00 + 0,668 d$	$43,84 + 0,174 d$
I-8	$51,70 + 0,893 d$	$73,89 + 0,153 d$
I-12	$83,66 + 1,135 d$	$107,8 + 0,330 d$
I-18	$133,35 + 1,435 d$	176,58
I-K	Stanoveno individuálně případ od případu	

Tyto hodnoty jsou podloženy statistickým měřením na měrné tyči o průměru  $d = 30 \text{ mm}$ . Hmotnost námrazy je dle tohoto měření v Tabulka 4.3 definována číslem v označení námrazových oblastí, kde I-1 udává hmotnost do  $1 \text{ kg m}^{-1}$ , I-2 do  $2 \text{ kg m}^{-1}$  atd. Specifické jsou námrazové oblasti I-0, kde je uvažována hmotnost do  $0,5 \text{ kg m}^{-1}$  a I-K u které je hmotnost vyšší než  $18 \text{ kg m}^{-1}$ . U starších norem a dokumentů se lze setkat s obdobným způsobem značení, počáteční písmeno „I“ bývá ale nahrazeno písmenem „N“.

Vztahem (4.10) lze určit extrémní zatížení námrazou na jednotku délky vodiče  $I_{50}$  ve výšce nad zemí  $h$ :

$$I_{50} = K_{Ic} \cdot K_h \cdot I_{R50}, \quad (4.10)$$

kde je  $K_{Ic}$  (-) součinitel místních podmínek pro zatížení námrazou,  $K_{Ic} = 1$  a  $K_h$  (-) součinitel výšky pro zatížení námrazou. Na základě dlouhodobých zkušeností provozovatele distribučních soustav v příslušných místech, může součinitel místních podmínek  $K_{Ic}$  nabývat i jiných hodnot než 1, v těchto případech poukazuje na odchylku od extrémního zatížení námrazou. Jelikož může být hodnota zatížení námrazou v obou

přilehlých rozpětích různá, je svislé zatížení námrazou  $Q_I$  ( $\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$ ), působící na každém dílčím vodiči na PB, určeno součtem příspěvků z obou přilehlých rozpětí vztahem (4.11):

$$Q_I = I_{d1} \cdot L_{W1} + I_{d2} \cdot L_{W2}, \quad (4.11)$$

kde je  $I_{d1}$ ,  $I_{d2}$  ( $\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$ ) zatížení námrazou na jednotku délky v přilehlých rozpětích a  $L_{W1}$ ,  $L_{W2}$  (m) vzdálenosti spodní hranice průhybové křivky od PB.

## 4.6 Kombinované zatížení větrem a námrazou

Pokud není projektovou specifikací stanoveno jinak, je vycházeno ze zatížení působícího pouze na vodiče venkovních vedení. U PB a izolátorových částí tento typ zatížení, zvětšující jejich plochy v důsledku kombinačního působení, není uvažován. Při početním určování tohoto typu zatížení je uvažována pouze kombinace zatížení rychlosti větru  $V_h$  a extrémní námrazy  $I_{50}$ , dle stanovené úrovně spolehlivosti. [4]

Nejprve musí být určen rovnicí (4.12) dynamický tlak větru  $q_h$  (Pa), který je spojen s námrazou:

$$q_h = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_h^2, \quad (4.12)$$

kde je  $\rho$  ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) hustota vzduchu a  $V_h$  ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) střední rychlost větru v referenční výšce nad terénem. Následně lze určit obdobně jako v podkapitole 4.4 maximální tlak větru následujícím vztahem (4.13):

$$q_p = (1 + 7 \cdot I_V) \cdot q_h, \quad (4.13)$$

kde je  $I_V$  ( $\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$ ) intenzita turbulence stanovená rovnicí (4.4). Námraza vytvořená na vodiči způsobí změnu průměru, který poté je nazýván ekvivalentním průměrem  $D$  (m). Tento nově vytvořený průměr lze určit vzorcem (4.14):

$$D = \sqrt{d^2 + 4 \cdot \frac{I}{g \cdot \pi \cdot \rho_I}}, \quad (4.14)$$

kde je  $d$  (m) původní průměr vodiče,  $I$  ( $\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$ ) zatížení námrazou na jednotku délky vodiče,  $g$  ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ ) gravitační zrychlení,  $\pi$  (-) Ludolfovo číslo 3,1461 a  $\rho_I$  hustota námrazy,  $\rho_I = 500$  ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ).

Obdobným způsobem jako v podkapitole 4.4 je následně určeno zatížení PB, které je způsobeno silou větru působícího na vodiče pokryté námrazou. Tentokrát bude ale uvažován již zmíněný ekvivalentní průměr  $D$ . Složka síly působící ve směru konzoly je v tomto případě určena rovnicí (4.15):

$$Q_{w_{Ic_V}} = q_p G_c C_c D \left[ \pm \frac{L_1}{2} \cos^2 \left( \theta + \frac{\theta_1}{2} \right) \cos \left( \frac{\theta_1}{2} \right) + \frac{L_2}{2} \cos^2 \left( \theta - \frac{\theta_2}{2} \right) \cos \left( \frac{\theta_2}{2} \right) \right], \quad (4.15)$$

a složka síly působící kolmo na konzolu rovnici (4.16):

$$Q_{w_{Ic_V}} = q_p G_c C_c D \left[ \pm \frac{L_1}{2} \cos^2 \left( \theta + \frac{\theta_1}{2} \right) \cos \left( \frac{\theta_1}{2} \right) - \frac{L_2}{2} \cos^2 \left( \theta - \frac{\theta_2}{2} \right) \cos \left( \frac{\theta_2}{2} \right) \right] \quad (4.16)$$

kde je  $\theta$  ( $^\circ$ ) úhel mezi směrem větru a podélnou osou konzoly,  $\theta_1$  ( $^\circ$ ) a  $\theta_2$  ( $^\circ$ ) úhly změny směru trasy,  $G_c$  (-) součinitel konstrukce pro vodič a  $C_c$  (-) součinitel aerodynamického odporu běžně používaný pro slané vodiče, izolované vodiče a další typy.

## 5. MECHANIKA VENKOVNÍCH VEDENÍ

Tato kapitola je zaměřena na detailní popis mechanických vlastností venkovních vedení, zejména mechaniky vodičů. Pro správný návrh prvků distribuční soustavy jsou tyto vlastnosti klíčové, jelikož se jedná o výpočty zohledňující chování celého systému při všech možných zatěžovacích stavech. Správný návrh vedení je podložen mnoha aspekty, kterým je nutno před výstavbou vyhovět. Detailně jsou konkrétní aspekty rozebrány v [7], kde jsou do hloubky popsány především následující body:

Prvním je provozní bezpečnost celého vedení dle aktuálně platných norem, které udávají bezpečné vzdálenosti vodičů od okolních objektů, terénů nebo i křížujících vedení apod. Tyto vzdálenosti jsou ověřovány a zároveň musí splňovat podmínky, při všech možných klimatických situacích, které byly popsány v předchozí kapitole 4.

Dalším důležitým bodem jsou provozní důvody, pojednávající o dostatečné mechanické pevnosti celého vedení při všech klimatických situacích. Důležitost je kladena především na nepřetržitou dodávku elektrické energie. Cílem je tedy zajištění co nejvyšší provozní bezpečnosti spolehlivosti.

Poslední jsou důvody ekonomické. Správný návrh mechanického napětí umožní volbu dostatečné hmotnosti stožárů, základových konstrukcí a dalších důležitých částí vedení. To má za následek celkové snížení nákladů na výstavbu a vedení se stává ekonomicky výhodnější.

### 5.1 Křivka zavěšeného vodiče

Bude-li pružný, dokonale ohebný vodič zavěšen na dvou bodech ve stejné výši, lze vytvořit tzv. pružnou řetězovku. V tomto případě se jedná o nejpřesnější popis skutečného průhybu vodiče. V praxi je ale využívána nepružná řetězovka, jelikož je počítání s pružnou velice náročné a rozdíly mezi těmito dvěma druhy jsou minimální. Uplatnění nepružná řetězovka nachází především pro delší rozpětí a velké sklony terénu. Nejčastěji je však nahrazena parabolou, která má především u malých a středních rozpětí od řetězovky taktéž minimální rozdíly. [22]

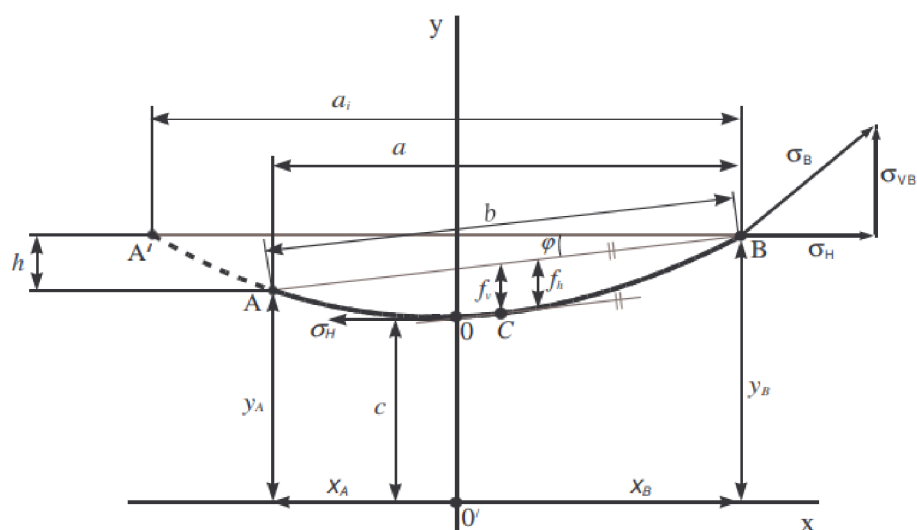
U těchto křivek jsou dle [22] stanoveny následující předpoklady:

1. Pružná řetězovka – váha 1 m vodiče a přídavného zatížení přímo závisí na protažení vodiče v dotyčném místě. Váha 1 m je tedy nejmenší v místě nejvíce namáhaném. Počítá se i s pružností vodiče.
2. Nepružná řetězovka – váha vodiče i přídavných zatížení je rovnoměrně rozdělena po celé délce vodiče.
3. Parabola – váha vodiče i přídavného zatížení je rovnoměrně rozdělena po spojnici zavěšení.

V následující části bude popsán výpočetní aparát pro konkrétní typy křivek zavěšeného vodiče. Tento krok byl učiněn, jelikož v praktické části práce používaný program Spider-EN, využívá při výpočtech parametrů nesouměrně zavěšeného vodiče. Způsob zavěšení vodičů je rozdělen na dvě základní skupiny, dle konkrétního typu zavěšení. Prvním typem je souměrný závěs, kterým je myšlen případ, kdy jsou oba konce lana zavěšeny ve stejné výšce. V praxi se ale s tímto typem zatížení téměř nelze setkat, své uplatnění nachází pouze u např. rozvodn, kde je celá plocha objektu vystavěna ve stejné výšce. V případě venkovních vedení je výskyt i nepatrného převýšení téměř pravidlem a je nutné respektovat skupinu druhou, konkrétně nesouměrného závěsu. Z tohoto důvodu bude v následující podkapitole 5.2 rozebráno detailně zavěšení nesouměrné, jelikož pro potřeby práce souměrný závěs není nutné uvažovat. Do hloubky jsou ale závěsu souměrnému věnovány literatury [3] a [7].

## 5.2 Nesouměrný závěs

Nesouměrný závěs nemá koncové body zavěšené ve stejné výšce. V praxi se ve většině případů lze setkat právě s tímto typem zavěšení a obzvláště u výpočtů realizovaných výpočetními softwary je nejvýhodnější použít nesouměrnou řetězovku, jelikož lépe vystihuje skutečné rozložení a tvar průhybové křivky. Jedná se v podstatě o nesouměrné nebo i šikmé pole, které je definováno  $x_A \neq x_B$  a  $y_A \neq y_B$ . Tuto situaci detailně popisuje Obrázek 5.1, kde je  $h$  (m) rozdíl převýšení mezi body A a B,  $a$  (m) vodorovná vzdálenost podpěr a  $b$  (m) délka šikmého rozpětí. Nesouměrně zavěšený vodič je možné řešit doplněním na závěs souměrný rozšířením průhybu o bod A' a stanovením ideálního rozpětí  $a_i$ . [7]



Obrázek 5.1 - Nesouměrně zavěšený vodič [27]

Nejprve je rovnicí (5.1) potřebné stanovit parametr křivky  $c$  (-) na základě mechanických vlastností vodiče. Odvození tohoto parametru je věnována kapitola 4.1 literatury [7], která je zaměřena na celkovou mechaniku venkovních vedení. Stejná literatura je poté zaměřena na odvození výsledných rovnic početních variant dle řetězovky nebo paraboly.

$$c = \frac{\sigma_H}{\gamma \cdot z}, \quad (5.1)$$

kde je  $\sigma_H$  (Pa) vodorovné namáhání ve vodiči,  $\gamma$  ( $\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}\cdot\text{m}^{-1}$ ) měrná tíha vodiče a  $z$  (-) přetížení vodiče námrazou, větrem, nebo kombinované.

Dle Obrázek 5.1 je stanoven výškový rozdíl  $h$  sousedních bodů zavěšení:

$$h = y_B - y_A = c \cdot \left( \cosh \frac{x_B}{c} - \cosh \frac{x_A}{c} \right) = c \cdot \left( \cosh \frac{x_B}{c} - \cosh \frac{a - x_B}{c} \right). \quad (5.2)$$

Již zmiňovaným doplněním nesouměrného závěsu na závěs souměrný je zapříčiněn vznik ideálního rozpětí vedení  $a_i$ :

$$a_i = a + 2 \cdot c \cdot \arg \sinh \frac{h}{l_s}, \quad (5.3)$$

kde je  $l_s$  (m) délka lana při souměrném závěsu popsána v předchozí podkapitole.

Následným rozkladem hyperbolických funkcí, detailně popsáním v literatuře [7], lze dostat rovnice určující  $x$ -ové souřadnice bodů zavěšení  $x_B$  a  $x_A$ :

$$x_B = c \cdot \arg \sinh \frac{h}{l_s} + \frac{a}{2}, \quad (5.4)$$

$$x_A = a - x_B = \frac{a}{2} - c \cdot \arg \sinh \frac{h}{l_s}, \quad (5.5)$$

dále také  $y$ -ové souřadnice charakterizující konkrétní body zavěšení  $y_B$  a  $y_A$ :

$$y_B = c \cdot \cosh \frac{x_B}{c}, \quad (5.6)$$

$$y_A = c \cdot \cosh \frac{x_A}{c}. \quad (5.7)$$

Bude-li  $x$ -ová souřadnice výše položeného bodu kladná a vrchol průhybové křivky vždy protne osu  $y$ , mohou pro níže položený bod ( $x_A$ ) nastat následující situace [7]:

1. Pokud je  $x_A < 0$ , bude vrchol řetězovky ležet mezi dvěma zavěšenými body.
2. Pokud je  $x_A = 0$ , bude níže položený bod ležet přímo ve vrcholu řetězovky
3. Pokud je  $x_A > 0$ , vrchol řetězovky nebude mezi dvěma zavěšenými body a oba tyto body budou na stejné straně průhybové křivky.



Pokud v praxi nastane poslední ze zmíněných situací, může vodič svým tahem nadzvednout spodní izolátor. Vznik této situace může být zapříčiněn maximálním zkrácení vodičů v důsledku extrémně nízkých teplot viz podkapitola 4.5, např. ve svahu s velkým sklonem. Řešením tohoto problému je zatížení stávajícího izolátoru dodaným závažím nebo uchycení dalším izolátorem ze spodu. [7]

### 5.2.1 Mechanický výpočet nesouměrně zavěšeného vodiče

Doplněním na závěs souměrný a stanovením souřadnic konkrétních bodů, je možné určit maximální průhyb ideálního pole  $f_{mi}$ :

$$f_{mi} = y_B - c = c \cdot \cosh \frac{x_B}{c} - c = c \cdot \left( \cosh \frac{x_B}{c} - 1 \right). \quad (5.8)$$

Dále lze určit průhyb  $f_x$  v libovolné vzdálenosti  $x$  od místa maximálního průhybu  $f_{mi}$ :

$$f_x = y_B - y_x = c \cdot \cosh \frac{x_B}{c} - c \cdot \cosh \frac{x}{c}. \quad (5.9)$$

Charakteristický průhyb  $f_k$  je definován jako průhyb uprostřed rozpětí dvou sousedních bodů zavěšení. Podrobné odvození pomocí rozšířené Pythagorovy věty je uvedeno v literatuře [7]. Výsledkem je rovnice (5.10) ve tvaru:

$$f_k = f_m \cdot \cosh \frac{x_k}{c}, \quad (5.10)$$

kde je  $x_k$  vzdálenost bodu s charakteristickým průhybem, určená vztahem (5.11):

$$x_k = \frac{x_A + x_B}{2} - x_A = \frac{x_B - x_A}{2}. \quad (5.11)$$

Svislá vzdálenost mezi spojnicí zavěšených bodů a tečnou ke křivce, která je rovnoběžná se spojnicí závěsných bodů je nazývána viditelný průhyb  $f_v$ . Nejprve je podle [27] pomocí rovnic (5.12) a (5.13) stanovena souřadnice bodu s viditelným průhybem od počátku následovně:

$$\tan \alpha = \frac{h}{a} = \sinh \frac{x_v}{c}, \quad (5.12)$$

$$x_v = c \cdot \arg \sinh \frac{h}{a}. \quad (5.13)$$

Se znalostí hodnot  $x_v$  a  $x_B$  jsou  $y$ -ové souřadnice těchto bodů určeny:

$$y_v = c \cdot \cosh \frac{x_v}{c} ; \quad y_B = c \cdot \cosh \frac{x_B}{c}, \quad (5.14)$$

viditelný průhyb je poté možné stanovit dle vztahu (5.15):

$$f_v = y_B - y_v - h', \quad (5.15)$$

kde je  $h'$  na základě podobnosti trojúhelníku vyjádřený výškový rozdíl v místě viditelného průhybu, který lze vyjádřit rovnicí (5.16):

$$h' = (x_B - x_v) \cdot \frac{h}{a}. \quad (5.16)$$

Délka nesouměrné řetězovky  $l_{AB}$  je určena stejně jako u souměrné, rozdílne jsou pouze integrační meze určitého integrálu, kde po úpravách uvedených stanovených v [7] vychází rovnice (5.17):

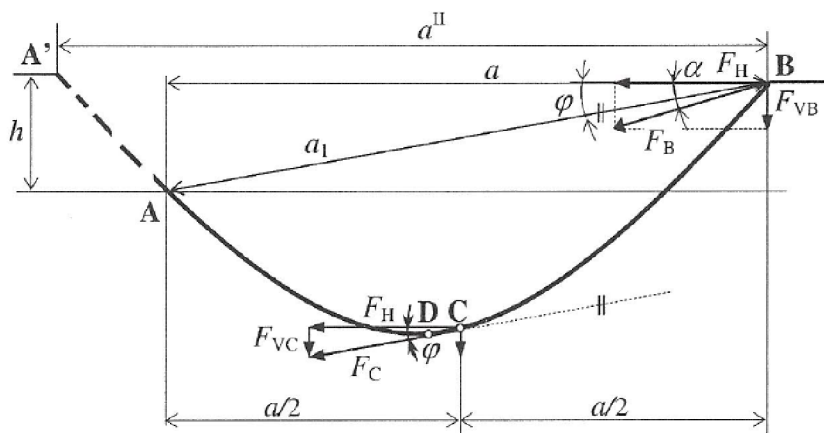
$$l_{AB} = c \cdot \sinh \frac{x_A}{c} + c \cdot \sinh \frac{x_B}{c}. \quad (5.17)$$

Mechanické napětí v bodech zavěšení A a B je určeno stejným způsobem jako u pole souměrného s tím rozdílem, že v tomto případě body nejsou ve stejné výši a tím pádem nejsou velikosti stejné. Platí tedy:

$$\sigma_{VA} = l_A \cdot \gamma \cdot z ; \quad \sigma_{VB} = l_B \cdot \gamma \cdot z, \quad (5.18)$$

kde jsou  $l_A$  a  $l_B$  délky větví vedení od příslušných bodů zavěšení po vrcholy řetězovky.

Pro popis vertikálních složek sil v závěsných bodech bude sloužit následující Obrázek 5.2, který je převzat z literatury [7], kde je také zmíněn detailní popis dané problematiky.



Obrázek 5.2 - Popis šikmého pole k určení vertikálních sil [7]

Z Obrázek 5.2 je patrné, že je tečna průhybové křivky rovnoběžná se spojnicí bodů zavěšení a rozděljuje šikmé pole na dvě části v bodě C. Vrchol řetězovky je následně v bodě D. Dále je možné vyčíst fakt, že svislá složka síly v nižším (vyšším) bodě zavěšení A (B), se rovná rozdílu (součtu) tíhy polovičního rozpětí a složky svislé síly v bodě C [7]. Platí tedy vztah (5.19):

$$F_{VC} = F_H \cdot \tan \varphi = F_H \cdot \frac{h}{a}, \quad (5.19)$$

a následně složky sil v bodech zavěšení A a B lze určit vztahy (5.20) a (5.21):

$$F_{VA} = \frac{a}{2} \cdot (q_1 + q_2) - F_{VC}, \quad (5.20)$$

$$F_{VB} = \frac{a}{2} \cdot (q_1 + q_2) + F_{VC}. \quad (5.21)$$

### 5.3 Stavová rovnice zavěšeného vodiče

Vlivem klimatických zatížení, popsanych v kapitole 4, dochází ke změně celkového přetížení vodiče a v důsledku toho i mechanického napětí a celkového průhybu. Stavová rovnice je nástroj vyjadřující závislost mechanického napětí na teplotě, zatížení a celkovém rozpětí vodičů venkovních vedení. Mechanické výpočty jsou prováděny za účelem zjištění nejnepříznivějších případů, které mohou vlivem klimatu nastat. Jak již bylo v kapitole 4, popisující klimatické působení zmíněno, vodiče v závislosti na teplotě zvyšují a snižují svůj průhyb. Normou [4] jsou dané maximální možné průhyby, které nesmí být za žádných okolností překročeny. Z toho důvodu jsou pomocí stavové rovnice sestavovány montážní tabulky, shrnující mechanické namáhání a příslušné průhyby v závislosti na teplotě. Tyto hodnoty jsou počítány z intervalu teplot od  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$  s referenční hodnotou  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  se současným působením námrazy. [7]

Montážní tabulky budou vytvořeny v praktické části této bakalářské práce a detailně popsány v podkapitole 7.3. Způsob tvorby těchto tabulek v prostředí již zmíněného programu Spider-EN je současně popsán v části 6.1.2.

Detailním odvozením stavové rovnice s postupnými kroky a popisy se zabývají literatury [27] a [7], pro potřeby této práce je uvedena pouze výsledná rovnice ve tvaru:

$$\sigma_{HI}^3 + \sigma_{HI}^2 \cdot \left[ \frac{\gamma^2 \cdot E}{24} \cdot \left( \frac{a \cdot z_0}{\sigma_{HO}} \right)^2 + \alpha \cdot E \cdot (\vartheta_I - \vartheta_O) - \sigma_{HO} \right] = \frac{\gamma^2 \cdot E}{24} \cdot (a \cdot z_1)^2, \quad (5.22)$$

kde jsou  $\alpha$ ,  $\gamma$  a  $E$  konstanty pro určitý typ materiálu. Podle [7] je vzorec poté možné upravit na:

$$\sigma_{HI}^3 + \sigma_{HI}^2 \cdot \left[ A \cdot \left( \frac{a \cdot z_0}{\sigma_{HO}} \right)^2 + B \cdot (\vartheta_I - \vartheta_O) - \sigma_{HO} \right] = A \cdot (a \cdot z_1)^2, \quad (5.23)$$

$$\text{kde je } A = \frac{\gamma^2 \cdot E}{24}; \quad B = \alpha \cdot E. \quad (5.24)$$

Takto upravený vzorec vede ke zjednodušení praktických výpočtů při sestavování montážních tabulek. Pomocí stavové rovnice jsou při návrhu a montáži venkovních vedení určovány další dva důležité parametry a těmi jsou kritické rozpětí a kritická teplota.

### 5.3.1 Kritické rozpětí

Jak je uvedeno v [27] a současně již popsáno v kapitole 4, změnami okolních teplot se mění mechanické napětí ve vodiči. Díky tomu může nastat případ, kdy je vodič při velice nízkých teplotách namáhán více než při  $-5\text{ °C}$  + námraza. Z tohoto důvodu je určeno kritické rozpětí, ve kterém je parametrem teplota a určuje se ve většině případů pro teplotu  $-30\text{ °C}$ . Reálná rozpětí by poté neměla být menší než tato kritická hodnota.

Ze stavové rovnice je kritické rozpětí určeno s uvažováním následujících předpokladů:

$$\sigma_{HI} = \sigma_{HO} ; \vartheta_0 = -5\text{ °C} ; z_1 = 1 ; a = a_{\text{krit}} , \quad (5.25)$$

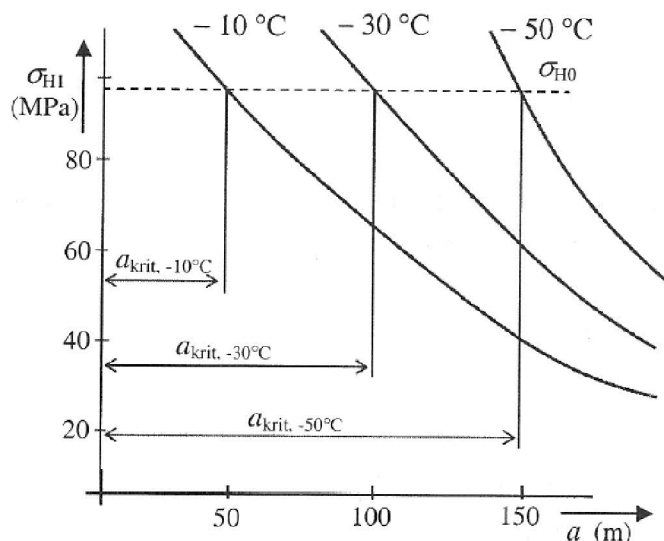
kde po následném dosazení do stavové rovnice (5.22) a matematických úpravách vyjde vzorec (5.26):

$$a_{\text{krit}}(\vartheta_1) = \frac{\sigma_{HO}}{\gamma} \cdot \sqrt{\frac{24 \cdot \alpha \cdot (-\vartheta_1 - 5)}{z_0^2 - 1}} , \quad (5.26)$$

a pro teplotu  $\vartheta_1 = -30\text{ °C}$  [7]:

$$a_{\text{krit}} = \frac{\sigma_{HO}}{\gamma} \sqrt{\frac{24 \cdot \alpha \cdot (30 - 5)}{z_0^2 - 1}} = \frac{10 \cdot \sigma_{HO}}{\gamma} \cdot \sqrt{\frac{6 \cdot \alpha}{z_0^2 - 1}} . \quad (5.27)$$

Z Obrázek 5.3 a rovnice (5.27) je patrné, že při nižších teplotách roste kritické rozpětí venkovních vedení. Díky dříve popsaným teplotním roztažnostem a smršťování vodičů vlivem teplot, je z uvedeného Obrázek 5.3 dále viditelný fakt, že při  $a > a_{\text{krit}}$  velikost mechanického napětí klesá. Naopak při  $a < a_{\text{krit}}$  velikost napětí stoupá. Z tohoto důvodu nesmí být hodnota  $a_{\text{krit}}$  nikdy překročena.



Obrázek 5.3 - Závislost mechanického napětí na délce rozpětí [7]

### 5.3.2 Kritická teplota

Podle [27] se jedná o teplotu u které nastává stejný průhyb vodiče, jako v případě přetížení při  $-5\text{ °C}$  a námrazy. Tuto teplotu je při výstavbě a návrhu vedení nutné stanovit tak aby vodič i v nejméně příznivé situaci bezporuchového stavu ( $-5\text{ °C}$  + přetížení, resp.  $+40\text{ °C}$ ) nebo speciálních případech (např. nerovnoměrné námraze) nezasáhl do ochranných pásem přilehlých objektů a země. Jinak řečeno, musí být známo v jakém povětrnostním stavu se vodič nejvíce prohne a způsobí nebezpečí pro okolní objekty, či osoby. Hodnoty minimálních vzdáleností vodičů od okolních objektů jsou obsaženy v nejaktuálnější platné normě [4].

Z právě popsané definice plyne, že prodloužení vodiče vlivem této teploty je stejné jako jeho pružné zkrácení vlivem změny mechanického napětí, platí tedy:

$$\Delta l_{\vartheta} = \Delta l_{\sigma}. \quad (5.28)$$

Podobně jako v předchozím případě lze vycházet z následujících předpokladů:

$$\vartheta_1 = \vartheta_{\text{krit}} ; \vartheta_0 = -5\text{ °C} ; z_1 = 1 ; \sigma_{\text{HI}} = \sigma_{\text{Hkrit}}. \quad (5.29)$$

Vyjádřením rovnic pro  $\Delta l_{\vartheta}$  a  $\Delta l_{\sigma}$  postupy uvedenými v [27] vznikne rovnost:

$$l_0 \cdot \alpha \cdot (\vartheta_{\text{krit}} - \vartheta_0) = \frac{l_0}{E} \cdot \left( \sigma_{\text{HO}} - \frac{\sigma_{\text{HO}}}{z_0} \right), \quad (5.30)$$

ze které je následně po úpravách možné získat výraz pro výpočet kritické teploty:

$$\vartheta_{\text{krit}} = \frac{1}{\alpha \cdot E} \cdot \left( \sigma_{\text{HO}} - \frac{\sigma_{\text{HO}}}{z_0} \right) - 5 = \frac{\sigma_{\text{HO}}}{\alpha \cdot E} \cdot \left( \frac{z_0 - 1}{z_0} \right) - 5. \quad (5.31)$$

Z tohoto vztahu je patrné, že kritická teplota nezávisí na rozpětí. Pro potřeby navrhování je ale nutné ji porovnat s maximální teplotou  $\vartheta = 40 \text{ }^\circ\text{C}$ . Dle [7] mohou nastat následující případy:

1.  $\vartheta_{\text{krit}} > +80 \text{ }^\circ\text{C}$ , poté maximální průhyb nastává při  $-5 \text{ }^\circ\text{C}$  a přetížení námrazou.
2.  $\vartheta_{\text{krit}} = +80 \text{ }^\circ\text{C}$ , poté se průhyb při  $-5 \text{ }^\circ\text{C}$  a námraze rovná průhybu při  $+40 \text{ }^\circ\text{C}$ .
3.  $\vartheta_{\text{krit}} < +80 \text{ }^\circ\text{C}$ , poté nastává maximální průhyb při  $+40 \text{ }^\circ\text{C}$ .

## 6. VÝPOČETNÍ PROGRAM SPIDER-EN

V této kapitole bude provedena charakteristika výpočetního programu Spider-EN a následných postupů, pomocí kterých budou učiněny jednotlivé výpočty a kroky vedoucí k vytvoření projektové dokumentace, která je součástí této práce. Bude vycházeno z informací, které jsou zmíněny na webových stránkách společnosti [30] a zkušeností odborných konzultantů firmy Enelogy s.r.o. Součástí každé stavební dokumentace musí být dle platných legislativních požadavků projektová dokumentace pro následnou realizaci. Klíčovou složkou se poté stává dokumentace výkresová, díky které by měl být projekt vyhotoven a bezpečně proveden. Tak jako pro jiná odvětví průmyslových a civilních staveb, má projektování energetických distribučních sítí svá specifika a pravidla, která musí být dodržena. K tomu napomáhá právě software Spider-EN, vyvinut českou společností Gisoft. Primárně jsou poskytovány možnosti především pro projektování a tvorbu dokumentace skutečného provedení staveb. Tento program výrazně přispívá ke zvýšení produktivity, a hlavně efektivity provádění dokumentací distribučních sítí. Umožňuje kreslení v podélném profilu vedení, zajišťuje výpočty mechaniky vedení, dle již zmíněných postupů v teoretické části této práce. Dále se také zabývá návrhem jištění sítí NN, výpočty s využitím topologie a vzájemných vazeb mezi trasou vedení a schématem zapojení. Klíčovou vlastností je možnost snadné lokalizace prvků sítě a také řada kontrolních mechanismů zabraňujících vzniku topologických i logických chyb. Zásadní jsou poté komfortní nástroje pro grafický výstup i souhrnné výpisy zařízení v textové či tabulkové formě.

Tento program ve verzi 24.01.02 bude využit při kontrole stávajících a návrhu nových PB. Konkrétně se bude jednat výpočet mechanických sil působících na stožáry a vytvoření montážních tabulek pro následnou výstavbu. Z toho důvodu není v tomto textu obsažen detailní popis veškerých možností, kterými daný program disponuje, ale pouze vlastnostmi, ze kterých bude čerpáno při rekonstrukci. Veškeré detailní informace a podrobný popis všech částí programu je obsažen v [30]. Z tohoto zdroje bude následně vycházeno při krátké charakteristice funkcí.

### 6.1.1 Vlastnosti

Program pracující jako rozšířený CAD nástroj a nástavba programu MicroStation byl vyvinut společností Bentley Systems, Inc. Součástí databáze je pravidelně aktualizovaný katalog všech síťových prvků distribučních společností, jako je EG. D, ČEZ, ale také společností pokrývajících Slovensko.

Práce je zaměřena na návrh a kontrolu úseku venkovního vedení. Z tohoto důvodu bude využit již zmíněný modul zajišťující výpočty mechaniky venkovních vedení, montážních tabulek apod. Při realizaci výpočtů v prostředí programu bude vycházeno

podle postupů z platných norem, které byly rozebrány v teoretické části, kde byl představen matematický aparát. Konkrétně se jedná o tyto normy:

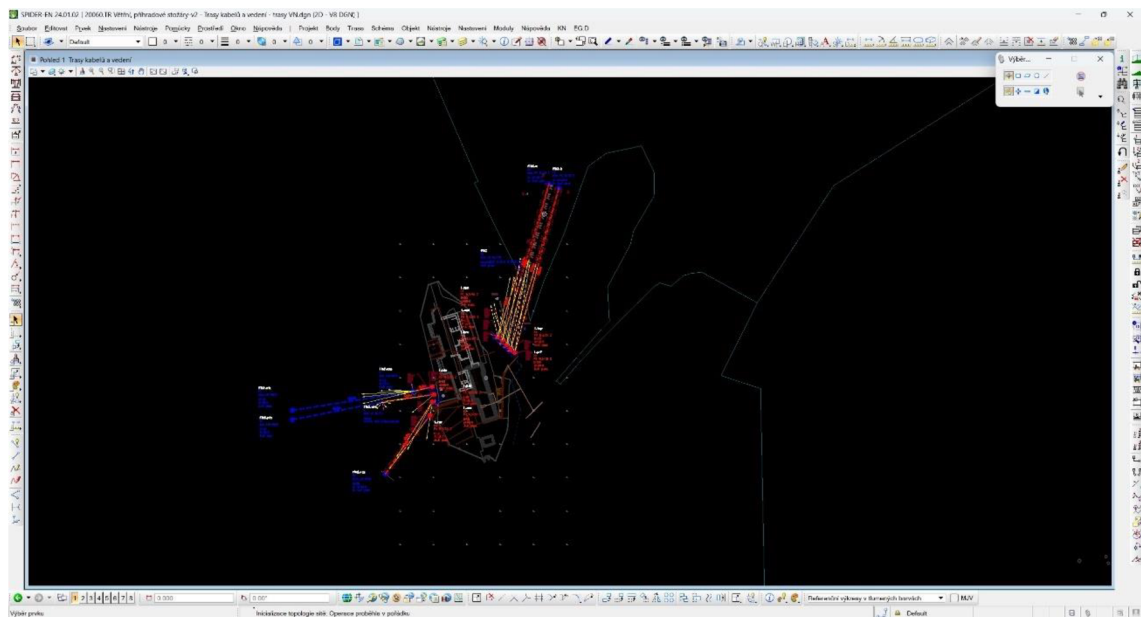
- PNE 33 3301 ed. 5, PNE 33 3302 a ČSN EN 50 341 ed. 2, nahrazující ČSN 33 3301 a ČSN 33 3300.

Na základě těchto norem jsou poté veškeré zatěžovací stavy ověřovány následujícími kontrolními kroky zabývajícími se:

- Výpočet mechanického namáhání vodiče na základě řešení stavové rovnice nesouměrně zavěšeného vodiče, viz podkapitola 5.3.
- Vzdálenost vodičů od nosných konstrukcí a mezifázová vzdálenost dílčích vodičů.
- Výška vodičů nad okolním terénem a křižujícími objekty v podélném profilu.
- Zatížení působící na izolátory, konzoly, stožáry a vodiče při všech zatěžovacích stavech vlivem klimatu.
- Mimořádná zatížení způsobená přetržením jednoho vodiče nebo zemního lana.

### 6.1.2 Tvorba dokumentace a kontrolních protokolů

Během přípravy analyzovaného úseku vedení, v tomto případě konkrétně areálu TR Větrní, jsou úpravy prováděny ve výchozím prostředí, které je zachyceno na Obrázek 6.1.



Obrázek 6.1 – Výchozí rozhraní programu Spider-EN [vlastní zpracování]

Důležité nástroje pro editaci prvků jsou řazeny na pravé straně pracovního okna, tedy Obrázek 6.1. Pro účely této bakalářské práce bylo nutné provést úpravy PB. Tyto kroky byly učiněny v nejvíce využívaném rozhraní programu zvaném „Trasy kabelů a vedení“.



Jak již bylo zmíněno, s využitím topologie a vzájemného propojení prvků analyzované sítě, došlo k postupné úpravě jednotlivých částí modernizovaného úseku venkovního vedení. Parametrizace PB spočívá ve výběru konkrétního typu stožáru a následnému přiřazení požadovaných konzol, izolátorů a doplňkových materiálů. Z pohledu projektanta je tato parametrizace provedena v dialogovém okně, které je zobrazeno na Obrázek 6.2.

Obrázek 6.2 – Přiřazení parametrů podpěrného bodu [vlastní zpracování]

Definováním jednotlivých PB bylo možné přejít na parametrizaci dané trasy vedení. Trasa vedení je vymezena jednotlivými úseky, kterými se rozumí vzdálenost od prvního PB ke druhému a obdobným způsobem postupně dále. V grafickém rozhraní programu je každý úsek realizován nákresem spojnic a uzlů. Tento způsob rozdělení umožňuje postupné přizpůsobení úseku dle měnících se okolních klimatických podmínek. Mezi charakteristické aspekty, které mají zásadní vliv na mechanické parametry venkovních vedení, popsané v kapitole 4, lze zařadit námrazové a větrné oblasti, úroveň spolehlivosti a referenční teploty. Důležitost je ale kladena i na typ vodiče s definovaným výchozím namáháním, či samotnou délkou úseku. Dialogové okno pro nastavení nadzemního vedení VN zachycuje Obrázek 6.3.

Obrázek 6.3 – Přiřazení parametrů úseku vedení [vlastní zpracování]

Jedním z klíčových prvků programu je modul umožňující kontrolní výpočty ověřující celkové zatížení PB, konkrétně „Zatížení podpěrných bodů“. Parametry potřebné pro výpočty jsou čerpány z již zmíněných kroků definujících jednotlivé části vedení. Z plně parametrizovaného podpěrného bodu, společně s daným úsekem vedení, je tento modul programu schopen stanovit jednotlivá zatížení na stožár, konzole, izolátory ale i tahy jednotlivých vodičů. Výstupem je poté kontrolní protokol shrnující veškeré vypočítané hodnoty vyhovujících, případně nevyhovujících vrcholových zatížení. Tyto protokoly ve formátu .HTML budou využity v následující kapitole 7, která je zaměřena na posouzení současně využívaných i modernizovaných příhradových stožárů a jejich komponent.

Dalším z využitých modulů, je pro účely následné montáže sekce výpočtů montážních tabulek. Vodiče se při montáži musí napínat na stanovené mechanické napětí a takový průhyb, aby i v nejvíce nepříznivých klimatických podmínkách nenastala situace, kdy budou tyto stanovené hodnoty vyšší než hodnoty maximální dovolené. Zmíněné klimatické podmínky mohou být v daný okamžik různé, a proto je nutné sestavit příslušné montážní tabulky zahrnující jednotlivá mechanická namáhání, k nim příslušné hodnoty průhybu, namáhání a tahové síly vodiče, v závislosti na měnící se teplotě. V kapitole 4 jsou detailně rozebrány jednotlivé aspekty, které v souladu s problematikou venkovních vedení přináší měnící se teplota okolí a obecně veškeré povětrnostní vlivy. Výpočet těchto tabulek je realizován na základě řešení stavové rovnice, jejíž charakteristice je věnována podkapitola 5.3. Mezní stavy počasí, pro které musí být vypočteny tyto tabulky, jsou stanoveny dle zmíněné normy PNE 33 3301 ed. 5 [4]. V prostředí programu je výpočet prováděn pomocí dialogového okna na Obrázek 6.4.

Obrázek 6.4 – Parametry pro výpočet montážních tabulek [vlastní zpracování]

Důležitost je kladena na výběr druhu a konkrétního typu vodiče, dle již zmíněné databáze prvků, ve které jsou pro konkrétní typy uvedeny veškeré potřebné parametry. Charakteristické parametry vodičů, které budou využity pro výpočet montážních tabulek v této bakalářské práci, jsou shrnuty v technické zprávě, která je součástí elektronické

přílohy. Neméně důležitá je nutnost stanovení mezních rozpětí daného úseku vedení s postupným krokem mezi okrajovými hodnotami. Rozmezí hodnot je v praxi stanoveno s jistou rezervou vůči skutečné hodnotě rozpětí, aby se zamezilo možné neschopnosti realizace vlivem extrémních klimatických podmínek. Výstupem je stejně jako v případě výpočtů zatížení PB protokol ve formátu .HTML. Tyto protokoly pro nově navržená rozpětí jsou součástí vypracovaných materiálů této práce a připojeny jako elektronická příloha značená pro různé typy vodičů postupně D10, D13 a D14.

Výrazně napomáhajícím nástrojem při tvorbě projektové dokumentace celkových úseků venkovních vedení je modul „Podélný profil“. Tento nástroj je schopen vykreslit do samostatného výkresu podélný profil kompletní trasy vedení a na základě zadaných kritérií stanovit, zda se jedná o návrh vyhovující, či nikoliv. Kritérii mohou být minimální, maximální nebo i referenční ( $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  + námraza) teploty. Z důvodu dosavadní absence zaměření terénu v okolí nově vybudovaných PB v areálu TR Větrní, tento modul v práci nebude využit.

## 7. TR VĚTRNÍ – REALIZACE REKONSTRUKCE

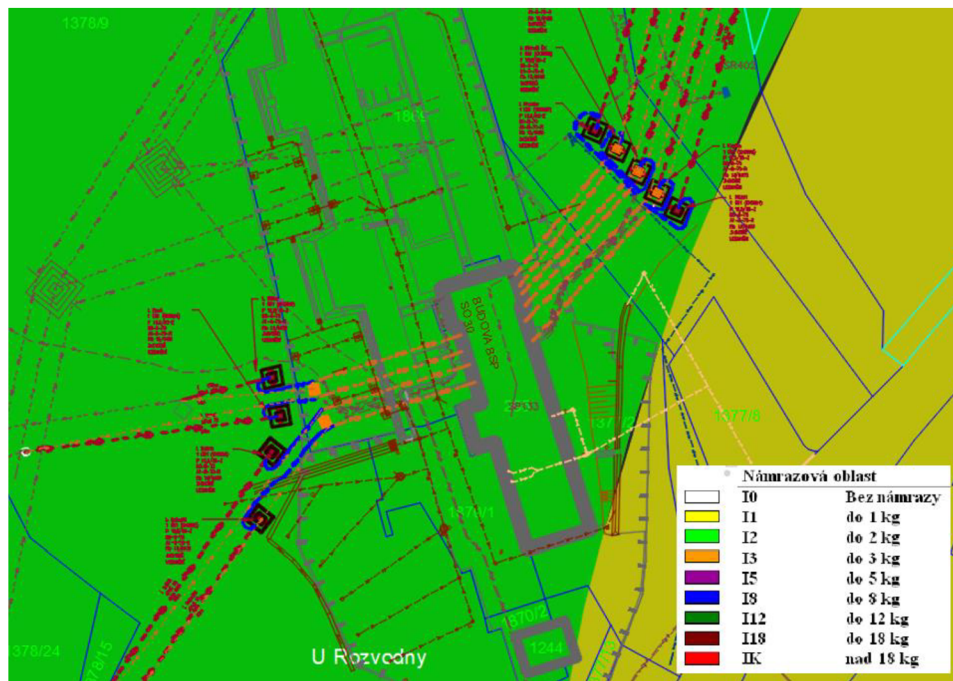
V této kapitole bude detailně realizováno posouzení současných a nově vybudovaných stožárů, popsán proces tvorby montážních tabulek a uzemňovací soustavy příhradových stožárů. Bude provedena charakteristika okolní krajiny a všech aspektů, které mají vliv na samotné mechanické namáhání celé soustavy. Podpůrným materiálem bude vytvořená technická zpráva, doložená k práci jakožto elektronická příloha a další materiály, na které bude odkázáno dále v textu. Referenčním bodem pro účely návrhu a následného provedení výpočtů je Tabulka 7.1, obsahující výčet všech důležitých parametrů, podílejících se na návrhu a mechanickém zatížení soustav venkovních vedení.

Tabulka 7.1 – Výchozí parametry pro kontrolu a návrh [vlastní zpracování]

<b>Návrh dle:</b>	PNE 33 3301 ed.5, ČSN EN 50341 - ed.2
<b>Námrazová oblast:</b>	I-2 do 2 kg (I-1 do 1 kg)
<b>Větrová oblast:</b>	II. – 25 m/s
<b>Charakteristika zeminy:</b>	třída 3-4
<b>Kategorie terénu:</b>	II.
<b>Stupeň znečištění:</b>	I.
<b>Úroveň spolehlivosti:</b>	1 – 50 let
<b>Prostory z hlediska úrazu el. proudem:</b>	nebezpečné dle PNE 33 0000-2 ed.6
<b>Prostory:</b>	prostor přímo vystavený venkovnímu klimatu (VI.)
<b>Vnější vlivy působící na rozvodná zařízení distribuční soustavy:</b>	Stanovuje PNE 33 0000-2 ed.6, tabulka 6
<b>Výchozí (referenční) teplota vodiče:</b>	-5 °C
<b>Nejvyšší návrhová teplota:</b>	40 °C
<b>Nejnižší návrhová teplota</b>	-30 °C
<b>Provozní napětí VN:</b>	22 kV, 50 Hz, síť IT

Pro účely realizace kontrolních výpočtů je program Spider-EN řízen normami zmíněnými v Tabulka 7.1, tak jak bylo popsáno v předchozí kapitole 6. Detailní obsáhlý výčet všech norem, které musí být při procesech návrhu uvažovány, je obsažen v již zmíněné technické zprávě doložené v elektronické příloze práce (D3). Zásadními aspekty, podílejícími se na zvýšeném mechanickém namáhání, jsou zatížení způsobená

námrazou a působením větru. Této problematice se detailně věnuje kapitola 4, kde jsou popsány veškeré klimatické okolnosti, které musí být zohledněny při řešení problematiky návrhu venkovních vedení. Dle mapy větrných oblastí ČR, která je součástí Příloha B - y B, byla pro oblast Větrní definována kategorie II., tedy základní rychlost větru  $25 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Výběr námrazové oblasti byl doprovázen nutností náhledu na detailní záběr celého areálu, jelikož se jedná o oblast přechodu dvou odlišných typů. K tomuto kroku byl využit zmíněný program Spider-EN, pomocí jehož databáze prvků a přesných geodetických bodů byl pořízen Obrázek 7.1.



Obrázek 7.1 – Námrazová oblast transformátorové stanice Větrní [vlastní zpracování]

Z Obrázek 7.1 je patrné, že se převážná část areálu i s vyznačenými modernizovanými prvky nachází v zelené části, tedy námrazové oblasti I-2. Na příkaz zadavatele práce, společnosti Enelogy s.r.o, bude na severovýchodní straně, tedy stožárů v pravém horním rohu, uvažována námrazová oblast I-1, jelikož existují i jiné zdroje potvrzující tento odlišný typ námrazové oblasti. Na Obrázek 7.1 je výskyt obou typů námrazových oblastí v areálu TR Větrní patrný, tudíž byl tento krok potvrzen. V Tabulka 7.1 byl výběr charakteristického typu zeminy, kategorie terénu a stupně znečištění podložen dlouhodobými zkušenostmi provozovatele, jelikož se v daném místě nachází již vybudovaný, plně funkční areál transformátorové stanice, který tuto problematiku při procesech návrhu ověřoval. Jedná se o hodnoty typické pro ČR, tudíž nebylo nutné provádět změny. Úroveň spolehlivosti byla stanovena 1, s dobou návratu 50 let. Charakteristice těchto veličin se věnuje podkapitola 4.1. Ve stejné kapitole jsou poté

rozebrány hodnoty nejvyšší, nejnižší a referenční teploty, které byly stanoveny dle požadavků zmíněných norem.

## 7.1 Zatížení podpěrných bodů – aktuální stav

Před samotným návrhem nových typů stožárů a jejich umístění bylo pomocí programu Spider-EN dokázáno, že jsou momentálně využívané typy z hlediska maximálního dovoleného zatížení nevyhovující. Výpočty byly provedeny pouze pro stožáry na severovýchodní straně, tedy linky Kaplice a Přídolí, jelikož se na straně jihozápadní předpokládá kompletní výměna i s novým umístěním. V části práce 6.1.2 bylo definováno, jakým způsobem ve zmíněném programu probíhá parametrizace jednotlivých stožárů a jejich komponent. Momentálně jsou na jednom příhradovém stožáru, vysokém 15 m s vrcholovým dovoleným zatížením 60 kN, umístěny obě linky zároveň, tak jak je zachyceno na Obrázek 7.2.



Obrázek 7.2 – Aktuálně umístěný příhradový stožár linky Kaplice a Přídolí [vlastní zpracování]

Pomocí výpočetního modulu „Zatížení podpěrných bodů“ byly stanoveny hodnoty skutečného zatížení nejprve pro vodiče, konkrétně jednoduché izolované SAX 120. Pomocí databáze programu byly určeny následující parametry:

Tabulka 7.2 – Parametry vodičů, aktuální stav linky Kaplice a Přídolí [vlastní zpracování]

Typ vodiče	$E$ (MPa)	$\alpha$ ( $1\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ )	$d$ (mm)	$S$ ( $\text{mm}^2$ )	$\gamma$ ( $\text{N}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{mm}^{-2}$ )	$m_v$ ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}$ )	$\sigma_{\text{dov}}$ (MPa)
<b>SAX 120</b>	62500	$2.3\cdot 10^{-5}$	17.50	120.00	0.034744	0.425	191.21

V Tabulka 7.2 jsou definovány hodnoty modulu pružnosti  $E$ , součinitele délkové roztažnosti  $\alpha$ , průměru lana  $d$ , průřezu lana  $S$ , měrné hmotnosti  $\gamma$ , hmotnosti na jednotku délky  $m_v$  a maximálního dovoleného namáhání  $\sigma_{dov}$ . Pomocí zadaných parametrů pro aktuálně umístěný a posuzovaný příhradový stožár, které byly konkretizovány v Tabulka 7.1, byla v protokolu vygenerována Tabulka 7.3, shrnující celkové namáhání vodičů.

Tabulka 7.3 – Kontrola vodičů, aktuální stav linky Kaplice a Přídolí [vlastní zpracování]

č. PB	Délka (m)						
1 - 2	127		<b>Úsek vedení: linka Kaplice</b>			<b>Typ vodiče: SAX 120</b>	
	Výchozí namáhání (MPa)	Výchozí teplota vodiče (°C)	Námrazek ve výchozím stavu	Námrazová oblast	Kategorie terénu	Úroveň spolehlivosti	Větrová oblast
	39.09	-5.0	NE	I2	II.	1 (50 let)	II.
	<b>Stav</b>	<b><math>\sigma_H</math> (MPa)</b>	<b><math>\sigma_C</math> (MPa)</b>				
	-30	57.14	58.13 (191.21)				
	-5+N	103.69	104.51 (191.21)				
	<b>Úsek vedení: linka Přídolí</b>			<b>Typ vodiče: SAX 120</b>			
	Výchozí namáhání (MPa)	Výchozí teplota vodiče (°C)	Námrazek ve výchozím stavu	Námrazová oblast	Kategorie terénu	Úroveň spolehlivosti	Větrová oblast
	39.09	-5.0	NE	I2	II.	1 (50 let)	II.
	<b>Stav</b>	<b><math>\sigma_H</math> (MPa)</b>	<b><math>\sigma_C</math> (MPa)</b>				
	-30	57.14	58.13 (191.21)				
	-5+N	103.69	104.51 (191.21)				

Ve vrchní části protokolu jsou umístěny informace o celkové délce rozpětí, konkrétně 127 m a čísla PB. Jedná se o rozpětí mezi PB č. 1 a PB č. 2. Tento typ číslování je v distribučních sítích společnosti EG.D vždy brán z pohledu rozvodné stanice, kde je nejbližší vývodový stožár označený číslicí 1. V tabulce 7.3 jsou dále obsaženy hodnoty  $\sigma_H$  neboli horizontální složky namáhání vodiče a  $\sigma_C$ , tedy namáhání vodiče v místě vyššího závěsného bodu. Dále jsou uvedeny hodnoty v závorce (191,21), konkrétně hodnota  $\sigma_{dov}$ , tedy předem definované maximální dovolené zatížení vodiče. Z hlediska namáhání vodičů se jedná o rozpětí vyhovující, jelikož je v obou případech splněny podmínky  $\sigma_H \leq \sigma_{dov}$  a  $\sigma_C \leq \sigma_{dov}$ . Klíčová poté byla sekce charakterizující „Kontrolu sloupu/stožáru“, ve které bylo vypočítáno:

Tabulka 7.4 – Kontrola stožáru, aktuální stav linky Kaplice a Přídolí [vlastní zpracování]

Typ sloupu / stožáru	Stav	$Q_H$ (kN)	$Q_{Hx}$ (kN)	$Q_{Hy}$ (kN)	$Q_V$ (kN)
PS 15/60 Z	-30	40.39 (60.00)	0.96	39.43	-4.80 (0.00)
	-5+N	73.29 (60.00)*	1.74	71.55	-6.53 (0.00)
	-5+N+vitr	78.14 (60.00)*	6.71	71.43	-6.53 (0.00)
	-5+vitr	35.86 (60.00)	9.09	26.77	-1.87 (0.00)

V Tabulka 7.4 je  $Q_H$  horizontální síla,  $Q_{Hx}$  složka x horizontální síly,  $Q_{Hy}$  složka y horizontální síly a  $Q_V$  vertikální síla. Červeně zvýrazněná pole indikující přetížení, poukazují na fakt, že po odpojení kotevních lan z fasády budovy daný stožár není vyhovující ve dvou ze čtyř uvažovaných stavů. Příhradový stožár typové délky 15 m s vrcholovým dovoleným zatížením 60 kN ve dvou ze čtyř posuzovaných stavů tedy není vyhovující, jelikož není splněna podmínka  $Q_H \leq Q_{Hdov}$ . Žlutě vyznačené pole vertikálních sil indikují chybějící parametry spojené s neprovedeným geodetickým zaměřením terénu v okolí stožárů. Výstupem jsou ale ve stejném poli hodnoty se záporným znaménkem, poukazující na současné nadnášení stožáru vlivem výše položeného PB, který je pro danou linku v pořadí umístěn následovně. Současně byly stanoveny kontrolní výpočty pro konzoly a izolátory, kterými je uvažovaný příhradový stožár aktuálně vybaven. Z Obrázek 7.2 je patrné, že je stožár aktuálně vybaven dvěma typy konzol. Nejvýše a nejnižše položená konzole s označením A1 a poté prostřední značená A2. V Tabulka 7.5 budou předvedeny pouze hodnoty vypočtené pro vrchní konzoli typu A1, jelikož jsou pro prostřední a spodní konzoli výpočty naprosto totožné.

Tabulka 7.5 – Kontrola konzol a izolátorů, aktuální stav linky Kaplice a Přídolí [vlastní zpracování]

Pozice na PB	Typ konzoly	Stav	$Q_H$ (kN)	$Q_{Hx}$ (kN)	$Q_{Hy}$ (kN)	$Q_V$ (kN)
0	konz.A1	-30	6.86 (15.00)	0.17	6.85	-1.27 (6.00)
		-5+N	12.44 (15.00)	0.30	12.44	-1.56 (6.00)
		-5+N+vítr	12.46 (15.00)	0.96	12.44	-1.56 (6.00)
		-5+vítr	4.74 (15.00)	0.76	4.69	-0.78 (6.00)
Pozice na konzole	Výška nad terénem (m)	Typ izolátoru	Stav	$F$ (kN)	Násobek $F$ (kN)	
A	12.50	JK plast.	-30	6.98	20.94 (60.00)	
			-5+N	12.54	37.62 (60.00)	
			-5+N+vítr	12.56	37.68 (60.00)	
			-5+vítr	4.80	14.40 (60.00)	
C	12.50	JK plast.	-30	6.98	20.94 (60.00)	
			-5+N	12.54	37.62 (60.00)	
			-5+N+vítr	12.56	37.68 (60.00)	
			-5+vítr	4.80	14.40 (60.00)	

Detailně je jednotlivým využívaným typům konzol a izolátorů věnována podkapitola 2.2, charakterizující části venkovních vedení, využívaných společností EG.D. Z hlediska zatížení na konzoli se jedná o stožár vyhovující, jelikož jsou v Tabulka 7.5 jednotlivá vypočítaná zatížení ve všech ověřovaných stavech menší, než je hodnota dovolená, udávaná opět v závorce. Obdobným způsobem byla poté ověřena síla působící na jeden izolátor, označována  $F$ . Následně byla tato síla přepočítána z hlediska trojfázové soustavy jedné linky vedení, pod označením „Násobek  $F$ “. Dle uvedených hodnot je



patrné, že i v případě silového namáhání izolátorů se jedná o hodnoty vyhovující. Kompletní verze protokolu s kontrolami všech zmíněných konzol bude vložena do elektronické přílohy této bakalářské práce pod označením D7.

Dle již zmíněných postupů bylo učiněno alternativní řešení, které spočívá v rozdělení jednotlivých linek na samostatné stožáry. Této problematice budou věnovány následující podkapitoly 7.2, 7.3 a 7.4.

## 7.2 Zatížení podpěrných bodů – nově navržený stav

V této podkapitole budou popsány a ověřeny hodnoty vrcholových zatížení nově navržených příhradových stožárů. Celkově je v bakalářské práci navrženo vybudování čtyř nových stožárů, pro každou ze zmíněných linek Kaplice, Přídolí, Olšina a Planá zvlášť. Byly vytvořeny další čtyři protokoly pomocí již zmiňovaného výpočetního modulu „Zatížení podpěrných bodů“. Všechny výsledné protokoly jsou k práci přiloženy do elektronické přílohy (D8, D9, D11 a D12). Detailně bude rozebráno pouze zatížení nového PB pro linku Kaplice. Tento krok bude učiněn, jelikož daná linka byla popsána v předchozí podkapitole 7.1 zaměřené na posudek současného stavu a také jelikož jsou postupy a protokoly pro všechny čtyři zmíněné linky totožné. Nejprve byly opět stanoveny parametry vodičů. Současně s vybudováním nových PB, budou nataženy nová rozpětí mezi jednotlivými stožáry. Využity budou totožné vodiče SAX 120, tudíž byly parametry brány z Tabulka 7.2. Pro nově navržený stav byly obdobně vypočítány v Tabulka 7.6 hodnoty zatížení působící na vodiče.

Tabulka 7.6 – Kontrola vodičů, nově navržený stav linky Kaplice [vlastní zpracování]

č. PB	Délka (m)						
1 - 2	127		<b>Úsek vedení: linka Kaplice</b>				<b>Typ vodiče: SAX 120</b>
	Výchozí namáhání (MPa)	Výchozí teplota vodiče (°C)	Námrazek ve výchozím stavu	Námrazová oblast	Kategorie terénu	Úroveň spolehlivosti	Větrová oblast
	30.00	-5.0	NE	I2	II.	1 (50 let)	II. - světle hnědá
			Stav	$\sigma_H$ (MPa)	$\sigma_C$ (MPa)		
			-30	40.62	40.72 (191.21)		
			-5+N	94.26	94.99 (191.21)		

V tabulce 7.6 byly stanoveny hodnoty s mírnou odchylkou od hodnot vypočítaných pro aktuálně využívané vodiče v Tabulka 7.3. Ačkoliv se jedná o vodiče se stejnými parametry a rozpětí jsou totožná, bylo možné pro nově navržený stav (tedy tabulku 7.6) nastavit menší výchozí namáhání 30 MPa. Tento krok je možné učinit, jelikož nově navržený stav nepředpokládá umístění dvou odlišných linek na jeden stožár, a tudíž je

možné menším výchozím namáháním zvětšit celkový průhyb vodiče daného úseku vedení. Pro linky Olšina a Planá na jihozápadní straně budou nataženy nová rozpětí, ale i s novým typem vodičů AIFe6 120 a AIFe6 70. Parametry nových vodičů jsou zahrnuty v protokolech zatížení podpěrného bodu zmíněných linek, nacházejících se jako v předchozích případech v elektronické příloze práce pod již zmíněným označením. Obdobným způsobem jako pro aktuálně posuzovaný stav v předchozí podkapitole, byla stanovena kontrola vrcholových zatížení nově navrženého stožáru v Tabulka 7.7. Nově navržené příhradové stožáry jsou typové délky 16,5 m s vrcholovým zatížením 50 kN pro linky Kaplice, Přídolí a 40 kN pro linky Olšina a Planá. Jedná se o stožáry zesílené, čímž se rozumí zvýšení hmotnosti a vyztužení stěn oproti „normálním“ typům.

Tabulka 7.7 - Kontrola stožáru, nově navržený stav linky Kaplice [vlastní zpracování]

Typ sloupu / stožáru	Stav	$Q_H$ (kN)	$Q_{Hx}$ (kN)	$Q_{Hy}$ (kN)	$Q_V$ (kN)
PS 16,5/50 Z	-30	15.05 (50.00)	0.80	14.25	2.72 (0.00)
	-5+N	34.92 (50.00)	1.86	33.06	5.86 (0.00)
	-5+N+vítr	37.90 (50.00)	5.02	32.88	5.86 (0.00)
	-5+vítr	17.67 (50.00)	7.54	10.13	2.67 (0.00)

Na základě hodnot, které jsou uvedeny v Tabulka 7.7, je možné konstatovat, že se jedná o hodnoty vyhovující. Klíčovou podmínkou je obdobně jako v předchozí podkapitole nutnost dosažení menšího zatížení, nežli je zatížení maximální dovolené. Hodnota maximální dovolená, označovaná  $Q_{Hdov}$ , je pro nově navržený typ stožáru již zmíněných 50 kN. Z vypočítaných hodnot je patrné, že je ve všech stavech podmínka  $Q_H \leq Q_{Hdov}$  splněna a tudíž je nově navržený podpěrný bod pro účely realizace vyhovující.

Dle výkresu příhradového stožáru typové délky 16,5 m, který byl vypracován a obdobným způsobem k práci doložen do elektronické přílohy D17, je možné identifikovat pouze dvě konzoly. Na vrchní část stožáru, tzv. „hlavu stožáru“ bude umístěna jednostranná konzole typu B a s rozestupem 1,5 m bude následně umístěna oboustranná konzole typu A. Charakteristice těchto konzol je věnována sekce 2.2.2. Kontrola nově navržených konzol, realizovaná totožným způsobem jako v předchozí podkapitole 7.1, je součástí protokolů jednotlivých nově navržených linek v elektronické příloze práce, pro jihozápadní stranu pod označením D11, D12 a pro stranu severovýchodní D8, D9.

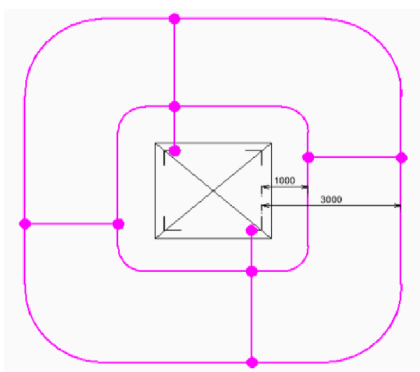
### 7.3 Montážní tabulky pro nově navržená rozpětí

Tato podkapitola je navazující na již zmíněnou charakteristiku montážních tabulek a jejich tvorby v prostředí programu Spider-EN, která byla provedena v sekci 6.1.2. Bakalářská práce pojednává o procesech návrhu úseku venkovního vedení, a tudíž jsou montážní tabulky důležitým aspektem, který nesmí chybět ve finálním portfoliu

dokumentů. Celkově je práce doplněna o tři protokoly montážních tabulek. Na straně severovýchodní, tedy linky Kaplice a Přidolí, budou využity pro obě linky totožné vodiče, a tudíž jsou pro následnou realizaci adekvátní jedny montážní tabulky s dostatečnou diverzitou rozpětí. Další dvoje byly následně vytvořeny vždy pro konkrétní rozpětí a typ vodiče AlFe na straně jihozápadní. Výsledné protokoly montážních tabulek jsou součástí elektronické přílohy této práce (D10, D13 a D14). Postupováno bylo dle již zmíněné normy PNE 33 3301 [4]. Charakteristice všech důležitých aspektů a souhrnu výpočtů, kterými se tato norma řídí, je věnována kapitola 4, zaměřená na klimatické vlivy a kapitola 5, charakterizující samotnou mechaniku venkovních vedení.

## 7.4 Uzemňovací soustava nových příhradových stožárů

V této podkapitole bude detailně popsán proces návrhu uzemňovací soustavy nově vybudovaných stožárů. Bude postupováno dle informací a příkladů uvedených v [14]. Jedná se o technickou normu společnosti EG.D, která je zaměřena na projektování, výstavbu a provoz uzemnění elektrických zařízení distribučních sítí do 45 kV a nad 45 kV (do 110 kV včetně). Zmíněné postupy a výpočty jsou na základě této normy prováděny v souladu s [15], tedy obecné podnikové normy, zaměřené na ochranu před úrazem elektrickým proudem v distribučních a přenosových soustavách. Nejprve bylo provedeno kontrolní měření rezistivity půdy v areálu TR Větrní. Výsledný protokol je součástí práce v elektronické příloze. Toto měření bylo prováděno dle postupů, které jsou detailně rozebrány v části 2.2.6. V těsných blízkostech od plánovaných umístění jednotlivých PB byla na severovýchodní straně naměřena hodnota  $\rho = 61,7 \Omega \cdot m$ , která byla korekčním činitelem upravena na  $\rho_1 = 80,21 \Omega \cdot m$ . Obdobným způsobem se postupovalo na straně jihozápadní, kde byla po použití korekčního činitele naměřena rezistivita půdy  $\rho_2 = 150,67 \Omega \cdot m$ . Součástí této práce je také v elektronické příloze, pod označením D18, vypracovaný náčrt uzemňovací soustavy. Pro účely návrhu byla využita pouze část tohoto výkresu, která je na Obrázek 7.3.



Obrázek 7.3 – Náčrt uzemňovací soustavy [vlastní zpracování]

Před samotnými výpočty bylo nutné stanovit jednotlivé parametry. Dle [21] byl vytvořen podkladový dokument specifikující parametry betonových základů, který je k práci taktéž doložen v elektronické příloze. Z tohoto dokumentu byla odečtena šířka vrchní části základu obecně značená  $D_{ekv}$ , ve výkresu značená jako čtverec uprostřed nakreslený šedou barvou,  $D_{ekv} = 1,5$  m. Na základě znalosti rozměru vrchního betonového základu byly poté určeny rozměry dvou čtvercových zemniců. Z Obrázek 7.3 pro vnitřní šedý čtverec 1000 mm na každé straně od betonového základu v součtu vychází hodnota  $a_1 = 3,5$  m, tedy jedna strana vnitřního čtverce. Obdobně poté pro vnější čtverec  $a_2 = 7,5$  m. Výpočty je dle [14] nutno provádět se zemnicími prvky kruhového tvaru, z tohoto důvodu byly přepočítány na kruhové průměry  $D_{O1}$ :

$$D_{O1} = \frac{4 \cdot a}{\pi} = \frac{4 \cdot 3,5}{\pi} = 4,456 \text{ m,}$$

a obdobným způsobem poté  $D_{O2} = 9,549$  m. Tímto krokem byly obvodové zemnicí čtverce převedeny na tzv. ekvipotenciální kruhy. V nákrese celé soustavy i doložené technické zprávě je dostupná informace o využití zemnicího materiálu, detailněji FeZn pásky o rozměrech 30x4 mm. Tato informace definuje další proměnnou a tou je polovina šířky páskového zemniče  $d = 0,015$  m. Dále je v nákrese naznačena hloubka uložení jednotlivých ekvipotenciálních kruhů  $z_1 = 0,6$  m a  $z_2 = 0,8$  m. Z definovaných parametrů byly následně vypočítány jednotlivé hodnoty zemního odporu. Pro linky Kaplice a Přídolí, kde byla naměřena rezistivita půdy  $\rho = 80,21 \Omega \cdot \text{m}$  se postupovalo se dle pokynů uvedených v [14] následujícím vzorcem pro výpočet kruhového zemnicího prvku:

$$R_{1.1} = \frac{\rho_1}{2 \cdot \pi^2 \cdot D_{O1}} \cdot \left[ \ln \left( \frac{8 \cdot D_{O1}}{d} \right) + \ln \left( \frac{\pi \cdot D_{O1}}{2 \cdot z_1} \right) \right]$$

$$= \frac{80}{2 \cdot \pi^2 \cdot 4,456} \cdot \left[ \ln \left( \frac{8 \cdot 4,456}{0,015} \right) + \ln \left( \frac{\pi \cdot 4,456}{2 \cdot 0,6} \right) \right] = 9,305 \Omega.$$

Jedná se o hodnotu reprezentující samostatný odpor vnitřního ekvipotenciálního kruhového zemniče uloženého v hloubce 0,6 m, dle parametrů předem definovaných. Stejným způsobem byl vypočítán odpor vnějšího kruhového zemniče s průměrem  $D_{O2}$ , hloubce pod zemí  $z_2$  a výslednou hodnotou  $R_{2.1} = 4,867 \Omega$ . Následně bylo nutné tuto hodnotu přepočítat na kombinovaný dvojitý obvodový odpor, který byl stanoven vzorcem:

$$R_{E1} = \frac{R_{1.1} \cdot R_{2.1}}{R_{1.1} + R_{2.1}} \cdot \eta_{12} = \frac{9,305 \cdot 4,867}{9,305 + 4,867} \cdot 0,7 = 4,57 \Omega$$

Vypočítaný  $R_{E1}$  udává hodnotu zemního odporu nově navržené zemní soustavy pro již zmíněné linky Kaplice a Přídolí. Tato hodnota je po domluvě s provozovatelem

uvažována bez příspěvku impedance propojovacích pásků, jelikož se mezní hranice dovoleného odporu pohybuje vysoko nad hranicí námi vypočítaného výsledku. Pro linky Olšina a Planá byly provedeny obdobné výpočty, kterými byly určeny odpory  $R_{1,2} = 17,446 \Omega$  a  $R_{2,2} = 9,125 \Omega$  ze kterých byl následně stanoven celkový odpor zemnicí soustavy linek na jihozápadní straně  $R_{E2} = 8,92 \Omega$ .

Zmíněný maximální dovolený odpor uzemnění  $R_{Edov}$  vychází z [31] vydaného společností EG.D. V tomto každoročním přehledu, vytvořeném v prostředí Microsoft Excel, jsou uváděny kapacitní proudy stávajících sítí 22 kV, podle nastavení kompenzačních tlumivek. Pro TR Větrní byla v prvním měsíci roku 2024, uvedena pro linku Kaplice, Přídolí a Olšina hodnota tohoto proudu  $I_{C1} = 79 \text{ A}$  a pro linku Planá  $I_{C2} = 77 \text{ A}$ . Dále je zde zmíněno maximální dovolené dotykové napětí  $U_{TP} = 150 \text{ V}$ , jelikož se jedná o venkovní vedení v okolí měst a obcí, tedy míst, kde se předpokládá, že bude výskyt pouze obutých osob. Nejprve byl určen proud protékající místem zemního spojení  $I_E$ :

$$I_{E1} = r \cdot 0,1 \cdot I_{C1} = 1 \cdot 0,1 \cdot 79 = 7,9 \text{ A},$$

kde je  $r$  redukční činitel roven 1. Stejně jako ve všech předešlých případech, byl poté totožným způsobem vypočítán proud  $I_{E2} = 7,7 \text{ A}$ . Tyto hodnoty umožnily plynulý přechod k výpočtu maximálního dovoleného odporu, který byl stanoven:

$$R_{Edov1} = k \cdot \frac{U_{TP}}{I_{E1}} = 5 \cdot \frac{150}{7,9} = 94,94 \Omega,$$

kde je  $k$  konstanta reprezentující tvar zemniče, v našem případě konkrétně dva ekvipotenciální kruhy odpovídající  $k = 5$ . Pro jiné druhy zemničů, jako např. tyčový, paprskový atd. jsou hodnoty konstanty odlišné. Pro potřeby práce je uvedena konstanta pouze pro dva ekvipotenciální kruhy. Hodnota  $R_{Edov1}$  náleží již zmíněným linkám Kaplice, Přídolí, Olšina a pro linku Planá byl s rozdílnou hodnotou kapacitního proudu totožnou rovnicí stanoven  $R_{Edov1} = 97,4 \Omega$ . Je patrné, že v obou případech byla splněna podmínka  $R_x \leq R_{Edovx}$  a tudíž nově navržená uzemňovací soustava vyhovuje normativním požadavkům. Pro porovnání byl využit výpočetní program společnosti EG.D, pojmenován „Podpora pro návrh strojeného uzemnění zařízení distribuční soustavy“, ze kterého byl následně vytvořen výstup, který je využit pro účely práce a vložen do elektronické přílohy pod označením „Protokol uzemnění“. Po spuštění programu se zobrazí rozhraní zachycené na Obrázek 7.4, disponující návodem pro použití, výpočty různých typů uzemňovacích soustav a dalšími vyobrazenými prvky. V práci byla využita sekce „Úsekový spínač, svodič přepětí“, právě kvůli zvolenému typu nově navržených PB. Hodnotná byla i sekce „Základní vzorce“, poskytující veškeré využívané konstanty,

proměnné a rovnice, totožné s postupy uvedenými v [14] a dále sekce „Nastavení tlumivek“, disponující pravidelně aktualizovaným [31].

<b>eg-d</b>	Priloha P01
	Podpora pro návrh strojeného uzemnění zařízení distribuční soustavy
	TNS OD 4900 a TNS OD 4910
Zpracovatel:	Jaroslav Rynda, Standardizace
Rozsah platnosti:	01.01.2024
Verze:	08.4

Návod na použití	Tuto aplikaci v MS Excel lze využít pro návrh typizovaných strojených uzemňovacích soustav. V případě atypických podmínek, je nutné řešit uzemňovací soustavu samostatným výpočtem. Je využito ustanovení PNE 33 0000-1, PNE 33 0000-4, PNE 33 3201 a dalších PNE i ČSN. Zcela zásadním parametrem pro použití aplikace, je znalost měrného odporu půdy v místech uvažované realizace zemnicí soustavy. Pro správnou funkčnost aplikace, musí být v MS Excel povolen obsah a makra.
Protokol	
Úsekový spínač, svodič přepětí	
TS venkovní	
TS vnitřní	
Paprsek	
Týčový	
Základní vzorce	
Nastavení tlumivek	
ČSN - PNE	

Obrázek 7.4 – Rozhraní výpočetního programu pro návrh uzemnění [vlastní zpracování]

V prvním kroku je uživatel naveden, aby vyplnil identifikační údaje stavby a své jméno v sekci „Protokol“. Dále je po otevření sekce „Úsekový spínač, svodič přepětí“ uživatel povinen vyplnit zeleně zvýrazněná pole v levé vrchní části, pod nadpisem „Zadat vstupní hodnoty“ a tím parametrizovat výpočet, obdobně jako na začátku této kapitoly. V levé spodní části se pomocí tlačítek volí hodnoty dovoleného dotykového napětí  $U_{TP}$  a  $D_{ekv}$ , charakterizující již dříve zmíněnou tloušťku betonového základu dle využitého typu stožáru. V pravé části se objeví výsledné výpočty, viz Obrázek 7.5.

**eg-d Úsekový spínač / svodič přepětí**

Název stavby	TR Větrní - modernizace			Projektant	Patrik Štusarczyk	
Číslo stavby	1020002868	Číslo bodu / Číslo provozit →	Kaplice	Úsekový spínač / Svodič přepětí	Datum	10.05.24

**Zadat vstupní hodnoty**

Rezistivita půdy (Wennerova metoda)	
Rezistivita $\rho_e$ uvažovaná ve výpočtu [ $\Omega m$ ]	80
Rezistivita $\rho_e$ do hloubky 1,5 m [ $\Omega m$ ]	80

Zadat kapacitní proud oblasti Ic: [A] (ve výpočtu uvažován  $I_{c21}$  dovolený) 79

Dovolené dotykové napětí  $U_{TP}$  [V] 150

Počet ekvipot. kruhů - + 2

$D_{ekv}$  [m] 1,5 Délka  $L_p$  [m] 0

Počet paprsků  $n_p$  - + 0

Zvolit příslušné  $U_{TP}$  dle místa umístění

$U_{TP}$  75 V

$U_{TP}$  150 V

$U_{TP}$  nestanovené (0) - místa odlehlá

Zvolit příslušné  $D_{ekv}$  dle podpěrného bodu

$D_{ekv}$  Sloup betonový, ařevný 0,5 m

$D_{ekv}$  Stožár příhradový 1,5 m

Venkovní vedení v místech jako jsou hřiště, plavecké bazény, kempy, rekreační plochy a podobná místa, kde se mohou shromažďovat lidé s bosyma nohama. Předpokládáné dotykové napětí  $U_{TP}$  75 V

Venkovní vedení ve městech, obcích, v místech zastavěných nedaleko měst a obcí – místa, kde lze rozumně předpokládat, že lidé jsou obuti. Předpokládáné dotykové napětí  $U_{TP}$  150 V

Venkovní vedení v místech odlehklých  $U_{TP}$  NESTANOVENO  
K zjištění  $U_{TP}$  a příslušného max  $R_e$  výpočtem, je uvažována

- přidavná rezistence
- koefficient zohledňující plochu podrážek bot s působícím zatížením váhy člověka
- měrný odpor půdy
- dovolený zbytkový kapacitní proud

**Výsledky výpočtu**

Intravilán - místa zastavěná  $U_{TP}$  75V nebo 150V

Uzemnění $R_e$ - max. Dovolenné [ $\Omega$ ]	94,9
Uzemnění $R_e$ - Vypočítané [ $\Omega$ ]	4,6
Kontrola $U_{TP}$ [V] příslušné k $R_e$ vypočítanému	8,6
Nápověda k vyhodnocení uzemnění pro $U_{TP}$ 75V nebo 150V	Vyhovuje

Materiál na uzemnění FeZn [m] 42,5

Týče (1,5 m) NE

**Rozměry ekvipot. kruhů**

D1 [m]	D2 [m]	D3 [m]
3,5	7,5	NE

Extravilán - místa odlehlá

$U_{TP}$ místa odlehlá [V]	131,0
Max. $R_e$ [ $\Omega$ ] (ekvipotenciální kruhy)	82,9

**Přeps do protokolu**

Zpět

Obrázek 7.5 – Výpočet odporu uzemnění pomocí programu [vlastní zpracování]

Pro popis byl na Obrázek 7.5 zvolen výpočet odporu uzemňovací soustavy linky Kaplice. Výsledné hodnoty jsou totožné s hodnotami, které byly vypočteny detailně dle postupů uvedených v [14]. Přesněji se jedná o hodnoty maximálního dovoleného a vypočítaného uzemnění v pravé vrchní části pod nadpisem „Výsledky výpočtu“. Následně byl tlačítkem „Přepis do protokolu“ proveden export dat do sekce „Protokol“ viditelné na Obrázek 7.4. Tato tabulka je po převedení hodnot pro všechny čtyři linky již zmíněný protokol uzemnění v elektronické příloze této práce. Tímto byla opět potvrzena správnost výpočtů a konstatován vyhovující stav všech nově navržených zemnicích soustav.

## ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo provést základní rešerši normativních požadavků, spojených s návrhem venkovních vedení VN, charakteristiku všech fyzických částí a jejich následného mechanického namáhání. Tyto poznatky poté byly uplatněny v praktickém návrhu úseku předem stanovených linek, podléhajících modernizaci. Cílovým objektem byl úsek vedení v areálu TR Větrní, která podléhá rozsáhlé, již avizované rekonstrukci. Stanice se nachází na území spravovaném distribuční společností EG.D, a proto byl v práci kladen důraz na prvky a postupy, kterými se EG.D řídí.

V kapitole 1 proběhla charakteristika zmíněného areálu TR Větrní, kde byla krátce definována celá probíhající modernizace stanice. Následně bylo zacíleno na konkrétní část modernizace, která byla předmětem této práce a současně popsán aktuální stav rozmístění dotčených prvků Obrázek 1.2, společně se stavem nově navrženým pomocí Obrázek 1.3, jehož problematika byla v práci řešena. Klíčovým aspektem bylo odpojení kotevních lan z fasády budovy, čímž by dle předpokladů provozovatele EG.D došlo k enormnímu zvýšení silového namáhání každého z aktuálně umístěných stožárů. S přihlédnutím na stáří a dovolená vrcholová zatížení současných stožárů, byla práce zaměřena na celkový návrh nového stavu, splňující normativní požadavky i požadavky z hlediska dovolených zatížení. Okrajově v úvodní kapitole proběhla i definice postupů, které byly učiněny v praktické části práce a vysvětlena návaznost vypracovaných teoretických kapitol na výpočetní program Spider-EN, jenž byl dominantně využitým nástrojem při tvorbě veškeré dokumentace.

Kapitola 2 byla věnována podpěrným bodům, kde byl detailně vyložen jejich význam, důležitost a následný popis konkrétních typů stožárů a jejich částí, které jsou využívány společností EG.D. Tento krok vedl k hlubšímu porozumění postupů využívaných na celém území, které je touto společností spravováno. V následující kapitole 3 byly obdobným způsobem popsány vodiče venkovních vedení, které jsou páteřním prvkem všech sítí, rozhodující o celkové bezpečnosti, funkčnosti a také ekonomické náročnosti všech distribučních, ale i přenosových soustav. Těmito kapitolami bylo představeno portfolio možností a konfigurací, které mohou být při procesech návrhu využity. Charakteristika a detailní znalost těchto fyzických částí je pro potřeby návrhu velice důležitá, jelikož existuje řada nečekaných komplikací v podobě nevyhovujících zatížení, či nekompatibility jednotlivých částí atd., na které je vždy nutno patřičně reagovat a zabránit tak nevhodnému návrhu, vedoucímu ke zvýšení míry nespolehlivosti nebo dokonce i nebezpečí.

Chováním všech zmíněných prvků fyzického charakteru, jakožto celku, se následně zabývala část klimatických poměrů v kapitole 4 a mechaniky venkovního vedení v kapitole 5. První ze zmíněných vedla k důkladnému popisu veškerých povětrnostních



podmínek a celkově všech klimatických aspektů, které mají vliv na bezpečnost a provozní spolehlivost systému venkovních vedení. Tato část byla pro potřeby návrhu velice důležitá, jelikož je vždy potřebné se řídit aktuálně platnými normami a předcházet tak vzniku nebezpečných situací, již při procesech projektování. Pro potřeby této práce byly shrnuty jen teoretické poznatky a výpočty, které byly přínosem pro vypracování části praktické v souladu s výpočetním programem Spider-EN. Daná problematika je ale využitelná i v širším spektru venkovních vedení 22 kV a mohla by být přínosem i pro jiné projekty podobného charakteru. Současně bylo patřičně odkazováno na veškeré konkrétní zdroje a normy, ze kterých je možné doplnit informace dle vlastních potřeb a uvážení. Zmíněný výpočetní program, využitý v praktické části, je charakterizován pravidelně aktualizovaným obsahem výpočetních metod, podložených aktuálně platnými normami. Tímto byla docílena kompatibilita vypracovaných kapitol 4 a 5, zabývajících se celkovou mechanikou vedení, principu funkčnosti daného programu a mohlo tak dojít k plynulému přechodu na praktickou část samotného návrhu.

Praktická část započala v kapitole 6 detailní charakteristikou programu Spider-EN. Bylo představeno celkové rozhraní z pohledu osoby obsluhující výpočetní a grafické části programu s následnou detailní definicí jednotlivých kroků, vedoucích k úspěšnému vypracování potřebných ověřovacích protokolů a částí PD. Těmito kroky byl demonstrován obrovský přínos tohoto softwaru do oblasti projektování distribučních, ale i přenosových sítí. Implementací výpočetních metod s využitím topologie a vzájemných vazeb mezi všemi obsaženými prvky je možné docílit výrazného zvýšení efektivity provádění dokumentací distribučních, ale i obecně všech typů sítí. Podstatnou výhodou oproti projektování založeném na znalostech čisté fyzických osob, je poté řada mechanismů, zabraňujících vzniku topologických i logických chyb, což je zejména v této specifické energetické oblasti nepostradatelnou vlastností. Na základě zmíněných výhod by tedy tato práce i práce zabývající se stejnou problematikou měly napomoci ve zdokonalení znalostí a postupů vedoucí k pozitivně progresivním budoucím změnám. Následně byla praktická část v kapitole 7 zaměřena na souhrn všech vstupních parametrů areálu pro potřeby návrhu a uskutečnění kontrolních výpočtů. Definované parametry a postupy učiněné v programu, byly následně v podkapitole 7.1 aplikovány na kritické zhodnocení aktuálního stavu PB i zmíněných úseků vedení. Tímto krokem bylo dokázáno, že po odpojení kotevních lan z fasády budovy, stožáry nevyhoví vrcholovému zatížení 60 kN ve dvou ze čtyř ověřovaných klimatických stavů, což je zaznamenáno v Tabulka 7.4 a celý protokol následně obsažen v elektronické příloze pod označením D7. Tyto výpočty byly provedeny pouze pro PB na severovýchodní straně, jelikož bylo na straně jihozápadní nařízeno kompletní přemístění a kontrolní výpočty tedy ztratily na významu. Teoretická domněnka byla tedy tímto potvrzena a došlo k návrhu nového stavu, který spočíval v rozložení všech linek na samostatné stožáry, jelikož byla aktuálně

využita varianta souběžného vedení, která dané stožáry výrazně namáhala. V návaznosti na předchozí krok byly následně v podkapitole 7.2 ověřeny obdobným způsobem zatěžovací stavy všech nově navržených stožárů s výsledky, které již splňovaly požadavky maximálních dovolených zatížení, viz Tabulka 7.7 a elektronické přílohy pod označením D8, D9, D11 a D12. Pro nově navržené rozmístění dle Obrázek 1.3 byly obecně navrženy stožáry vyšší typové délky 16,5 m oproti předešlým 15 m, respektující možnost budoucího osazení stožárů komunikační sítí. Poslední podkapitola 7.4 byla věnována detailnímu popisu návrhu uzemňovací soustavy nově navržených stožárů. Proběhlo porovnání normou podložených manuálních výpočtů s výpočty realizovanými pomocí podpůrného programu společnosti EG.D, kde byla správnost potvrzena totožnými výsledky. Tímto krokem byla opět předvedena efektivnost výpočetních programů, jakožto prvků, pohodlně, a hlavně s časovou úsporou dodávajících potřebné kvalitní výstupy. V návaznosti na výše uvedené, byla do elektronické přílohy práce vložena kompletní projektová dokumentace. Konkrétně se jedná o technickou zprávu (D3), shrnující veškeré normativní požadavky a jednotlivé detaily, které byly v rámci tvorby projektu učiněny. V rámci realizace je tento dokument klíčový a bude tak využit k plynulému přechodu na samotnou realizaci nového provedení. Dále byl přiložen protokol měření rezistivity půdy (D4) a protokol uzemnění (D5), navazující na teoretické poznatky a poukazující možné řešení z praktického hlediska. Obsažen je také dokument konkretizující parametry nově navržených betonových základů (D6), jakožto převelice důležité části samotné konstrukce. Součástí jsou také nově navržené montážní tabulky pro každý z nově využitých typů vodičů zvlášť (D10, D13 a D14), které poslouží při samotné montáži. Všemi vytvořenými kontrolními protokoly byla dosažena jedna z hlavních myšlenek práce, konkrétně kritické zhodnocení stávajícího stavu současně s návrhem a kontrolou stavu nového, kde byla výpočetně podložena a potvrzena výstupní korektnost návrhů. Obsahem elektronické přílohy je dále kompletní výkresová dokumentace celého areálu v aktuálně využívaném (D15) a nově navrženém rozpoložení (D16) konkrétních úseků vedení, nákres nově navrženého typu příhradového stožáru (D17) a uzemňovací soustavy (D18), která bude využita v daném místě. Na závěr byla nad rámec zadání a pro účely dokončení kompletní projektové dokumentace vytvořena technická specifikace (D19). V této listině je obsažen výčet všech demontovaných a nově montovaných částí, podrobný soupis všech nově využitých materiálů nebo odborné odhady ceny za vývoz ze zemních a demoličních prací, čímž je cíleno na nastínění problematiky i z ekonomického pohledu, který zastřešuje tvorbu celé dokumentace.

Celkově práce přináší souhrn veškerých aspektů, se kterými je nutné se vypořádat v průběhu návrhu a výpočetního ověření venkovních vedení. Obecně byla předvedena efektivnost a síla výpočetních a stále se rozvíjejících softwarů, konkrétně pak v oblasti elektroenergetiky.

## LITERATURA

- [1] VEVERKA, Marek. *TR Větrní - modernizace: Zadání stavby č. 1020002868*. EG.D.
- [2] TOMAN, Petr; DRÁPELA, Jiří; MIŠÁK, Stanislav; ORSÁGOVÁ, Jaroslava a PAAR, Martin. *Provoz distribučních soustav*. Studijní text. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011.
- [3] ORSÁGOVÁ, Jaroslava. *Rozvodná zařízení*. Skripta. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2015.
- [4] PNE 33 3301, *Elektrická venkovní vedení s napětím nad AC 1kV do 45kV včetně*. 5. vydání. 2023.
- [5] PNE 34 8210, *Dřevěné sloupy a dřevěné sloupy na patkách pro elektrická venkovní vedení do 45 kV*. 2004.
- [6] ČSN EN 206+A2, *Beton - Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda*. 2021. Praha.
- [7] OTČENÁŠOVÁ, Alena. *Mechanika vonkajších silových vedení*. Žilina: EDIS ŽU v Žilině, 2010. ISBN ISBN 978-80-554-0181-2.
- [8] EG.D. TNS 12 3610.06, *Příhradové stožáry pro venkovní vedení do 45 kV*. 2012.
- [9] EG.D. TNS 12 2510, *Izolátory pro venkovní vedení VN*. 2022.
- [10] EG.D. TNS 12 1141, *Upevňování holých vodičů k závěsným izolátorům VN*. 2019.
- [11] EG.D. TNS 12 1340, *Upevňování JIV k závěsným izolátorům VN*. 2019.
- [12] EG.D. TNS 52 3621.01, *Odpínaný kabelový svod na příhradový stožár*. 2009.
- [13] PNE 35 4212, *Úsekové spínače pro venkovní vedení do 45 kV, včetně*. Ed. 3. 2018.
- [14] EG.D. TNS 00 4900, *Uzemnění elektrických zařízení v distribučních sítích a objektech*. 8. 2021.
- [15] ČENES, Z.S. PNE 33 0000-1, *Ochrana před úrazem elektrickým proudem v distribučních soustavách a přenosové soustavě*. 7. Praha, 2023.
- [16] ČSN EN ISO 1461, *Povlaky žárového zinku nanesené ponorem na ocelové a litinové výrobky - Specifikace a zkušební metody*. 2023.

- [17] ÚŘADU PRO TECHNICKOU NORMALIZACI. ČSN ISO 3864-1, *Grafické značky - Bezpečnostní barvy a bezpečnostní značky - Část 1: Zásady navrhování bezpečnostních značek a bezpečnostního značení*. 2012.
- [18] *Posouzení svodu a klesačky na příhradovém stožáru: Odborné stanovisko - ochrana proti dosedání ptactva*. AOPK, 2019.
- [19] *Zajištění ochrany ptáků před úrazy na elektrických vedeních podle zákona č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny, ve znění pozdějších předpisů: Metodický pokyn*. Ministerstvo životního prostředí České republiky, 2016.
- [20] AGENTURA OCHRANY PŘÍRODY A KRAJINY ČESKÉ REPUBLIKY. *Zabezpečení elektrického vedení proti úrazům ptáků*. Online. Dostupné z: <https://nature.cz/urazy-ptaku-elektrickym-proudem>. [cit. 2024-05-20].
- [21] EG.D. TNS 76 3610.02, *Příhradové stožáry pro venkovní vedení do 45 kV - Základy stožárů dle typizační směrnice ECZR*. 2012.
- [22] LIST, Vladimír a POCHOP, Karel. *Mechanika venkovních vedení*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1955.
- [23] TLUSTÝ, Josef; KYCL, Jan; MUSIL, Ladislav; ŠPETLÍK, Jan a HAMOUZ, Petr. *Monitorování, řízení a chránění elektrizačních soustav*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011.
- [24] PATERA, Michal. *Vliv nových trendů na návrh venkovních vedení*. Diplomová práce. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2015.
- [25] EG.D. TNS 10 1111.02, *Vodiče pro venkovní vedení - Lano AlFe*. 2003.
- [26] PNE 34 7509, *Holé vodiče pro venkovní vedení ze soustředěně slaněných kruhových drátů*. 2007. Praha.
- [27] ORSÁGOVÁ, Jaroslava. *Elektrické stanice a vedení*. Skripta. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2013.
- [28] FECKO, Štefan; ŽIARAN, Ján a VARGA, Ladislav. *Vonkajšie silove vedenia*. Skripta. Bratislava: Slovenská vysoká škola technická v Bratislavě, 1990. ISBN ISBN 80-227-0288-9.
- [29] ČSN EN 1991-1-4, *Zatížení konstrukcí - obecná zatížení - zatížení větrem*. Ed. 2. 2020.
- [30] GISOFT. *SPIDER-EN - projektování energetických sítí*. Online. Dostupné z: <http://www.gisoft.cz/SPIDER-EN/SPIDER-EN>. [cit. 2024-01-10].

- [31] *Přehled teoretických maximálních uzemnění ve vedení VN za souvisejících podmínek.* EG.D, 2024.
- [32] MARTINOVSKÝ, Petr. *Energetický blackout.* Praha: Ekopress, 2013.

# SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

## Zkratky:

PB	podpěrný bod
TR Větrní	transformátorová stanice Větrní
EG.D	EG.D, a.s. – provozovatel distribuční soustavy v ČR
ČEZ	ČEZ, a.s. – výrobce distribuční soustavy v ČR
GSO	gravitační sorpční odlučovač
SV	severovýchod
JZ	jihozápad
HIS	označení zapouzdřené rozvodné stanice
VN	vysoké napětí
VVN	velmi vysoké napětí
ZVN	zvlášť vysoké napětí
AlFe	lano složené z ocelové duše a hliníkového obalu
JIV	jednoduchý izolovaný vodič
SAX	typ jednoduchého izolovaného vodiče
ADX	typ jednoduchého izolovaného vodiče
PAS	typ jednoduchého izolovaného vodiče
CuFe	lano složené z měděné duše a hliníkového obalu
ČSN	chráněné označení českých technických norem
FeZn	označení železo-zinkového zemnicího pásku
TNS	technická norma společnosti
ČR	Česká republika
AOPK ČR	Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky
DS	distribuční síť
PS	příhradový stožár
NN	nízké napětí
PD	projektová dokumentace
.HTML	název značkovacího jazyka používaného pro tvorbu webových stránek

## Symboly:

$a$	rozpětí pole (mezi PB)	(m)
$a_i$	ideální rozpětí pole (mezi PB)	(m)
$a_{krit}$	kritické rozpětí pole	(m)
$A_t$	účinná plocha prvků stěny stožáru	(m <sup>2</sup> )
$c$	parametr řetězovky	(m)

$c_o$	součinitel ortografie	(-)
$C_c$	součinitel aerodynamického odporu	(-)
$c_{dir}$	součinitel směru větru	(-)
$C_t$	součinitel aerodynamického odporu	(-)
$D$	ekvivalentní průměr	(m)
$d$	průměr	(m)
$E$	modul pružnosti	(Pa)
$F_H$	vodorovná složka tahu ve vodiči	(N·m <sup>-1</sup> )
$F_V$	vertikální složka tahu ve vodiči	(N·m <sup>-1</sup> )
$f_k$	charakteristický průhyb vodiče	(m)
$f_m$	maximální průhyb vodiče	(m)
$f_{mi}$	maximální průhyb vodiče ideálního pole	(m)
$f_v$	viditelný průhyb vodiče	(m)
$f_x$	průhyb v libovolném bodě	(m)
$G_c$	součinitel konstrukce	(-)
$G_t$	součinitel konstrukce pro příhradové stožáry	(-)
$h$	referenční výška	(m)
$h'$	výškový rozdíl v místě viditelného průhybu	(m)
$I_{50}$	extrémní zatížení námrazou na jednotku délky	(N·m <sup>-1</sup> )
$I_C$	kapacitní proud oblasti	(A)
$I_d$	návrhové zatížení námrazou	(N·m <sup>-1</sup> )
$I_E$	proud tekoucí místem zemního spojení	(A)
$I_{R50}$	referenční hodnotu zatížení námrazou	(N·m <sup>-1</sup> )
$I_v$	intenzita turbulence	(N·m <sup>-1</sup> )
$K_h$	součinitel výšky pro zatížení námrazou	(-)
$K_{Ic}$	součinitel podmínek pro zatížení námrazou	(-)
$k_T$	součinitel terénu	(-)
$L_m$	střední hodnota délek sousedních rozpětí	(m)
$l_{AB}$	délka nesouměrné řetězovky	(m)
$l_s$	skutečná délka vodiče	(m)
$m_v$	hmotnost na jednotku délky	(kg·m <sup>-1</sup> )
$Q_I$	svislé zatížení námrazou	(N·m <sup>-1</sup> )
$Q_{WX}$	složka síly větru na libovolnou složku vedení	(N·m <sup>-2</sup> )
$Q_{Wc\_U}$	složka síly větru působící kolmo na konzolu	(N·m <sup>-2</sup> )
$Q_{Wc\_V}$	složka síly větru působící ve směru konzoly	(N·m <sup>-2</sup> )
$Q_{Wt}$	síla větru působící na příhradové stožáry	(N·m <sup>-2</sup> )
$q_h$	střední tlak větru	(Pa)
$q_p$	maximální tlak větru	(Pa)

$R_E$	odpor zemnicí soustavy	( $\Omega$ )
$R_{Edov}$	dovolený odpor zemnicí soustavy	( $\Omega$ )
$S$	obsah	( $m^2$ )
$T$	doba návratu	(rok)
$V_{b,0}$	základní rychlost větru	( $m \cdot s^{-1}$ )
$V_h$	střední rychlost větru	( $m \cdot s^{-1}$ )
$x$	vzdálenost maximálního průhybu vodiče od bodu zavěšení	(m)
$z_0$	parametr drsnosti terénu	(-)
$z$	poměrná hodnota přetížení	(-)
$\alpha$	součinitel délkové roztažnosti	( $1 \cdot ^\circ C^{-1}$ )
$\sigma$	mechanické napětí ve vodiči	(Pa)
$\sigma_{dov}$	dovolené mechanické napětí ve vodiči	(Pa)
$\sigma_H$	vodorovné namáhání ve vodiči	(Pa)
$\sigma_{HB}$	horizontální mechanické napětí ve vodiči	(Pa)
$\sigma_{VB}$	vertikální mechanické napětí ve vodiči	(Pa)
$g$	teplota okolí	( $^\circ C$ )
$g_{krit}$	kritická teplota okolí	( $^\circ C$ )
$\gamma$	měrná tíha vodiče	( $N \cdot m^{-1} \cdot mm^{-2}$ )
$\rho$	rezistivita	( $\Omega \cdot m$ )
$\theta$	úhel směru větru a podélné osou konzoly	( $^\circ$ )
$\pi$	Ludolfovo číslo (3,14)	(-)



## **SEZNAM PŘÍLOH**

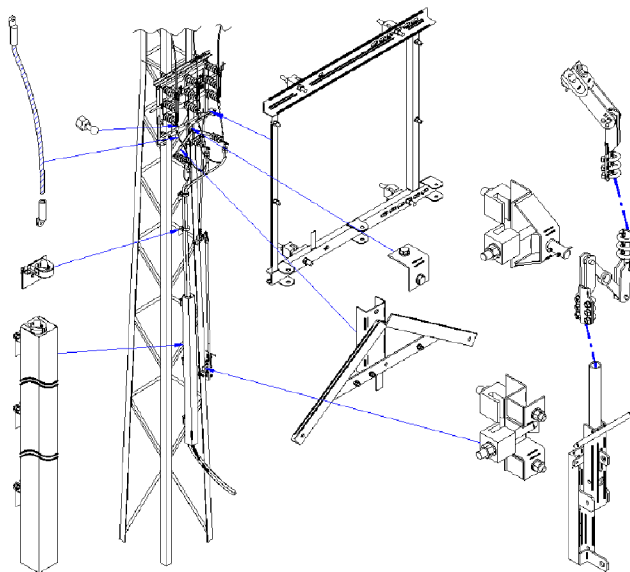
<b>PŘÍLOHA A - KONSTRUKCE PŘÍHRADOVÝCH STOŽÁRŮ .....</b>	<b>81</b>
<b>PŘÍLOHA B - VĚTRNÉ OBLASTI ČR.....</b>	<b>7</b>
<b>PŘÍLOHA C - NÁMRAZOVÉ OBLASTI ČR.....</b>	<b>7</b>
<b>PŘÍLOHA D - ELEKTRONICKÉ PŘÍLOHY .....</b>	<b>7</b>

# Příloha A - Konstrukce příhradových stožárů

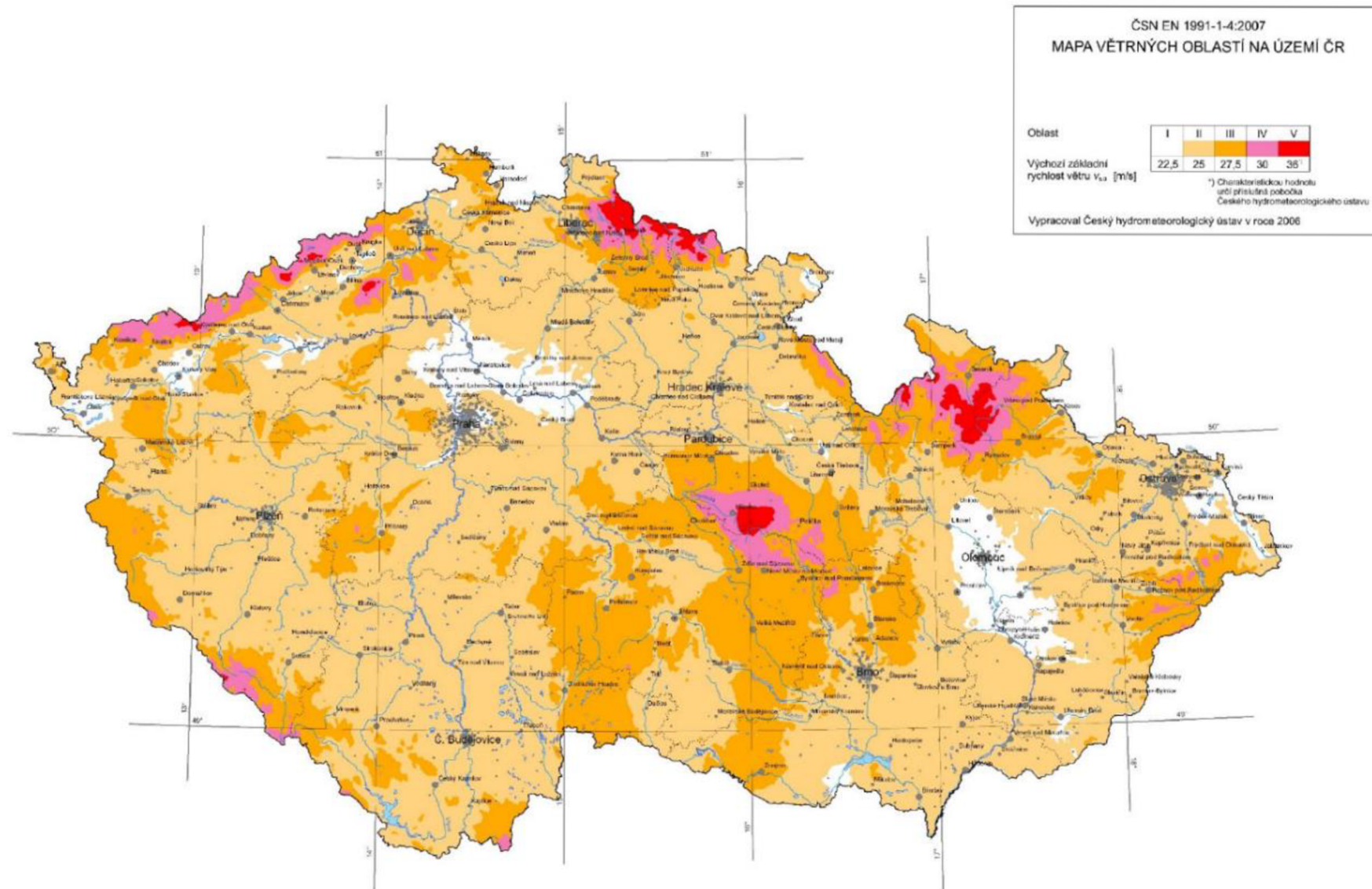
## A.1 Typy standartních konzol

Typy konzol	Značení	Vzdálenost krajního vodiče od osy stožáru [mm]	Náčrt
oboustranná VN 1000	A1	1000	
oboustranná VN 1000	A1-R	1000	
oboustranná VN 1500	A3	1500	
oboustranná VN 1500	A3-R	1500	
oboustranná VN 2000	A4	2000	
oboustranná VN 2000	A4-R	2000	
oboustranná VN 2000 s táhly	A4T-R	2000	
oboustranná VN 1500 montovaná	A3M-R	1500	
středního vodiče VN 0	B BZ	0	
středního vodiče VN 0	B-R BZ-R	0	
jednostranná VN 1000	B1	1000	
jednostranná VN 1000	B1-R	1000	
jednostranná VN 1500	B3	1500	
jednostranná VN 1500	B3-R	1500	
jednostranná VN 2000	B4	2000	
jednostranná VN 2000	B4-R	2000	
odbočná VN 1100 šikmá 45°	OD45-R	1100	

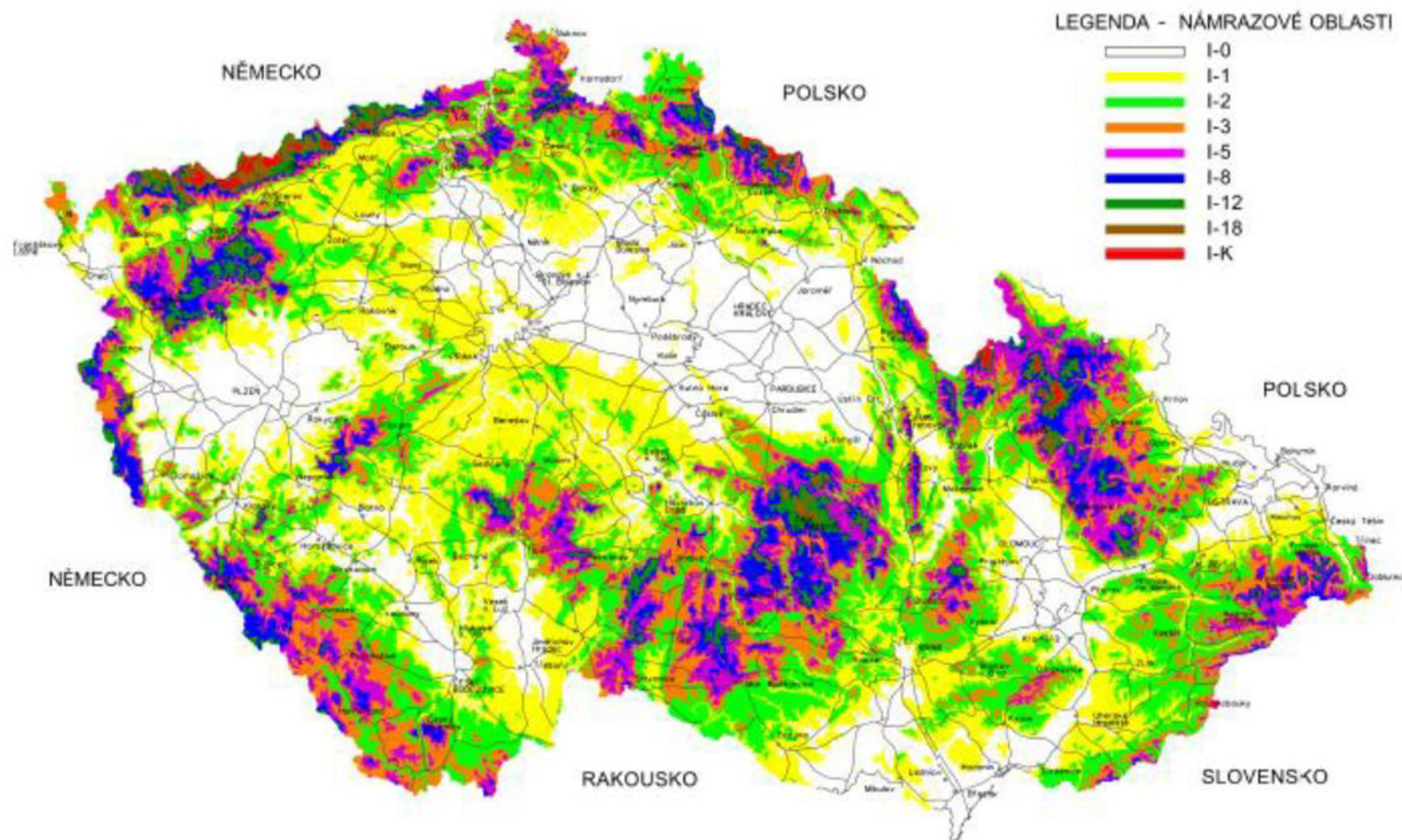
## A.2 Konstrukce odpínaného kabelového svodu



# Příloha B - Větrné oblasti ČR



# Příloha C - Námrazové oblasti ČR



## **Příloha D - Elektronické přílohy**

- D1 – VE\_SO10\_D1.1 Titulní list.pdf
- D2 – VE\_SO10\_D1.1 Seznam PD.pdf
- D3 – VE\_SO10\_D1.1 a) 01 Technická zpráva.pdf
- D4 – VE\_SO10\_D1.1 a) 02 Protokol měření rezistivity.pdf
- D5 – VE\_SO10\_D1.1 a) 03 Protokol uzemnění.pdf
- D6 – VE\_SO10\_D1.1 a) 04 Betonové základy.pdf
- D7 – VE\_SO10\_D1.1 a) 05 l. Kaplice, Přídolí \_zatížení PB\_ aktuální.pdf
- D8 – VE\_SO10\_D1.1 a) 06 l. Kaplice \_zatížení PB\_ nový.pdf
- D9 – VE\_SO10\_D1.1 a) 07 l. Přídolí \_zatížení PB\_ nový.pdf
- D10 – VE\_SO10\_D1.1 a) 08 Montážní tabulky SAX 120.pdf
- D11 – VE\_SO10\_D1.1 a) 09 l. Olšina \_zatížení PB\_ nový.pdf
- D12 – VE\_SO10\_D1.1 a) 10 l. Planá \_zatížení PB\_ nový.pdf
- D13 – VE\_SO10\_D1.1 a) 11 Montážní tabulky AlFe6 120.pdf
- D14 – VE\_SO10\_D1.1 a) 12 Montážní tabulky AlFe6 70.pdf
- D15 – VE\_SO10\_D1.1 b) 01 Situační schéma \_stávající stav.pdf
- D16 – VE\_SO10\_D1.1 b) 02 Situační schéma \_nový stav.pdf
- D17 – VE\_SO10\_D1.1 b) 03 Odpínatelný kabelosvod příhradový \_nový.pdf
- D18 – VE\_SO10\_D1.1 b) 04 Uzemňovací soustava příhradového stožáru \_nový.pdf
- D19 – VE\_SO10\_D1.1 c) 01 Technické specifikace.pdf