



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

---

Fakulta elektrotechnická  
Katedra elektroenergetiky

**Vliv přídatného zatížení na mechanické vlastnosti fázových vodičů a  
zemních lan v rozpětí na vedení VVN a ZVN**

**Effect of additional load on the mechanical properties of phase  
conductors and ground wires in the span of line HV and EHV**

Diplomová práce

Studijní program: EEM

Studijní obor: Elektroenergetika

Vedoucí práce: Mgr. Ing. Vít Klein, Ph.D.

Bc. Jiří Kvaček

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Kvaček** Jméno: **Jiří** Osobní číslo: **434832**  
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**  
Zadávací katedra/ústav: **Katedra elektroenergetiky**  
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**  
Studijní obor: **Elektroenergetika**

## II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

**Vliv přídatného zatížení na mechanické vlastnosti fázových vodičů a zemnicích lan v rozpětí na vedení VVN a ZVN.**

Název diplomové práce anglicky:

**Effect of additional load on the mechanical properties of phase conductors and ground wires in the span of line HV and EHV.**

Pokyny pro vypracování:

1. Shrnout a popsat prvky instalované na vodiče a zemnicí lana v rozpětí mezi stožáry se zaměřením na jejich funkci a důvod instalace.
2. Popsat vliv jednotlivých druhů přídatného zatížení na mechanické vlastnosti vodičů a zemnicích lan (tj. zatížení námrazou, průhyb).
3. Provést srovnání zjednodušených matematických modelů uvažující bodové a rovnoměrné rozložení vlivu těchto přídatných zatížení na vodiče a zemnicí lana používaných v praxi při návrhu. Zhodnotit soulad těchto modelů z hlediska přístupu platných českých technických norem.
4. Odvodit návrh výpočtu vlivu přídatného zatížení na vodiče a zemnicí lana. Implementovat navržený nástroj do projekčních tabulek zohledňující výpočet dle ČSN EN 50341-2-19. Nástroj bude zpracován v prostředí MS Excel.

Seznam doporučené literatury:

1. ČSN EN 50341-1 – Elektrická venkovní vedení s napětím nad 45kV – Část 1: Všeobecné požadavky – Společné specifikace
2. ČSN EN 50341-3 Změna Z2 – Elektrická venkovní vedení s napětím nad 45kV – Část 3: Soubor Národních normativních aspektů
3. PNE 33 3300 – Navrhování a stavba venkovních vedení nad AC 45 kV
4. VARGA, Ladislav; LEŠČINSKÝ, Peter; BEŇA, Ľubomír, 2002. Výpočet mechanických pomerov vonkajších silových vedení. Košice. ISBN 80-89061-56-7
5. Úřad pro civilní letectví, 2018. Letecký předpis letiště – L14. 41/2009-220-SP/4

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

**Ing. Mgr. Vít Klein, Ph.D., katedra elektroenergetiky FEL**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **01.09.2019**

Termín odevzdání diplomové práce: **07.01.2020**

Platnost zadání diplomové práce: **28.02.2021**

Ing. Mgr. Vít Klein, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.  
podpis děkana(ky)

## Abstrakt

Tato diplomová práce řeší problematiku přídatného zatížení na vodičích v rozpětí VVN a ZVN a následné zpracování výpočtu, který ověří teoretické předpoklady. Zabývám se zde druhy vodičů, kterými je možno osazovat liniové stavby VVN a ZVN, jejich vlastnostmi a složením, jelikož správný výběr ovlivní mnoho dalších parametrů. S tím souvisí i mechanika vodiče, která je pro výpočty a navrhování liniových staveb nedílnou součástí. Jedná se o informace počítání průhybu pomocí řetězovky v různých klimatických podmínkách, v různých lokalitách apod. Nadále je součástí diplomové práce vytvořený výpočet, který simuluje vliv přídatného zatížení (tzv. diskrétního zatížení) na vodič v mnoha možných klimatických podmínkách. Jedná se o výpočet v programu MS Excel. V závěru diplomové práce jsou umístěny výsledky a doporučení, jak správně počítat mechanické parametry zavěšených vodičů, a jak lze předpokládat jde hlavně o správné odhadnutí klimatických vlivů v dané lokalitě. Při nesplnění této podmínky by se mohlo stát venkovní elektrické vedení nebezpečným.

## Klíčová slova

vodič, mechanika vodiče, řetězovka, zatížení, námraza

## Abstract

This diploma thesis solves the problem of additional load on conductors in the range of HV and EHV and the subsequent processing of the calculation, which verifies the theoretical assumptions. I deal with the types of conductors, which can be used for assembly of high-voltage and high-voltage line structures, their properties and composition, as the correct selection will affect many other parameters. This is also related to conductor mechanics, which is an integral part of the calculation and design of linear structures. This is information of deflection counting using catenary in different climatic conditions, in different localities, etc. There is also a part of diploma thesis created calculation which simulates influence of additional load (so called discrete load) on conductor in many possible climatic conditions. It is a calculation in MS Excel. At the end of the thesis there are results and recommendations how to correctly calculate the mechanical parameters of suspended conductors, and how it can be predicted mainly about the correct estimation of climatic effects in a given location. Failure to do so could result in dangerous external power lines.

## Keywords

wire, wire mechanics, catenary, load, icing



## Seznam symbolů a zkratk

ACSR – Aluminium Conductor Steel Reinforced

IACS - International Annealed Copper Standard

KZL – kombinované zemní lano

VN – vysoké napětí

VVN – velmi vysoké napětí

ZL – zemní lano

ZVN – zvláště vysoké napětí

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 6. 1. 2020

Bc. Jiří Kvaček

## **Poděkování**

Rád bych tímto poděkoval hned několika lidem, kteří mi významně pomohli s napsáním této diplomové práce. Chtěl bych poděkovat panu Mgr. Ing. Vítu Kleinovi, Ph.D., za ochotu a vedení diplomové práce. Dále děkuji kolegům z práce za cenné rady a odbornou pomoc při problémech vzniklých při psaní této diplomové práce.

# Obsah

Obsah .....	VIII
Seznam tabulek.....	XI
Seznam obrázků .....	XII
1 Úvod.....	1
2 Vodiče využívané u linek VVN a ZVN .....	2
3 Požadavky na venkovní vodiče .....	3
4 Vodiče venkovního vedení (AlFe lano) .....	3
4.1 Materiál využívaný u slaněných vodičů.....	4
4.1.1 Tvrdé tažené hliníkové dráty (označení AL1).....	4
4.1.2 Dráty ze slitiny Al-Mg-Si (označení AL2 - AL7).....	5
4.1.3 Pozinkované ocelové dráty .....	6
4.1.4 Ocelohliníkové dráty .....	7
4.2 Slanění.....	8
4.3 Systém značení vodičů .....	9
5 Mechanika vodiče .....	11
5.1 Řetězovka .....	11
5.2 Vodorovné pole .....	16
5.3 Šikmé pole .....	19
5.3.1 Délka vodiče.....	22
5.4 Prodloužení délky vodiče .....	22
5.4.1 Pružná deformace – Hookův zákon .....	22
5.4.2 Pružná deformace – příklad .....	23
6 Vliv teploty a zatížení na mechaniku vodiče – stavová rovnice .....	24
7 Zatížení vodičů .....	27
7.1 Klimatické podmínky .....	28

7.2	Zatížení námrazkem.....	29
7.3	Zatížení větrem .....	31
7.3.1	Kategorie terénu .....	33
7.4	Kombinované zatížení větrem a námrazou .....	34
7.5	Úroveň spolehlivosti .....	35
7.6	Letecké značení podpěrných bodů a vodičů.....	35
7.7	Tlumiče vibrací.....	38
7.7.1	Princip tlumiče vibrací.....	38
7.7.2	Historie vývoje tlumiče vibrací .....	39
7.8	Tlumící distanční rozpěrky.....	39
7.9	Mezifázové rozpěrky.....	40
7.10	Doplňková zařízení zavěšovaná na vodiče.....	41
8	Vliv zatížení vodiče na jeho tvar .....	42
8.1	Řešení mechaniky vodiče při diskrétním mechanickém zatížení vodiče .....	43
9	Vytvořený výpočet.....	46
9.1	Newton-Raphsonova metoda – iterační numerická metoda.....	48
10	Ukázka výpočtu programu .....	49
11	Závěr .....	55
12	Seznam použité literatury .....	58
13	Seznam příloh .....	60
14	Přílohy.....	61
14.1	Příloha 1: Mapa námrazových oblastí.....	61
14.2	Příloha 2: Mapa větrových oblastí ČR .....	62
14.3	Příloha 3: Průřezy AlFe lan.....	63
14.4	Příloha 4: Tabulka běžně používaných lan .....	64
14.5	Příloha 5: Katalog výstražné spirály.....	65

14.6	Příloha 6: Výkres výstražné spirály .....	66
14.7	Příloha 7: Katalog distanční rozpěrky.....	67
14.8	Příloha 8: Katalog spirálového tlumiče vibrací .....	68
14.9	Příloha 9: Katalog tlumiče vibrací.....	69
14.10	Příloha 10: Výkres letecké výstražné koule .....	70
14.11	Příloha 11: Vytvořený výpočet v MS Excel.....	71
14.11.1	List „Úvod“ .....	71
14.11.2	List „Spolehlivost“ .....	72
14.11.3	List „Data lan“ .....	72
14.11.4	List „NO a VO“ .....	73
14.11.5	List „Přídavná zatížení“ .....	73
14.11.6	List „Spojité zatížení“ .....	74
14.11.7	List „Diskrétní zatížení“ .....	76
14.12	Příloha 12: Výpočet mechanického namáhání.....	79
14.13	Příloha 13: Průhybové křivky .....	80

## Seznam tabulek

Tabulka 1: Seznam českých technických norem věnující se drátům pro slanění lan...	3
Tabulka 2: Základní parametry hliníkových drátů .....	4
Tabulka 3: Základní parametry hliníkových drátů .....	5
Tabulka 4: Základní parametry drátů ze slitiny Al-Mg-Si .....	5
Tabulka 5: Základní vlastnosti pozinkovaných ocelových drátů .....	6
Tabulka 6: Základní parametry ocelohliníkových drátů .....	7
Tabulka 7: Stáčecí poměry vrstev z ocelových pozinkovaných drátů.....	9
Tabulka 8: Parametry vodiče 434-AL1/56-ST1A.....	10
Tabulka 9: Nejčastěji využívané vodiče .....	11
Tabulka 10: Extrémní referenční zatížení námrazou na vodičích.....	30
Tabulka 11: Základní rychlosti větru $V_{b,0}$ .....	31
Tabulka 12: Kategorie terénu .....	33
Tabulka 13: Zadání vstupních dat.....	50
Tabulka 14: Vypočtená zatížení vodiče.....	51
Tabulka 15: Vypočtené parametry řetězovky .....	52
Tabulka 16: Zavěšená přídatná zatížení .....	53

## Seznam obrázků

Obrázek 1: Řez kombinovaným zemním lanem.....	2
Obrázek 2: Řez kombinovaným vodičem (AlFe lano) .....	4
Obrázek 3: Slaňovačka .....	9
Obrázek 4: Příčný řez kombinovaným vodičem AlFe.....	10
Obrázek 5: Síly působící na element délky vodiče .....	12
Obrázek 6: Řetězovka - vodorovné pole .....	16
Obrázek 7: Řetězovka - šikmé pole .....	19
Obrázek 8: Závislost mechanického namáhání v závislosti na rozpětí.....	26
Obrázek 9: Působení sil na vodič .....	34
Obrázek 10: Letecká koule o průměru 60 cm .....	37
Obrázek 11: Otočné praporky na fázových vodičích.....	37
Obrázek 12: Světelná signalizace zavěšená na vodič .....	38
Obrázek 13: Typický tlumič vibrací – vlevo, spirálový tlumič vibrací – vpravo .....	38
Obrázek 14: Tlumící distanční rozpěrka.....	40
Obrázek 15: Testování distanční rozpěrky .....	40
Obrázek 16: Vertikální mezifázová rozpěrka.....	41
Obrázek 17: Spirály pro zviditelnění.....	42
Obrázek 18: Proužkový praporek pro zviditelnění .....	42
Obrázek 19: Rovinný vláknový polygon .....	43
Obrázek 20: Diskrétně zatížený vodič .....	44
Obrázek 21:Newton-Raphsonova metoda .....	48
Obrázek 22: Závislost průhybu vodiče na rozpětí při souměrném poli .....	53



# 1 Úvod

Elektrická energie je pro civilizovaného člověka a společnost již neodmyslitelnou součástí života. V dnešní době umíme přeměňovat na elektrickou energii prakticky vše. Problém nastává tehdy, kdy chceme elektrickou energii přenést nebo uložit. Přenos elektrické energie ke koncovým uživatelům je velmi náročná a složitá disciplína, která zaměstnává tisíce lidí z různých oborů.

Přenos elektrické energie se u nás uskutečňuje na napětových hladinách VVN a ZVN, který dále přechází v síť distribuční, která je na nižších napětových hladinách VVN, VN a NN. Pro přenos na velké vzdálenosti (desítky i stovky kilometrů) se využívá zejména venkovních liniových staveb, tedy zjednodušeně stožárů, na které jsou navěšeny vodiče.

Jelikož se jedná o venkovní stavbu musí splňovat mnoho kritérií, aby přenos elektrické energie byl spolehlivý a bezpečný pro okolní prostředí. Hlavním nepřítelem venkovních staveb jsou klimatické vlivy, a to především vítr, který je hlavní příčinou havárií v podobě zlomených podpěrných bodů či poruch na vodičích. V zimním období je nebezpečná také námraza. Liniová stavba tak musí být dimenzována na možná kritická zatížení, která mohou v dané lokalitě vzniknout. K potlačení těchto vlivů slouží pomocná zařízení, která se zavěšují na vodiče, jejich výčet a popis bude uveden dále. Správný návrh, a i následná stavba tak zajistí dlouhý a bezpečný provoz těchto staveb.

Obrázky uvedené v této diplomové práci bez uvedeného zdroje jsou mým osobním vlastnictvím. Nadále z důvodu chránění firemního tajemství nebude zveřejněn zdrojový kód a vlastní výpočty, které jsou součástí vytvořeného programu. Budou uvedeny pouze konečné hodnoty a vzorce.

## 2 Vodiče využívané u linek VVN a ZVN

Na napěťové hladině VVN a ZVN se můžeme setkat s několika typy vodičů, rozdělených do skupin dle jejich funkce. Hlavní skupinou jsou; fázové vodiče (FV), které mají za úkol přenést výkon, tedy jimi v běžném stavu tečou proudy a vůči zemi je na nich definované sdružené napětí (velmi vysoké napětí VVN - 110 kV a 220 kV, zvláště vysoké napětí ZVN - 400 kV).

Druhou skupinou vodiče plní funkci zemnicích lan (ZL). Zemnicí lano se obvykle umísťuje do prostoru nad fázovými vodiči a je záměrně uzemněno ve vrcholech stožárů. Na našich přenosových linkách v ČR se obvykle vyskytuje jedno či dvě zemní lana. Jejich funkcí je především ochrana vedení před přímým úderem blesku, jelikož ve volné přírodě je vedení často nejvyšším bodem, zasáhne vedení a podpěrné body obvykle nejvíce blesků. Vedou taktéž poruchové proudy při zkratech, kdy vodičem často pro svoji nižší impedanci snáze protéká proud než zemní cestou. Svoji konstrukcí se dnes tyto vodiče nijak neliší od fázových vodičů.

Poslední dnes rozlišovanou skupinou vodičů jsou kombinovaná zemní lana (KZL). Jedná se o zemní lano v kombinaci s optickými vlákny, která jsou umístěna uprostřed vodiče. Kombinované zemní lano se využívá ke stejným účelům jako klasické zemní lano, přičemž optická vlákna jsou využívána pro další aplikace, jako je komunikace po vedení. Lze tak přenášet nejrůznější informace na velké vzdálenosti.



*Obrázek 1: Řez kombinovaným zemním lanem*

### 3 Požadavky na venkovní vodiče

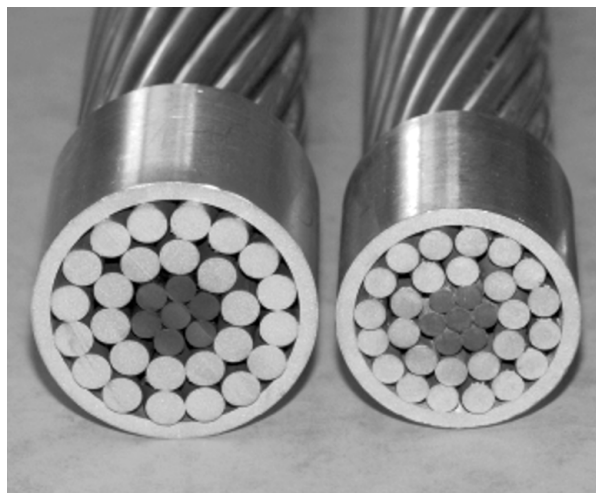
Vedení NN a obecně nižší napět'ové hladiny využívají pro přenos výkonu kulaté tažené vodiče, napět'ové hladiny VVN a ZVN již bez výjimek využívají jako vodiče lana. Tato lana vznikají sláněním jednotlivých drátů a může tak vznikat velké množství různých kombinací, které v sobě zahrnují využití rozdílných materiálů či dimenzování proudové zatížitelnosti vhodným průřezem vodiče. Na výrobu vodičů jsou kladeny požadavky, které jsou uvedeny v technických normách. Vodičům venkovních vedení je věnováno hned několik technických norem, a to především ČSN EN 50182 - Vodiče venkovního elektrického vedení, a nadále technické normy věnující se přímo jednotlivým typům drátů, viz tabulka [Tabulka 1].

*Tabulka 1: Seznam českých technických norem věnující se drátům pro slánění lan*

Označení technické normy	Název technické normy
ČSN IEC 889 Z1	Tvrdé tažené hliníkové dráty pro vodiče nadzemních vedení
ČSN EN 50 183	Dráty ze slitiny Al-Mg-Si pro vodiče venkovních vedení
ČSN EN 50 189	Pozinkované ocelové dráty pro vodiče venkovních vedení
ČSN EN 61 232 ZA11	Ocelohliníkové dráty pro elektrotechniku

### 4 Vodiče venkovního vedení (AlFe lano)

Nejběžněji používaný vodič na venkovních vedeních VVN a ZVN je ACSR (Aluminium Conductor Steel Reinforced), u nás používaný název AlFe lano. Vodič je složen z ocelového jádra (duše) a dalších vrstev hliníkových drátů viz obrázek [Obrázek 2]. Ocelové jádro plní funkci nosnou a je spleteno z pozinkovaných ocelových drátů. Na jádře jsou hliníkové vrstvy, jejímž průřezem protéká proud, plní tedy funkci vodivostní. Vyrábějí se mnohé konfigurace a změnou průřezů oceli a hliníku, lze dosáhnout vodičů s vyšší pevností pro namáhané úseky vedení, například v oblastech zatížených námrazami.



Obrázek 2: Řez kombinovaným vodičem (AlFe lano)<sup>1</sup>

## 4.1 Materiál využívaný u slaněných vodičů

Pro výrobu slaněných vodičů se využívají tvrdé tažené dráty, které musí splňovat požadavky uvedené v příslušných technických normách.

### 4.1.1 Tvrdé tažené hliníkové dráty (označení AL1)<sup>2</sup>

Dráty popisuje česká technická norma ČSN IEC 889 Z1 a musí být z hliníku, který svojí čistotou zajistí potřebné mechanické a elektrické vlastnosti. Specifikuje dráty o průměru od 1,25 do 5 mm. Obsah hliníku musí být minimálně 99,5 % a dráty musí být hladké a bez vad.

Tabulka 2: Základní parametry hliníkových drátů

Rezistivita $\rho$ při 20 °C	max. 28,264 n $\Omega$ .m <sup>-1</sup> (61 % IACS)
Hustota $\rho$ při 20 °C	2,703 kg.dm <sup>-3</sup>
Součinitel délkové roztažnosti	23 x 10 <sup>-6</sup> [1.°C <sup>-1</sup> ]
Teplotní koeficient el. odporu při 20 °C	0,00403 [1.°C <sup>-1</sup> ]

IACS (International Annealed Copper Standard) je standardizovaná konstanta, která udává elektrickou vodivost měkké mědi a činí 58 MS.m<sup>-1</sup>

<sup>1</sup> [http://vbconsulting.cz/lana/wp-content/uploads/Lana\\_Katalog\\_2016.pdf](http://vbconsulting.cz/lana/wp-content/uploads/Lana_Katalog_2016.pdf)

<sup>2</sup> ČSN IEC 889 - Tvrdé tažené hliníkové dráty pro vodiče nadzemních vedení

Tabulka 3: Základní parametry hliníkových drátů

Jmenovitý průměr drátu d		Maximální pevnost $\sigma$ v tahu [MPa]
od [mm]	do [mm]	
-	1,25	200
1,25	1,50	195
1,50	1,75	190
1,75	2,00	185
2,00	2,25	180
2,25	2,50	175
2,50	3,00	170
3,00	3,50	165
3,50	5,00	160

#### 4.1.2 Dráty ze slitiny Al-Mg-Si (označení AL2 - AL7)<sup>3</sup>

Dráty popisuje česká technická norma ČSN EN 50183 - Dráty ze slitiny Al-Mg-Si pro vodiče venkovních vedení a jedná se o slitinu hliníku, hořčíku, křemíku a dalších méně zastoupených prvků. Dráty označujeme dle jejich složení (poměru jednotlivých prvků) jako AL2 až AL7, což znamená, že se běžně využívá šest druhů těchto slitin. Koncentrace jednotlivých prvků, kterými je legován hliník je omezena následovně: Mg (0,4 - 0,9 %), Si (0,3 - 0,7 %), Fe (< 0,7 %) a Cu (< 0,5 %). Tím jsou ovlivněny mechanické a elektrické vlastnosti drátu, jenž popisuje tabulka [Tabulka 4].

Tabulka 4: Základní parametry drátů ze slitiny Al-Mg-Si

Hustota $\rho$ při 20 °C			2,7 kg.dm <sup>-3</sup>	
Třída	Jmenovitý průměr d		Minimální pevnost $\sigma$ v tahu [MPa]	Maximální rezistivita $\rho$ při 20 °C [n $\Omega$ .m <sup>-1</sup> ]
	od [mm]	do [mm]		
AL2	1,50	3,50	325	32,84 (52,5 % IACS)
	3,50	5,00	315	32,84 (52,5 % IACS)
AL3	1,50	5,00	295	32,53 (53 % IACS)
AL4	1,50	3,50	325	32,9 (52,9 % IACS)
	3,50	5,00	315	32,9 (52,9 % IACS)

<sup>3</sup> ČSN EN 50 183 - Dráty ze slitiny Al-Mg-Si pro vodiče venkovních vedení

AL5	1,50	5,00	295	32,2 (55,25 % IACS)
AL6	1,50	3,50	314	31,5 (55,6 % IACS)
	3,50	5,00	304	31,5 (55,6 % IACS)
AL7	1,50	2,50	300	30,5 (57,5 % IACS)
	2,50	3,00	290	30,5 (57,5 % IACS)
	3,00	3,50	275	30,5 (57,5 % IACS)
	3,50	4,00	265	30,5 (57,5 % IACS)
	4,00	5,00	255	30,5 (57,5 % IACS)

### 4.1.3 Pozinkované ocelové dráty<sup>4</sup>

Dráty popisuje česká technická norma ČSN EN 50189 - Pozinkované ocelové dráty pro vodiče venkovních vedení a jedná se o ocelové dráty, na které je nanesen zinkový povlak. Tyto ocelové dráty mají funkci pevnostní, a to ve slaněných vodičích, kdy tyto dráty tvoří jádro lana. Tyto dráty jsou opět vyráběny v několika druzích a to ST1A, ST2B, ST3D, ST4A, ST5E a ST6C. Číslicí a písmenem je rozlišena jakost a třída drátu.

Zinkování ocelového drátu se provádí z důvodu ochrany před korozivními účinky prostředí. Používají se dvě základní metody zinkování, a to žárové zinkování a galvanické zinkování. Žárové zinkování zjednodušeně spočívá v ponoření ocelových drátů do roztaveného zinku při teplotě 450 °C. Při galvanickém zinkování probíhá elektrolytický děj, při němž se vylučuje zinek na povrch materiálu. Zinkový povlak by měl obsahovat minimálně 99,85 % zinku. Tabulka [Tabulka 5] vyjadřuje základní vlastnosti drátu ST1A.

Tabulka 5: Základní vlastnosti pozinkovaných ocelových drátů

Rezistivita $\rho$ při 20 °C		192 n $\Omega$ .m <sup>-1</sup>
Hustota $\rho$ při 20 °C		7,78 kg.dm <sup>-3</sup>
Jmenovitý průměr d		Minimální pevnost $\sigma$ v tahu [MPa]
od [mm]	do [mm]	
1,24	1,50	1170
1,50	1,75	1170
1,75	2,25	1170

<sup>4</sup> ČSN EN 50 189 - Pozinkované ocelové dráty pro vodiče venkovních vedení

2,25	2,75	1140
2,75	3,00	1140
3,00	3,50	1100
3,50	4,25	1100
4,25	4,75	1100
4,75	5,50	1100

#### 4.1.4 Ocelohliníkové dráty<sup>5</sup>

Dráty popisuje česká technická norma ČSN EN 61232 - Ocelohliníkové dráty pro elektrotechniku a jedná se o drát, kde základním kovem je ocel, na níž je nanesen hliníkový povlak. Rozlišuje se několik tříd drátů dle poměru hliníku ku oceli. Označení drátů je 20SA (typ A, typ B), 27SA, 30SA, 40SA.

*Tabulka 6: Základní parametry ocelohliníkových drátů*

<b>Třída</b>	<b>Minimální tloušťka hliníkového povlaku</b>
20SA	8 % jmenovitého poloměru drátu pro jmenovitý průměr menší než 1,80 mm
	10 % jmenovitého poloměru drátu pro jmenovitý průměr větší než 1,80 mm
27SA	14 % jmenovitého poloměru drátu
30SA	15 % jmenovitého poloměru drátu
40SA	25 % jmenovitého poloměru drátu

<sup>5</sup> ČSN EN 61 232 ZA11 - Ocelohliníkové dráty pro elektrotechniku

Třída	Jmenovitý průměr d		Minimální pevnost v tahu $\sigma$ [MPa]	Maximální rezistivita $\rho$ při 20 °C [n $\Omega$ .m <sup>-1</sup> ]
	od [mm]	do [mm]		
20SA (typ A)	1,24	3,25	1340	84,80 (20,3 % IACS)
	3,35	3,45	1310	
	3,45	3,65	1270	
	3,65	3,95	1250	
	3,95	4,10	1210	
	4,10	4,40	1180	
	4,40	4,60	1140	
	4,60	4,75	1100	
4,75	5,50	1070		
20SA (typ B)	1,24	5,50	1320	
27SA	2,50	5,00	1080	63,86 (27 % IACS)
30SA	2,50	5,00	880	57,47 (30 % IACS)
40SA	2,50	5,00	680	43,10 (40 % IACS)

## 4.2 Slanění

Slanění drátů je proces kdy pomocí slaňovacího stroje<sup>6</sup>, do kterého vložíme jednotlivé dráty, je slaněním vytvořeno lano.

Požadavky na slanění určuje česká technická norma ČSN EN 50182 - Vodiče venkovního elektrického vedení - Lanované vodiče vinuté z koncentrických kruhových drátů<sup>7</sup> či z ní vycházející podniková norma energetiky PNE 34 7509. Všechny dráty vodiče musí být slaněny soustředně, a to tím způsobem, že sousední vrstvy drátů musí být slaněny opačným směrem vinutí. Z praxe je vzata dohoda mezi výrobci, že směr vinutí vnější vrstvy je obvykle pravotočivý. V těchto výše zmíněných normách jsou nadále uvedeny stáček poměry. Stáček poměr je poměr výšky vinutí k vnějšímu průměru příslušné vrstvy drátů. Výška vinutí je vzdálenost rovnoběžná s podélnou osou vodiče, ve které drát vytvoří jeden kompletní závit kolem osy<sup>7</sup>.

<sup>6</sup> <https://img.abra.eu/lana-2.pdf>

<sup>7</sup> ČSN EN 50182 – Vodiče venkovního elektrického vedení - Lanované vodiče vinuté z koncentrických kruhových drátů



Normy uvádějí i podmínky na stáčecí poměr a to ten, že jakákoli navinutá vrstva musí mít stejný nebo menší stáčecí poměr než je stáčecí poměr vrstvy bezprostředně pod ní. Je to z důvodu toho, aby nedocházelo k pozdějšímu rozplétání lana a při případném přeříznutí lana musí lano setrvat přibližně v původní pozici a nesmí se rozplést.

Tabulka 7: Stáčecí poměry vrstev z ocelových pozinkovaných drátů

Počet ocelových drátů	Stáčecí poměr							
	Vrstva ze 3 drátů		Vrstva ze 6 drátů		Vrstva ze 12 drátů		Vrstva ze 18 drátů	
	min	max	min	max	min	Max	Min	Max
3	16	26	-	-	-	-	-	-
7	-	-	16	26	-	-	-	-
19	-	-	16	26	14	22	-	-
37	-	-	17	25	16	22	14	18



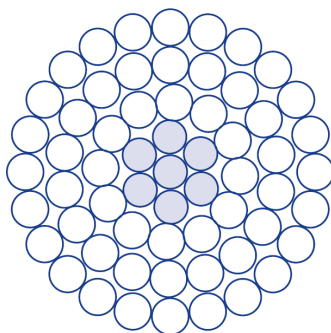
Obrázek 3: Slaňovačka

### 4.3 Systém značení vodičů

Systém značení vodičů má svá pravidla, slouží k identifikaci slaněných vodičů a má následující pravidla. Značení homogenních hliníkových vodičů je ALx, kde x značí druh hliníku. Homogenní vodiče z ocelových drátů pokrytých hliníkem se označují yzSA, kde y značí typ oceli a z značí třídu hliníkového plátování.

Nejčastěji využívané kombinované vodiče z hliníkových a pozinkovaných ocelových drátů se označují ALx/STyz. Označení před lomítkem určuje vnější hliníkové dráty a označení STyz za lomítkem označuje ocelovou duši. U označení

pozinkovaných ocelových drátů představuje y typ oceli a z třídu zinkového povlaku. Obdobné značení je při použití ocelových drátů pokrytých hliníkem.



54Al/7Fe

Obrázek 4: Příčný řez kombinovaným vodičem AlFe<sup>8</sup>

Tabulka 8: Parametry vodiče 434-AL1/56-ST1A

<b>Označení</b>	434-AL1/56-ST1A
<b>Duše vodiče</b>	1+6 pozinkovaných ocelových drátů ST1A o průměru 3,20 mm
	Celkový průřez ocelových drátů $s = 56,3 \text{ mm}^2$
<b>Obal</b>	1. vrstva: 12 hliníkových drátů AL1 o průměru 3,20 mm
	2. vrstva: 18 hliníkových drátů AL1 o průměru 3,20 mm
	3. vrstva: 24 hliníkových drátů AL1 o průměru 3,20 mm
	Celkový průřez hliníkových drátů $s = 434,3 \text{ mm}^2$
<b>Vodič</b>	Jmenovitý průměr vodiče $d = 28,8 \text{ mm}$
	Celkový průřez vodiče $s = 490,6 \text{ mm}^2$
	Hmotnost vodiče na jednotku délky $m = 1652,4 \text{ kg.km}^{-1}$
	Jmenovitý elektrický stejnosměrný odpor při 20 °C: $0,0666 \Omega.\text{km}^{-1}$
	Jmenovitá pevnost v tahu $\sigma = 133,59 \text{ kN}$
	Směr vinutí vnější vrstvy je pravotočivý (Z)

<sup>8</sup> [http://vbconsulting.cz/lana/wp-content/uploads/Lana\\_Katalog\\_2016.pdf](http://vbconsulting.cz/lana/wp-content/uploads/Lana_Katalog_2016.pdf)

Tabulka 9: Nejčastěji využívané vodiče

Označení vodiče	Popis vodiče
184-AL1/30-ST1A	AlFe lano, průřez Fe 30 mm <sup>2</sup>
212-AL1/49-ST1A	AlFe lano, průřez Fe 49 mm <sup>2</sup>
243-AL1/39-ST1A	AlFe lano, průřez Fe 39 mm <sup>2</sup>
362-AL1/59-ST1A	AlFe lano, průřez Fe 59 mm <sup>2</sup>
382-AL1/49-ST1A	AlFe lano, průřez Fe 49 mm <sup>2</sup>
434-AL1/56-ST1A	AlFe lano, průřez Fe 56 mm <sup>2</sup>
490-AL1/64-ST1A	AlFe lano, průřez Fe 64 mm <sup>2</sup>
679-AL1/86-ST1A	AlFe lano, průřez Fe 86 mm <sup>2</sup>

## 5 Mechanika vodiče

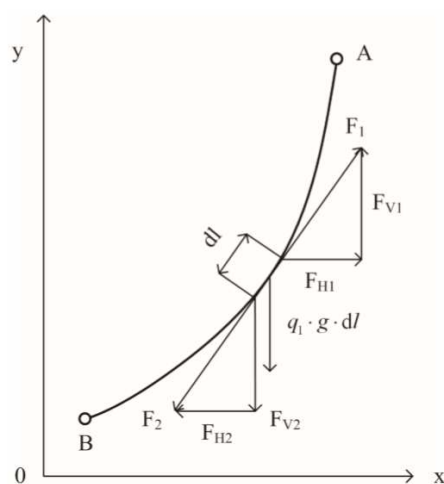
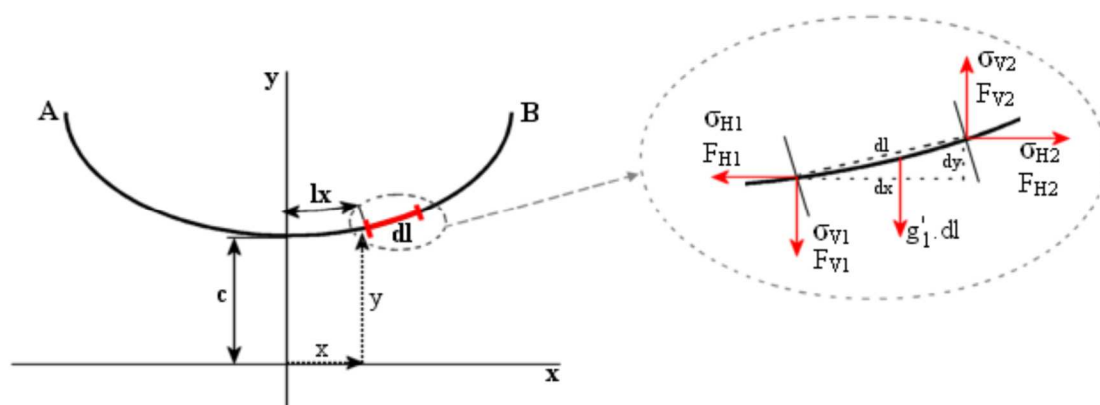
Při návrhu nového vedení, či pouze údržby stávajícího vedení je nezbytné správné určení technických parametrů veškerých mechanických částí vedení. Vodiče jsou zavěšeny pomocí izolátorových závěsů ke stožárům. Správný návrh mechanických poměrů je důležitý z hlediska dimenzování vedení na možné klimatické podmínky (vítr, námraza), které se mohou v dané oblasti vyskytovat a lze tak předcházet poruchám, které by mohly být tímto způsobeny. Dalším důvodem je hospodárnost, kdy správným návrhem vodičů můžeme zmenšit velikost či hmotnost stožárů a tím uspořit finanční prostředky. Vše ovšem v souladu s platnými předpisy a normami, které mají zajistit správné provedení, a především bezpečnost konstrukce.

### 5.1 Řetězovka

Mechanické vlastnosti vodiče se nejlépe demonstrují pomocí „řetězovky“. Jedná se o křivku, kterou zaujme osa dokonale ohebného vlákna zavěšeného ve dvou bodech, je-li vlákno spojitě zatíženo<sup>9</sup> a jehož jednotka délky v nenapjatém stavu má všude stejnou váhu. Vlivem tíhy vlákno nabude tvaru prohnuté křivky ve svislé rovině a zanedbáme-li vlivy působící na toto vlákno (např. námrazek, vítr), můžeme tuto křivku nazvat jako pružnou řetězovku. Pokud vlákno bylo dokonale nepružné v tahu,

<sup>9</sup> VARGA, Ladislav, Peter LEŠČINSKÝ a Lubomír BEŇA. *Výpočet mechanických poměrů vonkajších silových vedení*. Košice, 2002. ISBN 80-89061-56-7.

nabylo by vlivem tíhy odlišné křivky, v tom případě tedy nepružné řetězovky<sup>10</sup>. Rozdíl mezi pružnou a nepružnou řetězovkou je tedy v užití Hookova zákona, který je popsán v kapitole [5.4.1]. Nejčastěji počítané parametry řetězovky jsou průhyby, délky oblouku, osově síly.



Obrázek 5: Síly působící na element délky vodiče

kde:

$F_1, F_2$  ..... síla (tah) ve vodiči [N],

$F_H$  ..... horizontální složka síly [N],

$F_V$  ..... vertikální složka síly [N],

<sup>10</sup> Hruška, D. V. (1940). *Venkovní elektrická vedení počítaná jako pružná řetězovka*. Praha: Elektrotechnický svaz Českomoravský.

$q_1$  ..... hmotnost 1 m vodiče [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}$ ],

$g$  ..... tíhová konstanta [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ ],

$l$  ..... délka vodiče [m],

$\gamma$  ..... měrná tíha 1 m vodiče [ $\text{Pa}\cdot\text{m}^{-1}$ ],

$\sigma_{H1}, \sigma_{H2}$  ..... mechanické napětí [Pa],

$z$  ..... přetížení vodiče [-],

$c$  ..... parametr řetězovky [m].

Odvození nepružné řetězovky vychází z předpokladu mechanické rovnováhy. Vodič je v klidu, pokud je součet sil na něj působící roven nule a současně součet momentů sil v libovolném bodě též roven nule.

$$\bar{F}_1 + \bar{F}_2 + q_1 * g * dl = 0 \quad [N; \text{kg}\cdot\text{m}^{-1}; \text{m}\cdot\text{s}^{-2}; \text{m}] \quad (5.1)$$

To platí, pokud se rovnají horizontální složky sil  $F_H$ :

$$F_{H1} = F_{H2} \quad [N; N] \quad (5.2)$$

Z toho je zřejmé že horizontální složka síly je v každém bodě křivky stejná:

$$F_{V1} - F_{V2} - q_1 * g * dl = 0 \quad [N; \text{kg}\cdot\text{m}^{-1}; \text{m}\cdot\text{s}^{-2}; \text{m}] \quad (5.3)$$

$$dF_V = q_1 * g * dl \quad [N; \text{kg}\cdot\text{m}^{-1}; \text{m}\cdot\text{s}^{-2}; \text{m}] \quad (5.4)$$

Z těchto podmínek vyplývá, že vertikální složka síly  $F_V$  je rovna tíze elementu vodiče  $dl$ . Maximální síla je v závěsech, nejmenší tedy nulová v průhybu vodiče:

$$\frac{dF_V}{dx} = q_1 * g * \frac{dl}{dx} \quad [N; \text{kg}\cdot\text{m}^{-1}; \text{m}\cdot\text{s}^{-2}; \text{m}] \quad (5.5)$$

Element délky  $dl$  můžeme zapsat následovně:

$$dl = \sqrt{dx^2 + dy^2} = \sqrt{1 + \frac{dy^2}{dx^2}} = \sqrt{1 + y'^2} \quad [m; m; m; m] \quad (5.6)$$

Provedli jsme substituci a následně dostaneme:

$$\frac{dF_V}{dx} = q_1 * g * \sqrt{1 + y'^2} \quad [N; m; kg \cdot m^{-1}; m \cdot s^{-2}; m] \quad (5.7)$$

Úhel mezi výslednicí a horizontální složkou síly  $\alpha$ :

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{F_V}{F_H} = \frac{dy}{dx} \quad [-; N; N; m] \quad (5.8)$$

Úpravou rovnice dostaneme podmínku vyjadřující rovnost momentů působících na element vodiče  $dl$ :

$$F_V * dx = F_H * dy \quad [N; m; N; m] \quad (5.9)$$

Pokud upravíme rovnici ((5.9) dostaneme následující:

$$\frac{dF_V}{dx} = F_H * \frac{d^2y}{dx^2} = F_H * \frac{dy'}{dx} \quad [N; m; N; m] \quad (5.10)$$

Rovnice (5.7) a (5.10) mezi sebou porovnáme:

$$q_1 * g * \sqrt{1 + y'^2} = F_H * \frac{dy'}{dx} \quad [kg \cdot m^{-1}; m \cdot s^{-2}; m; N] \quad (5.11)$$

Provedeme integraci vztahů:

$$\int \frac{dy'}{\sqrt{1 + y'^2}} = \int \frac{q_1 * g}{F_H} * dx \quad [m; kg \cdot m^{-1}; m \cdot s^{-2}; N; m] \quad (5.12)$$

Dostaneme:

$$y' = \sinh \left[ \frac{q_1 * g}{F_H} * (x + k_1) \right] \quad [m; kg \cdot m^{-1}; m \cdot s^{-2}; m; N; -] \quad (5.13)$$

Po úpravě:

$$y = \frac{F_H}{q_1} * \cosh \left[ \frac{q_1 * g}{F_H} * (x + k_1) \right] + k_2 \quad [m; N; kg \cdot m^{-1}; m \cdot s^{-2}; m; -] \quad (5.14)$$

Určení integračních konstant  $k_1$  a  $k_2$  z počátečních podmínek:

$$pro \ x = 0 \Rightarrow \ y' = 0, y = \frac{F_H}{q_1} \quad [m; N; kg \cdot m^{-1}] \quad (5.15)$$

Dosadíme do rovnice (5.13):

$$0 = \sinh \left[ k_1 * \frac{q_1 * g}{F_H} \right] \Rightarrow \ k_1 = 0 \quad [-; kg \cdot m^{-1}; m \cdot s^{-2}; N] \quad (5.16)$$

Dosadíme do rovnice (5.14):

$$\frac{F_H}{q_1} = \frac{F_H}{q_1} + k_2 \Rightarrow \ k_2 = 0 \quad [N; kg \cdot m^{-1}; -] \quad (5.17)$$

Po úpravě a dosazení do rovnice (5.14) dostaneme výsledný tvar rovnice průhybové křivky:

$$y = c * \cosh \frac{x}{c} \quad kde \ c = \frac{F_H}{q_1} \quad [m; m; kg \cdot m^{-1}; N] \quad (5.18)$$

Parametr řetězovky  $c$  je důležitou hodnotou, který se v praxi obvykle pohybuje v rozmezí od 800 do 1800 m. Geometricky je tato hodnota vzdálenost vrcholu řetězovky od počátku souřadnicového systému. Fyzikálně je tento parametr  $c$  rovný

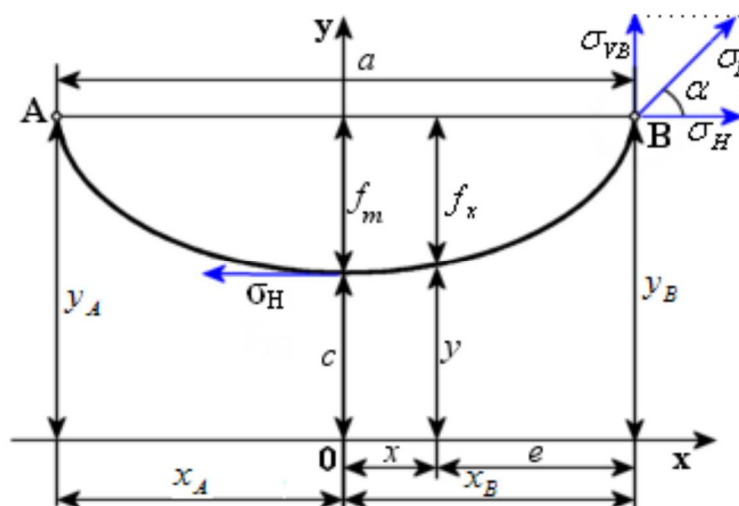
délce vodiče, který má tíhu rovnou tahu, který působí ve vrcholu průhybové křivky vodiče<sup>11</sup>.

Parametr  $c$  lze vyjádřit pomocí průřezu a celkovým přetížením vodiče:

$$c = \frac{F_H}{q_1 + q_2} = \frac{\sigma_H}{\gamma * z} \quad [m; N; kg \cdot m^{-1}; MPa; N \cdot cm^{-3}; -] \quad (5.19)$$

## 5.2 Vodorovné pole

Vodorovné či souměrné pole je charakterizováno tím, že závěsné body A a B vodiče jsou umístěny ve stejných výškách. Tím je zaručeno, že vrchol průhybové křivky leží v polovině rozpětí  $a$ .



Obrázek 6: Řetězovka - vodorovné pole

Průhyb v bodě  $x$  se vypočte z následujícího vztahu:

$$f_x = c \left( \cosh \frac{x}{c} - 1 \right) = c (\cosh X - 1) \quad [m; m] \quad (5.20)$$

Při podmínce  $x = \frac{a}{2}$  lze určit maximální průhyb, který je rovný:

$$f_m = y_B - c = c \cosh \frac{a}{2c} - c = c \left( \cosh \frac{a}{2c} - 1 \right) \quad [m; m; m] \quad (5.21)$$

<sup>11</sup> VARGA, Ladislav, Peter LEŠČINSKÝ a Lubomír BEŇA. *Výpočet mechanických pomerov vonkajších silových vedení*. Košice, 2002. ISBN 80-89061-56-7.



Lze často využít zjednodušení a počítat s parabolou jako s náhradou řetězovky. Toto zjednodušení lze spolehlivě využít pro menší rozpětí. Pro příklad na napěťové hladině 400 kV je maximální průhyb stanoven na 6 % z rozpětí. Při těchto parametrech se při použití výpočtu s parabolou dosáhne nepřesnosti výpočtu méně jak 0,5 %. Avšak při velkých rozpětích (nad 400 m) se paraboly nevyužívá, protože by se již dopustilo velké nepřesnosti výpočtu, V těchto případech již počítáme s nepružnou řetězovkou.

Délka větve řetězovky po bod  $x$ :

$$l_x = c \sinh \frac{x}{c} \quad [m; m; m] \quad (5.22)$$

Poté délka celého vodiče (řetězovky) při uvažování  $x = \frac{a}{2}$  je dána vztahem:

$$l_s = 2c \sinh \frac{a}{2c} \quad [m; m; m] \quad (5.23)$$

### Namáhání vodiče

Celkové mechanické napětí vodiče  $\sigma_B$  v závěsném bodě B je určeno vektorovým součtem horizontální složky  $\sigma_H$  a vertikální složky  $\sigma_V$  mechanického napětí. Horizontální složka mechanického napětí je v každém bodě řetězovky stejná, vertikální složka je různá v každém bodě řetězovky. Při uvažování souměrného pole je vertikální složka mechanického napětí nulová či minimální ve vrcholu řetězovky (paraboly). Je dána tíhou vodiče délky počítané od vrcholu řetězovky. Maximální hodnota je naopak v bodě závěsu.

Mechanické napětí v závěsných bodech musíme dle platných norem uvažovat v případech kdy je mechanické napětí v závěsných bodech překročeno o více než 4 % než ve vrcholu řetězovky. To je obvyklé při velkých rozpětích a výškových rozdílech závěsů vodiče.

Namáhání se určí z rovnice:

$$\sigma_B = \sigma_H \cosh \frac{a}{2c} = \sigma_H + f\gamma z \quad [MPa; m; m; m; N \cdot cm^{-3}; -] \quad (5.24)$$

Tah v závěsném bodě se rovná součtu tahu ve vrcholu řetězovky a váze vodiče o délce rovné průhybu  $f$ . Uvažujeme i přídatné zatížení jako námrazu či uměle instalované prvky.

$$T_B = T_H + f(q_1 + q_2) \quad [N; m; kg \cdot m^{-1}] \quad (5.25)$$

kde:

$T_B$  ... tah v závěsu v bodě B [N],

$T_H$  ... horizontální složka tahu [N],

$f$  ... průhyb vodiče [m],

$q_1$  ... hmotnost 1 m vodiče [ $kg \cdot m^{-1}$ ],

$q_2$  ... přídatné zatížení 1 m vodiče [ $kg \cdot m^{-1}$ ].

Svislá složka tahu v závěsu  $T_{YB}$  působí na ramena i izolátorové řetězce se určí vztahem:

$$T_{YB} = T_H \sinh \frac{a}{2c} = l_s \frac{(q_1 + q_2)}{2} \quad [N; m; kg \cdot m^{-1}] \quad (5.26)$$

kde:

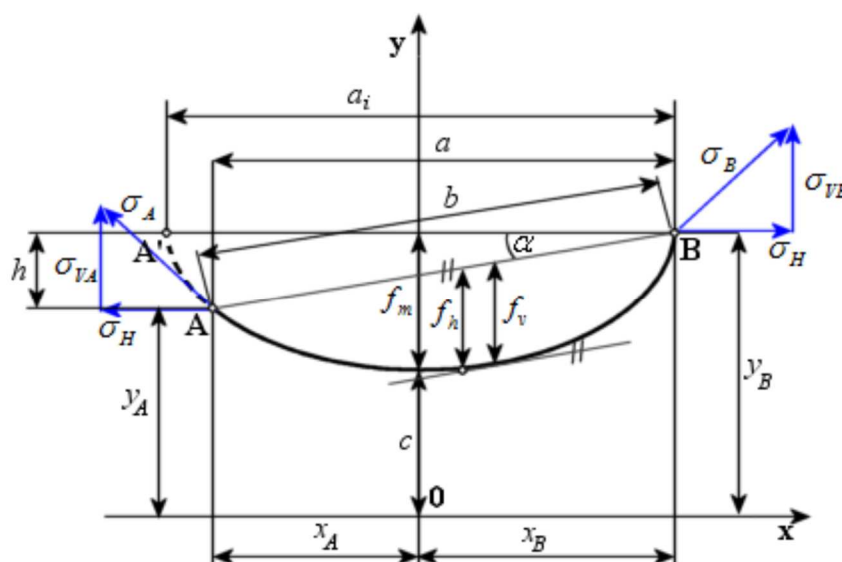
$l_s$  ... délka řetězovky dle vztahu (5.23) [m]

poté platí:

$$\sigma_{YB} = \sigma_H \sinh \frac{a}{2c} = \frac{l_s \gamma_Z}{2} \quad [MPa; m; m; m; N \cdot cm^{-3}] \quad (5.27)$$

### 5.3 Šikmé pole

Šikmé či nesouměrné pole je charakterizováno tím, že závěsné body neleží ve stejných výškách, což znamená, že ani vrchol řetězovky není ve středu rozpětí. Zde je již zapotřebí využít řetězovky, jelikož při větších sklonech terénu lépe opisuje tvar průhybové křivky vodiče.



Obrázek 7: Řetězovka - šikmé pole

Nejdříve určíme polohu vrcholu řetězovky vzhledem k závěsným bodům a určíme počátek šikmého pole nesouměrného závěsu.

Rozpětí a vypočteme:

$$a = x_B + x_A \quad [m; m] \quad (5.28)$$

Výškový rozdíl  $h$  závěsných bodů A a B:

$$h = y_B - y_A = c \left( \cosh \frac{x_B}{c} - \cosh \frac{x_A}{c} \right) \quad [m; m; m; m] \quad (5.29)$$

Hyperbolickými funkcemi lze vztah (5.29) upravit na výsledný vztah počátku:

$$p = \frac{h}{2c \sinh \left( \frac{a}{2c} \right)} \quad [m; m; m; m] \quad (5.30)$$

Poté hodnoty  $x_A$  a  $x_B$  vypočteme následovně:

$$x_A = a - x_B = \frac{a}{2} - c p \quad x_B = \frac{a}{2} + c p \quad [m; m; m; m] \quad (5.31)$$

Hodnoty  $y_A$  a  $y_B$  vypočteme:

$$y_A = a - x_B = \frac{a}{2} - c p \quad y_B = c \cosh \frac{x_B}{c} \quad [m; m; m; m] \quad (5.32)$$

Může nastat několik případů polohy vrcholu řetězovky, x-ová souřadnice vyššího závěsu je vždy kladná  $x_B > 0$ . Hodnota souřadnice nižšího závěsu může být kladná, rovná nule nebo záporná. Při kladné hodnotě  $x_A$  se vrchol řetězovky nachází mezi závěsnými body A a B. Pokud je  $x_A = 0$  poté je vrchol řetězovky současně nižším závěsným bodem. Poslední možností je záporná hodnota  $x_A$ , tehdy vrchol řetězovky neleží mezi závěsnými body řetězovky, závěsné body leží na stejné straně řetězovky.

### Ideální rozpětí $a_i$

Nesouměrné rozpětí doplníme řetězovkou souměrnou, tím je dán začátek soustavy, takže lze využít rovnic souměrné řetězovky k výpočtu souřadnic nesouměrné řetězovky v jakémkoli místě. U této řetězovky definujeme několik průhybů, a to maximální průhyb, charakteristický průhyb a viditelný průhyb.

$$a_i = 2x_B = \frac{a}{2} - c p \quad [m; m; m; m] \quad (5.33)$$

### Maximální průhyb ideálního pole $f_m$

Maximální průhyb ideálního pole  $f_m$  spočteme pomocí ideálních rozpětí  $a_i$ , a to velkého fiktivního rozpětí (spojnice bodů A' a B) a malého fiktivního rozpětí (spojnice A a B'). Situace je uvedena na obrázku [Obrázek 7].

$$f_{m_{A1B}} = c \cosh \frac{x_B}{c} - c = c \left( \cosh \frac{x_B}{c} - 1 \right) \quad [m; m; m; m] \quad (5.34)$$

$$f_{m_{AB1}} = c \cosh \frac{x_A}{c} - c = c \left( \cosh \frac{x_A}{c} - 1 \right) \quad [m; m; m; m] \quad (5.35)$$

**Charakteristický průhyb ideálního pole  $f_c$** 

Charakteristický průhyb ideálního pole  $f_c$  je roven délce svislice mezi středem spojnice závěsů a vodičem. Nejdříve je nutno určit vzdálenost bodu  $x_k$  od počátku:

$$x_k = \frac{x_A + x_B}{2} - x_A \quad [m; m; m] \quad (5.36)$$

$$f_c = f_m \cosh \frac{x_k}{c} \quad [m; m; m; m] \quad (5.37)$$

**Viditelný průhyb  $f_v$** 

Viditelný průhyb ideálního pole  $f_v$  je roven svislé vzdálenosti mezi spojnicí závěsů a tečnou rovnoběžnou se spojnicí závěsných bodů. Platí, že pro rozpětí do 400 m a úhlu  $\varphi < 30^\circ$  lze viditelný průhyb ztotožnit s charakteristickým průhybem.

Výškový rozdíl  $h_1$  [m] v místě viditelného průhybu určíme dle vztahu:

$$h_1 = (x_B - x_v) \frac{h}{a} \quad [m; m; m; m; m] \quad (5.38)$$

Vzdálenost viditelného průhybu  $x_v$  od počátku souřadné soustavy platí vztahy:

$$\frac{h}{a} = \sinh \left( \frac{x_v}{c} \right) \quad [m; m; m; m] \quad (5.39)$$

$$x_v = \frac{h}{a \sinh \left( \frac{1}{c} \right)} \quad [m; m; m; m] \quad (5.40)$$

Souřadnici  $y_v$  v bodě  $x_v$  vypočteme:

$$y_v = c \cosh \left( \frac{x_v}{c} \right) \quad [m; m; m; m] \quad (5.41)$$

Nakonec je viditelný průhyb roven:

$$f_v = y_B - y_v - h_1 \quad [m; m; m; m] \quad (5.42)$$

### 5.3.1 Délka vodiče

Pro délku nesouměrné řetězovky se využívá rozšířená Pythagorova věta, která říká, že rozdíl čtverců délek nesouměrné a souměrné řetězovky na stejném uvažovaném rozpětí se stejným parametrem se rovná čtverci rozdílu výšky vyšší a nižší podpěry:

$$l_{AB}^2 - l_m^2 = h^2 \quad [m; m; m] \quad (5.43)$$

Mechanické napětí ve vodiči v bodech A a B lze vypočíst podobnými vztahy jako u souměrné řetězovky, rozdíl je v hodnotách mechanického napětí v závěsných bodech, kde není stejné:

$$\sigma_A = \gamma_A \gamma_Z \quad \sigma_B = \gamma_B \gamma_Z \quad [MPa; m; N \cdot cm^{-3}; -] \quad (5.44)$$

## 5.4 Prodloužení délky vodiče

Působením deformujících sil na vodič (zjednodušeně předpokládejme drát) se prodlouží jeho délka z původní délky  $l_0$  na délku  $l_1$  a to nazveme absolutní prodloužení:

$$\Delta l = l_1 - l_0 \quad [m; m; m] \quad (5.45)$$

Absolutní prodloužení je závislé na počáteční délce drátu, je tedy vhodné zavést relativní neboli poměrné prodloužení:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \quad [-; m; m] \quad (5.46)$$

### 5.4.1 Pružná deformace – Hookův zákon

Platí následující zákon, který objevil již v roce 1676 anglický fyzik Robert Hooke a podle něj byl i nazván, a to že pro pružnou deformaci tahem je normálové napětí přímo úměrné relativnímu prodloužení. Lze tedy experimentálně ověřovat, že při zvětšování deformačních sil závisí normálové napětí  $\sigma_n$  na relativním prodloužení  $\varepsilon$ .

$$\sigma_n = E * \varepsilon \quad [MPa; MPa; -] \quad (5.47)$$

kde:

E ..... modul pružnosti v tahu [Pa]

Ve vzorci se vyskytuje konstanta E neboli modul pružnosti v tahu. Jedná se o materiálovou konstantu, která je v praxi v řádech MPa až GPa<sup>12</sup>.

Důležité je uvědomit si, že pokud dojde k relativnímu prodloužení délky drátu dojde současně i k příčnému zkrácení drátu (zužování).

Pokud je normálové napětí i při velkém relativním prodloužení menší, než je mez pružnosti  $\sigma_E$  jedná se o pružný materiál. Naopak pokud je mez pružnosti blízko meze pevnosti jedná se o křehký materiál. Dráty a následně vodiče patří především mezi křehký materiál.

### 5.4.2 Pružná deformace – příklad

Na drát o délce  $l_0 = 2$  m a poloměru  $r = 0,1$  mm zavěsíme závaží o hmotnosti  $m = 3$  kg. Modul pružnosti v tahu  $E = 0,2$  TPa. Určete prodloužení železného drátu.

Využití Hookova zákona (pružná deformace):

$$\sigma_n = E * \varepsilon \quad [MPa; MPa; -]$$

$$\sigma_n = \frac{F}{S} = \frac{F_G}{S} = \frac{m * g}{\pi * r^2}, \quad \varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \quad [MPa; N; m^2; N; kg; m * s^{-2}; m]$$

Po dosazení dostaneme:

$$\frac{m * g}{\pi * r^2} = \frac{\Delta l}{l_0} * E \quad [kg; m * s^{-2}; m; m; m]$$

$$\Delta l = \frac{l_0 * m * g}{\pi * r^2 * E} = \frac{2 * 3 * 9,81}{3,14 * 10^{-8} * 2 * 10^{11}} = \frac{58,86}{6280} = 0,0094 \text{ m}$$

Drát se prodlouží o 9,4 mm.

<sup>12</sup> *Encyklopedie fyziky* [online]. [cit. 2019-01-02]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/631-hookuv-zakon-pro-pruznou-deformaci>

## 6 Vliv teploty a zatížení na mechaniku vodiče – stavová rovnice

Vodič v rozpětí je vystavován atmosférickým vlivům, a to především změnám teplot, změně namáhání vodiče (např. vytvořením námrazku na vodičích, větrem). To má za následek prodloužení vodiče, změnu průhybu. Vždy při návrhu uvažujeme s co nejhorším případem průhybů a namáhání, tedy s takovými klimatickými podmínkami, při kterých tento stav nastane. Pro výpočet mechanických vlastností používáme klasickou stavovou rovnici napnutého vodiče. Pohybujeme se v oblasti konstantního průřezu, platí tedy výše zmíněný Hookův zákon.

Vodič je zahřát z počáteční teploty  $t_1$  na výslednou teplotu  $t_2$  a tím je prodloužen o vzdálenost:

$$\Delta l_t = \alpha l_0 (t_2 - t_1) \quad [m; K^{-1}; m; ^\circ C] \quad \text{podm. } \Delta l_t > 0; t_2 > t_1 \quad (6.1)$$

kde:

$\alpha$  ... činitel délkové tepelné roztažnosti lana [ $^\circ C^{-1}$ ],

$t_1$  ... počáteční teplota vodiče [ $^\circ C$ ],

$t_2$  ... výsledná teplota vodiče [ $^\circ C$ ],

$l_0$  ... počáteční délka zavěšeného vodiče [m].

Změna délky vodiče vlivem změny namáhání určíme, tak, že pokud uvažujeme pevné závěsy změní se počáteční namáhání  $\sigma_{H0}$  na výsledné  $\sigma_{H1}$  a tím dojde ke změně délky vodiče dle vztahu:

$$\Delta l_\sigma = \frac{l_0 (\sigma_{H1} - \sigma_{H0})}{E} \quad [m; m; MPa; MPa] \quad \text{podm.: } \Delta l_\sigma > 0; \sigma_{H1} > \sigma_{H0} \quad (6.2)$$

$\sigma_{H0}$  ... počáteční horizontální složka namáhání vodiče [MPa]

$\sigma_{H1}$  ... výsledná horizontální složka namáhání vodiče [MPa]

$E$  ... modul pružnosti vodiče [MPa]



Změna délky vodiče z výše uvedených vztahů se určí následovně:

$$\Delta l = \Delta l_t + \Delta l_\sigma = \alpha l_0(t_2 - t_1) + \frac{l_0(\sigma_{H1} - \sigma_{H0})}{E} \quad (6.3)$$

Počáteční délka zavěšeného vodiče:

$$l_0 = a + \frac{a^3(\gamma z_0)^2}{24\sigma_{H0}^2} \quad (6.4)$$

kde:

a ... rozpětí [m]

$\gamma$  ... měrná tíha 1 m vodiče [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{mm}^{-2}$ ]

$z_0$  ... přetížení vodiče [-].

Při změně namáhání vodiče se vodič prodlouží dle vztahu:

$$\Delta l = \frac{a^3\gamma^2}{24} \left( \frac{z_1^2}{\sigma_{H1}^2} - \frac{z_0^2}{\sigma_{H0}^2} \right) \quad (6.5)$$

Tímto jsme zavedli dva vztahy pro prodloužení vodiče, porovnáním dostáváme stavovou rovnici:

$$\alpha l_0(t_2 - t_1) + \frac{l_0(\sigma_{H1} - \sigma_{H0})}{E} = \frac{a^3\gamma^2}{24} \left( \frac{z_1^2}{\sigma_{H1}^2} - \frac{z_0^2}{\sigma_{H0}^2} \right) \quad (6.6)$$

Ve většině případů lze položit  $l_0 = a$ , poté lze stavovou rovnici upravit do vztahu:

$$\alpha(t_2 - t_1) + \frac{(\sigma_{H1} - \sigma_{H0})}{E} = \frac{a^2\gamma^2}{24} \left( \frac{z_1^2}{\sigma_{H1}^2} - \frac{z_0^2}{\sigma_{H0}^2} \right) \quad (6.7)$$

Pro konečný výpočet  $\sigma_{H1}$  je stavová rovnice upravena do tvaru kubické rovnice:

$$\sigma_{H1}^3 + \sigma_{H1}^2 \left[ \frac{\gamma^2 E}{24} \left( \frac{az_1}{\sigma_{H0}} \right)^2 - \sigma_{H0} + E\alpha(t_2 - t_1) \right] = \frac{\gamma^2 E}{24} (az_2)^2 \quad (6.8)$$

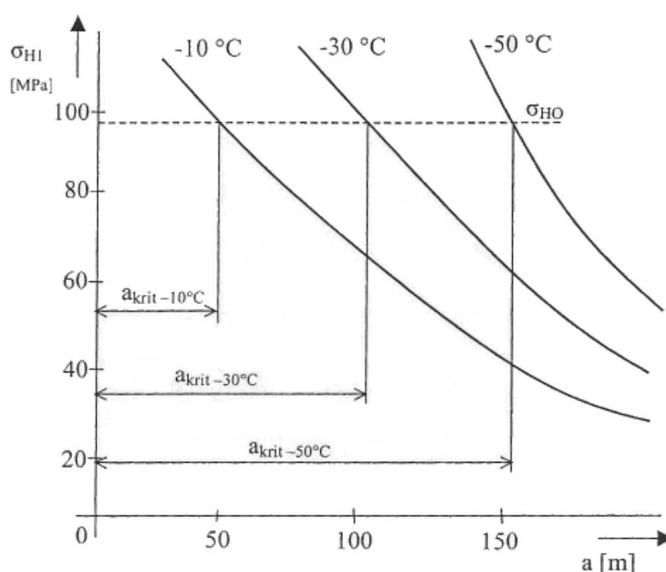
## Kritické rozpětí

Při nižších teplotách může být ve vodiči větší mechanické napětí, než je mechanické napětí při  $-5\text{ °C}$  a přetížení. Z toho důvodu určujeme kritické rozpětí, při kterém hodnota mechanického napětí je stejná jako při  $-5\text{ °C}$  a přetížení. Největší hodnota kritického rozpětí nastává při  $-30\text{ °C}$ . Z toho plyne, že při rozmístování stožárů nesmí být rozpětí mezi stožáry menší jak kritické rozpětí.

Kritické rozpětí určujeme ze stavové rovnice a při následujících předpokladech

$$\sigma_{H1} = \sigma_{H0}; \vartheta_0 = -5\text{ °C}; z_1 = 1; a = a_{krit} \quad (6.9)$$

$$a_{krit} = \frac{\sigma_{H0}}{\gamma} * \sqrt{\frac{24 * \alpha[-(\vartheta_1 + 5)]}{z_0^2 - 1}} \quad [m; MPa; N.cm^{-3}; K^{-1}; \text{°C}; -] \quad (6.10)$$



Obrázek 8: Závislost mechanického namáhání v závislosti na rozpětí

## Kritická teplota

Kritická teplota je definována jako teplota, při které je průhyb vodiče takový jako při teplotě  $-5\text{ °C}$  a přetížení. Důvod tohoto je ten, že potřebujeme znát teplotu při které dojde k největšímu průhybu. Z fyziky je známo, že prodloužení vodiče vlivem

teploty se rovná pružnému zkrácení vlivem změny mechanického napětí<sup>13</sup>. Z níže uvedené rovnice lze vypozorovat, že kritická teplota nezávisí na rozpětí.

$$\vartheta_{krit} = \frac{\sigma_{H0}}{\alpha E} * \left( \frac{z_0 - 1}{z_0} \right) - 5 \quad [^{\circ}C; MPa; K^{-1}; MPa; -] \quad (6.11)$$

Kritická teplota se porovnává s teplotou 40 °C a mohou nastat tři případy:

- $\vartheta_{krit} > 40 \text{ }^{\circ}C$  : maximální průhyb nastane při -5 °C a přetížení
- $\vartheta_{krit} = 40 \text{ }^{\circ}C$  : maximální průhyb nastane při -5 °C a přetížení a rovná se průhybu při 40 °C
- $\vartheta_{krit} < 40 \text{ }^{\circ}C$  : maximální průhyb nastane při 40 °C

## 7 Zatížení vodičů

České technické normy se zabývají definicí přídatného zatížení v několika kapitolách. Zatížení je klasifikováno z dvou hledisek<sup>14</sup>:

1. podle proměnnosti v čase,
2. podle jejich charakteru a/nebo odezvy konstrukce.

Důležitým rozdělením z hlediska návrhu liniových staveb je hledisko proměnnosti v čase, kde dále dělíme zatížení do několika skupin. Z druhého hlediska obvykle postačuje uvažovat ekvivalentní statický účinek, např. zatížení větrem, kdy je doporučena zvláštní pozornost u štíhlých či vysokých podpěrných bodů.

Podle proměnnosti v čase dělíme zatížení vodičů na:

1. Stálé zatížení (G) – zde je uvažována celková vlastní tíha podpěrných bodů, včetně základů, armatur a upevněného vybavení, kde uvažujeme i s vlastní tíhou vodičů a účinky tahu vodičů na konstrukce podpěrných bodů.
2. Proměnné zatížení (Q) – nejdůležitější parametr pro dimenzování konstrukcí, zahrnuje změny v tahu vodičů způsobené větrem, námrazou, odchylkami teplot a dalším zatížením (např. lezení po konstrukci a podobně).

<sup>13</sup> file:///C:/Users/xxxx/AppData/Local/Packages/Microsoft.MicrosoftEdge\_8wekyb3d8bbwe/Temp State/Downloads/Bakalářská%20práce%20(1).pdf

<sup>14</sup> PNE 33 3300 – Navrhování a stavba venkovních vedení nad AC 45 kV

3. Mimořádná zatížení (A) – zahrnujeme veškerá zabezpečovací zatížení proti šíření poruchy, která se vztahují k mechanickému zabezpečení vedení.

## 7.1 Klimatické podmínky

Na venkovní silové vedení působí mnoho přírodních jevů a ty značně ovlivňují dimenzování použitých vodičů. Jedná se především o změny teplot, námrazu, vítr, bouřky, blesky, chemické účinky ovzduší apod. Mechanické výpočty vodičů tedy značně závisí na tom, v jakých zeměpisných šířkách budou instalovány. Zjišťování klimatických údajů je v podstatě možné třemi přístupy. Klimatické podmínky jsou v každém státě následně uvedeny v předpisech a normách. V ČR se jedná o českou technickou normu ČSN EN 50341-1 ed.2 - Elektrická venkovní vedení s napětím nad AC 1 kV - Část 1: Obecné požadavky - Společné specifikace. V příloze je přiložena mapa námrazových oblastí, kde je znázorněno rozdělení ČR do oblastí dle velikosti vyskytující se námrazy.

První přístup je nejméně přesný, jelikož předpokládá použití obecných evropských nebo národních norem, které poskytují jen základní průměrné údaje (základní rychlost větru)

Druhý přístup využívá statistická experimentální data z pozorování lokality, kdy se poté tyto data převedou na referenční údaje. Uvažuje se zde s periodicitou vyskytujících se klimatických jevů.

Třetí přístup je založen na základě údajů sbíraných v historii, které lze nalézt v mnoha státech již od kraje 20. století. Často se využívá více přístupů, které se následně mezi sebou porovnávají.

Při návrhu se využívají následující údaje o klimatických podmínkách:

1. Námraza vodiče.
2. Maximální a minimální teplota.
3. Rychlost a působení větru.
4. Bouřková činnost.

V běžných případech se v přírodě nevyskytují pouze samotné úkazy, ale mnohdy se jedná o kombinace několika klimatických jevů:

1. Teplota a působení větru.
2. Teplota a námraza.
3. Teplota, působení větru a námraza.
4. Teplota a bouřková činnost.

## 7.2 Zatížení námrazkem

Existují dva hlavní typy atmosférické námrazy, která se tvoří na vodičích v rozpětí.

1. srážková námraza (mokrý sníh, ledovka).
2. námraza z oblačnosti (lehká, těžká jinovatka).

Při určování zatížení námrazou uvažujeme pouze námrazu z oblačnosti, tedy jinovatku, nutné je přitom sledovat i vliv terénu. Avšak nelze pro tento vliv stanovit obecný postup a každý případ se musí vyšetřovat jednotlivě. Pro tyto účely se používají statistická data o námraze. V mnoha případech dochází k nedostatečnosti statistických dat a je nutné určit zatížení námrazou na základě zkušeností či dlouhodobých pozorování.

U vedení, kde se očekává odstraňování námrazy během jejího růstu, lze zatížení námrazou relevantně snížit a navrhovat pro nižší námrazek.

Ze statistických dat, které jsou sebrány z mnoha míst, zejména meteorologických stanic jsou oblasti následně separovány do několika tříd námrazy. Bližší údaje o námraze jsou uvedeny v ČSN IEC 61774 - Venkovní vedení – Meteorologická data pro stanovení klimatického zatížení. Území České republiky je tak rozděleno na námrazové oblasti a je vytvořena mapa námrazových oblastí ČR, viz Příloha 1: Mapa námrazových oblastí.

Námrazové oblasti jsou uvedeny v tabulce níže a jsou charakterizovány hmotností námrazku na jednotku délky vodiče [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}$ ] ve výšce 10 m nad zemí. Níže uvedené hodnoty jsou odvozeny od naměřených hmotností námrazy na měrně tyči o průměru 30 mm.

Hmotnost námrazy na vodiči o průměru 30 mm je specifikována číslem za symbolem I, to znamená do  $0,5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}$  v oblasti I-0, do  $1 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}$  v oblasti I-1, do  $2 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}$  v oblasti I-2 apod.

Extrémní zatížení námrazou na jednotku délky vodiče se stanoví ze vztahu:

$$I_{50} = K_{IC} * K_h(h) * I_{R50} \quad [N \cdot m^{-1}] \quad (7.1)$$

kde:

$I_{R50}$  ... referenční zatížení námrazou na jednotku délky vodiče s dobou návratu

$T = 50$  let  $[N \cdot m^{-1}]$

$K_{IC}$  ... součinitel místních podmínek pro zatížení námrazou,

$K_h$  ... součinitel výšky pro zatížení námrazou, může nabývat hodnot větších jedné dle vztahu v české technické normě, pokud však není uvedeno jinak je  $K_h(h) = 1$ .

Tabulka 10: Extrémní referenční zatížení námrazou na vodičích

Námrazová oblast	Referenční zatížení námrazou na jednotku délky vodiče $I_{R50}$ $[N \cdot m^{-1}]$		
	$d = 30$ mm $[kg \cdot m^{-1}]$	$d \leq 30$ mm	$d > 30$ mm
I-0	0,5	$1,064 + 0,1280 d$	$3,963 + 0,314 d$
I-1	1	$3,175 + 0,2212 d$	$8,515 + 0,432 d$
I-2	2	$8,661 + 0,3653 d$	$17,53 + 0,070 d$
I-3	3	$15,00 + 0,481 d$	$25,46 + 0,132 d$
I-5	5	$29,00 + 0,668 d$	$43,84 + 0,174 d$
I-8	8	$51,70 + 0,893 d$	$73,89 + 0,153 d$
I-12	12	$83,66 + 1,135 d$	$107,80 + 0,330 d$
I-18	18	$133,53 + 1,435 d$	176,58
I-K	více než 18	posouzení případu	

Námraza na vodičích vyvolá svislé síly a následně se zvýší tah ve vodičích. Toto svislé zatížení, které působí na podpěrný bod se vypočte ze vztahu:

$$Q_I = I * (L_{W1} + L_{W2}) \quad [N \cdot m^{-1}; N \cdot m^{-1}; m] \quad (7.2)$$

kde:

$I$  ... zatížení námrazou na jednotku délky vodiče  $[N \cdot m^{-1}]$

$L_{w1}$ ,  $L_{w2}$  ... příspěvky váhového rozpětí z obou přilehlých rozpětí při uvažované teplotě  $-5\text{ °C}$  a  $40\text{ °C}$  a zatížení větrem [m]

### 7.3 Zatížení větrem

Zatížení větrem stejně jako zatížení námrazou vychází z eurokódu EN 50341-1:2012 v České republice přejeté české technické normy ČSN EN 50-341-2-19 Elektrická venkovní vedení s napětím nad AC 1 kV - změna 2. V této české technické normě jsou uvedeny výpočty zatížení větrem. Česká republika je rozdělena do pěti větrných oblastí, viz tabulka [Tabulka 11]. Větrné oblasti jsou dále uvedeny v mapě větrných oblastí na území ČR, která je přiložena v příloze Příloha 2: Mapa větrných oblastí ČR]. Základní rychlost větru je definována ve výšce 10 m nad zemí v otevřené krajině s nízkou vegetací a jedná se o desetiminutovou střední rychlost větru. Jedná se o rychlost větru s dobou návratu  $T = 50\text{ let}^{15}$ .

Tabulka 11: Základní rychlosti větru  $V_{b,0}$

Větrná oblast	I	II	III	IV	V
Základní rychlost větru $v_{b,0}$ [m.s <sup>-1</sup> ]	22,5	25	27,5	30	36

Pro výpočet namáhání vodičů větrem je nutný výpočet několika proměnných. Následující vzorce uvedou postup, jakým lze zatížení větrem počítat.

Střední rychlost větru:

$$v_h(h) = v_{b,0} * c_{dir} * c_o * k_r * \left(\ln \frac{h}{z_0}\right) \quad [m.s^{-1}; m.s^{-1}; -; -; -; m; -] \quad (7.3)$$

kde:

$v_{b,0}$  ... základní rychlost větru [m.s<sup>-1</sup>]

$c_{dir}$  ... součinitel směru větru [-]

$c_o$  ... součinitel orografie [-]

$k_r$  ... součinitel terénu [-]

<sup>15</sup> PNE 33 3300 2v

$h_r$  ... referenční výška vodičů [m]

$z_0$  ... parametr drsnosti terénu [-]

Střední tlak větru:

$$q_h = \frac{1}{2} * \rho * v_h^2(h) \quad [N \cdot m^{-2}; kg \cdot m^{-3}] \quad (7.4)$$

kde:

$\rho$  ... hustota vzduchu [ $kg \cdot m^{-3}$ ]

Intenzita turbulence je nutná pro výpočet maximálního tlaku větru je dána jako podíl směrodatné odchylky turbulence a střední rychlosti větru:

$$I_V = \frac{1}{c_o * \ln\left(\frac{h}{z_0}\right)} \quad [-; -; m; -] \quad (7.5)$$

Poté je maximální tlak větru počítán následovně:

$$q_p(h) = (1 + 7 * I_V) * q_h \quad [N \cdot m^{-2}; -; N \cdot m^{-2}] \quad (7.6)$$

Následně určíme součinitel konstrukce:

$$G_c = \frac{1 + 6 * I_V(h) * \sqrt{B^2}}{1 + 7 * I_V(h)} \quad [-; -; -; -] \quad (7.7)$$

kde:

$B^2$  ... součinitel odezvy pozadí zohledňující nedostatek plné korelace tlaku na rozpětí a určí se ze vztahu:

$$B^2 = \frac{1}{1 + \frac{3}{2} * \frac{L_m}{L(h)}} \quad [-; m; m] \quad (7.8)$$



kde:

$L_m$  ... střední hodnota délek obou sousedních rozpětí  $(L_1+L_2)/2$ .

$L(h)$  ... průměrná délka nárazu větru v m v referenční výšce vodiče se vypočte:

$$L(h) = 300 * \left(\frac{h}{200}\right)^{0,67+0,05*\ln(z_0)} \quad [m; m; -] \quad (7.9)$$

Nyní máme všechny potřebné veličiny pro výpočet jednotkového zatížení vodiče větrem:

$$q_{wc} = q_p * G_c * C_c * d * \cos \Delta \quad [N.m^{-1}; N.m^{-1}; -; -m] \quad (7.10)$$

kde:

$C_c$  ... součinitel aerodynamického odporu vodiče [-],

$d$  ... průměr vodiče [m].

### 7.3.1 Kategorie terénu

Česká technická norma dále specifikuje kategorii terénu. Ve výše uvedených vzorcích se objevuje konstanta jako je parametr drsnosti terénu  $z_0$  a součinitel terénu  $k_r$ . Tyto parametry charakterizují drsnost terénu, která následně ovlivňuje střední rychlost větru  $V_h$  a intenzitu turbulence  $I_v$ . Kategorie terénu jsou specifikovány v následující tabulce [Tabulka 12].

Tabulka 12: Kategorie terénu

Kategorie terénu	Popis kategorie terénu	$z_0$ [m]	$k_r$
I	Jezera nebo ploché a vodorovné oblasti se zanedbatelnou vegetací a bez překážek	0,01	0,169
II	Oblasti s nízkou vegetací (tráva) a s izolovaným překážkami (stromy) jejichž vzdálenost je vyšší než 20násobek jejich výšky	0,05	0,189

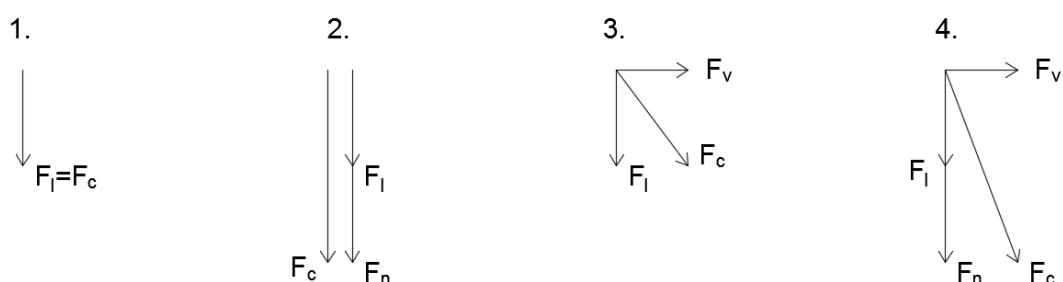
III	Oblasti rovnoměrně pokryté vegetací nebo budovami a izolovanými překážkami, jejichž vzdálenost je maximálně 20násobek jejich výšky (vesnice, les)	0,3	0,214
IV	Oblast, ve kterých je nejméně 15 % povrchu pokryto pozemními stavbami, jejichž průměrná výška je vyšší než 15 m	1	0,233

## 7.4 Kombinované zatížení větrem a námrazou

Působení větru na omrzlý vodič závisí na několika faktorech, které ovlivní výsledné zatížení. Působení větru na vodič je zjednodušeně uvedeno na obrázku [Obrázek 9]. Číslo 1. zobrazuje situaci, kdy je vodič nezatížen, tíhou je pouze vodič. Číslo 2. přidává zatížení námrazou, číslo 3. zatížení kolmo působícím větrem a číslo 4. kombinuje tyto zatížení dohromady. Stejný princip lze uvést i pro diskretní zatížení, tíhu  $F_n$  nahradíme tíhou přídatných zatížení. Například výpočet síly větru na letecké koule lze stanovit jen úpravou součinitele aerodynamického odporu  $C_x = 0,4$ . Záleží nadále na rozmístění výstražných koulí, a to tak, že pokud máme rozmístěny výstražné koule rovnoměrně, lze pak užít stejný součinitel aerodynamického odporu jako pro vodič.

Zatížení vodiče je ovlivněno:

- rychlostí větru v době omrznutí vodiče,
- hmotností námrazy,
- tvarem námrazy, tedy průměrem a příslušným součinitelem aerodynamického odporu.



Obrázek 9: Působení sil na vodič

$F_c$  ... celková síla [ $N \cdot m^{-1}$ ]

$F_l$  ... tíha lana [ $N \cdot m^{-1}$ ]

$F_n$  ... tíha námrazy [ $N \cdot m^{-1}$ ]

$F_v$  ... statická složka zatížení větrem [ $N \cdot m^{-1}$ ]

## 7.5 Úroveň spolehlivosti

Přímo technické normy požadují, aby se venkovní elektrická vedení stavěla s následujícími požadavky. Za prvé musí být postaveno tak, aby sloužilo ekonomicky a s přijatelnou úrovní spolehlivosti. Za druhé je nutno dodržet podmínky, aby elektrické vedení odolávalo šíření poruchy (řetězové havárii), tedy požadavek na mechanické zabezpečení vedení. Třetím požadavkem je splnění bezpečnostních opatření, aby venkovní elektrické vedení nebylo příčinou ohrožení života lidí a věcí.

Tato všechna opatření lze zajistit správným výběrem materiálů a vhodným návrhem, který musí respektovat veškeré možné případy, které mohou venkovní elektrická vedení ovlivnit.

Požadavek na spolehlivost je tedy parametr, který má zajistit určitou kvalitu stavby. Pro venkovní vedení bereme v úvahu tři úrovně spolehlivosti, dle tabulky [Tabulka 13]. Každá úroveň specifikuje určitou teoretickou dobu návratu  $T$  klimatických zatížení počítanou v letech.

*Tabulka 13: Úrovně spolehlivosti*

Úroveň spolehlivosti	Teoretická doba návratu $T$ [roky]
1 (referenční)	50
2	150
3	500

## 7.6 Letecké značení podpěrných bodů a vodičů

Letecký předpis L14 stanovuje obecné požadavky na vybavení a značení letištních ploch a mimo jiné také požadavky na značení pevných objektů. Objekty jsou rozděleny do skupin dle své výšky zasahující nad terén. Vrchní vedení a podpěrné body mají pro svůj specifický charakter v tomto leteckém předpisu L14 vlastní

kapitolu. Objekty, které mají být značeny musí být barevně označeny jedinou barvou (oranžovou a červenou, pokud nesplývají s okolím) tehdy pokud je průmět do jakékoli strany menší než 1,5 metru. Jinak musí býti překážky značeny pruhy či šachovnicovými tvary v přesně daných rozměrech.

Značení vrchního vedení a podpěrných bodů je nutno zřídit především na místech, kde jsou nebezpečná svojí výškou a možností přehlédnutí. Jedná se především o křížení a souběhy vrchního vedení s dopravní infrastrukturou a vodními toky. Při křížení vrchního vedení VVN a ZVN například s dálnicemi či železnicí je nutno opatřit podpěrné body výstražným značením v podobě barevných pruhů a vodiče (nejvyšší umístěné jsou zemní lana) jsou opatřeny výstražnými značkami.

Značky zřizované na lanech musí mít kulový tvar a průměr minimálně 60 cm, viz obrázek [Obrázek 10]. Letecký předpis dále stanovuje vzdálenosti mezi jednotlivými značkami. Vzdálenost mezi značkami musí být přiměřená situaci, avšak nesmí překročit následující vzdálenosti:

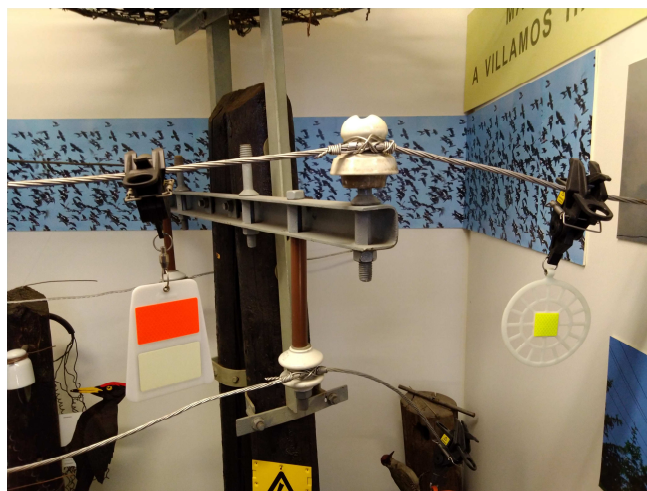
- 30 m při průměru značky 60 cm,
- 35 m při průměru značky 80 cm,
- 40 m při průměru značky min 130 cm.

První dvě výše uvedené vzdálenosti se mohou prodlužovat v závislosti na zvyšování průměru značky až na maximální hodnotu 40 m. Z důvodu zvýšení bezpečnosti je nutné, aby značky byly jednobarevné. Jestliže jsou značky bílé a červené či bílé a oranžové je nutno je instalovat střídavě. Barvu je nutno volit vzhledem k místním poměrům tak, aby kontrastovala s pozadím.



*Obrázek 10: Letecká koule o průměru 60 cm*

Existují další výstražné objekty, které se montují na vodiče. Na obrázku [Obrázek 11] můžeme vidět výstražné otočné praporky vlající ve větru. Může se užívat i světelné signalizace, která je zobrazena na obrázku [Obrázek 12]. Jedná se o plastovou trubici obsahující fluorescenční světlo, které je napájeno elektrickým polem fázového vodiče. Z hlediska přídavné hmotnosti, kterou v této diplomové práci posuzují, jsou pro svoji hmotnost významné především letecké výstražné koule. Hmotnosti jsou uvedeny v katalogových listech v příloze.



*Obrázek 11: Otočné praporky na fázových vodičích*



Obrázek 12: Světelná signalizace zavěšená na vodič

## 7.7 Tlumiče vibrací

Na fázové vodiče i zemní lana je v mnoha případech nutno instalovat tlumiče vibrací. Jedná se o jednoduché zařízení, které má za cíl pohlcovat vibrace vodičů, které jsou způsobeny rozkmitáním větrem. Tlumiče vibrací používáme v oblastech, kde dochází k silným vibracím, tedy větrných oblastech a mohlo by dojít vlivem vibrací ke zvýšení dynamického ohybu. Tlumiče vibrací fungují tak, že snižují amplitudu vibrací. Vibrace působí největší škody v místech závěsu a mohou se tak ničit jednotlivé prameny vodiče. V konečném důsledku se mohou poškodit celé vrstvy drátů.

Vyskytuje se i tzv. galloping, jedná se o periodické kmitání vodičů s nízkou frekvencí a velkou amplitudou. Vyskytuje se při stálém větru či nerovnoměrném omrznutí vodičů.

Obrázek 13: Typický tlumič vibrací – vlevo, spirálový tlumič vibrací – vpravo



### 7.7.1 Princip tlumiče vibrací

Když projde vibrační vlna místem kde je umístěn tlumič, svorka tlumiče začne oscilovat nahoru dolů, což má za následek ohyb kabelu tlumiče a přenesení vibrací do

závaží. Přenesená energie z vibrační vlny se pohltí a rozptýlí se do klapky ve formě tepla. Je však nutné pro každý případ zvlášť počítat parametry tlumiče a jeho charakteristiky, aby byl v daném rozpětí účinný a tlumil vyskytující se frekvence vibrací.

### 7.7.2 Historie vývoje tlumiče vibrací

Tlumič vibrací konstrukce Stockbridge byl vynalezen ve dvacátých letech a zasloužil se o něj George H. Stockbridge. Byl to americký inženýr a tento svůj vynález si nechal patentovat v roce 1928. Vymyslel tři různé druhy tlumení vibrací. Prvním z nich byl pytel železa přivázaný na vedení, což bylo velmi nepraktické, druhý způsob je omotání vodiče paralelně drátem a třetím způsobem bylo připevnění drátu, na kterém z byly na každém konci betonové bloky. Tento třetí způsob se uchytil nejvíce a v modifikované verzi se užívá dodnes. Díky speciálně navržené sorce lze tento typ instalovat i pod napětím.

## 7.8 Tlumící distanční rozpěrky

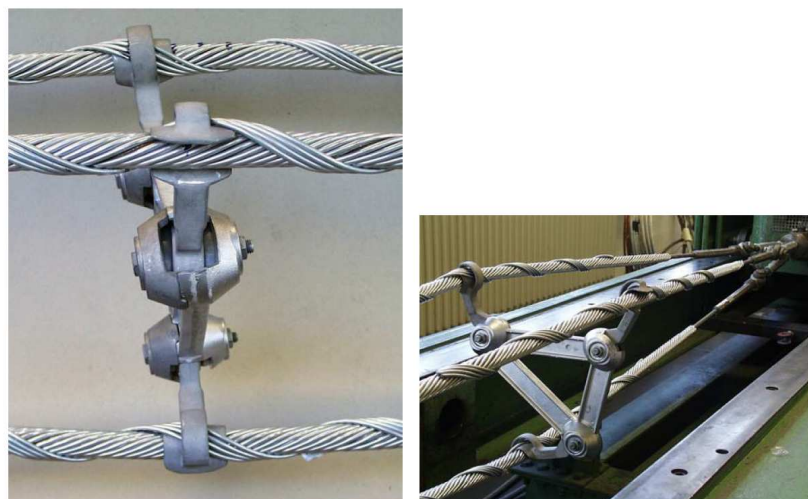
Toto přídatné zatížení vodiče je instalováno ze dvou důvodů. Prvním důvodem instalace je udržení vodičů ve svazku, aby nedošlo k vzájemným kontaktům vodičů jedné fáze. Na starších vedeních můžeme vidět tři jednoduché rozpěrky montované za sebou, spojující vždy jen dva vodiče. Tyto jednoduché rozpěrky však nenahrazovaly tlumič vibrací a vodiče tak musely být osazeny i tlumiči vibrací. Druhým důvodem instalace je možnost nahrazení tlumiče vibrací distanční rozpěrkou.

Tlumící distanční rozpěrky, které spojují všechny tři vodiče ve svazku (uvažujeme případ České republiky, existují rozpěrky i pro mnohem více vodičů: např. 4, 8), jsou složeny z vodivých svorek a spojovacího rámu, který je vybaven tlumícími prvky. Tlumící prvky jsou vyrobeny z vysoce elastických elastomerů, nejedná se tedy o běžnou pryž, ale o speciální materiál schopný pohlcovat vibrace. Na tento materiál jsou kladeny vysoké požadavky na kvalitu, musí zajistit pevnost a pružnost ve všech směrech. Musí být odolné vůči UV záření, velkým rozdílům teplot, ale také vysokým napětím a korónovým výbojům. Spojovací rám a svorky jsou vyráběny jako hliníkové odlitky, či v některých případech jsou užívané kované části.





Obrázek 14: Tlumící distanční rozpěrka



Obrázek 15: Testování distanční rozpěrky<sup>16</sup>

## 7.9 Mezifázové rozpěrky

Mezi další opatření zajišťující bezpečnost a stabilitu venkovního vedení patří mezifázové rozpěrky. Opět vítr či námraza může mít za následek pohyb vodičů a těmito vlivy dochází k nebezpečnému přiblížení jednotlivých fází. Instalací mezifázových rozpěrek toto nebezpečí eliminujeme.

Nejvíce instalovanými typy jsou rozpěrky z kompozitních materiálů. Jádro izolátoru je vyrobeno z epoxidové pryskyřice a skleněných vláken. Toto jádro izolátoru je zalito do pouzdra (plášť a stříšky), které je tvořeno silikonovým kaučukem. Pomocí tepelné vulkanizace se kaučuk chemicky naváže na jádrovou tyč.

<sup>16</sup> [https://www.ribe.de/sites/default/files/ckeditor\\_files/Gjk99yfvMsWIMRafyREo.pdf](https://www.ribe.de/sites/default/files/ckeditor_files/Gjk99yfvMsWIMRafyREo.pdf)



Tím docílíme odolnosti proti vlhkosti a znečištěnému prostředí při nízké hmotnosti rozpěrek. Dříve se užívalo klasických keramických rozpěrek, nicméně ty měly velkou nevýhodu ve vysoké hmotnosti, a to mělo dopad na průhyby vodičů, které se musely následně upravovat.

Použití rozpěrek má za následek i další výhody, a to vyšší odolnost proti rozkmitání jednotlivých vodičů (vibrace jsou pohlceny vnitřní pružností mezifázové rozpěrky) a dále zvýšení torzní tuhosti vodičů.



Obrázek 16: Vertikální mezifázová rozpěrka<sup>17</sup>

## 7.10 Doplnková zařízení zavěšovaná na vodiče

Výše uvedená přídatná zatížení se řadí k nejběžněji používaným a nejvíce se projevujícím z hlediska zatížení a namáhání vodičů. Na vodiče se však instaluje mnoho dalších zařízení, které jsou taktéž velmi důležité pro zajištění bezpečné dodávky elektrické energie. Zviditelnění vodiče je nutné i z důvodu ptactva, pro tyto účely slouží letecké koule, ale vyrábějí se i speciální spirály a praporky.

Plastové spirály jsou vyráběny v mnoha velikostech dle použití. Od malých spirál o délce 5 - 10 cm až po metrové spirály. Plasty jsou speciálně upravené UV stabilizátory, aby neztrácely svoji barvu od slunečního záření. Některé studie udávají že při instalaci 10 cm spirál v rozpětí 5 m se úmrtnost ptactva snížila o 90 %. Spirály

<sup>17</sup> <http://adaptaust.com.au/product/interphase-spacers-15-kv-to-400-kv/>

mohou být dle své velikosti jednoduché nebo dvojitě, která je často označována jako spirála pro labutě. Rozdíl mezi spirálami je zobrazen na obrázku<sup>18</sup> [Obrázek 17].



*Obrázek 17: Spirály pro zviditelnění*

Praporky se vyrábějí také v mnoha provedeních, od pevných tabulek, zavěšených souběžně s vodičem k otočným tabulkám na kloubech či proužkovým praporkům. Na obrázku [Obrázek 18] je znázorněn příklad proužkového praporku.



*Obrázek 18: Proužkový praporek pro zviditelnění<sup>19</sup>*

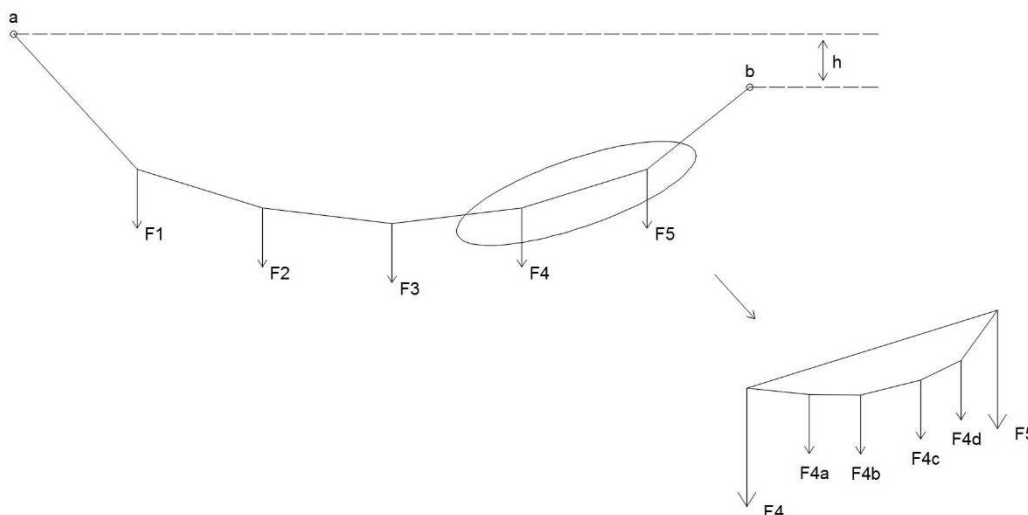
## 8 Vliv zatížení vodiče na jeho tvar

Uvažujeme-li dokonale ohebné vlákno, tedy ohebné lano ideálně neprodloužitelné, nehmotné. Geometrický tvar takového lana je výrazně závislý na zatížení, tedy změnou poloh, směrů či tíh přídatných zatížení se geometrický tvar lana rychle mění.

<sup>18</sup> <http://preformed.com/au/energy/distribution/wildlife-protection/swan-flight-diverter>

<sup>19</sup> <https://www.lifeenergia.sk/component/k2/item/699-na-zapade-uz-pozname-vitazne-prvky-pre-ochranu-vtactva-pred-narazom-do-vedenia>

Nepružnou řetězovku lze rozložit do nekonečně mnoha menších segmentů, které se chovají jako další řetězovky, situaci popisuje následující obrázek, který znázorňuje rovinný vláknový polygon.



Obrázek 19: Rovinný vláknový polygon

Zatížení vodičů způsobí, že se vodič prověsí a maximální průhyb vodiče se změní. Lze k tomuto problému přistupovat dvěma cestami. Rozlišujeme spojité a diskrétní zatížení vodiče. Spojité zatížení se výpočtově lépe zvládá, tedy je na výpočet jednodušší. Jedná se především o námrazek či vítr, který v dané lokalitě postihne často celé uvažované rozpětí. Při výskytu nerovnoměrného námrazku či větru, je zapotřebí již uvažovat zatížení jako diskrétní. To je charakterizováno tak, že rozpětí je rozčleněno na segmenty a následně počítáme s každým segmentem jakožto s proměnnou. Uvedme příklad leteckých výstražných značek. V rozpětí 300 m se může vyskytovat deset takových přídatných zatížení. Z toho plyne, že je na vodič navěšeno 60 kg přídatné tíhy, a navíc vytváří odpor větru a vodič bude hůře odolávat větru. Tento druh zatížení se projeví nejvíce.

## 8.1 Řešení mechaniky vodiče při diskrétním mechanickém zatížení vodiče

Vodič je jakožto řetězovka počítána jako nehomogenní pružná nit, a to po celé délce rozpětí. Diskrétní zatížení tuto plynulost naruší, délka vodiče je pak vyjádřena jako suma délek, které mají plynulý průběh.

I pro tento nerovnoměrně a diskrétně zatížený vodič lze využít stavové rovnice. Je však nutné nahradit nerovnoměrně zatížený vodič vodičem ekvivalentně rovnoměrně zatíženým. Lze zavést ekvivalentní rovnoměrnou zátěž po celém rozpětí.

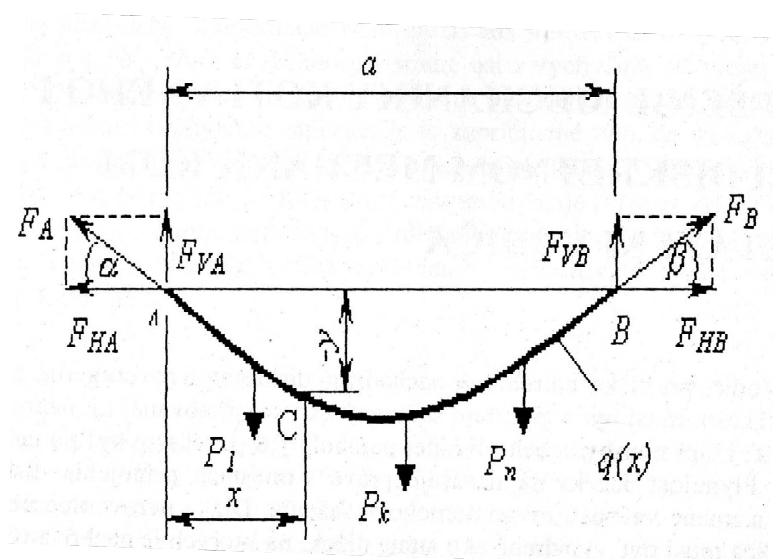
Toto ekvivalentní zatížení je určené z podmínky rovnosti délky vodiče a s rovnoměrně rozloženou ekvivalentní zátěží k délce vodiče s kombinovanou zátěží.

K tvorbě ekvivalentně rovnoměrně zatíženého vodiče použijeme přechodový koeficient  $K$  [-].

$$q_{ekv} = q_1 K [N \cdot m^{-1}] \quad (8.1)$$

kde:

$q_1$  ... tíha vodiče na 1 m délky [ $N \cdot m^{-1}$ ]



Obrázek 20: Diskrétně zatížený vodič<sup>20</sup>

Z rovnováhy sil v horizontálním tvaru plyne:

$$\sum X = -F_{HA} + F_{HB} = 0 \quad [N; N] \quad (8.2)$$

$$F_{HA} = F_{HB} = F_H \quad [N; N; N] \quad (8.3)$$

<sup>20</sup> VARGA, Ladislav, Peter LEŠČINSKÝ a Lubomír BEŇA. *Výpočet mechanických pomerov vonkajších silových vedení*. Košice, 2002. ISBN 80-89061-56-7.

Poté vertikální složky  $F_{VA}$ ,  $F_{VB}$  získáme z momentové věty:

$$F_{VA} = \frac{\sum M_{qB} + \sum M_{PB}}{a} \quad [N; N.m; N.m; m] \quad (8.4)$$

$$F_{VA} = \frac{\sum M_{qB} + \sum M_{PB}}{a} \quad [N; N.m; N.m; m] \quad (8.5)$$

kde:

$M_{qA}$ ,  $M_{gB}$  ... momenty rovnoměrných sil vzhledem k bodům A a B

$M_{PA}$ ,  $M_{PB}$  ... momenty od diskrétních zátěží

Momentová rovnice k libovolnému bodu vodiče se souřadnicemi  $C[x,y]$  ze všech vnějších sil rozložených zleva od tohoto bodu. Pokud je ohybový moment roven nule (podmínka rovnováhy) lze psát:

$$\sum M_c = F_{VA} \cdot x - \sum M_{qC} - \sum M_{PC} - F_H \cdot y = 0 \quad [N.m; N; N.m; N; m] \quad (8.6)$$

Lze provést analogii se zatíženým nosníkem, algebraická suma momentů vertikálních sil je rovna ohybovému momentu, který by vznikl v jednorozpětovém nosníku zatíženém jako vodič. Označí-li se tento moment jako  $M(x)$ , lze psát pro průhyb v libovolném bodě vztah

$$y(x) = \frac{M(x)}{F_H} \quad [m; N.m; N] \quad (8.7)$$

Výše uvedené je uvedeno pro souměrné pole, pokud uvažujeme nesouměrné pole je zapotřebí upravit ekvivalentní zatížení

$$q_k = \frac{q_1 K}{\cos \Phi} \quad [N.m^{-1}; N.m^{-1}; -; -] \quad (8.8)$$

kde:

$\Phi$ ... úhel sklonu rozpětí a vypočte se následovně

$$\Phi = \arctg \frac{h}{a} \quad [-; m; m] \quad (8.9)$$

## 9 Vytvořený výpočet

V programu MS Excel jsem vytvořil výpočet, který simuluje vliv přídatného zatížení vodičů v rozpětí. Program je koncipován jako projekční tabulka, která sdělí základní informace o průhybové křivce. Vstupními daty výpočtu jsou údaje o použitém vodiči, údaje o okolním prostředí a základní mechanické parametry. Výpočet je pro přehlednost rozdělen do několika listů.

List „Úvod“ [Příloha 14.11.1] informuje uživatele o obsahu programu, popisuje jednotlivé karty a poskytuje jednoduchý návod výpočtu průhybových křivek.

List „Spolehlivost“ [Příloha 14.11.2] obsahuje potřebné informace pro uvažování úrovně spolehlivosti ve výpočtech, viz kapitola [7.5]. Tento list obsahuje pouze vstupní data pro následné výpočty.

List „Data lan“ [Příloha 14.11.3] reprezentuje informace o možných vodičích, se kterými výpočet uvažuje. Pro výpočet je zapotřebí veškerých údajů na tomto listu uvedených, kromě elektrických veličin, které jsou přidány jen z informativních důvodů. Do listu není nutno nijak zasahovat, lze ho však rozšířit o další vodiče dle potřeb navrhování.

List „NO a VO“ [Příloha 14.11.4] charakterizuje námrazové a větrové oblasti. Jsou zde uvedeny vzorce, jak vypočítat referenční zatížení na jednotku délky vodiče. Nadále je zde uvedena oblast terénu, popis této problematiky viz kapitola [7.3.1]. Do této karty není nutno zasahovat, je vytvořena dle aktuálně platných technických norem.

List „Přídavná zatížení“ [Příloha 14.11.5] je uživatelsky možný upravovat. Jedná se o zařízení, která budou instalována na vodič do rozpětí. Je možno vyplnit název a hmotnost zařízení. V listu jsou již vytvořeny běžná zatížení, která se na vodiče zavěšují, není tedy obvykle nutné do tohoto listu zasahovat.

List „Spojité zatížení“ [Příloha 14.11.6] je nutný vyplnit dle aktuální situace. Jedná se o list, kde probíhá výpočet spojitého zatížení v několika stavech prostředí. Pole nutná pro vyplnění jsou barevně odlišena. Jedná se především o vzdálenosti, jako je rozpětí podpěrných bodů, nadmořská výška, či výška uchycení vodiče. Zde zvolíme i

informace o oblasti, vybereme námrazovou a větrovou oblast. Je zapotřebí vybrat i použitý vodič.

Na tomto listu jsou vypočteny parametry řetězovky (průhyby, namáhání, parametr řetězovky), tyto údaje jsou potřebné pro další výpočet zatížení. Nalezneme tu i výpočet zatížení námrazou, zatížení větrem a kombinované zatížení námrazou a větrem.

Tento list obsahuje i vytvořené makro, kde je napsán výpočet stavové rovnice [Příloha 0]. Prakticky se jedná o další funkci přidanou do MS Excel. Pro výpočet užívám Newton-Raphsonovu metodu, která je vysvětlena v kapitole [9.1]. Je zde možnost zvolit i námrazu na leteckých výstražných značkách, jelikož se jedná při průměru koule 60 cm o již nezanedbatelnou tíhu. Výpočet omrznutí leteckých výstražných značek je velmi jednoduchý a je uveden v kapitole Zatížení námrazkem [7.2].

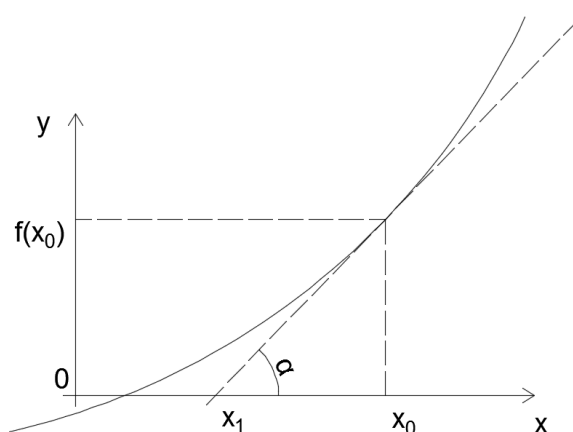
List „Diskrétní zatížení“ [Příloha 14.11.7] sumarizuje veškeré předchozí listy. Jsou zde uvedeny informace nutné pro následující výpočet diskrétního zatížení. Níže na listu probíhá výpočet zatížení, jehož výsledek je interpretován graficky. První graf označený jako souměrné pole představuje zatížení vodičů a tomu odpovídající průhyby souměrného pole. Tento graf tedy neuvažuje výškový rozdíl mezi uchyceními vodiče. Druhý graf představuje nesouměrné zatížení, které v reálném prostředí využijeme nejčastěji. Výpočet umožňuje zavěšení až 30 různých přídavných zatížení do rozpětí což je obvykle více než v běžném návrhu použijeme. Rozpětí je rozděleno do pětiset dílů, respektive do pětiset úseků, se kterými je možno odděleně počítat. V grafu je možné srovnat i více stavů zároveň, jako výchozí stav se uvažuje průhyb vodiče při  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , následně je možno vybrat druhý stav, již, se kterým uvažujeme v návrhu. Graficky se nám zobrazí průhybová křivka při spojitém zatížení v daném stavu a druhá křivka, která respektuje přidané zatížení.

## 9.1 Newton-Raphsonova metoda – iterační numerická metoda

Newton-Raphsonova metoda je iterační metoda, která je využívána k nalezení kořenů funkce či numerickému řešení soustav nelineárních rovnic. Často nazývána pouze Newtonova metoda či metoda tečen. Z českého názvu lze vysledovat, že se jedná o metodu, kde hledáme průsečík funkce  $f(x)$  ve směru tečny této funkce<sup>21</sup>. Tuto metodu lze využít za následujících předpokladů:

- funkce  $f(x)$  je spojitá, hladká a lze vyjádřit derivaci na celém intervalu na kterém hledáme průsečík s osou  $x$ ,
- funkce  $f(x)$  je na hledaném intervalu monotónní.

Při výpočtu je nutno nejdříve ověřit výše uvedené předpoklady, nadále hrubým odhadem zvolit počáteční řešení  $x_0$  a nakonec zvolit přesnost se kterou hledáme řešení.



Obrázek 21: Newton-Raphsonova metoda

Hledáme vzorec pro výpočet hodnoty  $x_1$ , tedy průsečíku tečny sestavené v bodě  $x_0$ . Jelikož tečna je přímka a její sklon se rovná hodnotě derivace  $f'(x_0)$ . Pomocí goniometrických funkcí lze vyjádřit vztah následovně

$$\tan \alpha = \frac{f(x_0)}{x_0 - x_1} = f'(x_0) \quad (9.1)$$

<sup>21</sup> [http://mech.fsv.cvut.cz/~anicka/teaching/ypv1/ukoly/du7\\_newton.pdf](http://mech.fsv.cvut.cz/~anicka/teaching/ypv1/ukoly/du7_newton.pdf)



Následně jelikož známe hodnoty  $x_0$ ,  $f(x_0)$ ,  $f'(x_0)$  můžeme osamostatnit  $x_1$

$$x_1 = x_0 - \frac{f(x_0)}{f'(x_0)} \quad (9.2)$$

Tento krok opakujeme nadále až do požadované přesnosti  $p < |f(x)|$

$$x_{k+1} = x_k - \frac{f(x_k)}{f'(x_k)} \quad (9.3)$$

V příloze [Příloha 11: Vytvořený výpočet v MS Excel] je uveden výpočet mechanického napětí touto metodou v prostředí MS Excel. Jedná se o vytvořené makro, ve kterém je nadefinovaná stavová rovnice zavěšeného vodiče.

## 10 Ukázka výpočtu programu

Na následujících stránkách je demonstrace fungování programu. Vybral jsem dva stavy, se kterými se dle českých technických norem musí při návrhu počítat a lze na nich nejlépe demonstrovat vliv přídatného zatížení. Jedná se o stavy vodiče při  $-5\text{ }^\circ\text{C}$ , při  $-5\text{ }^\circ\text{C}$  s námrazou. Další průběhy pro jiný vodič a jiné stavy jsou uvedeny v příloze [14.13].

Následující tabulka je částí vytvořeného výpočtu v prostředí MS Excel, celý program lze nalézt v příloze [14.11]. Barevně vyznačená místa reprezentují pole, které je nutno vyplnit. Nadmořská výška levého podpěrného bodu je určena na 400 m s převýšením k pravému podpěrnému bodu o velikosti 10 m. Nadále je specifikována výška konzole a délka izolátorového závěsu. Rozpětí je stanoveno na 300 m. Úroveň spolehlivosti necháváme na referenční hodnotě. Nakonec je zapotřebí vybrat námrazová, větrová a terénní oblast.

Tabulka 14: Zadání vstupních dat

<b>Napěťová hladina</b>										
110 kV										
<b>Podpěrný bod</b>										
Levý A	Nadmožská výška podpěrného bodu									400,00 m
	Výška konzole nebo držáku zemnicího lana nad terénem									29,00 m
	Svislá délka izolátorového závěsu nebo uchcení ZL									5,00 m
Pravý B	Nadmožská výška podpěrného bodu									410,00 m
	Výška konzole nebo držáku zemnicího lana nad terénem									29,00 m
	Svislá délka izolátorového závěsu nebo uchcení ZL									5,00 m
<b>Výšky</b>										
Převýšení pravého závěsného bodu nad levým ("+" pravý závěsný bod je výše než levý, "-" pravý závěsný bod je níže než levý)										10,00 m
Referenční výška										24,00 m
<b>Délky</b>										
Rozpětí										300,0 m
<b>Úroveň spolehlivosti</b>										
Úroveň spolehlivosti 1			Gama W = 1,00		Psi W = 0,25		Gama I = 1,00		Psi I = 0,35	
<b>Název vodiče</b>	<b>D (mm)</b>	<b>S<sub>Fe</sub> (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>S<sub>Al</sub> (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>-----</b>	<b>m (kg/m)</b>	<b>RTS (kN)</b>	<b>E (Mpa)</b>	<b>a (1/K)</b>	<b>R<sub>DC20</sub> (Ω/km)</b>	<b>I<sub>max</sub> (A)</b>
243-AL1/39-ST1A	21,8	39,5	243,1	282,5	0,988	85,12	74200	0,0000189	0,1188	490
Měrná tíha lana gama (N·cm-3)						0,034308956				
<b>Námrazová oblast</b>										
I-2	IR50 = 8,661 + 0,3653d					IR50 = 16,6245 N/m				
<b>Větrová oblast</b>										
II	Vb,0 = 25,0 m/s									
<b>Oblast terénu</b>										
II							z0 = 0,05 m		kr = 0,189	

Následující krok je výpočet jednotlivých zatížení vodiče, jedná se o zatížení námrazou, větrem, spojitě zatížení při uvažování leteckých výstražných značek, či kombinace zatížení větrem a námrazou. Vzorce využitě ve výpočtech se z velké části vyskytují v českých technických normách a souvisejících předpisech.

Tabulka 15: Vypočtená zatížení vodiče

Zatížení námrazou		
Součinitel výšky	Neuvažovat	Kh(h) = 1,0000
Extrémní zatížení námrazou		I50 = 16,6245 N/m
Tloušťka námrazy		lI50 = 23,71 mm
Přetížení námrazou		zI = 2,715
Zatížení leteckými výstražnými značkami		
Počet výstražných leteckých značek v rozpětí (spojeno s počtem v diskrétním zatížení)		10
Zatížení leteckými výstražnými značkami		qIC = 1,9620 N/m
Přetížení leteckými výstražnými značkami		zC = 1,2024
Zatížení leteckými výstražnými značkami s námrazou		
Objem letecké výstražné značky		V = 0,113 m <sup>3</sup>
Objem letecké výstražné značky s námrazou		V = 0,142 m <sup>3</sup>
Hmotnost námrazku na letecké výstražné kouli		m1 = 14,493 kg
Zatížení výstražnou leteckou značkou s námrazkem		qIC = 4,7393 N/m
Přetížení námrazkem na leteckých výstražných značkách		zIC = 3,2042
Zatížení větrem		
Střední rychlost větru		vh(h) = 29,17 m/s
Střední tlak větru		qh(h) = 531,847 N/m <sup>2</sup>
Intenzita turbulence		Iv(h) = 0,1620
Maximální tlak větru		qp(h) = 1 134,9 N/m <sup>2</sup>
Měrná délka turbulence		L(h) = 99,56 m
Součinitel odezvy pozadí		B2 = 0,1812
Součinitel konstrukce		Gc = 0,6625
Součinitel aerodynamického odporu vodiče		Cc = 1,00
Zatížení vodiče větrem		qw = 16,3903 N/m
Přetížení větrem		zw = 1,965
Extrémní zatížení námrazou I <sub>r</sub> kombinované s rychlostí větru s vysokou pravděpodobností V <sub>IH</sub>		
Extrémní zatížení námrazou		IT = 16,6245 N/m
Rychlostí větru s vysokou pravděpodobností		VIH(h) = 14,59 m/s
Střední tlak větru		qh(h) = 132,962 N/m <sup>2</sup>
Maximální tlak větru		qp(h) = 283,7 N/m <sup>2</sup>
Ekvivalentní průměr vodiče		D = 69,21 mm
Součinitel aerodynamického odporu vodiče		Cc = 1,10
Zatížení vodiče větrem		qw = 14,3107 N/m
Kombinované přetížení námrazou a větrem		zIw = 3,091
Jmenovité zatížení námrazou I <sub>s</sub> kombinované s rychlostí větru s nízkou pravděpodobností V <sub>IL</sub>		
Jmenovité zatížení námrazou		I3 = 5,8186 N/m
Redukční součinitel pro rychlost větru při námraze		BI = 0,656
Rychlostí větru s nízkou pravděpodobností		VIL(h) = 19,14 m/s
Střední tlak větru		qh(h) = 228,873 N/m <sup>2</sup>
Maximální tlak větru		qp(h) = 488,4 N/m <sup>2</sup>
Ekvivalentní průměr vodiče		D = 44,56 mm
Zatížení vodiče větrem		qw = 15,8592 N/m
Kombinované přetížení námrazou a větrem		zIw = 2,289

Z výše uvedené tabulky [Tabulka 15] se dopočítají parametry řetězovky, a to vždy pro určitou teplotu. Referenční tah zadáván pro teplotu -5 °C (v tabulce je barevně vyznačena). Pro ostatní teploty se již parametry dopočítají pomocí vzorců.

Tabulka 16: Vypočtené parametry řetězovky

Parametry řetězovky zatížené dle výše určených podmínek											
Bod x ve kterém nás zajímá průhyb vodiče (vzdálenost bodu od počátku - $x_x$ )								0,000			
stav	min tepl.	-5 °C	-5 °C + I	-5 °C + W	-5 °C + IW	-5 °C + IW1	+10 °C	+40 °C	+80 °C	-5 °C + C	-5 °C + IC
t (°C)	-30	-5	-5	-5	-5	-5	10	40	80	-5	-5
l (N/m)	0	0	16,625	0	16,625	5,819	0	0	0	0	1
W (N/m)	0	0	0	16,390	14,311	15,859	0	0	0	0	0
z <sub>0</sub> (-)	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
z <sub>1</sub> (-)	1,000	1,000	2,715	1,965	3,091	2,289	1,000	1,000	1,000	1,202	3,204
T (kN)	48,437	40,000	54,032	47,839	57,054	50,533	35,351	27,396	20,060	41,565	57,956
sigmaH1 (Mpa)	171,457	141,593	191,264	169,340	201,962	178,878	125,137	96,976	71,010	147,132	205,154
C (m)	4997	4127	2053	2512	1905	2278	3647	2827	2070	3566	1866
a <sub>i</sub> (m)	633,113	575,072	436,754	467,389	426,842	451,755	543,088	488,349	437,860	537,695	424,277
x <sub>A</sub> (m)	-16,556	12,464	81,623	66,306	86,579	74,123	28,456	55,826	81,070	31,153	87,861
x <sub>B</sub> (m)	316,556	287,536	218,377	233,694	213,421	225,877	271,544	244,174	218,930	268,847	212,139
x <sub>V</sub> (m)	166,581	137,567	68,438	83,744	63,487	75,932	121,578	94,219	68,990	118,882	62,206
t <sub>A</sub> (kN)	48,437	40,000	54,075	47,855	57,113	50,560	35,352	27,401	20,076	41,566	58,020
t <sub>B</sub> (kN)	48,534	40,097	54,338	48,046	57,413	50,782	35,449	27,498	20,173	41,683	58,331
f <sub>max</sub> (m)	10,029	10,021	11,625	10,877	11,970	11,208	10,113	10,553	11,590	10,138	12,071
f <sub>id</sub> (m)	2,253	2,729	5,486	4,483	5,914	4,944	3,088	3,984	5,442	3,158	6,036
f <sub>x</sub> (m)	10,029	10,021	11,625	10,877	11,970	11,208	10,113	10,553	11,590	10,138	12,071
y <sub>B</sub> (m)	5007,472	4137,017	2064,766	2523,200	1916,565	2289,177	3657,457	2837,112	2081,297	3576,611	1878,237
y <sub>V</sub> (m)	5000,219	4129,289	2054,282	2513,719	1905,653	2279,235	3649,371	2828,129	2070,858	3568,455	1867,204
y <sub>x</sub> (m)	4997,442	4126,996	2053,141	2512,323	1904,595	2277,969	3647,344	2826,559	2069,708	3566,473	1866,167
h <sub>v</sub> (m)	4,999	4,999	4,998	4,998	4,998	4,998	4,999	4,999	4,998	4,999	4,998
l <sub>0A</sub> (m)	-16,556	12,464	81,644	66,313	86,609	74,136	28,456	55,829	81,091	31,153	87,894
l <sub>0B</sub> (m)	316,768	287,769	218,789	234,032	213,868	226,248	271,795	244,478	219,338	269,102	212,596
l <sub>celk</sub> (m)	300,212	300,233	300,433	300,345	300,477	300,383	300,251	300,307	300,429	300,255	300,490
sigmaVA (MPa)	-0,568	0,428	7,606	4,470	9,184	5,822	0,976	1,915	2,782	1,285	9,662
sigmaVB (MPa)	10,868	9,873	20,382	15,775	22,678	17,766	9,325	8,388	7,525	11,102	23,371
sigmaA (Mpa)	171,458	141,594	191,415	169,399	202,171	178,972	125,140	96,995	71,064	147,137	205,381
sigmaB (Mpa)	171,801	141,937	192,347	170,074	203,232	179,758	125,484	97,338	71,407	147,550	206,481
fmax(sourmerné)	2,251	2,726	5,482	4,479	5,910	4,940	3,085	3,981	5,438	3,155	6,032

Příklad výpočtu je uveden pro stav -5 °C a stav -5 °C + námraza, v grafu níže je vidět průhybová křivka pro referenční teplotu -5 °C, která je uvedena světle zelenou barvou. Modrou barvou je již stav pro výpočtovou teplotu -5 °C + námraza. V tomto případě se maximální průhyb  $f_{max}$  zvýší o 2,756 m oproti maximálnímu průhybu pouhého vodiče při -5 °C.

Tmavě zelená průhybová křivka reprezentuje diskrétní zatížení vodiče při teplotě -5 °C, kdy na vodič zavěšujeme do určitých bodů diskrétní zátěž, v tomto případě dle tabulky [Tabulka 17], maximální průhyb  $f_{max}$  zvýší o 0,70 m oproti maximálnímu průhybu pouhého vodiče při -5 °C. Fialová barva značí případ zatížení omrzými leteckými výstražnými značkami, při stavu vodiče -5 °C + I. Zde se již projeví velké přídavné zatížení, maximální průhyb  $f_{max}$  se zvýší o 5 m oproti stavu bez námrazy. Toto vše samozřejmě při uvažování stejného referenčního tahu, pro tento případ zadaných 40 kN.

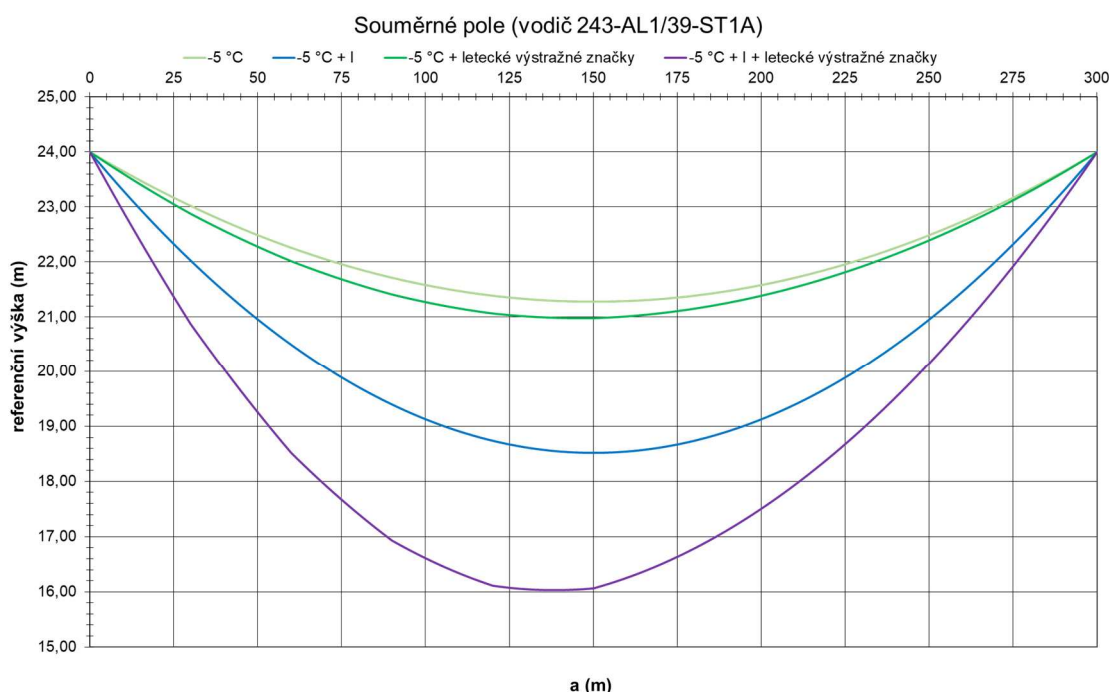
Tabulka 17: Zavěšená přídatná zatížení

Číslo závaží	Označení závaží	Vzdálenost od levého PB (m)	Hmotnost závaží (kg)
1	Výstražná letecká značka	30,000	6,000
2	Výstražná letecká značka	60,000	6,000
3	Výstražná letecká značka	90,000	6,000
4	Výstražná letecká značka	120,000	6,000
5	Výstražná letecká značka	150,000	6,000

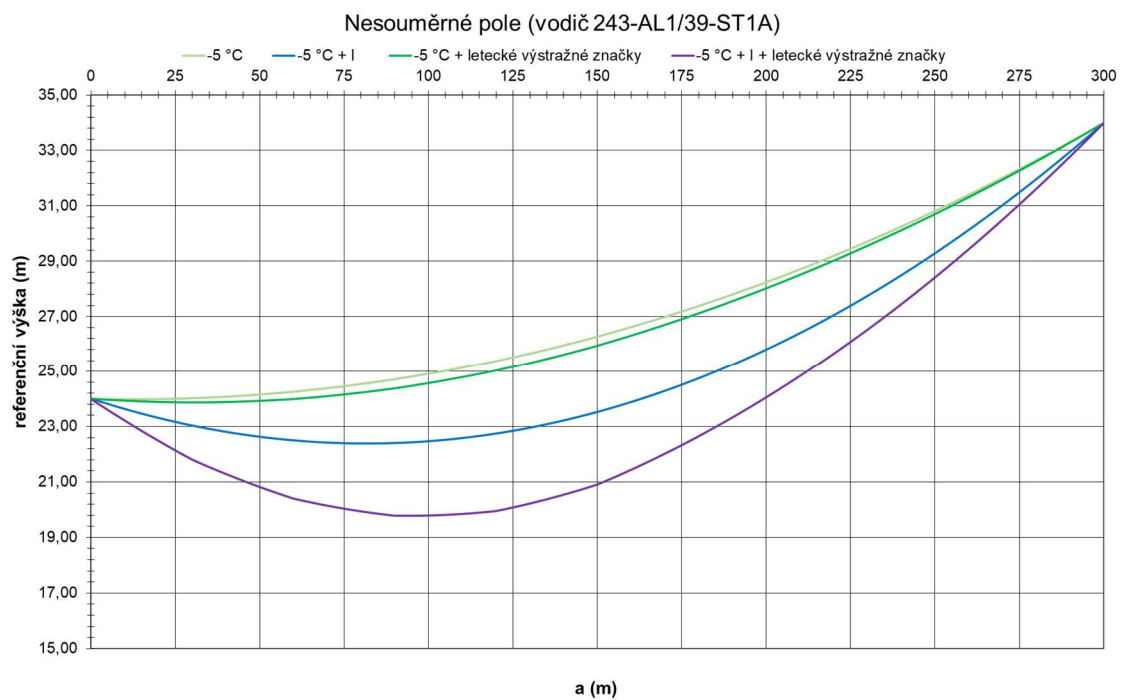
V případě nesouměrného pole je stav obdobný, například zde se maximální průhyb  $f_{\max}$  při stavu vodiče  $-5\text{ °C} + I$  zvýší o 1,6 m oproti maximálnímu průhybu vodiče při  $-5\text{ °C}$ .

Důvodem velkého průhybu je již zmiňovaná námraza na leteckých výstražných značkách. Pro názornost, jak se změní celková hmotnost letecké výstražné značky je zde uveden postup, jak bychom postupovali při výpočtu hmotnosti námrazy na této značce. Nejdříve je nutné zjistit objem námrazku a to tak, že vypočteme tloušťku námrazy na měřicí tyči o průměru 30 mm. Tím lze odečtením objemu výstražné letecké značky od objemu omrzlé výstražné letecké značky zjistit objem námrazku. Při návrhu uvažujeme s hustotou námrazku  $\rho = 500\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ .

Obrázek 22: Závislost průhybu vodiče na rozpětí při souměrném poli



Obrázek 23: Závislost průhybu vodiče na rozpětí při nesouměrném poli



## 11 Závěr

V první části této diplomové práce, což představují první tři kapitoly, jsem se zaměřil na problematiku výroby a výběru vodičů a jejich mechanických vlastností vzhledem k navrhování vedení. Zaměřil jsem se především na základní druhy drátů, a jejich následné slánění do lan. Existuje mnoho typů drátů potažmo vodičů, které můžeme nainstalovat na liniové stavby, nicméně v praxi se často užívá pouze osvědčených a cenově dostupných variant. Druhá část diplomové práce je zaměřena na základní mechaniku vodiče. O tuto kapitolu se opírá i vytvořený výpočet. Je zde popsána řetězovka (jedná se o křivku, kterou vytvoří prověšený vodič), nejdůležitějším odvozením je odvození stavové rovnice vodiče. Lze se v této kapitole dozvědět, jak se chová vodič v závislosti na teplotě, zatížení námrazou či větrem. Pokud počítáme samostatné zatížení větrem či samostatné zatížení námrazou, jedná se o početně méně náročný úkon. V reálných podmínkách však nastávají různé druhy zatížení současně a v tomto případě se již výpočty stávají komplikovanější a výpočet musí respektovat několik faktorů. Vezměme si, například kombinované zemní lano, na které navěsíme letecké výstražné značky. Toto přídatné zatížení zaprvé způsobí změnu průhybu, v zimě letecké výstražné značky omrznou výraznou vrstvou námrazy a současně fouká silný vítr. Z toho plyne, že proměnných je při výpočtu hodně a dimenzování stavby musí všechny tyto vlivy respektovat.

Diplomová práce dále specifikuje přídatná zatížení, která se mohou na vodičích v rozpětí vyskytovat. Největší vliv mají již zmíněné letecké výstražné značky. Letecká výstražná značka má váhu v průměru kolem 6 kg, dle výrobce. Při zavěšení několika těchto značek do rozpětí se již jedná o velké zatížení, které se při omrznutí v zimě mnohem více projeví, to dokazuje i výpočet hmotnosti námrazku na letecké výstražné značce, který může být i několikanásobkem hmotnosti samotné výstražné značky. Instalované vodiče nadále osazujeme leteckými výstražnými praporci, jejichž funkce spočívá opět ve zviditelnění vodičů. Nadále je nutno jmenovat i distanční a mezifázové rozpěrky, které se však tolik neprojeví, jelikož svoji tíhu mají rozloženu na více vodičů (svazkový vodič).

Nedílnou součástí této diplomové práce je výpočetní systém tvořený v MS Excel, ve kterém jsem úspěšně vytvořil výpočty zatížení vodičů v rozpětí potřebné při

návrhu elektrického vedení VVN a ZVN. Výpočet je v mnoha směrech editovatelný a uvažuje velké množství možných případů. Lze například tvořit výpočty na základě zvolené námrazové či větrové oblasti. Výstupem výpočtu je tabulka charakterizující řetězovku a následně grafické znázornění řetězovky. Grafická podoba zobrazuje stav bez zatížení a stav, který nastane ve zvolených klimatických podmínkách a přidaném zatížení.

V praxi je často uvažováno se spojitým zatížením vodičů, tedy že vodič rovnoměrně omrzne či je na něj rovnoměrně zavěšeno přídatné zatížení. Jedná se o zjednodušení problému, jelikož výpočty s rovnoměrnou zátěží jsou lépe uchopitelné a lépe vypočitatelné. Na problém se však můžeme dívat i přesněji, a to pomocí diskrétního zatížení. Je evidentní, že pokud zavěsíme do jednoho bodu řetězovky přídatnou váhu, řetězovka se změní. Vodič poté má větší průhyb a může to mít vliv na bezpečné vzdálenosti od země či od ostatních vodičů. Diskrétním zatížením jsem řetězovku rozdělil na části, se kterými je počítáno odděleně. Pokud srovnáme oba přístupy počítání řetězovky, je evidentní, že pro větší přídatná zatížení, jako jsou již zmiňované letecké výstražné značky má smysl se zabírat diskrétním výpočtem řetězovky. U menších zatížení nevzniká taková chyba, či se dostatečně neprojeví v průhybu řetězovky, není zapotřebí počítat řetězovku diskrétně.

Tato diplomová práce je ojedinělá tím, že spojuje mechaniku vedení s elektrickou částí navrhování vedení. Mnoho dosud vytvořených knih a prací se mechanikou vodiče vůbec nezaobírá, a pokud najdeme nějaké informace, jedná se o strohé zmínky či odkazy na zahraniční literaturu. Mechanika vodiče je nejvíce studována při stavbách visutých mostů, kde ocelové lano slouží jako nosný prvek. Není dostupná ani konkrétní souhrnná literatura, která by popisovala přídatná zatížení instalovaná na vodiče. Nejvíce informací lze zjistit z katalogových listů, nicméně vliv na vodič již nikde není detailněji popsán.

Povedlo se mi tak shrnout poznatky o návrhu vedení z hlediska zatížení vodičů a vytvořit funkční výpočetní systém tohoto problému. Tento výpočet je připraven za prvé jako samostatný projekční program, který po zadání konkrétních parametrů je schopen vypočítat potřebné parametry či za druhé by bylo možné tento výpočet implementovat přímo do firemních projekčních tabulek, se kterými je počítáno v projekci elektrického vedení. Tento krok vidím jako další pokračování této



diplomové práce, jelikož se jedná o přínos pro projekci vedení a je to i důvodem tvorby této práce.

Tato práce je též přínosem i pro praktické využití ve firmě. Je samozřejmé, že výpočty řetězovek jsou již dávno zdigitalizovány a počítají se pomocí výpočetní techniky. Před tímto zjednodušením bylo však nutné každé rozpětí počítat samostatně a ručně. To zabralo velké množství času a přesnost výpočtu byla limitována dovednostmi projektanta. Můj vytvořený výpočet je zpřesněním již fungujícího systému projekčních tabulek. Pokud vezmeme průběh projektování liniové stavby, úkolem projektanta je správné navržení stavby, tedy i bezpečnosti stavby. Tento vytvořený výpočet spojuje praktické výhody projekčních tabulek s přesnějším výpočtem průhybů vodiče. Projektant tedy získá přesnější data, než měl k dispozici doposud a rozhodne se o následujícím postupu projekce. Přínosem je tedy to, že nemusí odhadovat vliv přídatného zatížení, ale výpočtem si jednoduše ověří, zda může použít jím uvažovanou přídatnou zátěž v podmínkách vyskytujících se v místě stavby. V mnoha případech je zákonem či jiným právně závazným předpisem stanoveno či jen doporučeno, že musí být vodiče osazeny určitým druhem přídatného zatížení (nejčastěji se jedná o letecké výstražné značky). Může nastat situace, kdy předem uvažované podpěrné body (stožáry) nebudou splňovat mechanické vlastnosti právě z důvodu možného velkého průhybu vodiče po osazení přídatnou zátěží. První pomocí je zvýšení tahu vodiče, tím docílíme snížení průhybu. Toto však můžeme udělat pouze pokud dodržíme maximální hodnoty předepsané výrobcem, a to jednak vodiče, tak izolátorových závěsů, ale také musíme splnit maximální mechanické zatížení podpěrných bodů, a to i v případech velké námrazy či velkého zatížení větrem. Pokud ani tento přístup řešení problému nelze uplatnit, je možné zvolit vodič s lepšími mechanickými parametry, anebo se přistupuje i ke zvyšování podpěrných bodů.

Vše výše uvedené je zapotřebí z důvodu dodržení minimálních vzdáleností od země a dalších předmětů vyskytujících se u liniové stavby. Tato diplomová práce včetně výpočetního programu tedy slouží především pro zvýšení bezpečnosti liniových staveb a zjednoduší práci projektantovi. Z toho se odvíjejí i uspořené finanční náklady na projekci a v mnoha případech i na výstavbu liniových staveb, firmě tak tento výpočet může přinést nemalou finanční úsporu.

## 12 Seznam použité literatury

- [1] ČSN EN 50 182 - Vodiče venkovního elektrického vedení. (2002). ÚNMZ.
- [2] ČSN EN 50 183 - Dráty ze slitiny Al-Mg-Si pro vodiče venkovních vedení. (2000). ÚNMZ.
- [3] ČSN EN 50 189 - Pozinkované ocelové dráty pro vodiče venkovního vedení. (2000). ÚNMZ.
- [4] ČSN EN 61 232 ZA11 - Ocelohliníkové dráty pro elektrotechniku. (2001). ÚNMZ.
- [5] ČSN IEC 889 Z1 - Tvrdé tažení hliníkové dráty pro vodiče nadzemních vedení. (1997). ÚNMZ.
- [6] František, F. (1971). *Ocelové mosty příhradové, obloukové a visuté*. Praha: Academia.
- [7] Hruška, D. V. (1940). *Venkovní elektrická vedení počítaná jako pružná řetězovka*. Praha: Elektrotechnický svaz Českomoravský.
- [8] List, V., & Pochop, K. (1955). *Mechanika venkovních vedení*. SNTL.
- [9] PODOLNY, W. (1986). *Construction and Design of cable-stayed bridges*. New York: Wiley.
- [10] Reichl, J., & Všeticka, M. (nedatováno). *Encyklopedie fyziky*. Načteno z <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/631-hookuv-zakon-pro-pruznou-deformaci>
- [11] Tlustý, J., Kyncl, J., Musil, L., Špetlík, J., Švec, J., Hamouz, P., . . . Müller, M. (2011). *Monitorování, řízení a chránění elektrizačních soustav*.
- [12] Tlustý, J., Švec, J., Bannert, P., Brettschneider, Z., Kocur, Z., Mareček, P., . . . Sýkora, T. (2011). *Návrh a rozvoj elektroenergetických sítí*.
- [13] Varga, L., Leščinský, P., & Beňa, L. (2002). *Výpočet mechanických poměrů vonkajších silových vedení*.

### Internetové zdroje:

- [14] *Tlumiče vibrací na přenosových linkách* [online]. [cit. 2019-12-30]. Dostupné z: <http://www.transmission-line.net/2011/02/vibration-dampers-on-transmission-lines.html>
- [15] *Tlumiče vibrací Stockbridge* [online]. [cit. 2019-12-30]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Stockbridge\\_damper](https://en.wikipedia.org/wiki/Stockbridge_damper)

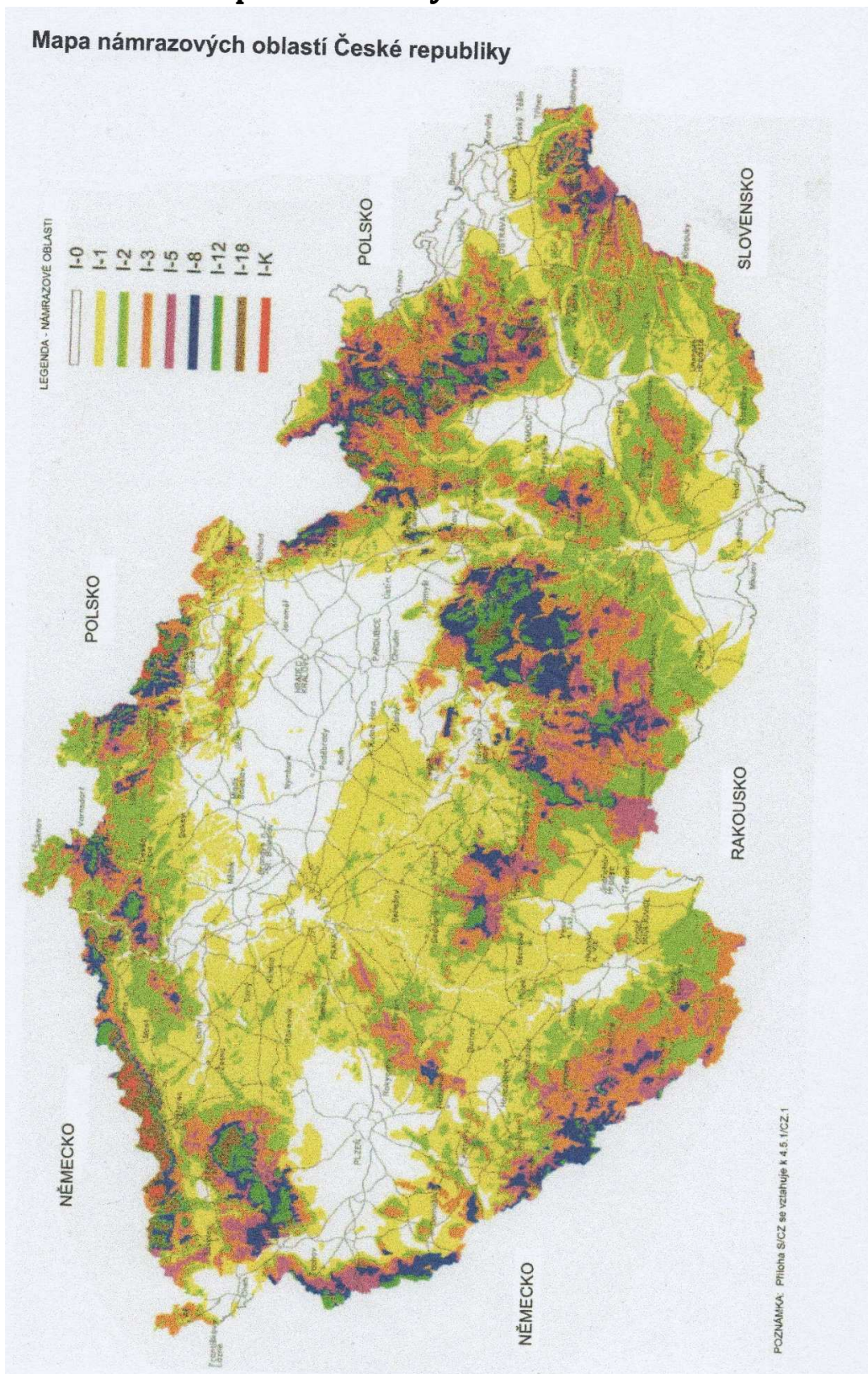
- [16] *Tlumiče vibrací na americkém trhu* [online]. [cit. 2019-12-30].  
Dostupné z: <https://www.macleanfogg.com/dulhunty-transmission-products-introduced-in-the-american-market/>
- [17] *Mezifázové rozpěrky jako ochrana proti gallopingu* [online]. [cit. 2019-12-30]. Dostupné z: <http://www.inmr.com/application-composite-interphase-spacers-prevent-conductor-galloping-2/2/>
- [18] *Mezifázové rozpěrky* [online]. [cit. 2019-12-30]. Dostupné z: <https://static1.squarespace.com/static/51641d60e4b09de45a330799/t/52727efae4b0acc66cb26b13/1383235322231/5.1+-+TD+Interphase+Spacer+Cat+TD-IPS+-131030.pdf>
- [19] *Přídavná zatížení věšená na vodiče* [online]. [cit. 2019-12-30].  
Dostupné z: <https://www.all-round-supplies.com.au/products/37-bare-conductor-accessories/115-protection>
- [20] *Přídavná zatížení věšená na vodiče* [online]. [cit. 2019-12-30].  
Dostupné z: <https://www.energyequipment.co.nz/>
- [21] *Venkovní vedení z hlediska ochrany přírody* [online]. [cit. 2019-12-30].  
Dostupné z: <http://www.ochranaprirody.cz/res/archive/367/055517.pdf?seek=1503316804>
- [22] *Modernizace vedení VVN* [online]. [cit. 2019-12-30]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/23734/F3-DP-2014-Otava-Tomas-prace.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- [23] *Katalog lan* [online]. [cit. 2020-01-01]. Dostupné z: [http://vbconsulting.cz/lana/wp-content/uploads/Lana\\_Katalog\\_2016.pdf](http://vbconsulting.cz/lana/wp-content/uploads/Lana_Katalog_2016.pdf)

## 13 Seznam příloh

14.1	Příloha 1: Mapa námrazových oblastí .....	61
14.2	Příloha 2: Mapa větrových oblastí ČR.....	62
14.3	Příloha 3: Průřezy AlFe lan .....	63
14.4	Příloha 4: Tabulka běžně používaných lan .....	64
14.5	Příloha 5: Katalog výstražné spirály .....	65
14.6	Příloha 6: Výkres výstražné spirály.....	66
14.7	Příloha 7: Katalog distanční rozpěrky .....	67
14.8	Příloha 8: Katalog spirálového tlumiče vibrací.....	68
14.9	Příloha 9: Katalog tlumiče vibrací .....	69
14.10	Příloha 10: Výkres letecké výstražné koule .....	70
14.11	Příloha 11: Vytvořený výpočet v MS Excel .....	71
14.12	Příloha 12: Výpočet mechanického namáhání.....	79
14.13	Příloha 13: Průhybové křivky .....	80

## 14 Přílohy

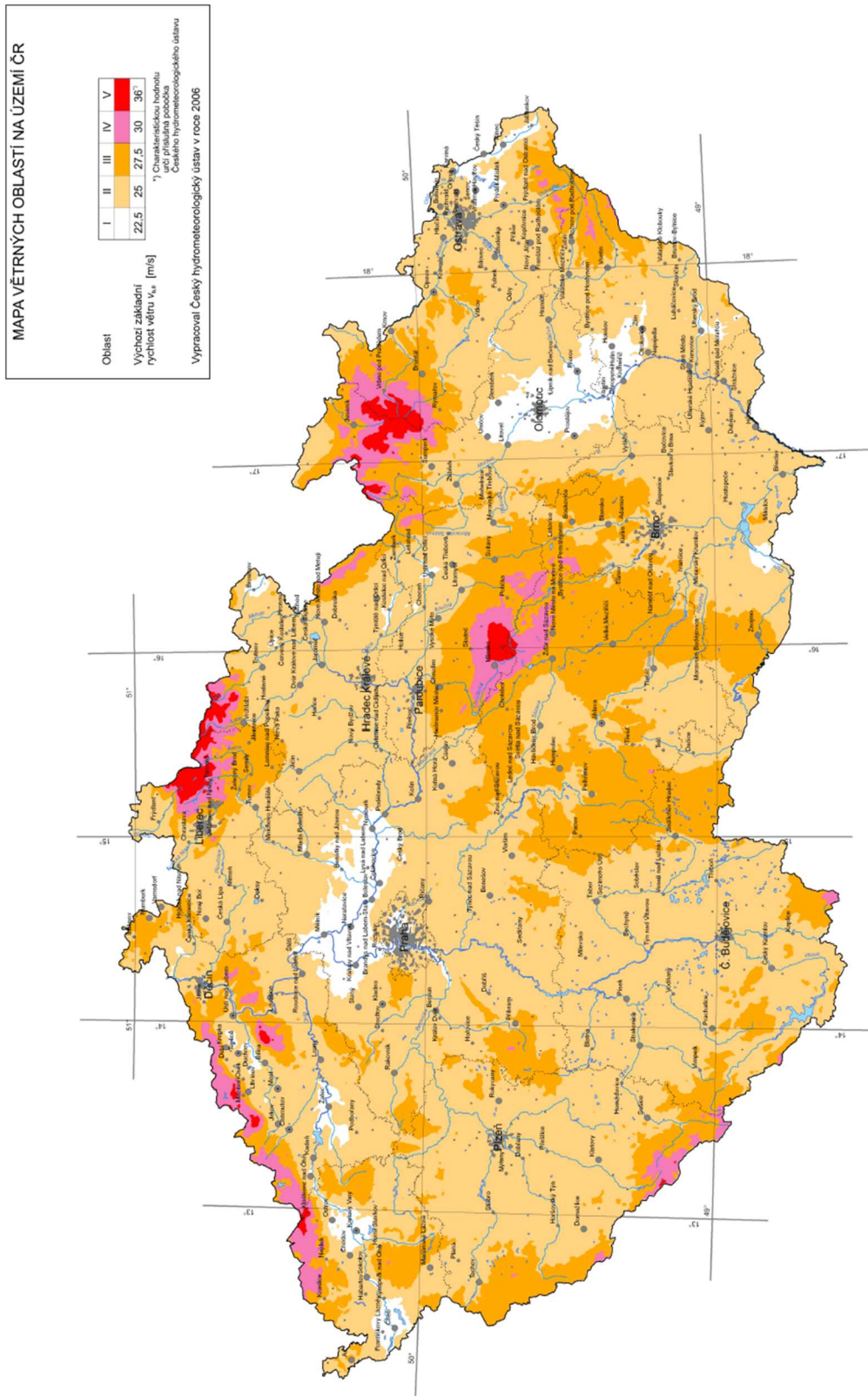
### 14.1 Příloha 1: Mapa námrazových oblastí



PNE 33 3300 – Navrhování a stavba venkovních vedení nad AC 45 kV



## 14.2 Příloha 2: Mapa větrných oblastí ČR



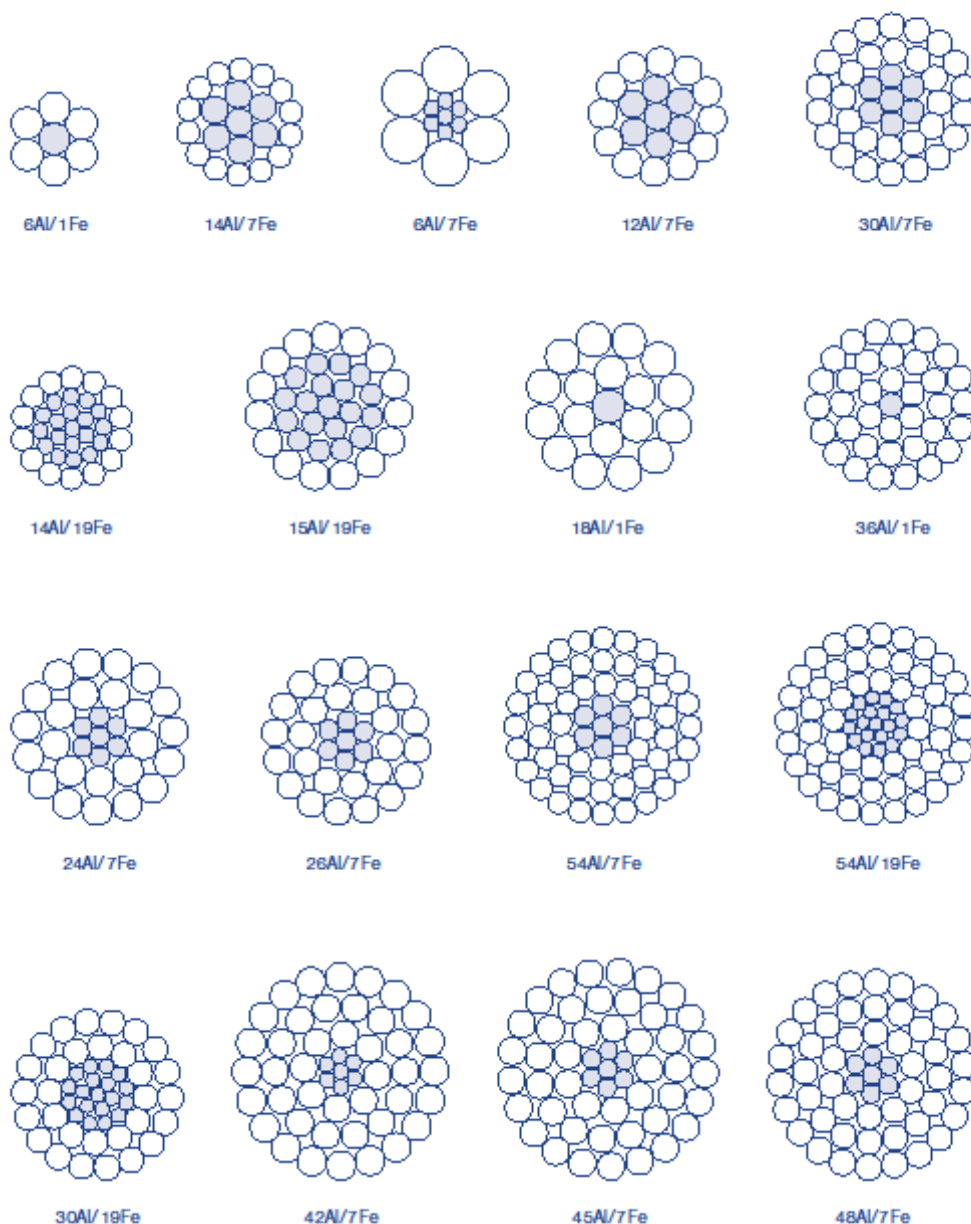
PNE 33 3300 – Navrhování a stavba venkovních vedení nad AC 45 kV

### 14.3 Příloha 3: Průřezy AlFe lan



**A1Fe**  
ACSR

**Typické konštrukcie**  
Typical structure  
*Typische Seilkonstruktionen*



## 14.4 Příloha 4: Tabulka běžně používaných lan



PNE 34 7509  
Tabulka G.1

Vlastnosti doporučených  
vodičů pro venkovní vedení s napětím  
nad 45 kV AC – Typ AL1/ST1A

Označení	Průřez		Počet drátů		Průměr drátů		Průměr		Hmotnost na jednotku délky (bez maziva)	Hmotnost na jednotku délky včetně maziva <sup>h</sup>	Jmenovitá pevnost	DC odpor	Konečný modul pružnosti	Součinitel délkové roztažnosti
	AL	ST	AL	ST	AL	ST	Duše	Celkový						
	mm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	mm	mm	mm	mm	mm	mm						
122AL1/20ST1A	121,6	19,8	141,4	10+16	1+6	2,44	1,90	5,70	15,5	494,9	44,50	0,237 6	74 200*	1,89E-05
119AL1/42ST1A	118,8	41,6	160,4	15+21	1+6	2,05	2,75	8,25	16,5	662,1	68,79	0,243 5	90 000	1,67E-05
122AL1/71-ST1A	122,1	71,3	193,4	12	1+6	3,60	3,60	10,8	18,0	894,5	97,92	0,236 4	104 700	1,53E-05
183AL1/43ST1A	183,4	42,8	226,2	12+18	1+6	2,79	2,79	8,37	19,5	841,6	850,1	0,157 6	80 500	1,79E-05
184AL1/30ST1A	183,8	29,8	213,6	10+16	1+6	3,00	2,33	6,99	19,0	741,0	65,27	0,157 1	74 200*	1,89E-05
212AL1/49ST1A	212,1	49,5	261,5	12+18	1+6	3,00	3,00	9,00	21,0	973,1	91,26	0,136 3	80 500	1,79E-05
243AL1/39ST1A	243,1	39,5	282,5	10+16	1+6	3,45	2,68	8,04	21,8	980,1	85,12	0,118 8	74 200*	1,89E-05
362AL1/59ST1A	361,9	59,1	421,1	10+16	1+6	4,21	3,28	9,84	26,7	1 462,2	122,97	0,079 8	74 200*	1,89E-05
382AL1/49ST1A	381,7	49,5	431,2	12+18+24	1+6	3,00	3,00	9,00	27,0	1 442,5	121,30	0,075 8	67 100*	1,94E-05
434AL1/56ST1A	434,3	56,3	490,6	12+18+24	1+6	3,20	3,20	9,60	28,8	1 641,3	133,59	0,066 6	67 100*	1,94E-05
490AL1/64ST1A	490,3	63,6	553,8	12+18+24	1+6	3,40	3,40	10,2	30,6	1 852,9	150,81	0,059 0	67 100*	1,94E-05
679AL1/86ST1A	678,6	86,0	764,5	12+18+24	1+6+12	4,00	2,40	12,0	36,0	2 549,7	206,56	0,042 6	69 700*	1,95E-05
758AL1/43ST1A <sup>2)</sup>	758,1	43,1	801,2	12+18+24	1+6	2,90 4,12	2,80	8,40	36,5	2 436,4	17,241	0,038 2	62 300	2,11E-05

1) Hmotnost vodiče s mazaním, stanovená podle přílohy B EN 50182 pro případ mazání (1).

2) Vodič, doporučený pouze pro použití v rozvodnách. Konstrukce vodiče (30+42 AL drátů a 7 ST drátů) není v tabulkách 4 a D.1 EN 50182 uvedena. Pro výpočet přírůstků v důsledku slábní jsou použity sílační poměry, uvedené v tab. D.1 pro vodiče se stejným počtem vrstev AL a ST drátů (72 AL+7 ST drátů, 84 AL+7 ST drátů). Přírůstky v důsledku slábní (doplnění PNE 34 7509 v tab. 4): hmotnost oceli 0,52 %, hmotnost a elektrický odpor hliníku 2,45 %.

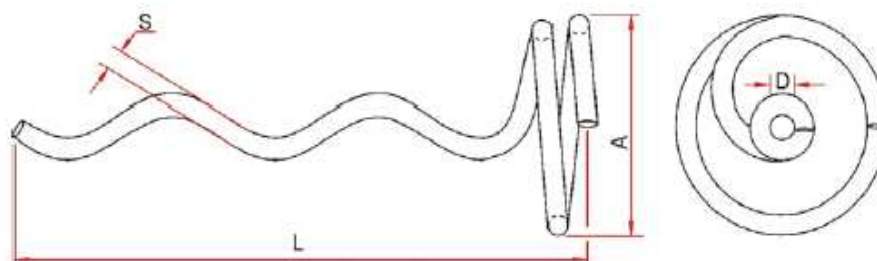
Směr vnitřní vrstvy všech vodičů pravotočivý (Z).

Hodnoty konečného modulu pružnosti, označené \*, jsou typické hodnoty podle IEC/TR 61597 pro danou konstrukci. Ostatní hodnoty modulu pružnosti a tepelného součinitele délkové roztažnosti jsou stanoveny výpočtem podle IEC/TR 61597.



## 14.5 Příloha 5: Katalog výstražné spirály

### B181/10 Bird flight diverters



Order-No.	range D mm	a mm	l mm	s mm	weight appr. kg/ 100 pieces
<b>red dyeing</b>					
ZP111021R	8,00 - 11,19	125	240	12,5	13,0
ZP151026R	11,20 - 15,19	125	260	12,5	14,0
ZP190033R	15,20 - 19,09	125	330	12,5	16,0
ZP230038R	19,10 - 23,00	125	380	12,5	18,0
ZP280053R	23,01 - 28,00	125	530	12,5	24,5
ZP330063R	28,01 - 33,00	125	630	12,5	28,5
<b>grey dyeing</b>					
ZP151026G	11,20 - 15,19	125	260	12,5	14,0
ZP190033G	15,20 - 19,09	125	330	12,5	16,0
ZP230038G	19,10 - 23,00	125	380	12,5	18,0
ZP280053G	23,01 - 28,00	125	530	12,5	24,5
ZP330063G	28,01 - 33,00	125	630	12,5	28,5
<b>white dyeing</b>					
ZP111021W	8,00 - 11,19	125	240	12,5	13,0
ZP151026W	11,20 - 15,19	125	260	12,5	14,0
ZP190033W	15,20 - 19,09	125	330	12,5	16,0
ZP230038W	19,10 - 23,00	125	380	12,5	18,0
ZP280053W	23,01 - 28,00	125	530	12,5	24,5
ZP330063W	28,01 - 33,00	125	630	12,5	28,5
<b>black dyeing</b>					
ZP111021S	8,00 - 11,19	125	240	12,5	13,0
ZP151026S	11,20 - 15,19	125	260	12,5	14,0
ZP190033S	15,20 - 19,09	125	330	12,5	16,0
ZP230038S	19,10 - 23,00	125	380	12,5	18,0
ZP280053S	23,01 - 28,00	125	530	12,5	24,5
ZP330063S	28,01 - 33,00	125	630	12,5	28,5

**Material / finish:**

Plastic / bare

**Application / mounting information:**

Bird flight diverters are used for marking of conductors and cables to prevent bird collisions. These Bird flight diverters can be used at Earth, OPGW and conductor cables up to 110 kV. Easy installation by wrapping the spiral around the rope without any tool.

<https://ribe.de/en/elektroarmaturen/downloads>

## 14.6 Příloha 6: Výkres výstražné spirály

Etikett an Vogelschutz-Spirale angeklebt:  
label affixed on Bird flight diverter

2 M=1:1

1

Ø125

Ø200

rechte Steigung  
clockwise twisted

Beispiel: Bestellnummer für Vogelschutzspirale mit Klemmbereich Ø19,1-23,0 ; Farbe signalrot;  
for example: order-no. for Bird flight diverter with dia range Ø19,1-23,0 ; red colour:

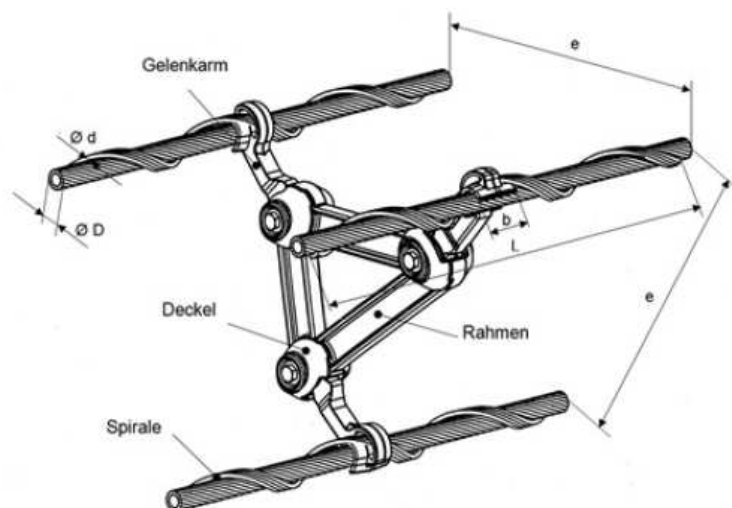
**B181007 A014**

1	2	Etikett / label	-/-	-/-	-/-																														
1	1	Vogelschutz-Spirale / Bird flight div.	B181007-01A...	PVC-Hart; Qualität schlagzähste Tabelle	Farbe																														
Teil	Benennung	Zeichn.-Nr.	Teil	werkstoff	Farbe																														
Stück			Aussf																																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="6">Vogelschutz-Spirale Bird flight diverter</td> </tr> <tr> <td colspan="6">Ring-Ø200 circle dia.200</td> </tr> <tr> <td colspan="6">RIBE-Elektroarmaturen Richard Berger GmbH + Co</td> </tr> <tr> <td colspan="6">91024 Schwabach</td> </tr> <tr> <td colspan="6">Ersatz für B463003</td> </tr> </table>						Vogelschutz-Spirale Bird flight diverter						Ring-Ø200 circle dia.200						RIBE-Elektroarmaturen Richard Berger GmbH + Co						91024 Schwabach						Ersatz für B463003					
Vogelschutz-Spirale Bird flight diverter																																			
Ring-Ø200 circle dia.200																																			
RIBE-Elektroarmaturen Richard Berger GmbH + Co																																			
91024 Schwabach																																			
Ersatz für B463003																																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Farbcode code for colour</td> <td>y</td> <td>Farbe colour</td> <td>1</td> <td>schwarz / black</td> </tr> <tr> <td></td> <td>2</td> <td>weiß / white</td> <td>3</td> <td>grau / grey</td> </tr> <tr> <td></td> <td>4</td> <td>signalrot / red</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>						Farbcode code for colour	y	Farbe colour	1	schwarz / black		2	weiß / white	3	grau / grey		4	signalrot / red																	
Farbcode code for colour	y	Farbe colour	1	schwarz / black																															
	2	weiß / white	3	grau / grey																															
	4	signalrot / red																																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Klemmbereichscode code for dia range</td> <td>xx</td> <td>Klemmbereich dia range</td> <td>Ø19,1-23,0</td> <td>~433</td> </tr> </table>						Klemmbereichscode code for dia range	xx	Klemmbereich dia range	Ø19,1-23,0	~433																									
Klemmbereichscode code for dia range	xx	Klemmbereich dia range	Ø19,1-23,0	~433																															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Bestellnummer order-no.</td> <td colspan="5">B181007 A xx . y</td> </tr> </table>						Bestellnummer order-no.	B181007 A xx . y																												
Bestellnummer order-no.	B181007 A xx . y																																		

<https://ribe.de/en/elektroarmaturen/downloads>

## 14.7 Příloha 7: Katalog distanční rozpěrky

B157/2 Feldabstandhalter selbstdämpfend, mit Spiralbefestigung, mit Silikongummi-Dämpfungselementen, für 3-Seil-Bündelleiter

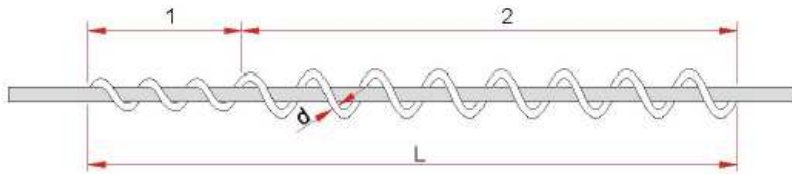


Bestellnummer	Klemmbereich Ø D mm	Spiralen Ø d mm	L mm	b mm	e mm	Masse ca. kg/Stück
B157002A06	18,00 - 19,15	4,55	950	60	400	4,40
B157002A07	19,16 - 20,29		1000			4,50
B157002A08	20,30 - 21,40		1000			4,50
B157002A09	21,41 - 22,60		1050			4,60
B157002A10	22,61 - 23,70		1050			4,60
B157002A11	23,71 - 24,90		1100			4,70
B157002A12	24,91 - 26,09		1100			4,70
B157002A01	26,10 - 27,40		1100			4,70
B157002A02	27,41 - 28,80		1150			4,80
B157002A03	28,81 - 30,10		1200			4,80
B157002A04	30,11 - 31,50		1200			4,90
B157002A05	31,51 - 33,00		1250			4,90
B157002A13	33,01 - 34,50		1350			5,10
B157002A14	34,51 - 36,00		1450			5,30
B157002A15	36,01 - 37,50		1500			5,40
B157002A16	37,51 - 39,00		1550			5,50
B157002A17	39,01 - 40,50		1600			5,60
B157002A18	40,51 - 42,00		1650			5,70
B157008A06	18,00 - 19,15		950			4,50
B157008A07	19,16 - 20,29		1000			4,60
B157008A08	20,30 - 21,40		1000			4,60
B157008A09	21,41 - 22,60		1050			4,70
B157008A10	22,61 - 23,70		1050			4,70

<https://ribe.de/en/elektroarmaturen/downloads>

## 14.8 Příloha 8: Katalog spirálového tlumiče vibrací

### B855/2 Avibra-Schwingungsdämpfer für metallfreie LWL-Luftkabel



1 ..... Befestigungsabschnitt  
2 ..... Dämpfungsabschnitt

RIBE-Bestellnr.	Klemmbereich	d	L	Masse/ Stck
	mm			kg
DB 096 081	8,87 - 9,88	12,5	810	0,2
DB 110 093	9,89 - 11,02	12,5	930	0,2
DB 122 104	11,03 - 12,29	12,5	1040	0,2
DB 137 112	12,30 - 13,70	12,5	1125	0,3
DB 152 119	13,71 - 15,24	12,5	1190	0,3
DB 169 126	15,25 - 16,99	12,5	1265	0,3
DB 169 135	17,00 - 18,94	16,0	1350	0,3
DB 211 138	18,95 - 21,11	16,0	1380	0,3
DB 235 149	21,12 - 23,53	16,0	1490	0,3
DB 262 155	23,54 - 26,22	16,0	1550	0,3

**Werkstoff:**

Spiralstab: Witterungsbeständiger, abriebfester Kunststoff

**Anwendung:**

Avibra-Schwingungsdämpfer haben die Aufgabe, dem metallfreien LWL-Luftkabel einen Teil der eingespeisten Windenergie zu entziehen, damit das Entstehen gefährlicher Luftkabelbeanspruchungen verhindert wird.

Der Avibra-Schwingungsdämpfer ist ein schraubenlinienartig vorgeformter Kunststoffstab. Etwa ein Fünftel seiner Länge ist enger gewickelt als die übrige Länge. Dieser Befestigungsabschnitt verschafft dem Dämpfer einen völlig zuverlässigen Sitz auf dem metallfreien Luftkabel, so daß die Dämpfungsspirale selbst in abschüssigen Streckenabschnitten nicht ins Rutschen kommt. Die übrige Länge des Dämpfers, der sog. Dämpfungsabschnitt, liegt locker auf dem Leiter und bedämpft durch Differenzbewegungen zwischen dem LWL-Luftkabel und Dämpfer und den damit verbundenen Stößen die Luftkabelschwingungen.

**Montage:**

Der Avibra-Schwingungsdämpfer wird zunächst mit seinem engen Befestigungsabschnitt, anschließend mit dem lockeren Dämpfungsabschnitt auf das Seil aufgewunden, und zwar so, daß der Befestigungsabschnitt stets zum Isolator oder Mast zu zeigt, der Dämpfungsabschnitt somit zum freien Feld hin zu liegen kommt.

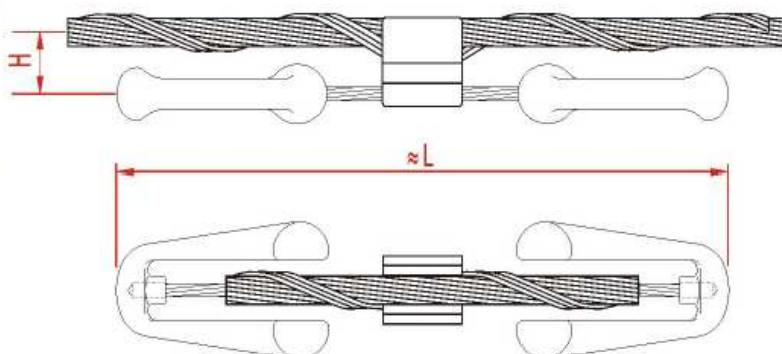
Für die Montage sind keine besonderen Werkzeuge erforderlich.

Der Avibra-Schwingungsdämpfer kann auch nachträglich ohne Schwierigkeiten in jede Leitung eingebaut werden.

Bei der Montage ist die RIBE-Montageanleitung Nr. 17 maßgebend.

## 14.9 Příloha 9: Katalog tlumiče vibrací

### B853/4 Schwingungsdämpfer mit Spiralbefestigung



Mit Dämpferseil Stahl, tzn	RIBE-Bestellnr.		Klemmbereich mm	RIBE-Nr.	Spiralstäbe			H mm	L mm	Typ	Masse/ Stück ≈ kg
	Mit Dämpferseil A2				Länge mm	Ø mm	Anzahl				
B 161 002/1	B 161 002/1 A2		16,50 - 20,20	TW 202 062	620	3,25	3	55,0	465	2 Resonanzen	3,3
B 161 002/2	B 161 002/2 A2		20,21 - 22,60	TW 226 062							
B 161 002/3	B 161 002/3 A2		22,61 - 25,20	TW 252 062							
B 161 002/4	B 161 002/4 A2		25,21 - 28,00	TW 280 062							
B 161 002/5	B 161 002/5 A2		28,01 - 31,00	TW 310 062							
B 161 002/6	B 161 002/6 A2		31,01 - 34,00	TW 340 062							
B 161 002/7	B 161 002/7 A2		34,01 - 37,00	TW 370 062				70,0			

**Werkstoff:**

Dämpfergewicht: Stahl geschmiedet, tzn  
 Klemmkörper: Strangpressprofil  
 Spiralstäbe: Aluminium-ummantelter Stahl

**Hinweis:**

Die Festlegung des Dämpfertyps, der Dämpferklemme sowie die Anzahl der einzubauenden Schwingungsdämpfer erfolgt durch RIBE.

# 14.10 Příloha 10: Výkres letecké výstražné koule

Bestellnummer order-no.  
B133004 A xx . y

Klembereichscode code for dia range	Klembereich dia range ød
01	ø6.5-12.5
02	ø12.5-18.5
03	ø18.5-24.5
04	ø24.5-30.5
05	ø30.5-36.5
06	ø36.5-42.5
07	ø42.5-48.5
08	ø48.5-54.5

Farbcode code for colour	Farbe colour
y	
1	orange (RAL 2004)
2	rot red (RAL 3020)
3	weiß white (RAL 9010)
4	weiß/rot white/red 1/2
5	weiß/orange white/orange 1/2

code 'y'	1	2	3	4	5

Beispiel: Bestellnummer für Flugwarnkugel mit Klembereich ø18.5-24.5, Farbe rot.  
for example: order-no. for Aircraft warning sphere with dia range ø18.5-24.5, red colour:  
**B133004 A03.2**

SW 17  
Kauf.  
M<sub>A</sub> = 25Nmm

Leitersell conductor

Wasserlöcher drain holes

~700

ø600

Schutzspirale alternativ  
ist gesondert zu bestellen  
protection rod  
to be ordered separately)

① Bei eingesetzter Schutzspirale wird für die Ermittlung des Klembereiches auf zum Leiterselldurchmesser 2x der Spiraldraht-ø addiert  
When using a protection rod you have to add twice the helical rod diameter to the conductor diameter to calculate the coupling range

② Anzahl der Befestigungsschrauben kann je nach Ausführung variieren  
Bei Anfrage bzw. Bestellung alle Angaben zu ød, Farbe und evtl. Schutzspirale mitteilen  
For orders / inquiries please indicate Ød, colour and eventually protection rod

Ausführung Stück	Teil	Benennung	Zeichn.-Nr.	Teil-Nr.	Norm-Nr.	Material	Wertstoff	Öberfl.-Behandlung
		Flugwarnkugel Aircraft warning sphere				ABS		
<p><b>Flugwarnkugel Ø600</b></p> <p><b>Aircraft warning sphere Ø600</b></p>								
<p> <small>                 Nach DIN EN ISO 9001:2015                  nach ISO 9001:2015                  nach DIN EN ISO 14001:2015                  nach ISO 14001:2015                  nach DIN EN ISO 45001:2018                  nach ISO 45001:2018                  nach DIN EN ISO 50001:2018                  nach ISO 50001:2018                  nach DIN EN ISO 9001:2015                  nach ISO 9001:2015                  nach DIN EN ISO 14001:2015                  nach ISO 14001:2015                  nach DIN EN ISO 45001:2018                  nach ISO 45001:2018                  nach DIN EN ISO 50001:2018                  nach ISO 50001:2018             </small> </p>								
<p> <small>                 Datum: 22.09.2023                  Gezeichnet: 22.09.2023                  Geprüft: 22.09.2023                  Material: ohne                  Gewicht: 5,2kg             </small> </p>								
<p> <small>                 RIBE-Elektroarmaturen                  Richard Beigler GmbH + Co                  9124 Schwabach                  Datum: Name: Ursprung: KAA00542/B133003; Ersatz: RIB             </small> </p>								
<p> <small>                 Ersatz durch:             </small> </p>								

## 14.11 Příloha 11: Vytvořený výpočet v MS Excel

### 14.11.1 List „Úvod“

Výpočet zatížení vodičů						
Bc. Jiří Kvaček						
Návod k použití						
<p>Karty <b>Spolehlivost</b>, <b>Data lan</b>, <b>NO a VO</b>, <b>Přídavná zatížení</b> jsou informativní. Karta <b>Spolehlivost</b> udává třídy spolehlivosti dle normy ČSN EN 50 341-1 - Elektrická venkovní vedení s napětím nad AC 1 kV - Část 1: Obecné požadavky - Společné specifikace. Jedná se o vstupní data a parametry.</p> <p>Na kartě <b>Data lan</b> je databáze používaných lan s veškerými potřebnými informacemi pro výpočet. Jedná se o vstupní data a parametry.</p> <p>Karta <b>NO a VO</b> reprezentuje námrazové a větrové oblasti, respektive údaje o rychlosti větru a tvorby námrazy. Jedná se o vstupní data a parametry. Karta <b>Přídavná zatížení</b> sumarizuje možná přídavná zatížení, která jsou možná na vodič zavěsit.</p> <p>Na Kartě <b>Spojité zatížení</b> je nutno zadat napěťovou hladinu, vybrat konkrétní lano pro výpočet, a nadále vybrat námrazovou a větrovou oblast, informaci o terénu a spolehlivosti. Dále zadat údaje o podpěrných bodech a rozpětí, respektive nadmořskou výšku, výšku závěsných bodů.</p> <p>Na kartě <b>Diskrétní zatížení</b> je vytvořen výpočet diskrétního zatížení vodičů, je nutno uvést jednotlivá přídavná zatížení spolu se vzdáleností umístění od levého podpěrného bodu. Následně je v grafu vykreslena řetězovka se skutečným průhybem.</p>						

### 14.11.2 List „Spolehlivost“

Uroveň spolehlivosti	$\gamma_w$			$\Psi_w$			$\gamma_l$			$\Psi_l$			$B_l$			$t_{min}$
	110 kV	220 kV	400 kV	110 kV	220 kV	400 kV	110 kV	220 kV	400 kV	110 kV	220 kV	400 kV	110 kV	220 kV	400 kV	
Uroveň spolehlivosti 1	1	1	1	0,25	0,29	0,29	1	1	1	0,35	0,35	0,35	0,656	0,707	0,707	-30
Uroveň spolehlivosti 2	1,2	1,2	1,2	0,25	0,29	0,29	1,25	1,25	1,25	0,35	0,35	0,35	0,656	0,707	0,707	-35
Uroveň spolehlivosti 3	1,4	1,4	1,4	0,25	0,29	0,29	1,5	1,5	1,5	0,35	0,35	0,35	0,656	0,707	0,707	-40

### 14.11.3 List „Data lan“

Název vodiče	Průměr D (mm)	Průřez Fe $S_{Fe}$ (mm <sup>2</sup> )	Průřez Al $S_{Al}$ (mm <sup>2</sup> )	Průřez S (mm <sup>2</sup> )	Hmotnost m (kg/m)	Pevnost RTS (kN)	Modul pružnosti E (Mpa)	Tepl.souč. dél.rozt. a (1/K)	Jm.odpor při 20 °C $R_{DC20}$ (Ω/km)	Proudová zatížitel. $I_{max}$ (A)
122-AL1/20-ST1A	15,5	19,8	121,6	141,4	0,4949	44,50	74200	0,0000189	0,2376	329
119-AL1/42-ST1A	16,5	41,6	118,8	160,4	0,6621	68,79	90000	0,0000167	0,2435	334
122-AL1/71-ST1A	18,0	71,3	122,1	193,4	0,9087	97,92	104700	0,0000153	0,2364	311
183-AL1/43-ST1A	19,5	42,8	183,4	226,2	0,8501	79,97	80500	0,0000179	0,1576	426
184-AL1/30-ST1A	19,0	29,8	183,8	213,6	0,747	65,27	74200	0,0000189	0,1571	421
212-AL1/49-ST1A	21,0	49,5	212,1	261,5	0,9829	91,26	80500	0,0000179	0,1363	469
243-AL1/39-ST1A	21,8	39,5	243,1	282,5	0,988	85,12	74200	0,0000189	0,1188	490
362-AL1/59-ST1A	26,7	59,1	361,9	421,1	1,4739	122,97	74200	0,0000189	0,0798	660
382-AL1/49-ST1A	27,0	49,5	381,7	431,2	1,4523	121,30	67100	0,0000194	0,0758	712
434-AL1/56-ST1A	28,8	56,3	434,3	490,6	1,6524	133,59	67100	0,0000194	0,0666	750
490-AL1/64-ST1A	30,6	63,6	490,3	553,8	1,8655	150,81	67100	0,0000194	0,059	823
679-AL1/86-ST1A	36,0	86	678,6	764,5	2,5686	206,56	69700	0,0000195	0,0426	1023



## 14.11.4 List „NO a VO“

Námrazová oblast	Referenční zatížení námrazou na jednotku délky vodiče IR50 (N/m)			Tloušťka námrazku na měrné tyči (mm)
	Měřicí tyč d = 30 mm	d ≤ 30 mm	d > 30 mm	
I-0	0,50 kg	1,064 + 0,1280 d	3,963 + 0,0314 d	9,958
I-1	1,00 kg	3,175 + 0,2212 d	8,515 + 0,0432 d	16,950
I-2	2,00 kg	8,661 + 0,3653 d	17,530 + 0,0700 d	27,622
I-3	3,00 kg	15,000 + 0,4810 d	25,460 + 0,1320 d	36,112
I-5	5,00 kg	29,000 + 0,6680 d	43,840 + 0,1740 d	49,838
I-8	8,00 kg	51,700 + 0,8930 d	73,890 + 0,1530 d	66,187
I-12	12,00 kg	83,660 + 1,1350 d	107,800 + 0,3300 d	83,867
I-18	18,00 kg	133,530 + 1,4350 d	176,580 + 0,0000 d	105,621

větrová oblast	Základní rychlost větru V <sub>b,0</sub> (m/s)
I	22,5
II	25,0
III	27,5
IV	30,0
V	36,0

Oblast terénu	z <sub>0</sub> (m)	kr
I	0,01	0,169
II	0,05	0,189
III	0,3	0,214
IV	1	0,233

## 14.11.5 List „Přídavná zatížení“

Zařízení	Hmotnost (kg)
-	0
Výstražná letecká značka	6
Výstražný praporek	1
Tlumič vibrací	3
Distanční rozpěrka	3
Mezifázová rozpěrka	5

## 14.11.6 List „Spojité zatížení“

<b>Napěťová hladina</b>													
110 kV													
<b>Podpěrný bod</b>													
Levý A	Nadmožská výška podpěrného bodu										400,00 m		
	Výška konzole nebo držáku zemního lana nad terénem										29,00 m		
	Svislá délka izolátorového závěsu nebo uchycení ZL										5,00 m		
Pravý B	Nadmožská výška podpěrného bodu										410,00 m		
	Výška konzole nebo držáku zemního lana nad terénem										29,00 m		
	Svislá délka izolátorového závěsu nebo uchycení ZL										5,00 m		
<b>Výšky</b>													
Převýšení pravého závěsného bodu nad levým ("+" pravý závěsný bod je výše než levý, "-" pravý závěsný bod je níže než levý)										10,00 m			
Referenční výška										24,00 m			
<b>Délky</b>													
Rozpětí										300,0 m			
<b>Úroveň spolehlivosti</b>													
Úroveň spolehlivosti 1			Gama W = 1,00			Psi W = 0,25			Gama I = 1,00			Psi I = 0,35	
<b>Název vodiče</b>													
Název vodiče		D (mm)	S <sub>Fe</sub> (mm <sup>2</sup> )	S <sub>Al</sub> (mm <sup>2</sup> )	-----	m (kg/m)	RTS (kN)	E (Mpa)	a (1/K)	R <sub>OC20</sub> (Ω/km)	I <sub>max</sub> (A)		
243-AL1/39-ST1A		21,8	39,5	243,1	282,5	0,988	85,12	74200	0,0000189	0,1188	490		
Měrná tíha lana gama (N·cm-3)							0,034308956						
<b>Námrazová oblast</b>													
I-2		IR50 = 8,661 + 0,3653d					IR50 = 16,6245 N/m						
<b>Větrová oblast</b>													
II		V <sub>b,0</sub> = 25,0 m/s											
<b>Oblast terénu</b>													
II		z0 = 0,05 m					kr = 0,189						
<b>Zatížení námrazou</b>													
Součinitel výšky							Neuvažovat		Kh(h) = 1,0000				
Extrémní zatížení námrazou							I50 = 16,6245 N/m						
Tloušťka námrazy							II50 = 23,71 mm						
Přetížení námrazou							zI = 2,715						
<b>Zatížení leteckými výstražnými značkami</b>													
Počet výstražných leteckých značek v rozpětí (spojeno s počtem v diskrétním zatížení)							10						
Zatížení leteckými výstražnými značkami							qIC = 1,9620 N/m						
Přetížení leteckými výstražnými značkami							zC = 1,2024						
<b>Zatížení leteckými výstražnými značkami s námrazou</b>													
Objem letecké výstražné značky							V = 0,113 m3						
Objem letecké výstražné značky s námrazou							V = 0,142 m3						
Hmotnost námrazku na letecké výstražné kouli							m1 = 14,493 kg						
Zatížení výstražnou leteckou značkou s námrazkem							qIC = 4,7393 N/m						
Přetížení námrazkem na leteckých výstražných značkách							zIC = 3,2042						
<b>Zatížení větrem</b>													
Střední rychlost větru							vh(h) = 29,17 m/s						
Střední tlak větru							qh(h) = 531,847 N/m2						
Intenzita turbulence							lv(h) = 0,1620						
Maximální tlak větru							qp(h) = 1 134,9 N/m2						
Měrná délka turbulence							L(h) = 99,56 m						
Součinitel odezvy pozadí							B2 = 0,1812						
Součinitel konstrukce							Gc = 0,6625						
Součinitel aerodynamického odporu vodiče							Cc = 1,00						
Zatížení vodiče větrem							qw = 16,3903 N/m						
Přetížení větrem							zw = 1,965						

Extrémní zatížení námrazou I <sub>r</sub> kombinované s rychlostí větru s vysokou pravděpodobností V <sub>IH</sub>											
Extrémní zatížení námrazou								IT = 16,6245 N/m			
Rychlostí větru s vysokou pravděpodobností								V <sub>IH</sub> (h) = 14,59 m/s			
Střední tlak větru								qh(h) = 132,962 N/m <sup>2</sup>			
Maximální tlak větru								qp(h) = 283,7 N/m <sup>2</sup>			
Ekvivalentní průměr vodiče								D = 69,21 mm			
Součinitel aerodynamického odporu vodiče								C <sub>c</sub> = 1,10			
Zatížení vodiče větrem								q <sub>w</sub> = 14,3107 N/m			
Kombinované přetížení námrazou a větrem								z <sub>lw</sub> = 3,091			
Jmenovité zatížení námrazou I <sub>3</sub> kombinované s rychlostí větru s nízkou pravděpodobností V <sub>IL</sub>											
Jmenovité zatížení námrazou								I <sub>3</sub> = 5,8186 N/m			
Redukční součinitel pro rychlost větru při námraze								BI = 0,656			
Rychlostí větru s nízkou pravděpodobností								V <sub>IL</sub> (h) = 19,14 m/s			
Střední tlak větru								qh(h) = 228,873 N/m <sup>2</sup>			
Maximální tlak větru								qp(h) = 488,4 N/m <sup>2</sup>			
Ekvivalentní průměr vodiče								D = 44,56 mm			
Zatížení vodiče větrem								q <sub>w</sub> = 15,8592 N/m			
Kombinované přetížení námrazou a větrem								z <sub>lw</sub> = 2,289			
Parametry řetězovky zatížené dle výše určených podmínek											
Bod x ve kterém nás zajímá průhyb vodiče (vzdálenost bodu od počátku - x <sub>x</sub> )								0,000			
stav	min tepl.	-5 °C	-5 °C + I	-5 °C + W	-5 °C + IW	-5 °C + IW1	+10 °C	+40 °C	+80 °C	-5 °C + C	-5 °C + IC
t (°C)	-30	-5	-5	-5	-5	-5	10	40	80	-5	-5
I (N/m)	0	0	16,625	0	16,625	5,819	0	0	0	0	1
W (N/m)	0	0	0	16,390	14,311	15,859	0	0	0	0	0
z <sub>0</sub> (-)	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
z <sub>1</sub> (-)	1,000	1,000	2,715	1,965	3,091	2,289	1,000	1,000	1,000	1,202	3,204
T (kN)	48,437	40,000	54,032	47,839	57,054	50,533	35,351	27,396	20,060	41,565	57,956
sigmaH1 (Mpa)	171,457	141,593	191,264	169,340	201,962	178,878	125,137	96,976	71,010	147,132	205,154
C (m)	4997	4127	2053	2512	1905	2278	3647	2827	2070	3566	1866
a <sub>1</sub> (m)	633,113	575,072	436,754	467,389	426,842	451,755	543,088	488,349	437,860	537,695	424,277
x <sub>A</sub> (m)	-16,556	12,464	81,623	66,306	86,579	74,123	28,456	55,826	81,070	31,153	87,861
x <sub>B</sub> (m)	316,556	287,536	218,377	233,694	213,421	225,877	271,544	244,174	218,930	268,847	212,139
x <sub>V</sub> (m)	166,581	137,567	68,438	83,744	63,487	75,932	121,578	94,219	68,990	118,882	62,206
t <sub>A</sub> (kN)	48,437	40,000	54,075	47,855	57,113	50,560	35,352	27,401	20,076	41,566	58,020
t <sub>B</sub> (kN)	48,534	40,097	54,338	48,046	57,413	50,782	35,449	27,498	20,173	41,683	58,331
f <sub>max</sub> (m)	10,029	10,021	11,625	10,877	11,970	11,208	10,113	10,553	11,590	10,138	12,071
f <sub>vid</sub> (m)	2,253	2,729	5,486	4,483	5,914	4,944	3,088	3,984	5,442	3,158	6,036
f <sub>x</sub> (m)	10,029	10,021	11,625	10,877	11,970	11,208	10,113	10,553	11,590	10,138	12,071
y <sub>B</sub> (m)	5007,472	4137,017	2064,766	2523,200	1916,565	2289,177	3657,457	2837,112	2081,297	3576,611	1878,237
y <sub>V</sub> (m)	5000,219	4129,289	2054,282	2513,719	1905,653	2279,235	3649,371	2828,129	2070,858	3568,455	1867,204
y <sub>x</sub> (m)	4997,442	4126,996	2053,141	2512,323	1904,595	2277,969	3647,344	2826,559	2069,708	3566,473	1866,167
h <sub>v</sub> (m)	4,999	4,999	4,998	4,998	4,998	4,998	4,999	4,999	4,998	4,999	4,998
l <sub>0A</sub> (m)	-16,556	12,464	81,644	66,313	86,609	74,136	28,456	55,829	81,091	31,153	87,894
l <sub>0B</sub> (m)	316,768	287,769	218,789	234,032	213,868	226,248	271,795	244,478	219,338	269,102	212,596
l <sub>celk</sub> (m)	300,212	300,233	300,433	300,345	300,477	300,383	300,251	300,307	300,429	300,255	300,490
sigmaVA (MPa)	-0,568	0,428	7,606	4,470	9,184	5,822	0,976	1,915	2,782	1,285	9,662
sigmaVB (MPa)	10,868	9,873	20,382	15,775	22,678	17,766	9,325	8,388	7,525	11,102	23,371
sigmaA (Mpa)	171,458	141,594	191,415	169,399	202,171	178,972	125,140	96,995	71,064	147,137	205,381
sigmaB (Mpa)	171,801	141,937	192,347	170,074	203,232	179,758	125,484	97,338	71,407	147,550	206,481
fmax(sourmerné)	2,251	2,726	5,482	4,479	5,910	4,940	3,085	3,981	5,438	3,155	6,032

t ... uvažovaná teplota

I ... zatížení námrazou

W ... zatížení větrem

z<sub>0</sub> ... počáteční přetížení

z<sub>1</sub> ... uvažované přetížení

T ... tah

sigmaH1 ... mechanické napětí

C ... parametr řetězovky

a<sub>1</sub> ... ideální rozpětí

x<sub>A</sub> ... vzdálenost dolu od bodu A

x<sub>B</sub> ... vzdálenost dolu od bodu B

x<sub>V</sub> ... vzdálenost dolu od bodu viditelného průhybu

t<sub>A</sub> ... tah v bodě A

t<sub>B</sub> ... tah v bodě B

f<sub>max</sub> ... maximální průhyb

f<sub>vid</sub> ... viditelný průhyb

f<sub>x</sub> ... průhyb v bodě x

y<sub>a</sub> ... souřadnice y bodu A

y<sub>v</sub> ... souřadnice y bodu viditelného průhybu

y<sub>x</sub> ... souřadnice y bodu průhybu v x

h<sub>v</sub> ... výškový rozdíl v bodě viditelného průhybu

l<sub>0A</sub> ... délka lana od bodu a k dolu

l<sub>0B</sub> ... délka lana od bodu B k dolu

l<sub>celk</sub> ... celková délka lana

sigmaVA ... vertikální složka mech. napětí v bodě A

sigmaVB ... vertikální složka mech. napětí v bodě B

x ... vzdálenost bodu od počátku

## 14.11.7 List „Diskrétní zatížení“

Napěťová hladina											
110 kV											
Podpěrný bod											
Levý A	Nadmořská výška podpěrného bodu										400,00 m
	Výška konzole nebo držáku zemního lana nad terénem										29,00 m
	Svislá délka izolátorového závěsu nebo uchcení ZL										5,00 m
Pravý B	Nadmořská výška podpěrného bodu										410,00 m
	Výška konzole nebo držáku zemního lana nad terénem										29,00 m
	Svislá délka izolátorového závěsu nebo uchcení ZL										5,00 m
Výšky											
Převýšení pravého závěsného bodu nad levým ("+" pravý závěsný bod je výše než levý, "-" pravý závěsný bod je níže než										10,00 m	
Referenční výška										24,00 m	
Délky											
Rozpětí										300,0 m	
Lano											
Název vodiče	D (mm)	$S_{Fe}$ (mm <sup>2</sup> )	$S_{Al}$ (mm <sup>2</sup> )	S (mm <sup>2</sup> )	m (kg/m)	RTS (kN)	E (Mpa)	a (1/K)	$R_{DC20}$ (Ω/km)	$I_{max}$ (A)	
243-AL1/39-ST1A	21,8	39,5	243,1	282,5	0,988	85,12	74200	1,89E-05	0,1188	490	
Stav spojitého zatížení 1											
-5 °C										40000	
c (m)										4126,995918	
$z_1$ (-)										1	
fmax (souměrné) (m)										2,726253853	
Stav spojitého zatížení 2											
-5 °C + I										54032,15111	
c (m)										2053,141341	
$z_1$ (-)										2,715235218	
fmax (souměrné) (m)										5,481846111	

Diskrétní závaží			
Číslo závaží	Označení závaží	Vzdálenost od levého PB (m)	Hmotnost závaží (kg)
1	Výstražná letecká značka	30,000	6,000
2	Výstražná letecká značka	60,000	6,000
3	Výstražná letecká značka	90,000	6,000
4	Výstražná letecká značka	120,000	6,000
5	Výstražná letecká značka	150,000	6,000
6	-		0,000
7	-		0,000
8	-		0,000
9	-		0,000
10	-		0,000
11	-		0,000
12	-		0,000
13	-		0,000
14	-		0,000
15	-		0,000
1	Výstražná letecká značka	30,000	23,102
2	Výstražná letecká značka	60,000	23,102
3	Výstražná letecká značka	90,000	23,102
4	Výstražná letecká značka	120,000	23,102
5	Výstražná letecká značka	150,000	23,102
6	-	0,000	0,000
7	-	0,000	0,000
8	-	0,000	0,000
9	-	0,000	0,000
10	-	0,000	0,000
11	-	0,000	0,000
12	-	0,000	0,000
13	-	0,000	0,000
14	-	0,000	0,000
15	-	0,000	0,000
Diskrétní závaží			
Koeficient k (souměrné pole)		1,012919043	
Koeficient k (nesouměrné pole)		0,996225342	
Koeficient k (souměrné pole) s námrazou		1,046072797	
Koeficient k (nesouměrné pole) s námrazou		0,985059396	
Úhel mezi podpěrnými body		1,909152433	

## Počítány jednotlivé momenty (zobrazeno 10 zatížení a 30 bodů z 500)

Pořadí	Poč.č. záv	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Vzdáleno	30,000	60,000	90,000	120,000	150,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Hmotnos	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	c	1589,22	2825,28	3708,18	4237,92	4414,5	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0,6	31,7844	28,2528	24,7212	21,1896	17,658	0	0	0	0	0
2	1,2	63,5688	56,5056	49,4424	42,3792	35,316	0	0	0	0	0
3	1,8	95,3532	84,7584	74,1636	63,5688	52,974	0	0	0	0	0
4	2,4	127,1376	113,0112	98,8848	84,7584	70,632	0	0	0	0	0
5	3	158,922	141,264	123,606	105,948	88,29	0	0	0	0	0
6	3,6	190,7064	169,5168	148,3272	127,1376	105,948	0	0	0	0	0
7	4,2	222,4908	197,7696	173,0484	148,3272	123,606	0	0	0	0	0
8	4,8	254,2752	226,0224	197,7696	169,5168	141,264	0	0	0	0	0
9	5,4	286,0596	254,2752	222,4908	190,7064	158,922	0	0	0	0	0
10	6	317,844	282,528	247,212	211,896	176,58	0	0	0	0	0
11	6,6	349,6284	310,7808	271,9332	233,0856	194,238	0	0	0	0	0
12	7,2	381,4128	339,0336	296,6544	254,2752	211,896	0	0	0	0	0
13	7,8	413,1972	367,2864	321,3756	275,4648	229,554	0	0	0	0	0
14	8,4	444,9816	395,5392	346,0968	296,6544	247,212	0	0	0	0	0
15	9	476,766	423,792	370,818	317,844	264,87	0	0	0	0	0
16	9,6	508,5504	452,0448	395,5392	339,0336	282,528	0	0	0	0	0
17	10,2	540,3348	480,2976	420,2604	360,2232	300,186	0	0	0	0	0
18	10,8	572,1192	508,5504	444,9816	381,4128	317,844	0	0	0	0	0
19	11,4	603,9036	536,8032	469,7028	402,6024	335,502	0	0	0	0	0
20	12	635,688	565,056	494,424	423,792	353,16	0	0	0	0	0
21	12,6	667,4724	593,3088	519,1452	444,9816	370,818	0	0	0	0	0
22	13,2	699,2568	621,5616	543,8664	466,1712	388,476	0	0	0	0	0
23	13,8	731,0412	649,8144	568,5876	487,3608	406,134	0	0	0	0	0
24	14,4	762,8256	678,0672	593,3088	508,5504	423,792	0	0	0	0	0
25	15	794,61	706,32	618,03	529,74	441,45	0	0	0	0	0
26	15,6	826,3944	734,5728	642,7512	550,9296	459,108	0	0	0	0	0
27	16,2	858,1788	762,8256	667,4724	572,1192	476,766	0	0	0	0	0
28	16,8	889,9632	791,0784	692,1936	593,3088	494,424	0	0	0	0	0
29	17,4	921,7476	819,3312	716,9148	614,4984	512,082	0	0	0	0	0
30	18	953,532	847,584	741,636	635,688	529,74	0	0	0	0	0

## 14.12 Příloha 12: Výpočet mechanického namáhání

```
' Newton-Rhapsonova metoda - metoda tečen
'
' Pomocné funkce pro výpočet stavové funkce
' Vstupní proměnné: X [MPa] - aktuální namáhání
'
'           K1 [-] - konstanta členu s třetí mocninou
'           K2 [-] - konstanta členu s druhou mocninou
'           K3 [-] - konstanta členu s první mocninou
'           K4 [-] - konstanta členu s nultou mocninou
'
Function ResY(X As Single, K1 As Single, K2 As Single, K3 As Single, K4 As Single) As Single
ResY = K1 * X ^ 3 + K2 * X ^ 2 + K3 * X + K4
End Function

Function ResDY(X As Single, K1 As Single, K2 As Single, K3 As Single, K4 As Single) As Single
ResDY = 3 * K1 * X ^ 2 + 2 * K2 * X + K3
End Function

' Řešení stavové rovnice pomocí Newtonovy metody
'
'           E      [MPa] - modul pružnosti vodiče
'           Gama   [-] - měrná tíha l m vodiče
'           Alfa   [1/°C] - součinitel délkové roztažnosti vodiče
'           SigmaH0 [MPa] - namáhání v původním stavu
'           t0     [°C] - teplota v původním stavu
'           z0     [-] - přetížení v původním stavu
'           t1     [°C] - teplota v novém stavu
'           z1     [-] - přetížení v novém stavu
'           A      [m] - rozpětí
Function ResSigmaH1(E As Single, Gama As Single, Alfa As Single, SigmaH0 As Single, t0 As Single, _
z0 As Single, t1 As Single, z1 As Single, A As Single) As Single
Dim Vys As Single
Dim X As Single
Dim K1 As Single
Dim K2 As Single
Dim K3 As Single
Dim K4 As Single

'Výpočet konstant K1, K2, K3, K4
K1 = 1
K2 = Gama ^ 2 * E / 24 * (A * z0 / SigmaH0) ^ 2 + Alfa * E * (t1 - t0) * 0.000001 - SigmaH0
K3 = 0
K4 = -(Gama ^ 2 * E / 24 * (A * z1) ^ 2)

'Počáteční podmínky
X = 0
Vys = Worksheets("Spojitě zatížení").Range("Rozpeti").Value

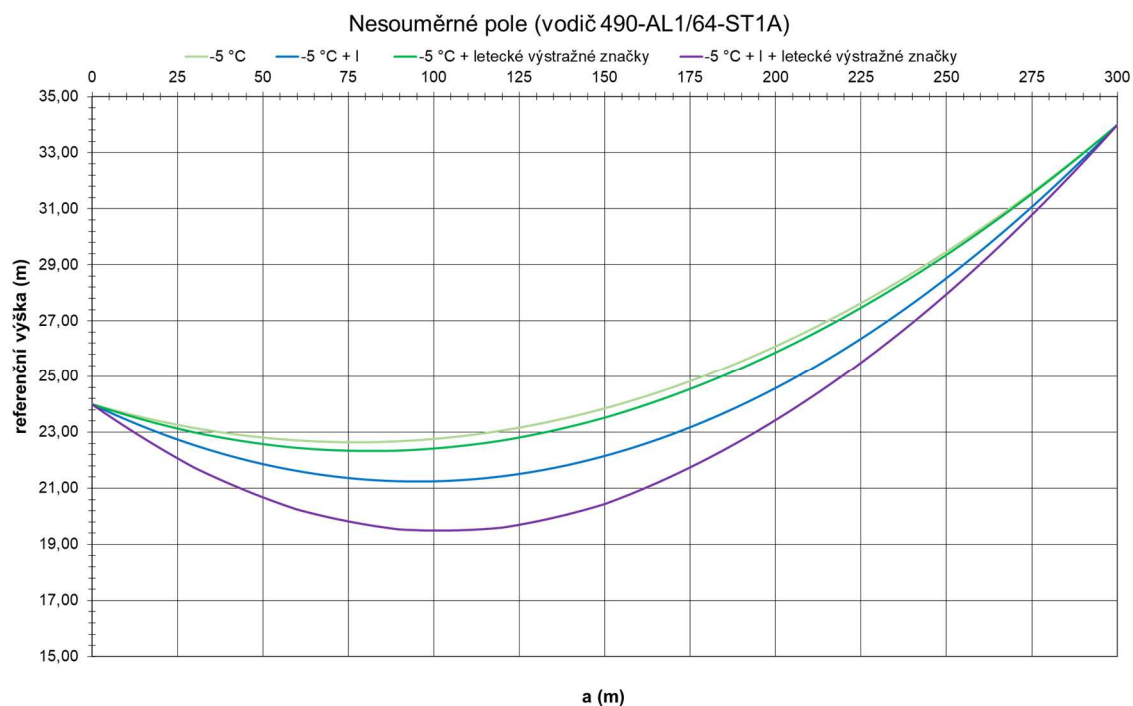
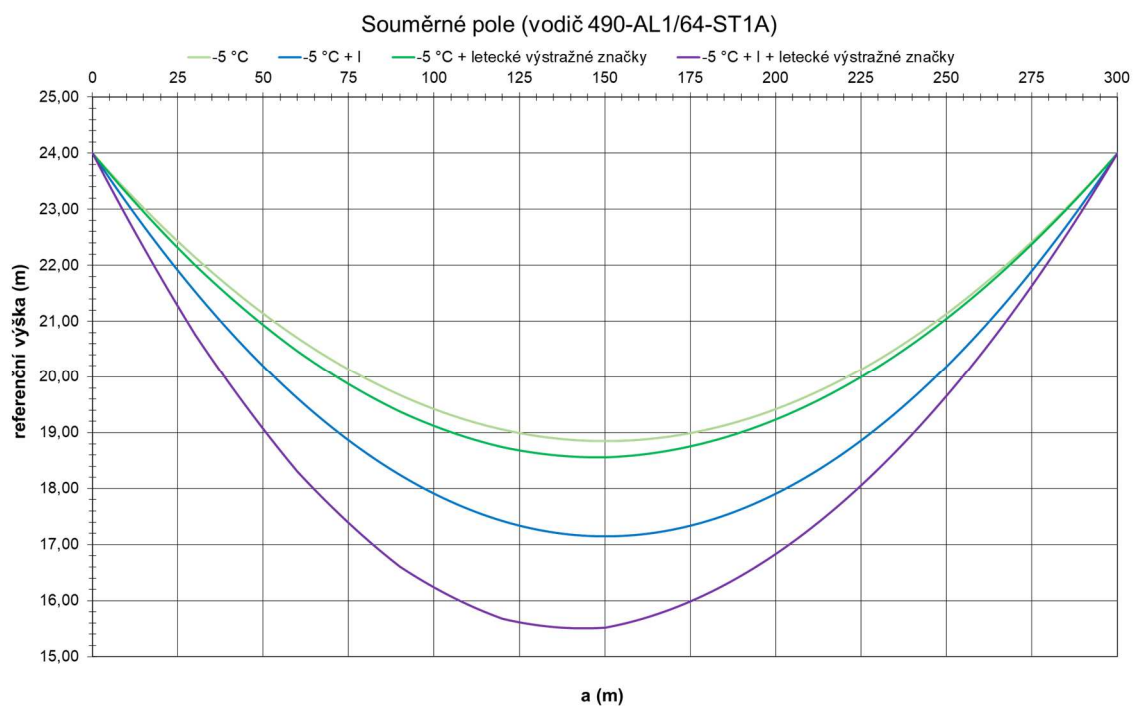
' Iterační cyklus pro chybu menší než 1 Pa
While Abs(X - Vys) > 0.000001
    X = Vys
    Vys = X - ResY(X, K1, K2, K3, K4) / ResDY(X, K1, K2, K3, K4)
Wend

ResSigmaH1 = Vys
End Function
```

## 14.13 Příloha 13: Průhybové křivky

Průhybové křivky pro vodič 490-AL1/64-ST1A a zatížení leteckými výstražnými značkami (stav  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $-5\text{ }^{\circ}\text{C} + I$ )

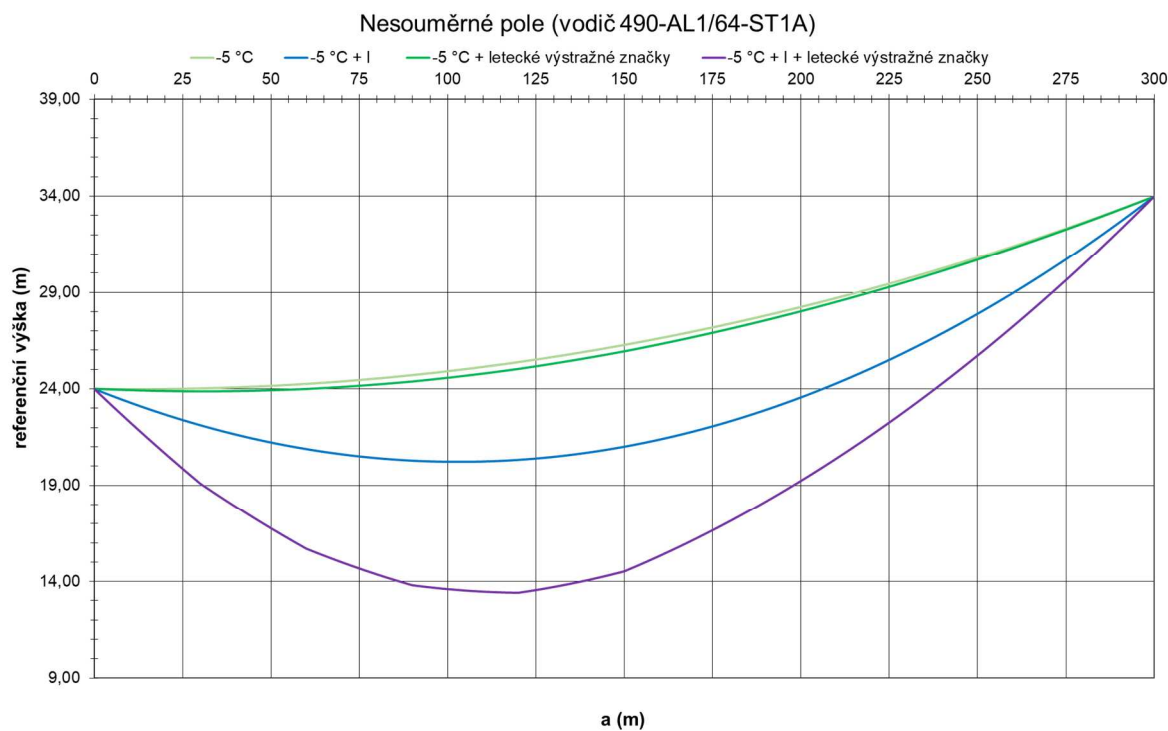
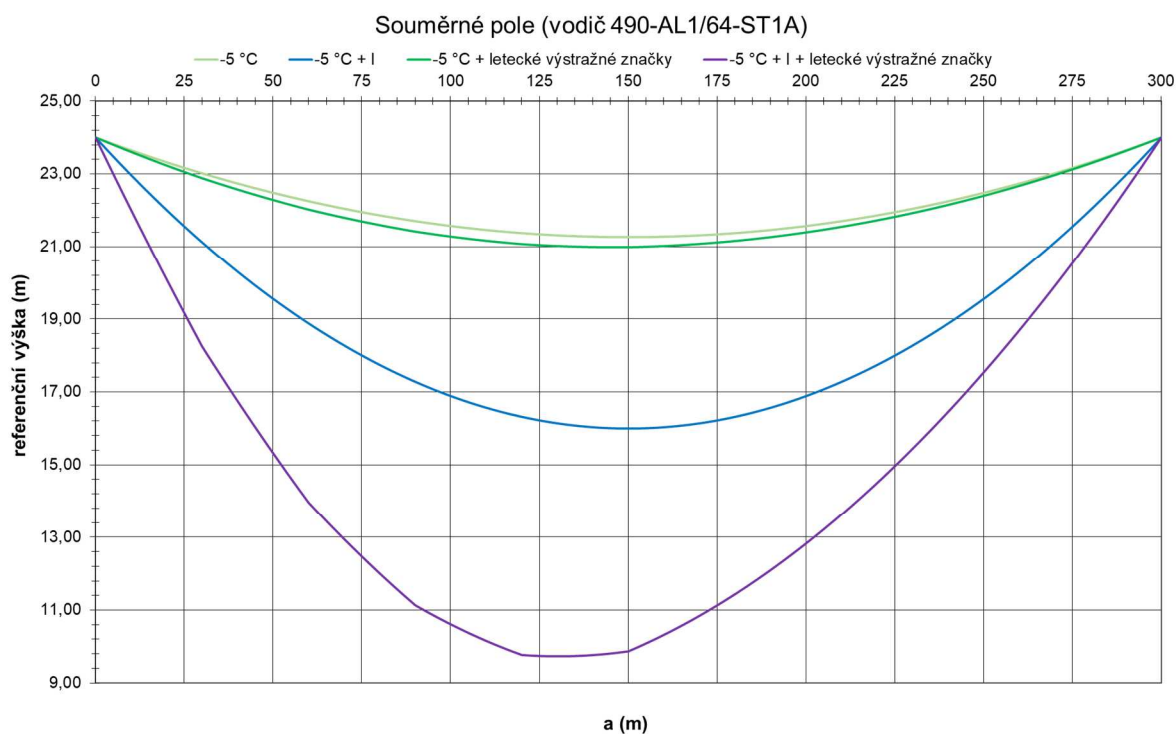
-námrazová oblast I-2, větrová oblast II a oblast terénu 2





Průhybové křivky pro vodič 490-AL1/64-ST1A a zatížení leteckými výstražnými značkami (stav -5 °C a -5 °C + I)

-námrazová oblast I-5, větrová oblast II a oblast terénu 2



Průhybové křivky pro vodič 490-AL1/64-ST1A (stav -5 °C a 80 °C)

- větrová oblast II a oblast terénu 2

