

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Návrh nového elektrického rozvodu v lokalitě Stanovice
pro budoucí plánovanou výstavbu**

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Miroslav POVOLNÝ**
Osobní číslo: **E14N0027K**
Studijní program: **N2644 Aplikovaná elektrotechnika**
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**
Název tématu: **Návrh nového elektrického rozvodu v lokalitě Stanovice pro budoucí plánovanou výstavbu**
Zadávající katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

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

Diplomová práce "Návrh nového elektrického rozvodu v lokalitě Stanovice pro budoucí plánovanou výstavbu" bude zaměřena na tyto body:

1. Dle plánované výstavby a rezervovaného výkonu navrhnete distribuční transformační stanici včetně jejího připojení do rozvodu nn pro danou oblast.
2. Nadimenzujte navrhovaný rozvod z hlediska povolených úbytků napětí, zkratových poměrů, provedení uložení kabelů a oteplení.
3. Upravte a proveďte návrh připojení nové distribuční transformační stanice pomocí přípojky venkovního vedení, kterou nadimenzujte z hlediska působení mechanických a povětrnostních vlivů a proveďte výpočty různých variant silového působení na venkovní vedení, včetně provedení variant různých typů vodičů.
4. U distribuční transformační stanice vyřešte způsob uzemění, konstrukční provedení a návrh uspořádání.

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


- 1. Skripta k předmětu Teorie přenosu a rozvodu elektrické energie**
- 2. Přednášky a podklady k předmětu "Rozvody a sítě nn"**
- 3. Internetové podklady**
- 4. Vhodnou literaturu dle uvážení a pokynů udá konzultant**

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Lucie Noháčová, Ph.D.**
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce: **15. října 2015**
Termín odevzdání diplomové práce: **16. května 2016**


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




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

V Plzni dne 15. října 2015

Abstrakt

Diplomová práce je zaměřena na návrh připojení na elektrickou energii nové lokality pro výstavbu rodinných domů ve Stanovicích na základě rezervovaného příkonu, od napojení na soustavu vysokého napětí 22 kV pomocí vzdušné přípojky, přes transformační stanici a kabelové rozvody nízkého napětí ukončené v pojistkových skříních jednotlivých odběratelů. Práce je rozdělena na část zahrnující informace, nezbytné teoretické výpočty a přehledy pro správný návrh součástí vzdušného vedení vysokého napětí, samotné transformační stanice a kabelových rozvodů nízkého napětí. V části praktické je potom na základě teoretických poznatků proveden konečný návrh napájení.

Klíčová slova

kabelové vedení, námraza, podpěrný bod, průhyb vodiče, řetězovka, transformační stanice

Abstract

The thesis is focused on the design of an electricity connection of a new locality intended for the construction of family houses in Stanovice. The proposal is worked out on the basis of the reserved power describing the connection to the 22 kV high voltage grid by using the airy connector, the transformer station and cable low voltage wiring terminated in the fuse cupboards of individual consumers.

The thesis is divided into two parts. The theoretical part comprises information, necessary calculations and reviews for the correct proposal of components of the aerial high voltage lines, the substations themselves and cable distribution of low voltage. Pursuant to the theoretical knowledge the final proposal of power supply is carried out in the practical part of the thesis.

Keywords

cable power line, frost, supporting construction, conductor sag, catenary, substation

Prohlášení

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

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího práce a konzultanta s vyžitím odborné literatury a ostatních zdrojů, které jsou všechny uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Dále prohlašuji, že jsem neporušil autorská práva třetích osob a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných důsledků.



.....

podpis

V Plzni dne 20. 4. 2016

Miroslav Povolný

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucí diplomové práce doc. Ing. Lucii Noháčové, Ph.D. za cenné rady a připomínky k mé práci.

Obsah

1	Úvod.....	11
	Seznam obrázků	12
	Seznam tabulek	13
	Seznam symbolů a zkratk	14
2	Základní zásady pro navrhování venkovních vedení vn	18
2.1	Spolehlivost venkovních vedení.....	18
2.2	Mezní stavy.....	19
2.3	Zatížení	19
3	Klimatické vlivy.....	20
3.1	Reliéf	20
3.2	Teplota.....	22
3.3	Námraza.....	23
3.4	Rychlost větru.....	24
3.5	Bouřky	26
4	Podpěrné body venkovního vedení	27
4.1	Základní požadavky a druhy stožárů	27
4.2	Složky zatížení a jejich kombinace	28
4.2.1	Svislé složky zatížení	28
4.2.2	Vodorovné složky zatížení	29
4.2.3	Kombinované zatížení větrem a námrazou	31
4.3	Výslednice pro dimenzování podpěrných bodů	33
5	Vodiče venkovních vedení.....	36
5.1	Postup výpočtu montážních tabulek	36
5.2	Holé vodiče (AlFe lana)	36
5.3	Jednoduché izolované vodiče	37
5.4	Závěsné kabely	37

6	Mechanika zavěšených vodičů.....	38
6.1	Souměrná rozpětí.....	39
6.1.1	Souměrná řetězovka.....	39
6.1.2	Souměrná parabola.....	42
6.2	Nesouměrná rozpětí.....	43
6.2.1	Řetězovka.....	43
6.2.2	Parabola.....	44
6.3	Stavová rovnice.....	45
6.3.1	Řešení stavové rovnice.....	46
7	Stanovení mezifázových vzdáleností vodičů v rozpětí.....	47
8	Transformační stanice.....	48
8.1	Instalovaný výkon transformátoru.....	49
8.2	Úbytek napětí na transformátoru.....	49
9	Dimenzování vodičů.....	51
9.1	Dimenzování podle přípustného oteplení.....	51
9.2	Dimenzování s ohledem na hospodárnost.....	55
9.3	Dimenzování podle dovoleného úbytku napětí.....	56
9.4	Dimenzování na mechanické namáhání.....	58
9.5	Dimenzování na účinky zkratových proudů.....	58
9.6	Dimenzování na správnou funkci ochran.....	63
10	Uzemňování.....	64
11	Řešení případové studie v oblasti Stanovice.....	65
11.1	Návrh přípojky vysokého napětí.....	66
11.1.1	Úbytek napětí na vedení vn.....	66
11.1.2	Kontrola na tepelné účinky zkratových proudů.....	67
11.1.3	Návrh podpěrných bodů.....	68
11.1.4	Kontrola mezifázových vzdáleností.....	73

11.2	Návrh transformátoru	74
11.2.1	Instalovaný výkon transformátoru	74
11.2.2	Úbytek napětí na transformátoru.....	74
11.3	Kontrola kabelového vedení nn	75
11.3.1	Volba průřezu kabelu podle oteplení	75
11.3.2	Kontrola úbytku napětí.....	75
11.3.3	Kontrola na tepelné účinky zkratových proudů	77
11.3.4	Jištění kabelů	78
11.4	Návrh uzemnění.....	79
11.4.1	Výpočet uzemnění stožárové transformační stanice	79
11.4.2	Výpočet uzemnění spínacího prvku na betonovém sloupu.....	81
11.4.3	Výpočet uzemnění kabelových rozvodů nízkého napětí.....	82
	Závěr.....	83
	Seznam literatury a informačních zdrojů	85
	Seznam příloh.....	87

1 Úvod

Venkovní a kabelová vedení představují dopravní cesty pro přenos a distribuci elektrické energie. Venkovní vedení pak tvoří základ rozvodů v České republice na především vyšších hladinách napětí zásobující velké odběratele. Základními prvky těchto vedení jsou podpěrné body, konzoly a armatury, izolační prvky, vodiče a také rozpojovací prvky, ochranná zařízení a uzemnění. Naopak zemní kabelová vedení na nižších hladinách napětí zabezpečující dodávku elektrické energie pro střední a malé odběratele jsou řešena kabely uloženými v zemi, které propojují kabelové pojistkové skříně s možností koncového připojení odběratelů.

Jsou oblasti, ve kterých je z různých důvodů potřeba nejen rozšíření elektrických rozvodů, ale i nutnost budovat nová vedení. Roste zájem o výstavbu rodinných domů, pro které obce umožňují ve svých územních plánech připravovat nové lokality. S tím právě vyvstává požadavek na jejich připojení na zdroj elektrické energie.

Při samotném návrhu je pak nutné zohlednit řadu parametrů, aby byly rozvody bezpečné a odolávaly mechanickým i elektrickým namáháním a zároveň, aby byla výstavba a údržba těchto sítí finančně únosná a měla co nejmenší dopady na životní prostředí a ráz krajiny.

Z těchto důvodů není projektování rozvodů jednoduchou záležitostí a je nutné řídit se nejen zákony, bezpečnostními předpisy a technickými normami, ale i dlouholetými zkušenostmi.

Seznam obrázků

Obr. 3-1: Mírně zvlněný terén - převzato z [4]	21
Obr. 3-2: Návětrné svahy - převzato z [4].....	21
Obr. 3-3: Kopcovitý terén, vrcholy a hřebeny pohoří - převzato z [4]	21
Obr. 3-4: Prostor s maximálními turbulencemi za terénní překážkou - převzato z [4].....	22
Obr. 6-1: Náhrada průhybové křivky vodičů parabolou - převzato z [4].....	38
Obr. 6-2: Náhrada průhybové křivky vodičů řetězovkou - převzato z [4].....	38
Obr. 6-3: Souměrná řetězovka - převzato z [4].....	39
Obr. 6-4: Souměrná parabola - převzato z [4].....	42
Obr. 6-5: Nesouměrná řetězovka - převzato z [4].....	43
Obr. 6-6: Nesouměrná parabola - převzato z [4].....	45
Obr. 7-1: Úhel mezi vodiči - převzato z [4]	47
Obr. 9-1: Specifická hustota proudu v závislosti na době plných ztrát - převzato z [10]	56
Obr. 9-2: Základní druhy zkratů - převzato z [12]	60
Obr. 9-3: Zkrat elektricky vzdálený - převzato z [13].....	60
Obr. 9-4: Zkrat elektricky blízký - převzato z [13].....	61

Seznam tabulek

Tab. 2-1: Úrovně spolehlivosti [3]	18
Tab. 3-1: Referenční zatížení námrazou I_R (N/m) [2]	23
Tab. 3-2: Hodnoty referenční rychlosti větru V_R [3]	24
Tab. 3-3: Součinitele terénu, třecí síly a poměr mezi V_R a V_{RK} [3]	25
Tab. 4-1: Hodnoty pro výpočet zatížení vodičů větrem v terénu II. [6]	31
Tab. 4-2: Hodnoty pro výpočet zatížení vodičů větrem v terénu III. [6]	31
Tab. 4-3: Hodnoty součinitele aerodynamického odporu C_{pol} [3]	33
Tab. 4-4: Dílčí součinitele zatížení pro mezní stavy [3]	35
Tab. 5-1: Základní parametry používaných holých vodičů pro venkovní vedení vn. [7]	36
Tab. 5-2: Základní parametry používaných jednožilových izolovaných vodičů vn. [7]	37
Tab. 5-3: Základní parametry používaných závěsných kabelů vedení vn. [7]	37
Tab. 9-1: Dovolené provozní a max. teploty vybraných vodičů dle izolace [9]	53
Tab. 9-2: Způsoby uložení vodičů - převzato z [9]	54
Tab. 9-3: Přepočítací součinitele pro různé měrné tepelné odpory půdy [9]	54
Tab. 9-4: Informativní hodnoty měrného tepelného odporu půdy [9]	54
Tab. 9-5: Napěťový součinitel c pro výpočet zkratových proudů [14]	62
Tab. 9-6: Hodnoty k a Z_k pro různé druhy zkratů [14]	62

Seznam symbolů a zkratek

a (m)	délka rozpětí
a_i (m)	ideální délka rozpětí mezi závěsnými body
A_{pol} (-)	účinná plocha dřívku sloupu
a_v (m)	vzdálenost mezi vodiči
b_{emp} (m)	minimální vzdálenost dvou vodičů nebo svazků v polovině rozpětí
c (-)	parametr řetězovky, napěťový součinitel
C_c (-)	součinitel aerodynamického odporu vodiče
c_{emp} (-)	konstanta pro kontrolu vnitřních vzdáleností - udává se $c_{emp} = 0,6$
$\cos \varphi$	účinník
\cosh	hyperbolický kosinus
C_{pol} (-)	součinitel aerodynamického odporu
D (mm)	průměr omrzlého vodiče
d (mm)	průměr vodiče
D_{pp} (m)	nejkratší vzdálenost pro uspořádání vodič - vodič
E (MPa)	modul pružnosti vodiče
f (m)	průhyb vodiče
F (N)	síla působící mezi dvěma vodiči
f_p (m)	maximální průhyb vodiče v rozpětí
F_{VA}, F_{VB} (N)	svislé síly v závěrečných bodech
g (m/s ²)	gravitační zrychlení, měrná tíha vodiče
G_c (-)	součinitel rozpětí
G_{pol} (-)	dynamický součinitel
G_q (-)	poryvový součinitel
h (m)	převýšení mezi závěsnými body
I_a (A)	proud zajišťující automatické působení jistícího prvku
I_d (N/m)	návrhové zatížení námrazou na jednotku délky vodiče
I_{d1}, I_{d2} (N/m)	zatížení námrazou na jednotku délky vodičů v přilehlých rozpětích
I_K (N/m)	charakteristické zatížení námrazou na jednotku délky vodiče
I_k'' (A)	počáteční rázový zkratový proud
I_{max} (A)	maximální odebíraný proud
I_N (A)	jmenovitý proud vodiče
I_R (N/m)	referenční zatížení námrazou

I_{th} (A)	ekvivalentní oteplovací proud
I_v (A)	výpočtový proud při dimenzování vedení
I_Z (A)	maximální zatěžovací proud
J (A/mm ²)	hospodárná hustota proudu
K (-)	koeficient pro dimenzování na tepelné účinky zkratových proudů
k (-)	součinitel závislý na materiálu jádra vodiče a na izolaci (viz. ČSN 34 1610)
k (-)	součinitel pro různé druhy zkratů
k_1, k_2, \dots, k_i (-)	přepočítávací součinitelé proudové zatížitelnosti
k_e (-)	součinitel k výpočtu nárazového zkratového proudu
k_{emp} (-)	součinitel závislý na tůze vodiče a vzájemné poloze obou vodičů
K_h (-)	součinitel výšky pro zatížení námrazou
k_T (-)	součinitel terénu
L (m)	délka rozpětí
l (m)	délka vodiče v rozpětí
L_{ins} (m)	svislá délka nosného izolátorového závěsu, která se může vychýlit
L_{W1}, L_{W2} (m)	délky váhového rozpětí přilehlých rozpětí
m_p (kg/m)	hmotnost přídatného zatížení na 1 m vodiče
m_v (kg/m)	hmotnost 1 m vodiče
$NO - NK$	námrazová oblast
nn	nízké napětí (napěťová hladina)
P (N)	zaručená pevnost vodiče
P_0 (W)	výkon přenášený po vedení
P_i (W)	výkon instalovaného spotřebiče
P_v (W), S_v (VA)	výpočtové zatížení
Q (J)	teplo vyvinuté ve vodiči
q_h (Pa)	dynamický tlak větru pro výšku vodiče rovnou výšce závěsného bodu
q_{ht} (Pa)	dynamický tlak větru pro kombinaci zatížení
Q_I (N)	svislá síla vyvozená námrazou na každém vodiči
Q_{wc} (N)	síla větru na vodič v jednom rozpětí
Q_{wci} (N)	síla větru na omrzlý vodič v jednom rozpětí
R (Ω/m)	elektrický odpor vodiče na jednotku délky
R_p (K.m/W)	měrný tepelný odpor půdy
S (mm ²)	průřez vodiče

S_h (mm^2)	hospodárný průřez vodiče
\sinh	hyperbolický sinus
S_k'' (VA)	počáteční rázový zkratový výkon
S_{nT} (VA)	jmenovitý výkon transformátoru
S_T (VA)	instalovaný výkon transformátoru
t ($^{\circ}C$)	teplota vodiče
T (rok)	doba návratu klimatických zatížení
t_k (s)	doba trvání zkratového proudu
t_r (-)	jmenovitý převod transformátoru
T_R ($J^1.K.s$)	tepelný odpor mezi vodičem a okolím
U_0 (V)	velikosti napětí proti zemi
U_f (V)	fázové napětí sítě
u_k (%)	napětí nakrátko transformátoru
u_L (%)	poměrná indukční složka napětí nakrátko transformátoru
U_n (V)	jmenovité napětí v místě zkratu
u_R (%)	poměrná činná složka napětí nakrátko transformátoru
U_s (V)	sdužené napětí sítě
$U_{výp}$ (V)	výpočtové napětí (napětí ekvivalentního zdroje) v místě zkratu
V_h ($m.s^{-1}$)	rychlost větru ve výšce h nad zemí
vn	vysoké napětí (napěťová hladina)
V_R ($m.s^{-1}$)	referenční rychlost ve výšce 10 m pro kategorii terénu II
V_{RK} ($m.s^{-1}$)	referenční rychlost větru pro jiné kategorie terénu
vvn	velmi vysoké napětí (napěťová hladina)
X (Ω)	reaktance (indukční a kapacitní)
z (-)	přetížení vodiče
z_0 (m)	třecí výška
Z_k (Ω)	celková impedance obvodu k místu zkratu
$Z_{k(0)}$ (Ω)	netočivá složka impedance
$Z_{k(1)}$ (Ω)	sousledná složka impedance
Z_S (Ω)	impedance poruchové smyčky
α ($m/^{\circ}C$)	koeficient teplotní roztažnosti
β ($^{\circ}$)	úhel mezi směrem větru a podélnou osou vodiče
β_N (-)	součinitel náročnosti dané skupiny spotřebičů

γ ($N/m.mm^2$)	měrná tíha vodiče
γ_M (-)	dílčí součinitel zatížení pro izolátory
γ_I (-)	koeficient využití transformátoru
γ_W, γ_I (-)	korekční dílčí součinitelé zatížení pro zatěžovací stavy mimo referenční
δ ($^\circ$)	úhel vodorov. roviny a průseč. os obou vodičů s rovinou kolmo na vedení
ΔP_k (W)	ztráty nakrátko transformátoru
ΔU (%)	úbytek napětí na vedení
Δu (%)	úbytek napětí
$\Delta \vartheta_m$ ($^\circ C$)	maximální dovolené oteplení vodiče
ϑ ($^\circ C$)	množství tepla vyvinutého ve vodiči
ϑ_0 ($^\circ C$)	základní teplota okolního prostředí
ϑ_m ($^\circ C$)	maximální dovolené oteplení vodiče
π (-)	Ludolfovo číslo
ρ (kg/m^3)	hustota vzduchu
ρ_I (kg/m^3)	hustota námrazy ve formě těžké jinovatky
ρ_v ($\Omega.mm^2/m$)	rezistivita (měrný odpor) vodiče
σ_A, σ_B (MPa)	celkové namáhání v závěsném bodu
σ_H (MPa)	vodorovná složka namáhání
σ_{VA}, σ_{VB} (MPa)	svislé namáhání v závěrečných bodech
τ_z (hod/rok)	doba plných ztrát
γ_I (-)	dílčí součinitel zatížení námrazou
γ_W (-)	dílčí součinitel zatížení větrem
Ψ_W (-)	součinitel kombinace $\Psi_W = 0,25$

2 Základní zásady pro navrhování venkovních vedení vn

Jedním ze způsobů přenosu elektrické energie vysokého napětí slouží energetické zařízení, které se nazývá venkovní vedení vn. Základními prvky jsou podpěrné body včetně jejich základů dále konzoly a armatury, izolační prvky a vodiče. Nedílnou součástí jsou také rozpojovací prvky, zařízení pro ochranu a uzemnění.

Tato vedení tvoří základní síť distribučního rozvodu, která propojuje vzájemně transformovny vvn/vn, napájí místní kabelové sítě vn a jednotlivé distribuční nebo odběratelské transformační stanice vn/nn.[1]

Z hlediska důležitosti a účelu se část vedení vn, jenž řeším v této diplomové práci, označuje jako přípojka. Jedná se o vedení odbočující z vedení vyššího řádu, které končí v jedné transformační stanici. Není tedy možné v případě poruchy zajistit náhradní napájení.[1]

2.1 Spolehlivost venkovních vedení

Podle základních požadavků se venkovní vedení musí navrhovat tak, aby především sloužilo svému účelu s přijatelnou úrovní spolehlivosti. Musí být odolné proti šíření poruchy, a aby nebylo příčinou ohrožení života nebo majetku. V neposlední řadě musí být přijatelné z hlediska vzhledu a životního prostředí.[2]

Abych tedy mohl navrhnout venkovní vedení, musím splnit na něj požadované nároky. Vycházím z následující tabulky 2.1 obsažené v podnikové normě energetiky pro rozvod elektrické energie. V ní jsou uvedeny úrovně spolehlivosti v závislosti na době návratu T (roky) klimatických zatížení, jejichž volba zohledňuje například důležitost odběru, bezpečnost a přítomnost souběžné infrastruktury.[3]

Tab. 2-1: Úrovně spolehlivosti [3]

Úroveň spolehlivosti	Doba návratu T klimatických zatížení (roky)
0	20
1	50
2	150
3	500

Jako referenční podle doporučení normy stanovují úroveň spolehlivosti 1. Vyšší nebo nižší úroveň je vnímána jako relativní k referenční úrovni. Všechna navrhovaná vedení však musí splňovat minimálně úroveň 0, pokud se nejedná o dočasné stavby, či provizorní přeložky.[3]

2.2 Mezní stavy

Jak jsem již uvedl, musí venkovní vedení splnit dané podmínky. Ty jsou limitovány mezními stavy, po jejichž překročení již venkovní vedení nesplňuje stanovené požadavky. Pro potřeby návrhu vedení se tedy rozlišují mezní stavy únosnosti a mezní stavy použitelnosti.

Zkroucení, nebo jiné konstrukční poruchy, které jsou způsobeny nadměrným přetvořením, ztrátou stability, přetržením, vybočením apod., jsou spjaty s mezními stavy únosnosti. Do této skupiny patří i stavy poškození předcházející zhroucení konstrukcí.

Mezní stavy použitelnosti jsou spojeny s danými podmínkami, které pokud jsou překročeny, již venkovní vedení nesplňuje požadované vlastnosti. Jedná se hlavně o mechanickou funkčnost podpěrných bodů, jejich základů, vodičů, ostatní výzbroje a elektrických vzdáleností. Hlavními projevy překročení mezních stavů použitelnosti jsou deformace a posuny, mající vliv na vzhled podpěrného bodu a elektrické vzdálenosti. Dále poškození, která mají vliv na funkčnost a trvanlivost součástí venkovních vedení.[2;3]

2.3 Zatížení

Zatížení působící na prvky venkovních vedení rozdělím podle odezvy nebo charakteru na:

- statická zatížení
- dynamická zatížení

Rozdělení jednotlivých druhů zatížení dále uvádím v kapitole 4. „Podpěrné body venkovního vedení“.

3 Klimatické vlivy

Při návrhu venkovní vedení musím jako první zohlednit účinky klimatických vlivů. Jsou totiž jedním z hlavních faktorů ovlivňující jak výslednou cenu, bezpečnost, ale i spolehlivost provozu vedení. Jako základ pro stanovení klimatických poměrů se využívají dlouhodobá meteorologická pozorování, s přihlédnutím k místním zkušenostem z provozu již provozovaných zařízení.[4]

Jako nejdůležitější podklady pro správný návrh venkovního vedení jsou:

- 1) tvar terénu v trase vedení a v jeho okolí
- 2) maximální a minimální teplota vzduchu,
- 3) uvažovaná velikost námrazy
- 4) maximální uvažovaná rychlost větru
- 5) bouřková činnost

3.1 Reliéf

Reliéf působí svým tvarem na elektrická vedení, která jsou umístěna v terénu. Bezprostředně i v jeho okolí ovlivňuje jejich požadavky svým tvarem. Tvar terénu totiž ovlivňuje obtékání přízemní vrstvy a tím vytváří oblasti se zvýšenými účinky větru nebo námrazy. Pokud se nemohu těmto nepříznivým vlivům vyhnout, nezbyvá mi než s těmito zhoršenými podmínkami počítat.

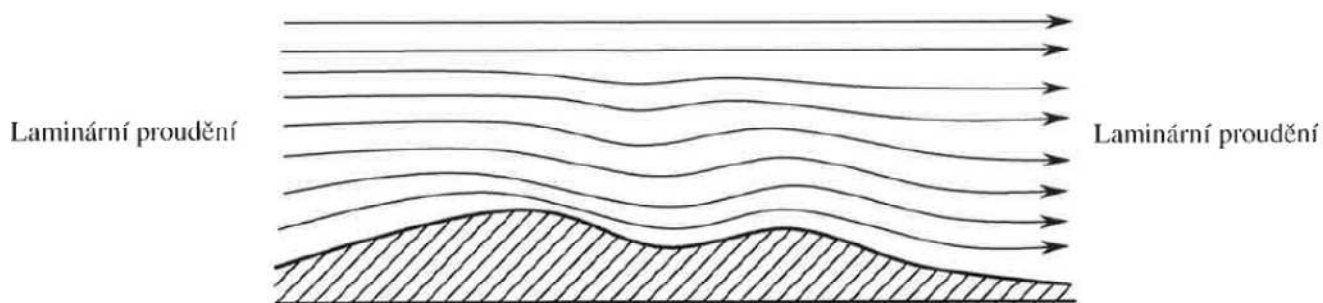
Členění na určité typy terénu, které uvádím z normy, je rozděleno do pěti tříd takto:

- I. Rovná plochá krajina bez překážek, velké vodní plochy
- II. Zemědělské plochy s rozptýlenou zástavbou a porosty
- III. Předměstské a průmyslové plochy a trvale zalesněná území
- IV. Městské oblasti s plochou alespoň 15 % pokrytou objekty s průměrnou výškou >15 m
- V. Hornatý a více členitý terén

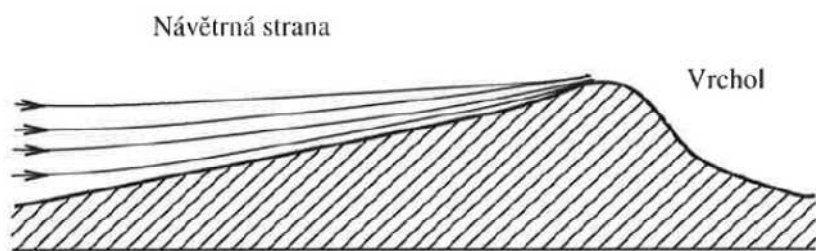
Na našem území se doporučuje používat kategorie terénu II. a III.

Mezi nepříznivá místa lze považovat především vrcholy kopců, hřebeny pohoří, terénní zlomy, táhlé návětrné svahy, ústí hlubokých údolí, prostory za kopci nebo hřebeny pohoří. Za hřebeny mohou vznikat turbulence větru. Dynamický účinek větru pak roste směrem od hřebenu. Přibližně v devítinásobku relativního převýšení dosáhne maxima. Při narůstající vzdálenosti tento účinek klesá a doznívá.[4]

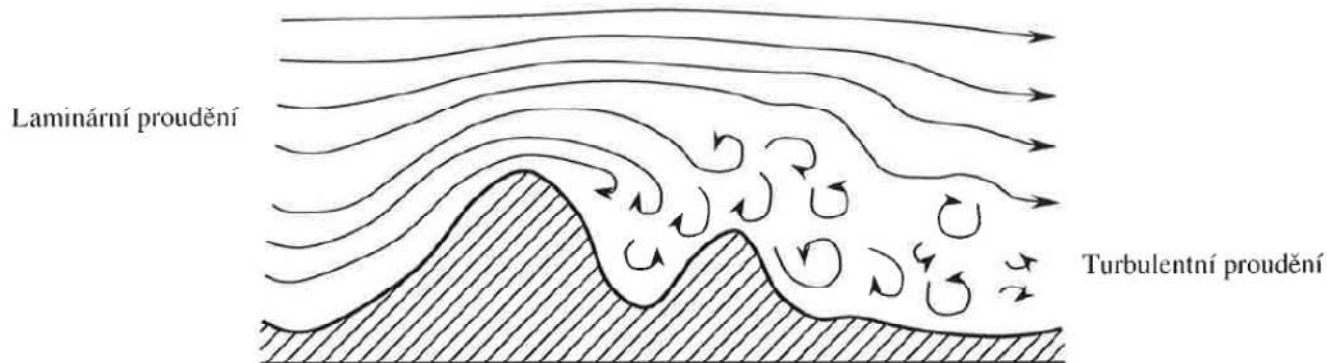
Pokud je to tedy možné, měl bych volit trasu vedení tak, abych co nejvíce využil krytí terénem v místech relativního klidu (obr. 3.4), porosty a dalšími trvalými objekty. To však většinou není možné, z důvodu již předem stanoveného místa odběru. Na následujících obrázcích představuji možné typy terénu krajiny přicházející v úvahu při výstavbě venkovních vedení.



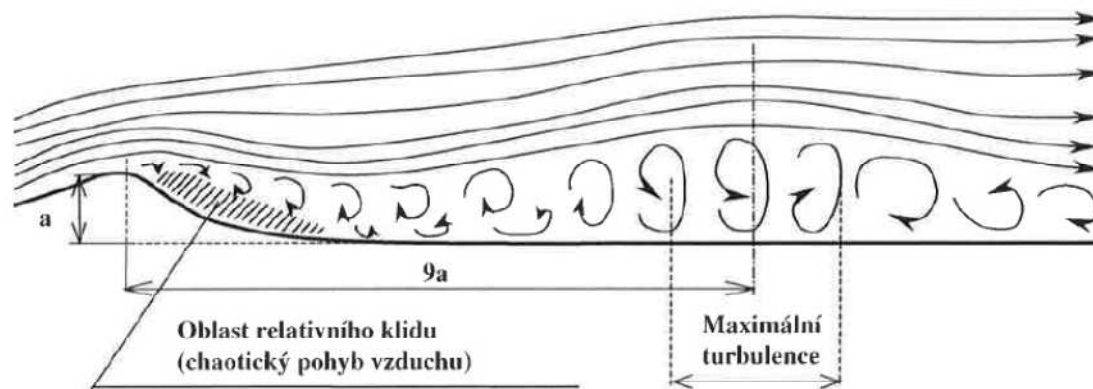
Obr. 3-1: Mírně zvlněný terén - převzato z [4]



Obr. 3-2: Návětrné svahy - převzato z [4]



Obr. 3-3: Kopcovitý terén, vrcholy a hřebeny pohoří - převzato z [4]



Obr. 3-4: Prostor s maximálními turbulencemi za terénní překážkou - převzato z [4]

3.2 Teplota

Dalším významným vlivem je teplota. Opět na základě dlouhodobých meteorologických měření zde uvažuji tyto základní hodnoty teplot okolí:

- minimální teplota okolí -30°C
- maximální teplota okolí 40°C

Při navrhování venkovního vedení musím pro každý vodič v kotevním úseku uvést vodorovnou složku tahu nebo mechanického napětí při tzv. referenční teplotě bez přídavných zatížení například větrem nebo námrazou. Tuto hodnotu jsem převzal z normy [2] - je stanovena na -5°C .

Minimální hodnoty teplot při návrhu venkovního vedení musím uvažovat s ohledem na úroveň spolehlivosti (viz. Tabulka 2.1) bez působení ostatních klimatických vlivů. Pro mezní stav únosnosti a použitelnosti je předepsána teplota -30°C stejně tak pro úroveň spolehlivosti 0 a 1. Uvažované teploty pro úroveň spolehlivosti 2 a 3 jsou -35°C a -40°C .

Při uvažování ostatních klimatických vlivů, jako je zatížení větrem, námrazou a při jejich kombinaci se uvažuje teplota -5° .

Při návrhu krátkých úseků se pro nejvyšší návrhovou teplotu fázových vodičů a teplotu vodičů při zatížení větrem uvažuje teplota 40°C , pro vodiče při zatížení námrazou a v kombinaci s větrem -5°C . Nejnižší teplota uvažovaná při výpočtech nejkratších vzdáleností má hodnotu -30°C .

Pro výpočet nejkratších vzdáleností budu podle normy [3] uvažovat i teplotu 40°C pro nejvyšší návrhovou teplotu fázových vodičů a teplotu vodičů při zatížení větrem.

3.3 Námraza

S dalším významným vlivem pro návrh venkovního vedení, se kterým musím počítat, je námraza. Jedná se o meteorologický jev, při kterém dochází k největšímu namáhání venkovního vedení. Vyskytuje se v přírodě v několika podobách:

- jinovatka
- vnitrooblačná námraza
- srážková námraza

Jinovatka se při projektování venkovních vedení jejím zatížením neuvažuje, neboť nezpůsobuje značné zatížení. Srážková oblačnost se vyskytuje v podobě mrznoucího deště (900 kg/m^3) a mokrého nebo suchého deště [5]. Při stanovování zatížení námrazou vycházím z námrazy z oblačnosti ve formě těžké jinovatky s hustotou $\rho_I = 500 \text{ kg/m}^3$. [1]

Zavádí se referenční zatížení námrazou I_R (N/m) ve výšce 10 m nad zemí na jednotce délky vodiče s dobou návratu $T = 50$ let. Tyto hodnoty pro příslušné námrazové mezooblasti uvádím v tabulce 3.1.

Mapa námrazových mezooblastí N0 až NK na území České republiky je zpracována v měřítku 1:1 000 000 a je součástí informativní přílohy ČSN EN 50 341-3-19 a přikládám ji přílohou této práce. Jednotlivé distribuční společnosti disponují podrobnějšími mapami, které pro ně zpracovává EGÚ Brno, a.s. [6]

Tab. 3-1: Referenční zatížení námrazou I_R (N/m) [2]

Námrazová oblast	Referenční zatížení námrazou I_R (N/m) na jednotku délky vodiče o průměru d (mm)	
	$d \leq 30 \text{ mm}$	$d > 30 \text{ mm}$
N0	$1,298 + 0,1562 d$	$5,267 + 0,0239 d$
N1	$3,873 + 0,2698 d$	$10,566 + 0,0467 d$
N2	$10,566 + 0,4457 d$	$21,423 + 0,0838 d$
N3	$18,305 + 0,5866 d$	$33,032 + 0,0957 d$
N5	$35,376 + 0,8155 d$	$55,569 + 0,1424 d$
N8	$63,077 + 1,0890 d$	$90,254 + 0,1831 d$
N12	$102,063 + 1,3852 d$	143,619
N18	$162,924 + 1,7501 d$	215,427
NK	stanoví se individuálně případ od případu	

3.4 Rychlost větru

Mezi poslední významný vliv působící na vzdušná vedení uvádím zatížení větrem. Účinky větru jsou považovány za nahodilé zatížení. Vycházím z podnikové normy [3], kde se uvažuje hodnota referenční rychlosti větru V_R pro výšku 10 m nad zemí a kategorii terénu II. Přehledně tyto hodnoty vycházející z výše zmiňované normy uvádím v následující tabulce 3-2. Nadmořská výška je již zahrnuta právě v hodnotě referenční rychlosti větru V_R .

Tab. 3-2: Hodnoty referenční rychlosti větru V_R [3]

Větrová oblast	Označení oblasti	Referenční rychlost V_R (m.s ⁻¹)
I.	bílá	22,5
II.	světle hnědá	25,0
III.	tmavě hnědá	27,5
IV.	růžová	30,0
V.	červená	36,0

Pro hodnoty referenční rychlosti větru V_{RK} a jiné kategorie terénu použiji vztah:

$$V_{RK} = k_T \cdot \ln \frac{10}{z_0} \cdot V_R \quad (1)$$

k_T ... součinitel terénu (-)

z_0 ... třecí výška (m)

V_R ... referenční rychlost ve výšce 10 m pro kategorii terénu II.

Tab. 3-3: Součinitele terénu, třecí síly a poměr mezi V_R a V_{RK} [3]

Kategorie terénu	Charakteristika terénu	k_T	z_0	V_{RK}/V_R
I.	Rovná plochá krajina bez překážek, velké vodní plochy	0,17	0,01	1,17
II.	Zemědělské plochy s rozptýlenou zástavbou a porosty	0,19	0,05	1,00
III.	Předměstské a průmyslové plochy a trvale zalesněná území	0,22	0,30	0,77
IV.	Městské oblasti s plochou alespoň 15 % pokrytou objekty s průměrnou výškou >15 m	0,24	1,00	0,55
V.	Hornatý a více členitý terén	nutno hodnotit individuálně		

Pokud potřebuji určit hodnotu rychlosti větru V_h ve výšce vyšší než 10 m nad zemí, získám ji ze vztahu:

$$V_{RK} = k_T \cdot \ln \frac{h}{z_0} \cdot V_R \quad (2)$$

h ... výška nad zemí (m)

U prvků s výškou závěsného bodu (výškou podpěrného bodu) do 20 m nad zemí se z hlediska výškové závislosti zavádí zjednodušení a uvažují se hodnoty rychlosti větru, které platí pro výšku 10 m. Z toho vyplývá že $V_h = V_R$.

V případě, že budu uvažovat prvky s výškou od 20 m do 40 m nad zemí, se uvažuje hodnota rychlosti větru V_h platná pro výšku 30 m.[3]

Dynamický tlak větru q_h ve výšce h , se kterým musím počítat při uvažování tlaku větru na vedení, se stanovuje podle vztahu:

$$q_h = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_h^2 \quad (3)$$

$\rho \dots$ hustota vzduchu $1,25 \text{ kg/m}^3$ nezávisle na teplotě, nadmořské výšce a atmosférickém tlaku vzduchu

$V_h \dots$ rychlost větru v m/s ve výšce h nad zemí

3.5 Bouřky

Jako okrajový vliv mající vliv na venkovní vedení jsou bouřky. K poškození některých částí vedení nebo připojených zařízení může dojít vlivem atmosférických přepětí. Z hlediska projektování se jedná pouze o vhodné rozmístění ochran proti přepětí. Především pokud použijí izolované vodiče. Avšak zvýšené mechanické zatížení již neberu v úvahu.

4 Podpěrné body venkovního vedení

Mezi podpěrné body venkovních vedení mohou zahrnout betonové sloupy, dřevěné sloupy, ocelové příhradové stožáry a ocelové plechové sloupy. U venkovních vedení nízkého napětí ještě přibývají střešníky a zední konzoly umístěné přímo na stavebních objektech. Všechny tyto prvky se budují za účelem umístění vodičů. K podpěrným bodům nadzemního vedení bych měl přiřadit také konstrukce stožárových distribučních transformačních stanic, objekty zděných stanic a transformoven, portály transformoven vvn/vn a budovy připojených objektů. A podle způsobu použití podpěrných bodů je musím navrhnout na působící zatížení.[4]

V současnosti se nejčastěji pro venkovní vedení vysokého napětí používají sloupy z předpjatého betonu [18]. V těžko přístupných místech pro mechanizaci, v chráněných oblastech nebo přírodních rezervacích se používají sloupy dřevěné. Při budování vícenásobných vedení, pro velká namáhání a větší výšky vodičů nad terénem se využívají příhradové ocelové stožáry.

4.1 Základní požadavky a druhy stožárů

Zatížení, se kterými musím pro vybraný stožár počítat a sloup jim odolávat, se rozdělují na zatížení stálá a nahodilá. Ke stálým zatížením patří:

- vlastní tíha stožáru, ocelové výbroje a tíha všech ostatních součástí vedení (izolátory, vodiče, apod.)
- u kotvených stožárů tahy kotevních lan (v současnosti se trvalé kotvení podpěrných bodů při navrhování vedení v rámci metodiky distribuční společnosti neprovádí)

Za nahodilá zatížení lze považovat krátkodobá a mimořádná zatížení, která jsou vyvolána především klimatickými a montážními vlivy na vedení. Mezi krátkodobá zatížení například mohou uvést:

- montážní zatížení při stavbě nebo rekonstrukci
- tíhu pracovníka s náradím
- tíhu námrazku na vodičích
- výslednici tahů omrzlých i neomrzlých vodičů

Přetržení jednoho vodiče, který vyvolá největší namáhání, se uvažuje jako mimořádné zatížení.[6]

Z hlediska účelu použití vycházející z normy [6] předkládám rozdělení podpěrných bodů na:

N	-	nosné
V	-	výztužné
R	-	rohové
O	-	odbočné
Ko	-	koncové

Z podpěrným bodů, které slouží více účelům, mohu jmenovat např.:

KN	-	křížovatkové nosné
KV	-	křížovatkové výztužné
RV	-	rohové výztužné
OV	-	odbočné výztužné
KRV	-	křížovatkové rohové výztužné

Popis funkce jednotlivých podpěrných bodů vzdušného vedení je uveden v příslušné normě.

4.2 Složky zatížení a jejich kombinace

Zatížení, jenž působí na stožáry, lze rozdělit do tří složek. Tíha stožáru, výzbroje, vodičů a námrazy, nebo jiné přídavné zatížení působící ve svislém směru. Ve vodorovné rovině pak působí složky vyvolané tlakem větru a tahy vodičů ať již ve směru trasy vedení, nebo kolmo na jeho trasu. Předpokladem je u neporušených stožárů působení všech sil v jeho ose. Co se týká účinků tlaku větru, tak je uvažuji v polovině jeho výšky. Síly způsobené vodiči ve výšce jejich závěsů, neboť jmenovitá únosnost je výrobcem uvedena právě v hlavě stožáru.

4.2.1 Svislé složky zatížení

Mezi svislé složky zatížení patří i montážní zatížení. Pokud je vhodným opatřením nekompensuji, je třeba s ním počítat. Jeho velikost stanovuje dodavatel vedení.[6]

Dále musím počítat s tíhou námrazku. Charakteristické zatížení námrazou na jednotku délky vodiče I_K (N/m) ve výšce h nad zemí určím ze vztahu:

$$I_K = K_h \cdot I_R \quad (4)$$

I_R ... referenční zatížení námrazou podle tabulky 3.1 (kapitola 3.3)

K_h ... součinitel výšky pro zatížení námrazou (-)

Pro výšky závěsného bodu do 20 m nad zemí je $K_h = 1$. Pro vyšší výšky závěsného bodu je součinitel K_h závislý na námrazové oblasti:

Pro oblasti N0 až N3 $\rightarrow K_h = 1,09$

Pro oblasti N5 až NK $\rightarrow K_h = 1,19$

Návrhové zatížení námrazou na jednotku délky vodiče I_d (N/m) určím vztahem:

$$I_d = I_K \cdot \gamma_I \quad (5)$$

I_K ... charakteristické zatížení námrazou (N/m)

γ_I ... dílčí součinitel zatížení námrazou závislý na úrovni spolehlivosti (-)

($\gamma_I = 0,8$ - úroveň 0, $\gamma_I = 1,0$ - úroveň 1, $\gamma_I = 1,25$ - úroveň 2, $\gamma_I = 1,5$ - úroveň 3)

Velikost námrazy obou přilehlých rozpětí a tím i velikost zatížení námrazou není stejná. Svislé zatížení námrazou působící na každém vodiči na podpěrný bod Q_I (N) tedy vypočtu jako součet příspěvků z obou přilehlých polí vztahem:

$$Q_I = I_{d1} \cdot L_{W1} + I_{d2} \cdot L_{W2} \quad (6)$$

I_{d1} a I_{d2} ... zatížení námrazou na jednotku délky vodičů (N/m) v přilehlých rozpětích

L_{W1} a L_{W2} ... délky váhového rozpětí přilehlých rozpětí (m) v rovinatém terénu do 30°
uvažují poloviny přilehlých rozpětí

4.2.2 Vodorovné složky zatížení

Výslednici vodorovného zatížení stanovím vektorovým součtem vodorovných složek tahů omrzlých nebo neomrzlých vodičů a tlakem větru na stožár a omrzlé nebo neomrzlé vodiče. Síla větru působící na ostatní prvky vedení (izolátory, konzoly atd.) se běžně neuvažuje. Výsledné zatížení tahů vodičů pak definuji pomocí stavové rovnice nebo z montážních tabulek.

Na každý podpěrný bod, ohraničující rozpětí, působí polovina síly působící příčně na směr vedení, která je vyvolána tlakem větru na vodiče. Směr síly je vodorovný a kolmý na rozpětí.

Potom velikost síly na jeden vodič Q_{wc} (N) v jednom rozpětí získám ze vztahu [3]:

$$Q_{wc} = q_h \cdot G_q \cdot G_c \cdot d \cdot C_c \cdot L \cdot \sin^2 \beta \quad (7)$$

$q_h \dots$	dynamický tlak větru pro výšku vodiče rovnou výšce závěsného bodu (Pa)
$G_q \dots$	poryvový součinitel (-)
$G_c \dots$	součinitel rozpětí (-)
$L \dots$	délka rozpětí (m)
$C_c \dots$	součinitel aerodynamického odporu vodiče (-)
	$C_c = 1,0$ - pro vodiče o průměru $d > 16$ mm
	$C_c = 1,1$ - pro vodiče o průměru $12,5 < d < 16$ mm
	$C_c = 1,2$ - pro vodiče o průměru $d < 12,5$
	$C_c = 1,1$ - pro všechny průměry omrzlých vodičů
$d \dots$	průměr vodiče (m)
$\beta \dots$	úhel mezi směrem větru a podélnou osou vodiče ($^\circ$)

Na samotný podpěrný bod působí síla větru podle vztahu [3]:

$$Q_{Wpol} = q_h \cdot G_q \cdot G_{pol} \cdot C_{pol} \cdot A_{pol} \quad (8)$$

$q_h \dots$	dynamický tlak větru (viz. Tabulka 4.1, 4.2.) (Pa)
$G_q \dots$	poryvový součinitel (viz. Tabulka 4.1, 4.2.) (-)
$G_{pol} \dots$	dynamický součinitel ($G_{pol} = 1$ pro výšky do 20 m) (-)
$C_{pol} \dots$	součinitel aerodynamického odporu (viz tabulka 4.3) (-)
$A_{pol} \dots$	účinná plocha dřívku sloupu (m^2)

Tab. 4-1: Hodnoty pro výpočet zatížení vodičů větrem v terénu II. [6]

Terén II. ($k_T = 0,19$ $z_0 = 0,05$)								
Větrová oblast	Rychlost větru V_h (m/s) pro výšku závěsného bodu		Tlak větru q_h (Pa) pro výšku závěsného bodu		Poryvový součinitel G_q pro výšku závěsného bodu		Součinitel rozpětí G_c pro délku rozpětí	
	do 20 m	20 až 40 m	do 20 m	20 až 40 m	do 20 m	20 až 40 m	do 100 m	100 až 200 m
I.	22,5	27,3	316	466	2,05	1,84	0,92	0,87
II.	25,0	30,4	391	578	2,05	1,884	0,92	0,87
III.	27,5	33,4	473	697	2,05	1,84	0,92	0,87
IV.	30,0	36,5	563	833	2,05	1,84	0,92	0,87
V.	36,0	43,7	810	1194	2,05	1,84	0,92	0,87

Tab. 4-2: Hodnoty pro výpočet zatížení vodičů větrem v terénu III. [6]

Terén III. ($k_T = 0,22$ $z_0 = 0,30$)								
Větrová oblast	Rychlost větru V_h (m/s) pro výšku závěsného bodu		Tlak větru q_h (Pa) pro výšku závěsného bodu		Poryvový součinitel G_q pro výšku závěsného bodu		Součinitel rozpětí G_c pro délku rozpětí	
	do 20 m	20 až 40 m	do 20 m	20 až 40 m	do 20 m	20 až 40 m	do 100 m	100 až 200 m
I.	17,4	22,8	189	325	2,72	2,24	0,85	0,78
II.	19,3	25,3	233	400	2,72	2,24	0,85	0,78
III.	21,2	27,9	281	487	2,72	2,24	0,85	0,78
IV.	23,1	30,4	334	578	2,72	2,24	0,85	0,78
V.	27,8	36,5	483	833	2,72	2,24	0,85	0,78

4.2.3 Kombinované zatížení větrem a námrazou

Pokud na prvky vzdušného vedení působí současně vlivy zatížení větrem a námrazou, uvažují poloviční rychlost větru v závislosti na použité úrovni spolehlivosti. Námrazu vyskytující se na podpěrných bodech ale při výpočtech podle normy [3] neuvažují. Zohledňuje se pouze průměr omrzlého vodiče D (m).

Potom je pro kombinaci zatížení dynamický tlak větru q_{hl} (Pa):

$$q_{hl} = \Psi_W \cdot q_h \quad (9)$$

q_h ... dynamický tlak větru (viz. Tabulka 4.1, 4.2.) (Pa)

Ψ_W ... součinitel kombinace $\Psi_W = 0,25$ (-)

Průměr omrzlého vodiče D (m) pak:

$$D = \sqrt{d^2 + \frac{4 \cdot I_d}{g \cdot \pi \cdot \rho_I}} \quad (10)$$

d ... průměr vodiče (m)

I_d ... návrhové zatížení námrazou na jednotku délky vodiče (N/m)

g ... gravitační zrychlení $g = 9,81$ (m/s²)

π ... Ludolfovo číslo 3,14159...

ρ_I ... hustota námrazy $\rho_I = 500$ (kg/m³)

Na každé rozpětí podpěrného bodu ve vodorovném a kolmém směru působí polovina síly na omrzlé vodiče Q_{WCI} (N). A obdobně jako sílu vypočtenou na neomrzlé vodiče ji určím ze vztahu, vycházejí z normy [2]:

$$Q_{WCI} = q_h \cdot G_q \cdot G_c \cdot D \cdot C_c \cdot L \cdot \sin^2 \beta \quad (11)$$

q_{hl} ... dynamický tlak větru pro kombinaci s námrazou (Pa)

G_q ... poryvový součinitel (viz. Tabulka 4.1, 4.2.) (-)

G_c ... součinitel rozpětí (viz. Tabulka 4.1, 4.2.) (-)

C_c ... součinitel aerodynamického odporu omrzlého vodiče (-)

$C_c = 1,1$ - pro všechny průměry vodičů

D ... průměr omrzlého vodiče (m)

L ... délka rozpětí (m)

β ... úhel mezi směrem větru a podélnou osou vodiče (°)

Tab. 4-3: Hodnoty součinitele aerodynamického odporu C_{pol} [3]

Druh sloupu	C_{pol}
Betonové, ocelové a kompozitní sloupy s kruhovým profilem	0,7
Dřevěné sloupy s kruhovým profilem	0,8
Sloupy s 12-ti úhelníkovým profilem	0,8
Sloupy s 10-ti úhelníkovým profilem	1,2
Sloupy s 8-i úhelníkovým profilem	1,3
Sloupy s 6-ti úhelníkovým profilem	1,4
Sloupy se čtvercovým a obdélníkovým profilem	1,5
Dřevěné sloupy dvojité a tvaru A	
na návětrné ploše sloupu	0,8
na závětrné ploše sloupu: pro $a < 2$ dm	0
pro 2 dm $< a < 6$ dm	0,35
pro $a > 6$ dm	0,7
a ... rozestup dvou sloupů v polovině nadzemní výšky	
dm ... střední průměr obou sloupů v polovině nadzemní výšky	

4.3 Výslednice pro dimenzování podpěrných bodů

Podle typu stožáru jsou stanoveny kombinace jednotlivých složek zatížení, která působí současně a těm musí navrhovaný podpěrný bod vedení vyhovovat.

Pokud budu uvažovat svislé zatížení u stožárů s výškou do 12 m a délkou rozpětí do 120 m počítám pouze s tíhou námrazku na délkách vodičů v přilehlém rozpětí. Výsledná složka svislého zatížení pro podpěrné body s výškou nad 12 m nebo délkou rozpětí nad 120 m je dána součtem vlastní tíhy stožáru a jeho výzbroje včetně tíhy izolátorů, tíhy vodičů v příslušných délkách přilehlých polí, tíhy námrazku na příslušných délkách vodičů a tíhy pracovníka s nářadím.[4]

Pro vodorovná zatížení konkrétních typů stožárů při jejich návrhu využijí standardních zatěžovacích stavů společně se stálým zatížením:

- 1a - zatížení větrem kolmo na vedení nebo pod rozhodujícím úhlem (kapitola 4.2.2)
- 1b - zatížení při minimální teplotě (kapitola 3.2)
- 2 - zatížení námrazou (kapitola 4.2.1)
- 3 - kombinované zatížení větrem a námrazou (kapitola 4.2.3)
- 4 - montážní a údržbová zatížení (maximální tíha 1,5 kN)
- 5a - zabezpečovací torzní zatížení (vzhledem k návrhu krátké přípojky vn tento zatěžovací stav nebudu uvažovat)
- 5b - zabezpečovací podélné ohybové zatížení (nebudu uvažovat z důvodu krátké přípojky vn)

Pro potřeby návrhu výpočtů venkovního vedení uvedu pouze kombinace nahodilých zatížení pro v mé práci použité podpěrné body. Ostatní typy podpěrných bodů a jejich návrhové zatížení je uvedeno v normě [3].

R - pro návrh těchto bodů se uvažuje zatížení výslednicí tahů vodičů společně se zatěžovacím stavem 1a a 3 a větrem ve směru této výslednice. Pokud se vyskytuje u vedení s krátkým rozpětím, kontroluje se i při zatěžovacím stavu 1b.

O - navrhuje se pro zatížení výslednicí tahů omrzlých vodičů společně se zatěžovacím stavem 3, nebo pro zatížení vodičů se zatěžovacím stavem 1a. Směr větru ve směru výslednice sil. Opět pokud se vyskytuje u vedení s krátkým rozpětím, kontroluje se i při zatěžovacím stavu 1b.

Ko - návrhové zatížení je výslednicí tahů omrzlých vodičů společně se zatěžovacím stavem 3. Působení větru ve směru výslednice. Nebo se tento typ podpěrného bodu navrhuje na zatížení tahu vodičů společně se zatěžovacím stavem 1a. I zde pokud se vyskytuje u vedení s krátkým rozpětím, kontroluje se i při zatěžovacím stavu 1b.

Zatěžovací stavy jsou určeny pro referenční úroveň spolehlivosti 1. Pro ostatní úrovně je nutné provést korekci pomocí dílčích součinitelů zatížení γ_w respektive γ_l podle tabulky 4.4.

Tab. 4-4: Dílčí součinitele zatížení pro mezní stavy [3]

Zatěžovací stav		Úroveň spolehlivosti 0		Úroveň spolehlivosti 1		Úroveň spolehlivosti 2		Úroveň spolehlivosti 3	
		γ_w	γ_l	γ_w	γ_l	γ_w	γ_l	γ_w	γ_l
1a	zatížení větrem	0,8		1,0		1,2		1,4	
2	zatížení námrazou		0,8		1,0		1,25		1,5
3	kombinace zatížení námrazou a větrem	0,8	0,8	1,0	1,0	1	1,25	1	1,5

Součástí venkovních vedení je také ostatní výzbroj, kam patří především konzoly a izolátory. Konzoly se navrhují v závislosti na určení podpěrného bodu, na kterém jsou použity, tudíž se o nich nebudu více rozepisovat. Pro venkovní vedení se používají závěsné a podpěrné izolátory, jejichž dílčí součinitel $\gamma_M = 1,6$ nebo 2. To závisí podle konkrétního typu izolátoru.

Jelikož se při mém návrhu přípojky vn uplatní pouze závěsné izolátory, které mají minimální mechanickou porušující sílu v tahu větší než 50 kN, nebudu je v rámci návrhu na zatěžovací stavy kontrolovat a také se jimi dále zabývat.

5 Vodiče venkovních vedení

Pro venkovní vedení vn se používají nejčastěji holé vodiče, méně jednoduché izolované a výjimečně závěsné kabely. Při použití montážních tabulek musím jejich maximální tahy volit s ohledem na použitý materiál a na výše uvedené zatěžovací stavy 1a, 1b, 2 a 3, aby nepřekročily procentní hodnoty ze jmenovité pevnosti vodičů, které uvádí výrobce. Pohybují se v rozmezí 55 - 70 % [7]. Vzhledem k rozsahu své práce zde uvedu jen základní vlastnosti používaných vodičů důležitých pro návrh venkovních vedení. Ostatní parametry je možné zjistit z katalogových listů jejich výrobců.[7]

5.1 Postup výpočtu montážních tabulek

Dříve se při volbě referenčních podmínek vycházelo z nejhoršího zatěžovacího stavu při teplotě -5°C a námraze. Vhodnější je, když zvolím výchozí hodnoty namáhání v oblasti klimatických podmínek uvažovaných při výstavě, nebo referenční teplotu -5°C bez námrazy.

Při výpočtu montážní tabulky pak postupuji tak, že si nejprve zvolím typ vodiče, dále vodorovnou složku namáhání při referenční teplotě -5°C vhodnou pro danou námrazovou oblast. Stanovím si úroveň spolehlivosti a minimální výšku vodiče nad zemí společně s požadovanými teplotními stavy. Určím zatížení námrazou vycházející z námrazové oblasti. A samozřejmě uvažované rozpětí.[7]

5.2 Holé vodiče (AlFe lana)

V současnosti patří mezi základní nepoužívanější typ vodiče přenášející proud ve venkovních vedeních. Jsou to hliníková slaná lana s nosnou ocelovou duší. Standardně mohou pro realizaci venkovních vedení vn používat tyto typy vodičů:

42-AL1/7-ST1A (42/7), 66-AL1/11-ST1A (70/11-1), 100-AL1/ST1A(100/25), 110-AL1/22-ST1A (110/22), 143-AL1/25-ST1A(150/25)

Pro možnost výpočtů montážních tabulek jsou v tabulce 5-1 uvedeny základní parametry holých vodičů pro vzdušná vedení vysokého napětí

Tab. 5-1: Základní parametry používaných holých vodičů pro venkovní vedení vn. [7]

<i>Typ lana</i>	<i>d</i>	<i>S</i>	<i>g</i>	<i>P</i>	<i>a</i>	<i>E</i>
AlFe 42/7	9,00	49,48	1,68	15760	0,00001975	80000
AlFe 70/11-1	11,70	77,05	2,65	21260	0,00001975	76789
AlFe 100/25	14,60	124,70	4,69	43540	0,00001850	81373
AlFe 110/22	14,96	132,33	4,76	42000	0,00001840	77400

d ...	průměr vodiče (mm)
S ...	průřez vodiče (mm)
g ...	měrná tíha (N/m)
P ...	zaručená pevnost vodiče (N)
α ...	součinitel teplotní roztažnosti ($1/^\circ\text{C}$)
E ...	modul pružnosti (MPa)

5.3 Jednoduché izolované vodiče

Z katalogové listu vyplývá, že se jedná o slaněný vodič z drátů do kruhového průřezu, potažený izolací XLPE (zesíťovaný polyetylén). Izolace vodiče je pouze základní a z hlediska ochrany před nebezpečným dotykem živých částí se považuje za vedení bez ochrany. Na rozdíl od holých vodičů mohou použít menší mezifázové vzdálenosti. Jednou z mála výhod je výrazně menší ochranné pásmo a použití těchto vodičů v lesních průsecích s menší nutností kácení. Naopak nevýhodou je nutnost umístování ochrany proti přepětí.[1]

Tab. 5-2: Základní parametry používaných jednožilových izolovaných vodičů vn. [7]

Typ izolovaného vodiče	d	S	g	P	α	E
SAX (PAS) 50	12,7	50,00	1,960	13926	0,00001910	73080
SAX (PAS) 70	14,3	70,00	2,650	19497	0,00001830	77440
SAX (PAS) 95	16,0	95,00	3,430	26460	0,00001870	80004
SAX (PAS) 120	17,5	120,00	4,170	33423	0,00001910	73080

5.4 Závěsné kabely

Závěsný kabel s plnou izolací a stíněním, složený ze tří jednožilových kabelů a nosného ocelového pozinkovaného lana s parametry podle tabulky 5-3. Používá se vzhledem k vyšším pořizovacím nákladům pouze v zastavěných lokalitách, kdy není možné využít holé nebo jednoduché izolované vodiče. Výhodou je možnost upevnit tento kabel na společných podpěrných bodech s vedením nn.[1]

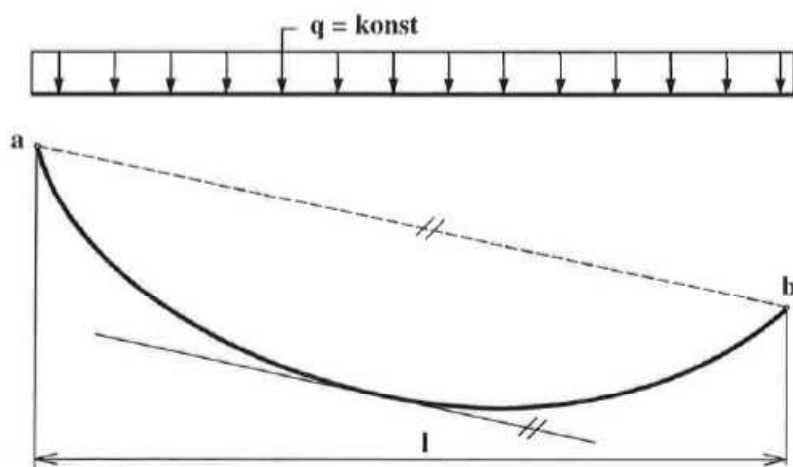
Tab. 5-3: Základní parametry používaných závěsných kabelů vedení vn. [7]

Typ izolovaného vodiče	d	S	g	P	α	E
AXEKVCEz 3x1x50	69,0	50,00	27,960	60000	0,00001150	210000
AXEKVCEz 3x1x70	72,0	50,00	30,800	60000	0,00001150	210000
AXEKVCEz 3x1x120	78,0	50,00	37,470	60000	0,00001150	210000

6 Mechanika zavěšených vodičů

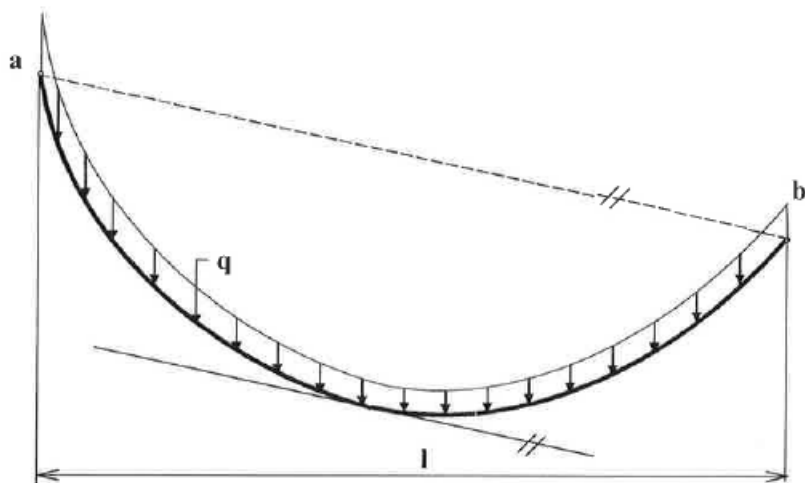
Mechanická napětí ve vodiči společně s geometrickými rozměry (průhyb, délka vodiče, atd.) vyvolávají předpokládané změny zatížení. Jestliže zvolím vhodné mechanické parametry při návrhu a výstavbě venkovního vedení, ovlivním tím jak velikost investičních nákladů, tak i spolehlivost provozní [3]. Pro výpočet mechanických parametrů zavěšeného vodiče mohou použít dvě varianty, v závislosti na volbě náhrady vhodnou křivkou:

- 1) parabolou, která předpokládá rovnoměrné rozdělení zatížení rozložené po spojnici závěsných bodů



Obr. 6-1: Náhrada průhybové křivky vodičů parabolou - převzato z [4]

- 2) řetězovkou, kde se zatížení uvažuje rovnoměrně po délce vodiče



Obr. 6-2: Náhrada průhybové křivky vodičů řetězovkou - převzato z [4]

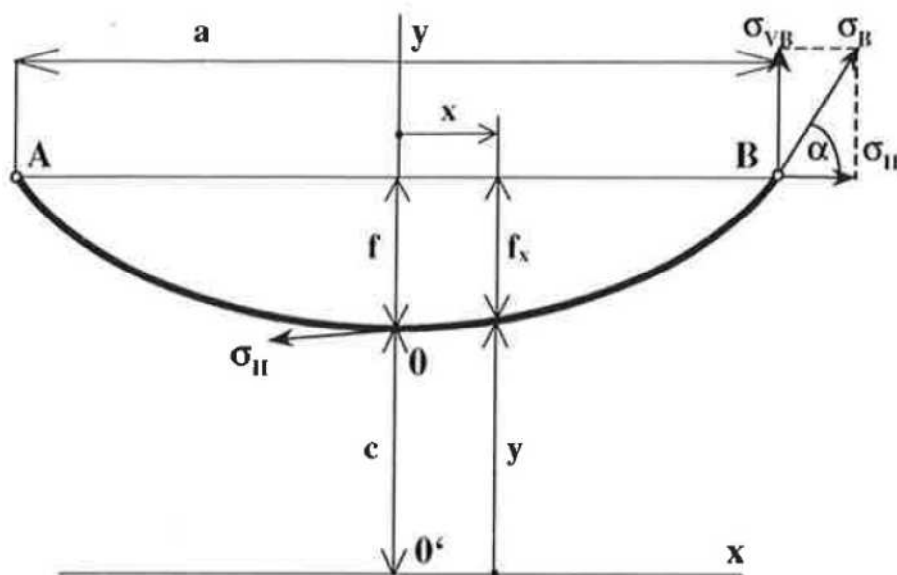
Výběr varianty náhrady parabolou je vhodná, pokud potřebuji rychlou kontrolu a jednoduchý výpočet především u krátkých rozpětí. Rozpětí běžně se vyskytující v distribučních sítích venkovních vedení vn a nn. V případě dlouhých rozpětí, nebo chci-li vyšší přesnost, je vhodnější náhrada řetězovkou. Musím však projít náročnějšími výpočty.

6.1 Souměrná rozpětí

Při souměrném zavěšení jsou jeho závěsné body ve stejné nadmořské výšce. V praxi se tento případ vyskytuje velmi málo. Používá se při výpočtech s malým převýšením. Výpočty jsou pak méně přesné.

6.1.1 Souměrná řetězovka

Pro analytické odvození vyjádření průhybové křivky se vychází z mechanických podmínek rovnováhy. Pokud se vodič nachází v klidu, výslednice sil na něj působící je nulová a zároveň součet momentů sil k libovolnému bodu je také nulový. Z elementu řetězovky o délce dl , který je ovlivněn osovými silami napnutím vodiče, hmotností a vnějším zatížením (námraza, vítr), se zkoumá podmínka jeho rovnováhy. Z podmínek rovnováhy pak získám diferenciální rovnice průhybové křivky.[4]



Obr. 6-3: Souměrná řetězovka - převzato z [4]

Výsledný tvar rovnice řetězovky z diferenciální rovnice separací proměnných a dvojitou integrací je pak:

$$y = c \cdot \cos h \cdot \frac{x}{c} \quad (12)$$

c ... parametr řetězovky (m)

Parametr řetězovky c , který je důležitý jako přechod mezi matematickým modelem a reálným vedením je:

$$c = \frac{\sigma_H}{\gamma \cdot z} \quad (13)$$

σ_H ... vodorovná složka namáhání (MPa)

γ ... měrná tíha vodiče (N/m.mm²)

z ... přetížení vodiče (-)

Průhyb vodiče f (m):

$$f = c \cdot \left(\cos h \cdot \frac{a}{2 \cdot c} - 1 \right) \quad (14)$$

a ... délka rozpětí (m)

rozvojem do řady:

$$f = \frac{a^2 \cdot \gamma \cdot z}{8 \cdot \sigma_H} \quad (15)$$

kde přetížení vodiče z :

$$z = \frac{m_v + m_p}{m_v} \quad (16)$$

m_v ... hmotnost 1 m vodiče (kg/m)

m_p ... hmotnost přídatného zatížení na 1 m vodiče (kg/m)

Délka vodiče v rozpětí l (m):

$$l = 2 \cdot c \cdot \sin h \cdot \frac{a}{2 \cdot c} \quad (17)$$

rozvojem do řady:

$$l = a + \frac{a^3 \cdot \gamma^2 \cdot z^2}{24 \cdot \sigma_H^2} \quad (18)$$

Svislé síly v závěsných bodech F_{VA} , F_{VB} (N):

$$F_{VA} = F_{VB} = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot z \cdot l \cdot S \quad (19)$$

S ... průřez vodiče (mm^2)

Svislé namáhání v závěsných bodech σ_{VA} , σ_{VB} (MPa):

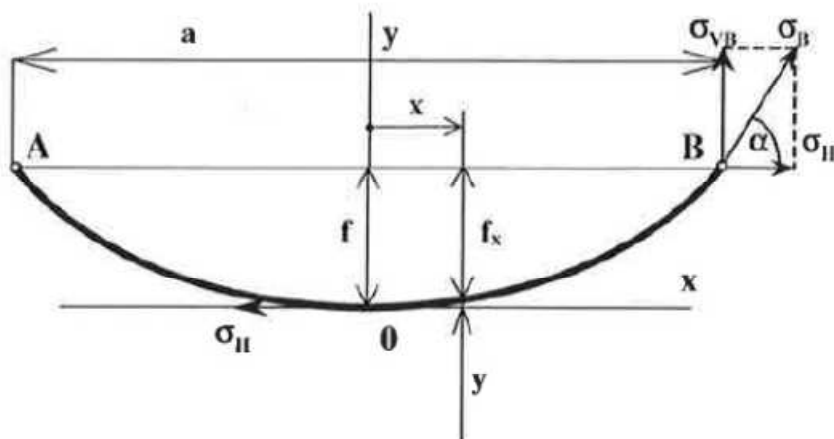
$$\sigma_{VA} = \sigma_{VB} = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot z \cdot l \quad (20)$$

Celkové namáhání v závěsném bodu σ_A , σ_B (MPa):

$$\sigma_A = \sigma_B = \sqrt{\sigma_H^2 + \sigma_{VA}^2} \quad (21)$$

6.1.2 Souměrná parabola

Při odvozování rovnice paraboly se mění umístění souřadného systému tak, že má svůj nejnižší bod křivky v počátku systému souřadnic. Výsledná rovnice potom vychází ze zjednodušení rovnice řetězovky rozvedením funkce \cosh na mocninnou řadu [4].



Obr. 6-4: Souměrná parabola - převzato z [4]

Obecný tvar rovnice paraboly:

$$y = \frac{x^2}{2 \cdot c} \quad (22)$$

kde parametr řetězovky c :

$$c = \frac{\sigma_H}{\gamma \cdot z} \quad (23)$$

Délka vodiče v rozpětí l (m):

$$l = a + \frac{a^3 \cdot \gamma^2 \cdot z^2}{24 \cdot \sigma_H^2} \quad (24)$$

Svislé síly v závěsných bodech F_{VA} , F_{VB} (N):

$$F_{VA} = F_{VB} = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot z \cdot a \cdot S \quad (25)$$

Svislé namáhání v závislých bodech σ_{VA} , σ_{VB} (MPa):

$$\sigma_{VA} = \sigma_{VB} = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot z \cdot a \quad (26)$$

Celkové namáhání v závěsném bodu σ_A , σ_B (MPa):

$$\sigma_A = \sigma_B = \sqrt{\sigma_H^2 + \sigma_{VA}^2} \quad (27)$$

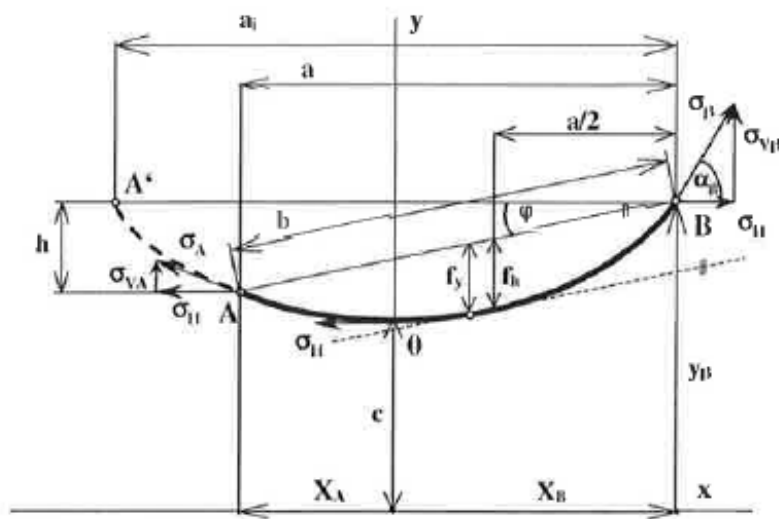
6.2 Nesouměrná rozpětí

Nesouměrně zavěšený vodič má závěsné body v různé nadmořské výšce. Rozdíl těchto závěsných bodů nazýváme převýšením h (m). Při řešení nesouměrného závěsu se pak doplňuje na závěs souměrný, který má tzv. ideální rozpětí a_i (m).[4]

6.2.1 Řetězovka

Při výpočtech jsou běžně známé hodnoty vzdálenosti podpěr a , převýšení h a parametr c řetězovky. Potom je hodnota převýšení h z rovnice:

$$h = 2 \cdot c \cdot \sin h \cdot \frac{a}{2 \cdot c} \cdot \sin h \cdot \frac{a_i - a}{2 \cdot c} \quad (28)$$



Obr. 6-5: Nesouměrná řetězovka - převzato z [4]

Tím určím ideální rozpětí a_i , ze kterého pak pomocí vztahů:

$$a_i = 2 \cdot X_B \quad (29)$$

$$a = X_B - X_A \quad (30)$$

Tím je definován počátek soustavy, a proto mohu z rovnic pro souměrnou řetězovku určit souřadnice nesouměrné řetězovky v libovolném bodu. Průhybová křivka pak nemusí mít dol mezi závěsnými body. Pokud je vzdálenost $X_A > 0$, nachází se dol mimo rozpětí. V případě nesouměrných rozpětí se průhyb vodiče měří od spojnice skutečných závěsných bodů.

Vodorovná složka namáhání σ_H je v každém bodu stejná a svislé složky namáhání σ_{VA} a σ_{VB} (MPa) jsou stanoveny měrnou tíhou oblouku od dolu po závěsný bod.[4]

$$\sigma_{VA} = I_A \cdot \gamma \cdot z \quad (31)$$

$$\sigma_{VB} = I_B \cdot \gamma \cdot z \quad (32)$$

I_A ... délka řetězovky od dolu k závěsu A (m)

I_B ... délka řetězovky od dolu k závěsu B (m)

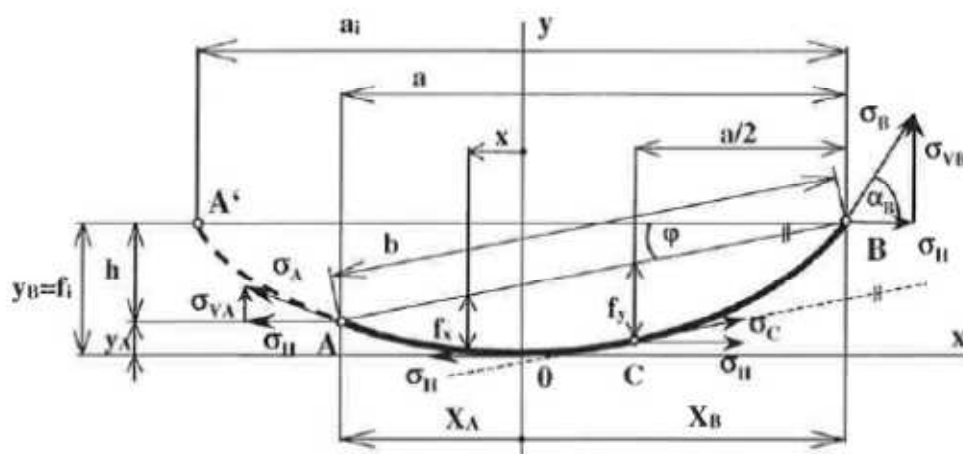
6.2.2 Parabola

Při použití paraboly ideální rozpětí a_i (m) vypočtu ze vztahu:

$$a_i = a + \frac{2 \cdot c \cdot h}{a} \quad (33)$$

Viditelný průhyb určím ze vztahu:

$$f_v = \frac{b^2 \cdot \gamma \cdot z}{8 \cdot \sigma_c} \quad (34)$$



Obr. 6-6: Nesouměrná parabola - převzato z [4]

Namáhání v závěsných bodech určíme z podmínky rovnováhy sil. Vodorovné namáhání σ_H je opět ve všech bodech stejné. Svislé namáhání určíme ze vztahů:

$$\sigma_{VA} = \frac{1}{2} \cdot b \cdot \gamma \cdot z - \sigma_H \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (35)$$

$$\sigma_{VB} = \frac{1}{2} \cdot b \cdot \gamma \cdot z + \sigma_H \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (36)$$

Viditelný průhyb vodiče je potom roven průhybu vodiče nataženého stejným namáháním v rozpětí o délce b se závěsnými body ve stejné výšce. [4]

6.3 Stavová rovnice

Mechanický stav vodiče je určen pomocí tří stavových proměnných. Mechanického napětí ve vodiči σ_H (MPa), teploty t ($^{\circ}\text{C}$) a přetížení z (-). Původní namáhání ve vodiči σ_{H1} (MPa) se vlivem změny teploty nebo přetížení mění na hodnotu σ_{Hz} (MPa). Danou závislost mezi stavovými veličinami řeší stavová rovnice [4]. V případě souměrného závěsu:

$$\sigma_{Hz}^3 + M \cdot \sigma_{Hz}^2 = N \quad (37)$$

kde:

$$M = \frac{E}{24} \cdot \left(\frac{a \cdot z_1 \cdot \gamma}{\sigma_{H1}} \right)^2 - \sigma_{H1} + \alpha \cdot E \cdot (t_2 - t_1) \quad (38)$$

$$N = \frac{E}{24} \cdot (a \cdot z_2 \cdot \gamma)^2 \quad (39)$$

σ_{H1} ...	vodorovná složka výchozího namáhání (MPa)
σ_{H2} ...	vodorovná složka konečného namáhání (MPa)
t_1 ...	výchozí teplota (°C)
t_2 ...	konečná teplota (°C)
z_1 ...	výchozí přetížení (-)
z_2 ...	konečné přetížení (-)
a ...	délka rozpětí (m)
E ...	modul pružnosti (MPa)
α ...	koefficient teplotní roztažnosti (m/°C)
γ ...	měrná tíha vodiče (N/m.mm ²)

6.3.1 Řešení stavové rovnice

Neznámou stavovou veličinou bývá většinou konečné namáhání σ_{H2} , řeším tak rovnici třetího řádu. To je algebraicky velmi obtížné. Oproti dřívějším grafickým metodám řešení (abaky) se v dnešní době využívá vhodný výpočetní program, který je vytvořen pro přímý výpočet montážních tabulek. Při řešení stavové rovnice pomocí výpočetní techniky se nejčastěji používají iterační metody (problém se řeší postupným opakováním s dalším a dalším přibližováním se žadoucím výsledku) [8]. Tyto výpočty jsou pak velmi rychlé pro zjišťování různých variant řešení při navrhování vedení.[4]

7 Stanovení mezifázových vzdáleností vodičů v rozpětí

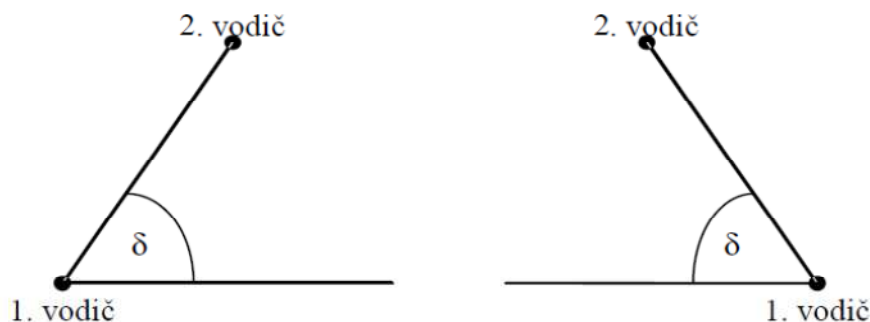
Jak při teplotě +40 °C, tak při zatížení námrazou musí být mezi fázovými holými vodiči a mezi vodiči různých systémů vedení dodrženy minimální vzdálenosti podle vztahu [4]:

$$b_{emp} = k_{emp} \cdot \sqrt{f_p + L_{ins}} + c_{emp} \cdot D_{pp} \quad (40)$$

kde:

$$k_{emp} = 0,56 + \frac{(1 + d/g)}{200} \cdot \left[5,7 - 2,1 \cdot \left(1 + \frac{\delta}{50} \right) \cdot \cos(2\delta) + 0,5 \cdot \sin(2\delta) \right] \quad (41)$$

- b_{emp} ... minimální vzdálenost dvou vodičů nebo svazků v polovině rozpětí (m)
 f_p ... maximální průhyb vodiče v rozpětí (m)
 L_{ins} ... svislá délka nosného izolátorového závěsu, která se může vychýlit kolmo na trasu vedení (m)
 D_{pp} ... nejkratší vzdálenost pro uspořádání vodič-vodič $D_{pp} = 0,26$ pro napětí do 25 kV (m)
 c_{emp} ... konstanta pro kontrolu vnitřních vzdáleností - udává se $c_{emp} = 0,6$ (-)
 k_{emp} ... součinitel závislý na tíze vodiče a vzájemné poloze obou vodičů (-)
 d ... průměr vodiče (mm)
 g ... tíha vodiče na 1 m délky ($\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$)
 δ ... úhel mezi vodorovnou rovinou a přímkou, která určuje průsečík os obou vodičů s rovinou kolmou k trase vedení v polovině rozpětí (°C)



Obr. 7-1: Úhel mezi vodiči - převzato z [4]

8 Transformační stanice

Transformační stanice slouží k transformaci elektrické energie při stejném kmitočtu a k jejímu rozvádění, nebo ke galvanickému oddělení jedné části soustavy od druhé. Podle provedení můžu transformovny rozdělit na stožárové (betonové, příhradové), blokové (kompaktní betonové), pojízdné a kryté. Nejdůležitějším prvkem stanice je transformátor. Podle umístění mohu rozlišit vnitřní nebo venkovní a podle umístění v soustavě na výrobní, přenosové nebo spojovací, distribuční a oddělovací transformátory.

Mým úkolem je navrhnout distribuční transformační stanici pro lokalitu rodinných domů. Podle běžného standardu mám na výběr buď stožárovou, nebo kompaktní betonovou stanici. Protože je určeno připojení pomocí vzdušného vedení vysokého napětí, rozhodl jsem se využít stožárovou transformační stanici.

Stožárová stanice se skládá z podpěrného bodu betonového sloupu nebo příhradového stožáru, ocelových konstrukcí a konzol. Použití příhradové stanice na ocelovém stožárů je podmíněno většími výslednými tahy vodičů. Vzhledem ke krátké přípojce vysokého napětí budu výpočty směřovat k nižším tahům a tedy využít betonového sloupu. Avšak oba tyto prvky umožňují osazení požadované výstroje. Maximální možný výkon transformátoru, který mohu využít pro sloupovou transformační stanici je 400 kVA.

Jak jsem již uvedl nejdůležitějším prvkem stanice je transformátor, který musím vhodně navrhnout. Ostatní prvky stožárové transformační stanice tvoří kompaktní systém, který je standardizován a dodáván jako sestava (viz. Příloha 6). S volbou transformátoru ale také souvisí návrh jeho jistících prvků, jak na straně vysokého napětí realizovaný pojistkami v pojistkových spodcích s omezovači přepětí. Tak na straně nízkého napětí provedený v rozvaděči nízkého napětí podle jmenovité hodnoty na sekundární straně transformátoru. Přiřazení hodnoty pojistky vn pak určím z tabulky uvedené v příloze.

8.1 Instalovaný výkon transformátoru

Pokud přistoupím k návrhu instalovaného výkonu transformátoru S_T (VA), tak vycházím ze vztahu:

$$S_T = \frac{P_v}{\gamma_t \cdot \cos \varphi} \quad (42)$$

$P_v \dots$ výpočtové zatížení (W)

$\gamma_t \dots$ koeficient využití transformátoru (-)

$\cos \varphi \dots$ střední účinník výkonu procházející transformátorem (-)

Koeficient využití transformátoru γ_t (-) musím volit tak, abych zohlednil budoucí rozšíření lokality a možné výpadky v případě propojení s již stávajícími rozvody. Jmenovitý výkon transformátoru S_{nT} (VA) pak bude větší než instalovaný výkon transformátoru S_T (VA):

$$S_{nT} \geq S_T \quad (43)$$

8.2 Úbytek napětí na transformátoru

Na transformátoru, tak jako u všech „spotřebičů“ dochází k úbytkům napětí.

Úbytek napětí Δu (%) na transformátoru pro napětí nakrátko $u_k \leq 20$ % určím ze vztahu:

$$\Delta_u = n \cdot (u_r \cdot \cos \varphi + u_L \cdot \sin \varphi) + 0,005 \cdot n^2 \cdot (u_L \cdot \cos \varphi - u_r \cdot \sin \varphi)^2 \quad (44)$$

kde:

$$n = \frac{S_v}{S_{nT}} \quad (45)$$

$$u_R = 100 \cdot \frac{P_k}{S_{nT}} \quad (46)$$

$$u_L = \sqrt{u_k^2 - u_R^2} \quad (47)$$

$S_v \dots$	výpočtové zatížení (kVA)
$\Delta P_k \dots$	jmenovité ztráty nakrátko (kW)
$u_k \dots$	poměrné napětí nakrátko (%)
$u_R \dots$	poměrná činná složka u_k (%)
$u_L \dots$	poměrná indukční složka u_k (%)

Hodnoty ΔP_k , u_k jsou pro výkon transformátoru uvedeny v příslušných normách nebo je poskytuje výrobce.

9 Dimenzování vodičů

Vodiče pro rozvod elektrické energie se navrhují tak, aby splňovaly požadované parametry. Za provozu nesmí jejich teplota přesáhnout teplotu dovolenou. Musí být dostatečně mechanicky pevné s ohledem na způsob montáže a uložení. Z hlediska hospodárnosti by měli mít odpovídající průřez. Pro správný a bezporuchový provoz některých elektrických spotřebičů musí být úbytek napětí ve stanovených mezích. Při jakýchkoli poruchách musí odolávat dynamickým a tepelným účinkům zkratových proudů.[9]

Při návrhu elektrických rozvodů nejprve určíme maximální odběr. Na ten pak dimenzujeme vedení, napájecí zdroj (transformátor) i jistící přístroje. Protože je malá pravděpodobnost současného provozu všech instalovaných spotřebičů natož jejich zatížení na plný výkon, nenavrhují se elektrické rozvody na celkový součet příkonu všech spotřebičů. Bylo by to neekonomické. Stanovíme tzv. výpočtové zatížení P_v :

$$P_v = \beta_N \cdot \sum P_i \quad (48)$$

β_N ... součinitel náročnosti dané skupiny spotřebičů (-)

P_i ... výkony instalovaných spotřebičů (W)

Následně určíme výpočtový proud I_v (A):

$$I_v = \frac{P_v}{\sqrt{3} \cdot U_s \cdot \cos \varphi} \quad (49)$$

U_s ... sdružené napětí sítě (V)

$\cos \varphi$... účinník (-)

9.1 Dimenzování podle přípustného oteplení

Při průchodu proudu vodičem dochází k jeho zahřívání. V ustáleném stavu se množství tepla ϑ (°C) vyvinutého ve vodiči rovná množství tepla předaného do jeho okolí - je přímo úměrné teplotnímu rozdílu mezi vodičem a okolím $\Delta\vartheta$ (°C), a také přímo úměrné odporu vodiče a druhé mocnině proudu tekoucího vodičem.[9]

Platí, že:

$$\vartheta \leq \vartheta_m \quad (50)$$

ϑ_m ... maximální dovolená provozní teplota (°C)

Z toho vyplývá:

$$\Delta\vartheta_m = \vartheta_m - \vartheta_0 \quad (51)$$

ϑ_0 ... základní teplota okolního prostředí (°C) - základní teplota pro kabely a vodiče na vzduchu je 30°C, základní teplota pro kabely a vodiče v zemi je 20°C

Teplota vodiče se ustálí na bodu, kdy se vyvinuté teplo rovná teplu odvedenému:

$$R \cdot I^2 = \frac{\Delta\vartheta_m}{T_R} \quad (52)$$

Nakonec je maximální hodnota zatěžovacího proudu I_Z (A) vodičem dána vztahem:

$$I_Z = \sqrt{\frac{\Delta\vartheta_m}{R \cdot T_R}} \quad (53)$$

$\Delta\vartheta_m$... maximální dovolené oteplení vodiče (°C) - např. nejvyšší dovolená provozní teplota PVC izolace je 70°C

R ... elektrický odpor vodiče na jednotku délky (Ω/m)

T_R ... tepelný odpor mezi vodičem a okolím ($J^{-1} \cdot K \cdot s$)

Takto zjednodušeně zjistím dovolené zatížení vodiče jen v případě, pokud neuvažuji elektrické ztráty způsobené vířivými proudy, vlivem skinefektu, vzájemné indukčnosti, dielektrickými ztrátami apod.[9]

Tab. 9-1: Dovolené provozní a max. teploty vybraných vodičů dle izolace [9]

Druh izolace vodiče	Zkratka názvu	Značka	Základní teplota okolního vzduchu (°C)	Nejvyšší dovolená provozní teplota (°C)	Nejvyšší dovolená teplota (°C)	
					při proudovém přetížení	při zkratu
Polyvinylchlorid měkčený	PVC	Y	30	70	120	140-160
Polyetylén	PE	E	30	70		130-150
Zesítný polyetylén	XPE, XLPE, PRC	X	30	90	120	250
Holé vodiče plně nebo slané Al nebo Cu mechan. zatížené			30	80	180	200

Při postupu návrhu průřezu vodiče je dovolená provozní teplota závislá na jeho materiálu a konstrukci, izolaci a teplotě prostředí, ve kterém je uložen. Obvykle je tato teplota uvedena v příslušných tabulkách a určím ji podle skutečného proudového zatížení. Jestliže vycházím přímo z dovoleného proudového zatížení, tak ze zatěžovacích tabulek příslušný průřez vodiče přímo vyčtu. Dovolенý proud I_Z (A) vodiče při jeho provozní teplotě pak stanovím ze vztahu:






$$I_Z = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot \dots \cdot k_i \cdot I_N \quad (54)$$

k_1, k_2, \dots, k_i ... přepočítávací součinitelé proudové zatížitelnosti (-)

I_N ... jmenovitý proud vodiče (A)

Příslušné přepočítávací součinitele proudové zatížitelnosti zjistím z normy ČSN 33 2000-5-523 a vyjadřují různé podmínky a prostředí uložení, typy a průřezy vodičů.[9]

Tab. 9-2: Způsoby uložení vodičů - převzato z [9]

způsob uložení	označení	popis
	A	Izolované vodiče v trubkách zapuštěných v izolačních stěnách.
	B	Izolované vodiče v trubkách nebo lištách na stěně.
	C	Kabely vícežilové na zdi., ve zdivu, na podlaze
	D	Kabely vícežilové v trubkách v zemi, nebo přímo v zemi.
	E	Kabely 2+3 žilové na vzduchu

Protože je má práce zaměřena na kabelové vedení uložené v zemi, uvedu z celé řady přepočítacích součinitelů obsažené v normě [9] proudové zatžitelnosti součinitele pro půdy s různým měrným tepelným odporem R_p ($\Omega \cdot m$).

Tab. 9-3: Přepočítací součinitele pro různé měrné tepelné odpory půdy [9]

Druh kabelu	Měrný tepelný odpor půdy R_p (K.m/W)							
	0,4	0,6	0,7	0,8	1,0	1,5	2,0	
Celoplastové kabely	1,11	1,05	1,00	0,96	0,90	0,79	0,71	
Kabely s papírovou izolací a kovovým pláštěm	do 1 kV	1,16	1,05	1,00	0,96	0,89	0,76	0,67
	6 kV, 10kV	1,14	1,05	1,00	0,96	0,90	0,78	0,69
Trojplášťové kabely 22 a 35 kV	1,09	1,04	1,00	0,97	0,92	0,82	0,74	
Jednožilové kabely 22 a 35 kV	1,14	1,05	1,00	0,96	0,90	0,78	0,69	

Měrný tepelný odpor půdy závisí na půdních a povětrnostních podmínkách podle následující tabulky:

Tab. 9-4: Informativní hodnoty měrného tepelného odporu půdy [9]

Měrný tepelný odpor půdy R_p (K.m/W)	Půdní podmínky	Povětrnostní podmínky
0,7	velmi vlhké	trvale vlhké
1,0	vlhké	pravidelné deště
2,0	suché	řídke deště
3,0	velmi suché	málo či žádný déšť

9.2 Dimenzování s ohledem na hospodárnost

Aby byly celkové roční náklady na pořízení, provoz a údržbu vodičů a kabelů optimální, musím je zatěžovat menším, než hospodárným proudem. Čím větší bude průřez vedení, tím bude dražší. Bude mít však menší odpor a menší ztráty za provozu.

Mým úkolem je tedy nalezení hospodárného průřezu, jemuž odpovídá minimum celkových nákladů při určité předpokládané životnosti vedení a předpokládaném zatížení. Pro dosažení optimální hodnoty průřezu provedu kontrolu dimenzování vedení podle hospodárné hustoty proudu J (A/mm²):

$$J = \frac{I_v}{S_h} \quad (55)$$

nebo z doby plných ztrát:

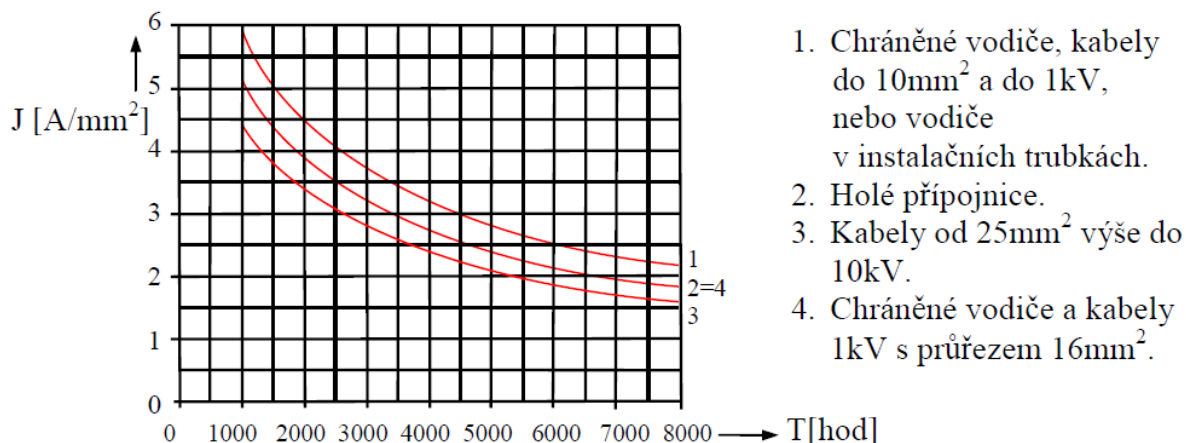
$$S_h = k \cdot I_v \cdot \sqrt{\tau_z} \quad (56)$$

S_h ...	hospodárný průřez vodiče (mm ²)
I_v ...	výpočtový proud (A)
k ...	součinitel závislý na materiálu jádra vodiče a na izolaci (viz. ČSN 34 1610)
τ_z ...	doba plných ztrát (doba, za kterou má maximální odebíraný proud I_{max} (A) stejné ztráty jako časově proměnný proud $I(t)$ ve sledovaném období t_0 (8760 h/rok))

$$R \cdot I_{max}^2 \cdot \tau_z = \int_0^{t_0} R \cdot I^2(t) dt \Rightarrow \tau_z = \frac{\int_0^{t_0} I^2(t) dt}{I_{max}^2} \quad (57)$$

Hospodárný průřez vedení budu následně kontrolovat především u hlavních trojfázových vedení průmyslového závodu, kde doba plných ztrát τ_z překračuje 1000 hod/rok. Předpokladem je provoz zařízení minimálně 10 let. Naopak se nekontrolují světelné rozvody, neboť jsou kontrolovány na úbytky napětí.

Specifickou hospodárnou hustotu proudu můžu vyčíst pomocí grafů v závislosti na době plných ztrát.[10]



Obr. 9-1: Specifická hustota proudu v závislosti na době plných ztrát - převzato z [10]

Vypočtený hospodárný průřez potom zaokrouhlím na nejbližší (i nižší) normalizovaný. Výsledek rozhoduje o dimenzování, je-li větší než průřez vypočtený podle ostatních podmínek.[10]

9.3 Dimenzování podle dovoleného úbytku napětí

Při průchodu elektrického proudu vodičem dochází vlivem odporu k úbytku napětí a tedy i k poklesu napětí na spotřebiči. Některé důležité provozní vlastnosti spotřebičů (např. moment motoru) by mohli být tímto poklesem ovlivněny. Proto jsou v závislosti na druhu rozvodu (občanský, zemědělský, průmyslový, ...) stanoveny maximální dovolené úbytky napětí ΔU (V), které jsou uvedeny v normách.

Jestliže vedením protéká střídavý elektrický proud, dochází kromě úbytku napětí na činném odporu i k úbytku na jeho reaktanci X (Ω). Ta je dána prostorovým rozložením vodičů a jejich délkou. Pokud vezmu v úvahu stejnosměrná nebo krátká střídavá vedení, je úbytek napětí na reaktanci téměř zanedbatelný. To platí především u kabelů, kde se počítá pouze s úbytkem na činném odporu.[10]

Přibližný úbytek fázového napětí ΔU (V) na vedení délky l (m) vznikající na fázovém i nulovém vodiči je pro jednofázový obvod:

$$\Delta U = \frac{2 \cdot \rho_v \cdot l}{S} \cdot \frac{P}{U_f} \quad (58)$$

Pro trojfázový obvod, který vzniká na fázových vodičích pak:

$$\Delta U = \frac{\rho_v \cdot l}{S} \cdot \frac{P_0}{U_s} \quad (59)$$

ρ ... rezistivita (měrný odpor) vodiče ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)

S ... průřez vodiče (mm^2)

P_0 ... výkon přenášený po vedení (W)

U_f ... fázové napětí (V)

U_s ... sdružené napětí (V)

U delších střídavých vedení nn a vn přibližně do 30 km již musím uvažovat kromě činného odporu i reaktanci X (Ω). Úbytek napětí ΔU se potom pro střídavá vedení s účinníkem $\cos \varphi > 0,5$ určí ze vztahu:

$$\Delta U_f = R \cdot I \cdot \cos \varphi + X \cdot I \cdot \sin \varphi \quad (60)$$

a jeho poměrná hodnota Δu_f (%)

$$\Delta u_f = \frac{\Delta U}{U_f} \cdot 100 \quad (61)$$

Pro střídavá vedení s účinníkem $\cos \varphi < 0,5$ je úbytek napětí ΔU_f :

$$\Delta U_f = R \cdot I \cdot \cos \varphi + X \cdot I \cdot \sin \varphi + \frac{(R \cdot I \cdot \sin \varphi - X \cdot I \cdot \cos \varphi)^2}{2 \cdot U_f} \quad (62)$$

U vedení velmi vysokého napětí musím nutně uvažovat při stanovování nejen činný odpor R , reaktanci X , ale i kapacitu vedení C_k . Svod G_k se obvykle zanedbává.[10]

Tyto parametry jsou po celé délce vedení rozloženy rovnoměrně. To znamená, že i na nepatrné délce dl je nutné je uvažovat. Výpočet touto exaktní metodou je velice složitý. Proto se v praxi využívají zjednodušené metody pro vedení do 300 km. Vzhledem k tomu, že součástí této práce není návrh vedení velmi vysokého napětí, nebudu se těmito výpočty dále zabývat.

Průřez vodičů nakonec tedy navrhnu takový, aby i za maximálního předpokládaného zatížení nepřesáhl úbytek napětí povolenou hodnotu. Pokud dovolený úbytek napětí nestanovuje přímo norma ČSN EN 60038, která doporučuje, aby odchylka od jmenovitého napětí v předávacím místě za normálních podmínek nepřesáhla $\pm 10\%$, připouští se pokles napětí v místě spotřeby maximálně 5% jmenovitého napětí sítě, u pevných instalací pak 4% .

9.4 Dimenzování na mechanické namáhání

Vodiče musí odolávat mechanickému namáhání, které nastává při montáži nebo během provozu. Vlivy působící na venkovní vedení jsem probral již v předchozích kapitolách. Průřezy vodičů se navrhují tak, aby snesly z hlediska mechanické pevnosti maximální zatížení, která se za provozu mohou vyskytnout. V příslušných normách jsou pro jednotlivé druhy vedení uvedeny minimální průřezy, místo jejich použití a způsob jejich uložení.[9]

Například do země se ukládají především elektrické kabely s tuhým jádrem, neboť při provozu nepodstupují žádná mechanická namáhání. Pokud se jedná o kabely vedené na povrchu, například od sloupu k rozvaděči, používají se závěsné nebo samonosné kabely. U pohyblivých částí strojů se používají kabely s měkkou silikonovou izolací, pro jejich dobrou ohebnost.[11]

9.5 Dimenzování na účinky zkratových proudů

Pokud dojde v elektrizační soustavě s účinně uzemněným uzlem ke spojení mezi jednotlivými fázemi, nebo některou fází a zemí, dojde ke zkratu. Příčiny zkratů mohou být z různých příčin. Nedokonalostí a vadou na elektrickém spotřebiči, přepětím, nedostatečným dimenzováním zařízení, cizím zásahem nebo chybnou manipulací.[10]

Zkratové proudy jsou odpojovány ochrannými prvky během velmi krátké doby, avšak vlastní velikostí přesahující několiknásobek proudu jmenovitého způsobují namáhání vodičů jak silové tak tepelné.

Silové účinky jsou nebezpečnější u pevně uložených vodičů. Například u přípojnic v rozvodnách připevněných na izolátorech, které se mohou působením sil ulomit. Výpočet síly F (N), která působí mezi dvěma rovnoběžnými vodiči je potom:

$$F = 2 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{I^2}{a_v} \cdot l \quad (63)$$

$I \dots$	proud protékající vodičem (A)
$a_v \dots$	vzdálenost mezi dvěma vodiči (m)
$l \dots$	délka vodičů (m)

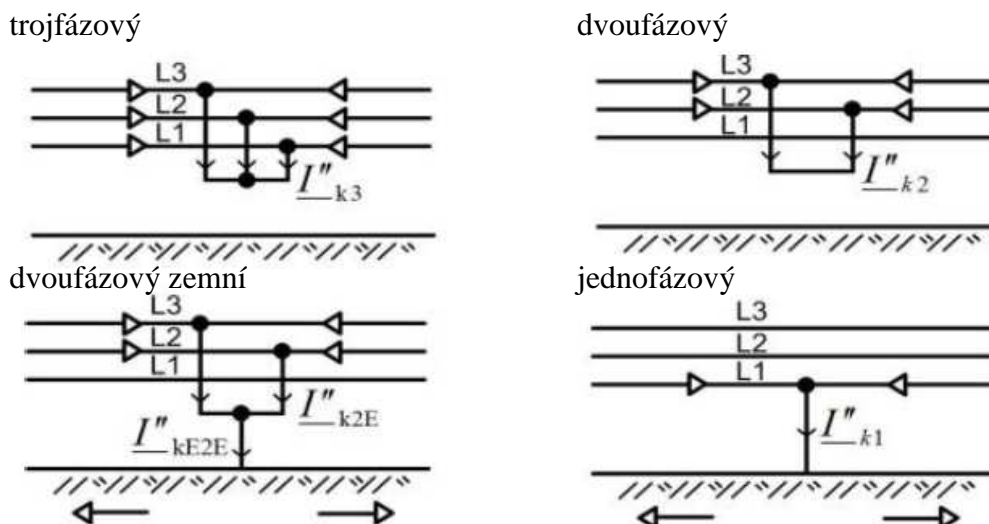
Tepelné účinky jsou nebezpečnější u volně uložených vodičů a kabelů. Nadměrné teplo při zkratu, které nemůže být během krátké doby odvedeno do okolí, může způsobit požár a u kabelů zničení izolace. Teplota totiž může přesáhnout i 200°C.

Velikost zkratového proudu se mění s časem, a proto zjistím tzv. „ekvivalentní oteplovací proud I_{th} (A)“. Jedná se o efektivní hodnotu proudu stálé velikosti, která má za stejnou dobu stejný tepelný účinek jako uvažovaný zkratový proud. Teplo Q (J), jenž vznikne ve vodiči, je pak úměrné kvadrátu proudu:

$$Q = R \cdot I_{th}^2 \cdot t \quad (64)$$

V trojfázových soustavách rozeznáváme několik základních typů zkratů. A to trojfázový, který je souměrný a dále nesouměrné zkraty jednofázové, dvoufázové a dvoufázové zemní. Z nich mohu poté odvodit další složitější poruchy mající charakter zkratu. Nejčastěji se jedná o změnu typu během trvání poruchy, tedy o její časový průběh. Jednoduchá porucha, kterou včas neodstraním, se může změnit na poruchu postihující více fází.[12]

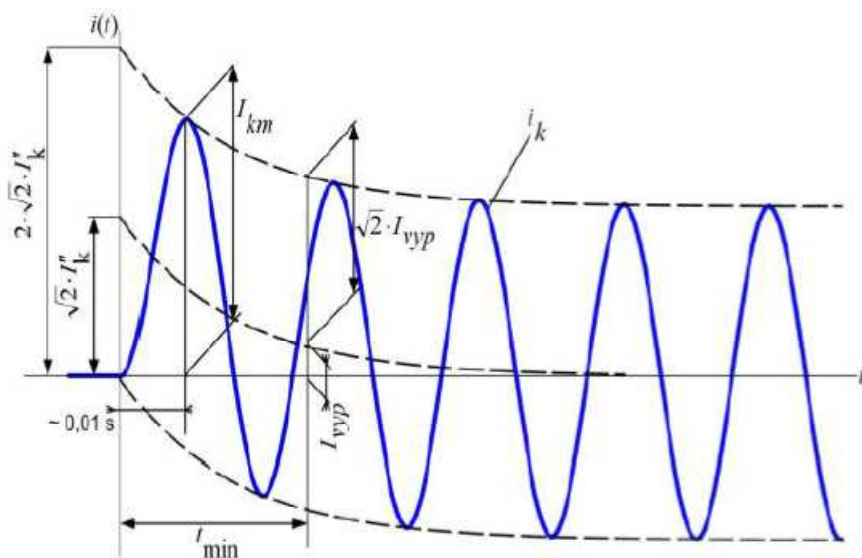
Ke zdrojům zkratových proudů ve střídavé soustavě řadíme kromě synchronních strojů (střídavé generátory, synchronní motory a synchronní kompenzátory) také asynchronní stroje, síťové napáječe elektricky vzdálené od místa zkratu a polovodičové systémy, které mohou při zkratu dodávat zkratový výkon.[12]



Obr. 9-2: Základní druhy zkratů - převzato z [12]

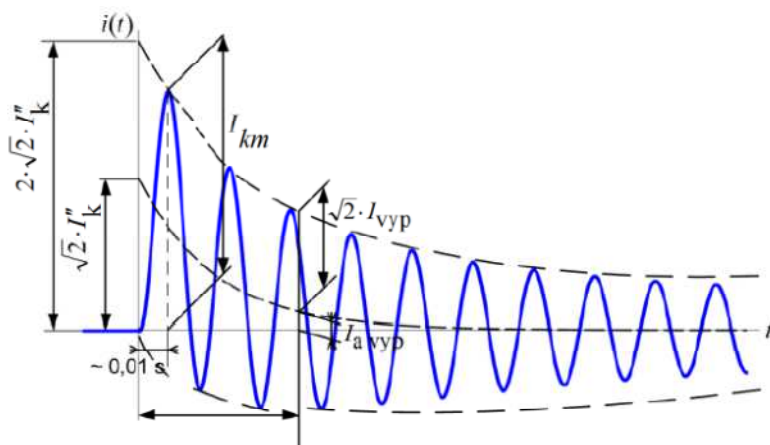
Pokud dojde ve střídavém elektrickém obvodu ke zkratu, vznikne zkratový proud, který má mimo střídavé složky také stejnosměrnou. Velikost této aperiodické složky je závislá na počáteční velikosti střídavého zkratového proudu. Dále na proudu procházejícím vodičem před zkratem a především na velikosti střídavého napětí v místě zkratu v okamžiku jeho vzniku.

Stejnosečná složka zkratového proudu vznikne, jestliže zkrat nastane při přechodu napětí nulou. Naopak když je napětí při vzniku zkratu maximální, stejnosměrná složka nevznikne.[12]



Obr. 9-3: Zkrat elektricky vzdálený - převzato z [13]

Při elektricky vzdáleném zkratu v místě dostatečně elektricky vzdáleného od zdroje zkratového proudu je souměrná složka téměř stálé velikosti, s časem se nezmenšuje. Časový průběh se blíží průběhu zkratu s ideálním napěťovým zdrojem. Při elektricky blízkém zkratu se hodnota střídavé složky zkratového proudu mění.[13]



Obr. 9-4: Zkrat elektricky blízký - převzato z [13]

Při zjednodušených výpočtech zkratového proudu si na počátku vytvořím náhradní schéma pro souslednou (1), případně netočivou (0) složku. Určím celkovou impedanci Z_k (Ω) k místu zkratu pro souslednou $Z_{k(1)}$ (Ω), případně i netočivou složku $Z_{k(0)}$ (Ω). Hodnoty impedancí si přepočítám na tu napěťovou hladinu, kde se má zkratový proud určit. Impedanci tedy musím vynásobit nebo vydělit kvadrátem jmenovitého převodu transformátoru t_r (-). Stanovím tzv. výpočtové napětí (napětí ekvivalentního zdroje) v místě zkratu $U_{výp}$ (V):

$$U_{výp} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3}} \quad (65)$$

Pomocí výpočtového napětí stanovím rázový zkratový proud I_k'' (A) a počáteční rázový zkratový výkon S_k'' (VA) v místě poruchy:

$$I_k'' = k \cdot \frac{U_{výp}}{Z_k} = \frac{c \cdot S_v}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot z_k} \quad (66)$$

$$S_k'' = k \cdot \frac{c \cdot U_n^2}{Z_k} = k \cdot \frac{c \cdot S_v}{z_k} \rightarrow I_k = \frac{S_k''}{\sqrt{3} \cdot U_n} \quad (67)$$

- $c \dots$ napěťový součinitel (-) viz ČSN EN 60909-0
 $U_n \dots$ jmenovité napětí v místě zkratu (V)
 $k \dots$ součinitel pro různé druhy zkratu v normě (-)

Tab. 9-5: Napěťový součinitel c pro výpočet zkratových proudů [14]

Místo zkratu v síti	Napěťový součinitel c pro výpočet zkratových proudů	
	maximální c_{max}	minimální c_{min}
nn	1,10	0,95
vn, 110 kV, 220 kV	1,10	1,00
400 kV, 750 kV	1,05	1,00

Tab. 9-6: Hodnoty k a Z_k pro různé druhy zkratů [14]

Druh zkratu	k	Z_k	
trojfázový	1	$ \bar{Z}_{(1)} $	
jednofázový	3	$ 2 \cdot \bar{Z}_{(1)} + \bar{Z}_{(0)} $	
dvoufázový	$\sqrt{3}$	$ 2 \cdot \bar{Z}_{(1)} $	
dvoufázový zemní	$\sqrt{3}$	$\left \frac{\bar{Z}_{(1)} + 2 \cdot \bar{Z}_{(0)}}{\frac{\sqrt{3}}{2} \pm j \cdot \left(\frac{1}{2} + \frac{\bar{Z}_{(0)}}{\bar{Z}_{(1)}} \right)} \right $	dva postižené vodiče
	3	$ \bar{Z}_{(1)} + 2 \cdot \bar{Z}_{(0)} $	pro složku tekoucí do země

Nakonec pro možnost kontroly navrženého průřezu kabelu na tepelné účinky zkratových proudů musím určit tzv. ekvivalentní oteplovací proud I_{th} (A). Pomocí něho a koeficientu K (-) závislého na materiálu vodiče, stanovím minimální průřez vodiče S_{min} (mm²).

$$I_{th} = I_k'' \cdot k_e \quad (68)$$

$$S_{min} = \frac{I_{ke} \cdot \sqrt{t_k}}{K} \quad (69)$$

- $k_e \dots$ součinitel k výpočtu nárazového zkratového proudu (-) viz ČSN IEC 60909-1
 $K \dots$ koeficient pro dimenzování na tepelné účinky zkratových proudů (-)
 $t_k \dots$ doba trvání zkratového proudu (s)

9.6 Dimenzování na správnou funkci ochran

Ochrany před nebezpečným dotykem pracují na principu odpojení vadné části nejbližší předřazenou ochranou. Vodiče a kabely proto musí být dimenzovány tak, aby mezi fázovým a ochranným vodičem tekla proud, který zajistí automatické působení ochranného prvku ve stanoveném čase. Tato doba je také závislá na druhu sítě a velikosti napětí proti zemi U_0 (V). Tyto hodnoty jsou uvedeny v normě [15].

Z hlediska ochrany před úrazem elektrickým proudem (impedance poruchové smyčky) pro distribuční rozvody nízkého napětí je, podle normy PNE 33 0000-1 [16], stanovena doba odpojení v trvání 30 s.

Pro ochranu samočinným odpojením vadné části v síti TN od zdroje musí platit:

$$Z_s \cdot I_a \leq U_0 \quad (70)$$

Z_s ...	impedance poruchové smyčky (Ω)
I_a ...	proud zajišťující samočinné působení ochranného prvku (A)
U_0 ...	jmenovité napětí sítě proti zemi (V)

10 Uzemňování

Účelem uzemnění je především ochrana před úrazem elektrickým proudem, dále ochrana před bleskem, přepětím, před účinky statické elektřiny a zajištění správné činnosti některých elektrických zařízení. Jedná se o vodivé spojení určitého místa elektrického rozvodu se zemí. Jeho kvalita je následně důležitá především pro bezpečnost osob pohybujících se v jeho okolí, kam mohou být zavlečena nebezpečná napětí. V rámci přenosové sítě provádí uzemnění uzlu generátorů a transformátorů.

Pro uzemňování se používají zemniče náhodné (kovové konstrukce pod zemí). Pokud však nemohu tyto zemniče využít, zřizují se zemniče strojené, které zajišťují požadované spojení se zemí a zemněným zařízením. Rozlišují se podle použitého materiálu a hlavně podle provedení uzemnění na:

- paprskové - v kabelových sítích nn, vn, vvn, svodiče přepětí
- ekvipotenciální kruhy - úsekové spínací prvky, venkovní distribuční transformační stanice, stožáry
- ekvipotenciální prahy - zděné a blokové transformační stanice

Při zpracovávání projektové dokumentace musím doložit, z provedeného měření měrného odporu půdy v místě, kde bude uzemnění prováděno, návrh uzemňovací soustavy. Návrh tedy podložím výpočtem v souladu s příslušnými normami PNE 33 0000-1 a PNE 33 0000-4 energetiky.[16],[17]

Při návrhu uzemnění elektrického zařízení do 1 kV i nad 1 kV budu vycházet z podmínek uvedených v PNE 33 0000-1.

11 Řešení případové studie v oblasti Stanovice

Abych tedy mohl začít, musím nejprve stanovit celkový příkon nové lokality pro rodinné domy. Podle velikosti území jsem zvolil možnost výstavby 18 rodinných domů. V řešeném území obce Stanovice se v současné době nenachází žádné vedení plynu a podle informací Západočeské plynárenské, a.s. vycházející z územního plánu obce se neuvažuje s napojením tohoto území pro jeho odlehlost. Proto je uvažováno i s elektrickým vytápěním i vařením, tedy elektrifikace domácností skupiny C. Vzhledem k tomu, že dopředu nevím, jaké nároky budou jednotlivými odběrateli na požadované příkony požadovány, stanovil jsem rezervovaný příkon pro každý rodinný dům na maximálně 21 kW při účinníku $\cos \varphi = 0,95$. To odpovídá hodnotě třífázového jističe 32 A před elektroměrem. Pro 18 plánovaných rodinných domů je tedy instalovaný příkon P_i :

$$P_i = 21 \cdot 18 = 378 \text{ kW}$$

Ostatní spotřebu v této lokalitě zahrnuje již jen plánovaný rozvod veřejného osvětlení se svým maximálním instalovaným příkonem do 1 kW.

Současný provoz všech instalovaných spotřebičů se samozřejmě nepředpokládá, a tudíž vycházím z normy ČSN 33 2130 pro výpočtové zatížení P_v pro skupinu 18 bytů ve skupině se soudobostí $\beta_N = 0,39$:

$$P_v = \beta_N \cdot \sum P_i = 0,39 \cdot 379 = 147,81 \text{ kW}$$

$$P_v = \sqrt{3} \cdot U_s \cdot I_v \cdot \cos \varphi \rightarrow I_v = \frac{P_v}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi} = \frac{147,81 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,95} = 224,574 \text{ A}$$

$$S_v = \sqrt{3} \cdot U_s \cdot I_v = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 224,574 = 155,59 \text{ kVA}$$

11.1 Návrh přípojky vysokého napětí

Z výpočtového zatížení připravované lokality a s využitím ideálního převodu transformátoru si určím výpočtový proud I_l procházející vedením vysokého napětí navrhované vzdušné přípojky:

$$t_r = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} \rightarrow I_1 = \frac{U_2 \cdot I_2}{U_1} = \frac{400 \cdot 224,574}{22000} = 4,083 \text{ A}$$

Nyní již mohu přistoupit k tomu, abych zvolil průřez vodiče a na základě jeho mechanických vlastností a ostatních vnějších vlivů (teploty, větru a námrazy) stanovil typy a únosnost podpěrných bodů včetně podpěrného bodu transformační stanice.

11.1.1 Úbytek napětí na vedení vn

Nejmenší průřez vodiče AlFe používaný energetikou je vodič 24-AL1/4ST1A (AlFe 25/4) s dovoleným proudovým zatížením na vzduchu 110 A, parametry $R_k = 1,206 \text{ } \Omega/\text{km}$, $X_L = 0,312 \text{ } \Omega/\text{km}$. Potom:

$$R = R_k \cdot l = 1,206 \cdot 0,048 = 0,058 \text{ } \Omega, \quad X = X_L \cdot l = 0,312 \cdot 0,048 = 0,015 \text{ } \Omega$$

Úbytek napětí na vedení:

$$\Delta U_f = R \cdot I_v \cdot \cos \varphi + X \cdot I_v \cdot \sin \varphi = 0,058 \cdot 4,083 \cdot 0,95 + 0,015 \cdot 4,083 \cdot 0,31 = 0,24 \text{ V}$$

$$\Delta u_{\%} = \frac{\Delta U_f \cdot 100 \cdot \sqrt{3}}{U_s} = \frac{0,24 \cdot 100 \cdot \sqrt{3}}{400} = 0,1 \text{ } \% \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Tento průřez se v podstatě pro nová vedení vn v energetice nepoužívá. Standardně nejmenší doporučený průřez používaného vodiče distribuční společností pro venkovní vedení vn je vodič 42-AL1/7ST1A (AlFe 42/7) se jmenovitým zatížením 153 A, s parametry $R_k = 0,687 \text{ } \Omega/\text{km}$, $X_L = 0,402 \text{ } \Omega/\text{km}$. Z toho:

$$R = R_k \cdot l = 0,687 \cdot 0,048 = 0,033 \text{ } \Omega, \quad X = X_L \cdot l = 0,294 \cdot 0,048 = 0,014 \text{ } \Omega$$

$$\Delta U_f = R \cdot I_v \cdot \cos \varphi + X \cdot I_v \cdot \sin \varphi = 0,033 \cdot 4,083 \cdot 0,95 + 0,014 \cdot 4,083 \cdot 0,31 = 0,15 \text{ V}$$

$$\Delta u_{\%} = \frac{\Delta U_f \cdot 100 \cdot \sqrt{3}}{U_s} = \frac{0,15 \cdot 100 \cdot \sqrt{3}}{400} = 0,06 \text{ } \% \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Pokud bych uvažoval použít izolované jednožilové vodiče PAS, tak nejmenší doporučený průřez pro přípojku vysokého napětí je 50 mm^2 . Proudová zatížitelnost tohoto vodiče je 245 A.

Základní parametry:

$$R_k = 0,72 \Omega/\text{km}, X_L = 0,438 \Omega/\text{km}.$$

$$R = R_k \cdot l = 0,72 \cdot 0,048 = 0,035 \Omega, \quad X = X_L \cdot l = 0,438 \cdot 0,048 = 0,021 \Omega$$

$$\Delta U_f = R \cdot I_v \cdot \cos \varphi + X \cdot I_v \cdot \sin \varphi = 0,035 \cdot 4,083 \cdot 0,95 + 0,021 \cdot 4,083 \cdot 0,31 = 0,16 \text{ V}$$

$$\Delta u_{\%} = \frac{\Delta U_f \cdot 100 \cdot \sqrt{3}}{U_s} = \frac{0,16 \cdot 100 \cdot \sqrt{3}}{400} = 0,07 \% \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Po provedených výpočtech je zřejmé, že na vedení vn je velmi malý úbytek napětí. Pokud eliminuji vodič AlFe 25/4, mohu tedy volit mezi holým vodičem AlFe 42/7 a izolovaným vodičem PAS 1x50. Protože se jedná o velmi krátkou přípojku v otevřeném terénu a hlavní kmenové vedení je provedeno také pomocí holých vodičů, není důvod pro použití izolovaného vodiče PAS. Od odbočného sloupu k místu osazení transformační stanice je to vzdušnou čarou 48 m.

11.1.2 Kontrola na tepelné účinky zkratových proudů

Protože jsem nezjistil zkratový výkon v místě připojení přípojky vn, určím si z použitého průřezu hlavního vedení vn (AlFe 42/7) předpokládaný maximální zkratový výkon S_k'' .

$$S_{min} = \frac{I_{th} \cdot \sqrt{t_k}}{K} \rightarrow I_{th} = \frac{S_{min} \cdot K}{\sqrt{0,1}} = \frac{42 \cdot 82}{\sqrt{0,5}} = 4870,5 \text{ A}$$

$K = 82$ pro vodiče AlFe.

$$t_k = 0,5 \text{ s} \rightarrow k_e = 1,02$$

$$I_{th} = I_k'' \cdot k_e \rightarrow I_k'' = \frac{I_{th}}{k_e} = \frac{4870,5}{1,02} = 4,775 \text{ kA}$$

$$I_k'' = \frac{S_k''}{\sqrt{3} \cdot U_n} \rightarrow S_k'' = \sqrt{3} \cdot I_k'' \cdot U_n = \sqrt{3} \cdot 4,775 \cdot 22000 = 181,95 \text{ MVA}$$

11.1.3 Návrh podpěrných bodů

Oblast pro lokalitu rodinných domů spadá do III. kategorie terénu a I. větrové oblasti. Podle námrazové mapy se nachází v N8. Pro návrh dále zvolím referenční úroveň spolehlivost 1. To znamená, že není nutná korekce pomocí dílčích součinitelů zatížení.

Pro jednoduchá vedení vysokého napětí se běžně používají betonové sloupy výšky 10,5 m. Jmenovitý vrcholový tah je dán řadou 3 kN, 6 kN, 10 kN, 15 kN a 20 kN. Proto budu tyto podpěrné body při svém návrhu brát v úvahu. Dále zvolím z důvodu krátké přípojky 48 m pouze dvě pole stejně velká (24 m).

Podpěrný bod č. 1

Na sloupu bude osazen spínací prvek, na kterém budou z obou stran ukotveny vodiče vn. Podle účelu se jedná o rohový podpěrný bod. Návrh provedu na zatížení výslednici tahů vodičů v kombinaci se zatěžovacím stavem 1a (zatížení větrem) a 3 (kombinované zatížení větrem a námrazou). Pro další výpočty potřebuji tyto data:

$$q_h = 189 \text{ Pa}; G_q = 2,72; G_c = 0,85; L = 24 \text{ m}; C_c = 1,2 \text{ (1,1 pro omrzlé vodiče)}; d = 0,009 \text{ mm}; \\ \beta = 90^\circ; K_h = 1; I_R = 63,077 + 1,0890 \text{ N/m}; Y_I = 1; G_{pol} = 1; C_{pol} = 0,7; A_{pol} = 2,48 \text{ m}^2, \\ g = 9,81 \text{ m/s}^2, \Psi_W = 0,25 \text{ (-)}$$

Tahy vodičů:

Pro řešení stavové rovnice použiji výpočetní program pro montážní tabulky, kde z parametrů zvoleného vodiče AlFe 42/7 určím tahy vodiče na podpěrný bod a následně výslednici tahů společně s výše uvedenými zatěžovacími stavy.

Trasa vedení vysokého napětí je v místě rovinnatého terénu, proto nebudu pro zjednodušení počítat s výškovým převýšením a budu uvažovat souměrné závěsy mezi body. V důsledku vysoké námrazové oblasti (N8) jsem postupně dospěl ke vstupnímu stavu namáhání pouze 3 MPa při teplotě -5° C (referenční teplota bez dalšího zatížení větrem nebo námrazou), abych dosáhl přijatelného průhybu vodiče pro délku pole 24 m a zároveň nepřesáhl maximální dovolené namáhání lana σ_{max} . Potom je výsledný tah jednoho vodiče F_{Cmax} pro rozmezí teplot znázorněn v tabulce.

MONTÁŽNÍ TABULKY				VYPOČTI		SOUŘADNICE		Nápověda					
VSTUPNÍ DATA													
Typ lana:	AlFe 42/7			t [°C]	F _H [N]	F _{V1} [N]	F _{V2} [N]	F _{ZPRŮB} [N]	f _{max} [m]	σ _{max} [MPa]	Hm.lana	σ _H [MPa]	
Měrná tíha	g	1,58	N/m	-5	148	20	20	150	0,92	3,0	4,1	3,00	
Modul pružnosti	E	80000	MPa	-30	162	20	20	163	0,75	3,3	4,1	3,27	
Matemat.přířez	S	49,48	mm ²	-20	156	20	20	157	0,78	3,2	4,1	3,16	
Souč.tepel.rozt.	α	0,0001975	1/°C	-10	151	20	20	152	0,80	3,1	4,1	3,05	
Průměr	d	9	mm	-5	148	20	20	150	0,82	3,0	4,1	3,00	
Zaručená pevnost	P	15780	N	0	146	20	20	148	0,83	3,0	4,1	2,95	
Dovolený tah		40	%	5	144	20	20	145	0,84	2,9	4,1	2,91	
		6334	N	10	142	20	20	143	0,85	2,9	4,1	2,86	
Rozteč	a	24	m	20	138	20	20	139	0,88	2,8	4,1	2,78	
Výšková převýšení	h	0	m	30	134	20	20	136	0,90	2,7	4,1	2,71	
Námrazová oblast		N8	kg	40	131	20	20	132	0,93	2,7	4,1	2,64	
Přetížení		44,38	72,98	N/m	-5	3181	898	898	5554	0,98	112,3	163,0	110,78
VSTUPNÍ STAV													
Teplota	t	-5	°C										
Horiz.tah	F	148	N	-vstupní stav defikován tahem (nebo námrazám): 3,00 MPa									
Průhyb	f	0,50	m	-vstupní stav defikován průhybem									
Námraza	ne												

Největší celkový tah způsobuje stav při teplotě -5°C a námraze N8 $\rightarrow F_{Cmax} = 5,554 \text{ kN}$. Maximální průhyb vodiče $f_{max} = 0,98 \text{ m}$. Pro tři vodiče je výsledná síla v jednom směru rovna $F_{Cmax} = 16,662 \text{ kN}$. Obě přilehlá pole jsou stejná $\rightarrow F_{Cmaxa} = F_{Cmaxb} = 16,662 \text{ kN}$, v přímé trase (úhel $\alpha = 180^{\circ}$). Pak vektorový součet výsledného tahu vodičů na podpěrný bod:

$$F_{tah} = \sqrt{F_{Cmaxa}^2 + F_{Cmaxb}^2 - 2 \cdot F_{Cmaxa} \cdot F_{Cmaxb} \cdot \cos(180^{\circ} - \alpha)}$$

$$= \sqrt{16,662^2 + 16,662^2 - 2 \cdot 16,662 \cdot 16,662 \cdot \cos(180^{\circ} - 180^{\circ})} = 0 \text{ kN}$$

Zatěžovací stav 1a

Tlak větru na vodiče:

$$Q_{Wc} = q_h \cdot G_q \cdot G_c \cdot d \cdot C_c \cdot L \cdot \sin^2 \beta = 189 \cdot 2,72 \cdot 0,85 \cdot 0,009 \cdot 1,2 \cdot 24 \cdot 1 = 0,113 \text{ kN}$$

3 vodiče $\rightarrow Q_{Wc} = 3 \cdot 113,26 = 0,339 \text{ kN}$.

Tlak větru na sloup:

$$Q_{Wpol} = q_h \cdot G_q \cdot G_{pol} \cdot C_{pol} \cdot A_{pol} = 189 \cdot 2,72 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot 2,48 = 0,892 \text{ kN}$$

Potom tlak větru v hlavě sloupu:

$$Q_{Wpolh} = Q_{Wpol} \cdot \left(\frac{h_1}{2} - h_2 \right) = 0,892 \cdot \left(\frac{10,5}{2} - 2,0 \right) = 0,341 \text{ kN}$$

Síly větru na ostatní výzbroj (izolátory, konzoly) se běžně neuvažují, tudíž je také nebudu počítat.

Celkové zatížení větrem:

$$Q_W = Q_{WC} + Q_{Wpolh} = 0,339 + 0,341 = 0,681 \text{ kN}$$

Zatěžovací stav 3

$$I_K = K_h \cdot I_R = 1,19 \cdot (63,077 + 1,089 \cdot 9) = 86,72 \text{ N/m}; I_d = I_K \cdot \gamma_I = 86,72 \text{ N/m}$$

$$q_{hl} = \Psi_W \cdot q_h = 0,25 \cdot 189 = 47,25 \text{ Pa}$$

$$D = \sqrt{d^2 + \frac{4 \cdot I_d}{g \cdot \pi \cdot \rho_I}} = \sqrt{0,009^2 + \frac{4 \cdot 86,72}{9,81 \cdot 3,1416 \cdot 500}} = 0,0226 \text{ m}$$

$$Q_{WCI} = q_{hl} \cdot G_q \cdot G_c \cdot D \cdot C_c \cdot L \cdot \sin^2 \beta = 47,25 \cdot 2,72 \cdot 0,85 \cdot 0,0226 \cdot 1,1 \cdot 24 \cdot 1 \\ = 0,065 \text{ kN}$$

$$3 \text{ vodiče} \rightarrow Q_{WCI} = 3 \cdot 0,065 = 0,196 \text{ kN.}$$

Výsledný tah vodičů v kombinaci s výše uvedenými zatěžovacími stavy je nakonec:

$$F_{výst} = F_{tah} + Q_W + Q_{WCI} = 0 + 0,681 + 0,195 = 0,876 \text{ kN}$$

Ze jmenovité řady betonových sloupů je nejbližší vyšší jmenovitá únosnost 3 kN. Je proto možné použít tento sloup. Distribuční společnost však pro podpěrné body se spínacími prvky používá sloupy se jmenovitou únosností od 6 kN → volím tedy sloup 10,5 m/ 6 kN.

Podpěrný bod transformační stanice

Podpěrný bod přípojky vysokého napětí s celkovým jednostranným tahem vodičů, na kterém bude osazena potřebná výzbroj stožárové transformační stanice → koncový podpěrný bod. Návrh provedu na zatížení výslednici tahů vodičů v kombinaci se zatěžovacím stavem 1a - směr větru uvažuji ve směru tahu vodičů. Pro další výpočty potřebuji tyto data:

$$q_h = 189 \text{ Pa}; G_q = 2,72; G_c = 0,85; L = 12 \text{ m (pouze polovina rozpětí)}; C_c = 1,2; d = 0,009 \\ \text{mm}; \beta = 90^\circ; G_{pol} = 1; C_{pol} = 0,7; A_{pol} = 2,42 \text{ m}^2$$

Tahy vodičů:

Nejprve opět určím tahy vodičů na podpěrný bod. Vstupní namáhání zůstává z předchozího bodu 3 MPa při teplotě -5° C . Proto mohu použít stejnou montážní tabulku uvedenou výše a výsledný tah tvořící tři vodiče v jednom směru je $F_{C_{MAX}} = 16,662 \text{ kN}$

$$F_{tah} = F_{C_{MAX}} = 16,662 \text{ kN}$$

Zatěžovací stav 1a

Tlak větru na vodiče:

$$Q_{WC} = q_h \cdot G_q \cdot G_c \cdot d \cdot C_c \cdot L \cdot \sin^2 \beta = 189 \cdot 2,72 \cdot 0,85 \cdot 0,009 \cdot 1,2 \cdot 12 \cdot 1 = 0,057 \text{ kN}$$

$$3 \text{ vodiče} \rightarrow Q_{WC} = 3 \cdot 0,057 = 0,170 \text{ kN.}$$

Tlak větru na sloup:

$$Q_{Wpol} = q_h \cdot G_q \cdot G_{pol} \cdot C_{pol} \cdot A_{pol} = 189 \cdot 2,72 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot 2,42 = 0,871 \text{ kN}$$

Potom tlak větru v hlavě sloupu:

$$Q_{Wpolh} = Q_{Wpol} \cdot \left(\frac{\frac{h_1}{2} - h_2}{h_1 - h_2} \right) = 870,85 \cdot \left(\frac{\frac{10,5}{2} - 2,0}{10,5 - 2,0} \right) = 0,333 \text{ kN}$$

Síly větru na ostatní výzbroj opět nebudu uvažovat.

Celkové zatížení větrem:

$$Q_W = Q_{WC} + Q_{Wpolh} = 0,170 + 0,333 = 0,503 \text{ N}$$

Výsledný tah vodičů v kombinaci se zatížením větrem:

$$F_{výsl} = F_{CMAX} + Q_W = 16,662 + 0,503 = 17,16 \text{ kN}$$

Z výsledného namáhání určím z vyráběné řady sloup 10,5 m/20 kN.

Podpěrný bod č. 5 - odbočný sloup

Podpěrný bod, ze kterého jsou vyvedeny vodiče přípojky z hlavního vedení → odbočný podpěrný bod. Hlavní vedení vysokého napětí je provedeno pomocí vodičů AlFe 42/7. Výsledné zatížení zjistím kombinací výslednice tahů vodičů společně se zatěžovacím stavem 1a (zatížení větrem uvažovaný ve směru výsledného tahu). Postupuji stejně jako u předchozích bodů s využitím již známých hodnot:

$$q_h = 189 \text{ Pa}; G_q = 2,72; G_c = 0,85; L = 70 \text{ m}; C_c = 1,2; d = 0,009 \text{ mm}; \beta = 90^\circ; G_{pol} = 1; C_{pol} = 0,7; A_{pol} = 2,42 \text{ m}^2$$

Tahy vodičů:

Jelikož jsou přilehlá pole hlavního vedení stejné délky (70 m) v přímé trase ($\alpha = 180^\circ$), je bez odbočných vodičů síla na sloup nulová. Rozhodující tah způsobují pouze vodiče přípojky k navrhované stanici. Výsledný tah je tedy stejný jako namáhání vodičů působící na transformační stanici (viz. Podpěrný bod transformační stanice) $\rightarrow F_{CMAX} = 16,662 \text{ kN}$

Zatěžovací stav 1a

Tlak větru na vodiče:

$$Q_{WC} = q_h \cdot G_q \cdot G_c \cdot d \cdot C_c \cdot L \cdot \sin^2 \beta = 189 \cdot 2,72 \cdot 0,85 \cdot 0,009 \cdot 1,2 \cdot 70 \cdot 1 = 0,330 \text{ kN}$$

$$3 \text{ vodiče} \rightarrow Q_{WC} = 3 \cdot 0,333 = 0,991 \text{ kN.}$$

Tlak větru na sloup:

$$Q_{Wpol} = q_h \cdot G_q \cdot G_{pol} \cdot C_{pol} \cdot A_{pol} = 189 \cdot 2,72 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot 2,42 = 0,871 \text{ kN}$$

Potom tlak větru v hlavě sloupu:

$$Q_{Wpolh} = Q_{Wpol} \cdot \left(\frac{\frac{h_1}{2} - h_2}{h_1 - h_2} \right) = 870,85 \cdot \left(\frac{\frac{10,5}{2} - 2,0}{10,5 - 2,0} \right) = 0,333 \text{ kN}$$

Stále neuvažují tlak větru na ostatní výzbroj.

Celkové zatížení větrem:

$$Q_W = Q_{WC} + Q_{Wpolh} = 0,991 + 0,333 = 1,324 \text{ N}$$

Výsledný tah vodičů v kombinaci se zatížením větrem:

$$F_{výsl} = F_{CMAX} + Q_W = 16,662 + 1,324 = 17,986 \text{ kN}$$

Opět jako u podpěrného bodu transformační stanice zvolím betonový sloup 10,5 m/20 kN.

11.1.4 Kontrola mezifázových vzdáleností

$$\begin{aligned}k_{emp} &= 0,56 + \frac{(1 + d/g)}{200} \cdot \left[5,7 - 2,1 \cdot \left(1 + \frac{\delta}{50} \right) \cdot \cos(2\delta) + 0,5 \cdot \sin(2\delta) \right] \\ &= 0,56 + \frac{\left(1 + \frac{9}{1,68} \right)}{200} \cdot \left[5,7 - 2,1 \cdot \left(1 + \frac{0}{50} \right) \cdot \cos(0) + 0,5 \cdot \sin(0) \right] = 0,674\end{aligned}$$

$$b_{emp} = k_{emp} \cdot \sqrt{f_p + L_{ins}} + c_{emp} \cdot D_{pp} = 0,674 \cdot \sqrt{0,98 + 0} + 0,6 \cdot 0,26 = 0,824 \text{ m}$$

Minimální vzdálenost mezi vodiči v rozpětí je tedy 0,824 m.

Vyložení odbočné konzoly přípojky vysokého napětí je 1 m, stejně tak kotevní konzoly vn na podpěrném bodu transformační stanice. Mezifázová vzdálenost na konstrukci spínacího prvku přípojky vn je 0,8 m. To zakreslením v aplikaci AutoCAD znamená vzdálenost fázových vodičů v polovině rozpětí 0,9 m.

11.2 Návrh transformátoru

11.2.1 Instalovaný výkon transformátoru

Z důvodu plánovaného budoucího rozšíření lokality a možného propojení se stávajícími distribučními rozvody v obci Stanovice, navrhuji koeficient využití transformátoru $\gamma_t = 0,7$. Z výpočtového zatížení lokality je instalovaný výkon distribučního transformátoru:

$$S_T = \frac{P_v}{\gamma_t \cdot \cos \varphi} = \frac{147,81 \cdot 10^3}{0,7 \cdot 0,95} = 221,2 \text{ kVA}$$

Jmenovitý výkon transformátoru musí být větší než instalovaný výkon:

$$S_{nT} > S_T$$

Nejbližší vyšší hodnota standardní řady distribučních transformátorů je $S_{nT} = 250 \text{ kVA}$.

Provozovatel distribuční sítě využívá v této části sítě tyto dva druhy transformátorů:

- 1) Transformátor SGB 22/0,40 kV 250 kVA, DOTEL 250H/20 (Elpro Energo)
- 2) Transformátor 22/0,40 kV 250 kVA, ELIN TDQ-252A02S5K-99 (Trafo CZ, a.s.)

Pro výpočet použiji parametry transformátoru SGB: napětí nakrátko: $u_k = 4 \%$; ztráty naprázdno max.: $P_0 = 300 \text{ W}$; ztráty nakrátko max.: $P_k = 3250 \text{ W}$

Distribuční transformátory jsou standardně vybaveny přepínačem odboček $2 \times \pm 2,5 \%$ jmenovitého napětí.

11.2.2 Úbytek napětí na transformátoru

Úbytek napětí na transformátoru při zatížení S_v při účinníku $\cos \varphi = 0,95$ určím ze vztahu:

$$\Delta u = n \cdot (u_r \cdot \cos \varphi + u_L \cdot \sin \varphi) + 0,005 \cdot n^2 \cdot (u_L \cdot \cos \varphi - u_r \cdot \sin \varphi)^2$$

kde:

$$n = \frac{S_v}{S_{nT}} = \frac{221,2}{250} = 0,884$$

$$u_r = 100 \cdot \frac{P_k}{S_{nT}} = 100 \cdot \frac{3250}{250 \cdot 10^3} = 1,3 \%$$

$$u_L = \sqrt{u_k^2 - u_r^2} = \sqrt{4^2 - 1,3^2} = 3,783 \%$$

$$\begin{aligned} \rightarrow \Delta u &= 0,84 \cdot (1,3 \cdot 0,95 + 3,783 \cdot 0,31) + 0,005 \cdot 0,84^2 \cdot (3,783 \cdot 0,95 - 1,3 \cdot 0,31)^2 \\ &= 2,058 \% \end{aligned}$$

11.3 Kontrola kabelového vedení nn

11.3.1 Volba průřezu kabelu podle oteplení

Pro případnou možnost poruchy na kabelovém vedení nn v jakémkoli místě navrhuji provést kabelové rozvody pomocí dvou paralelních větví, které budou ukončeny v rozpojovací skříni. Každá větev bude ale provozována samostatně a v případě poruchy bude možnost napájet všechny odběry v lokalitě z jednoho vývodu. Oba kabely tedy navrhnu na celkové výpočtové zatížení lokality. Maximální délka kabelového vedení v případě napájení z jednoho vývodu je 502 m. Samostatné větve mají délky 301 m a 216 m.

Kabely budou uloženy v zemi. Vzdálenost mezi nimi bude rovna průměru kabelu (cca 5 cm). Referenční teplota pro takto uložené kabely je 20°C. Vzhledem k tomu, že uvažuji plné zatížení jednoho vývodu, nebudu uvažovat společné uložení dvou kabelů, neboť by byl v provozu pouze jeden z nich.

Protože distribuční společnost používá jako standard pouze kabely s hliníkovým jádrem s PVC izolací, tak výpočtovému zatížení $I_v = 224,574$ A odpovídá podle katalogového listu kabel 1-AYKY 3x120+70 s proudovým zatížením 245 A pro uložení v zemi.

11.3.2 Kontrola úbytku napětí

Technické parametry kabelu 1-AYKY 3x120+70:

$$R_k = 0,253 \Omega/\text{km}, X_L = 0,081 \Omega/\text{km}$$

$$R = R_k \cdot l = 0,253 \cdot 0,502 = 0,127 \Omega, \quad X = X_L \cdot l = 0,081 \cdot 0,502 = 0,041 \Omega$$

$$\begin{aligned} \Delta U_f &= R \cdot I_v \cdot \cos \varphi + X \cdot I_v \cdot \sin \varphi = 0,127 \cdot 224,574 \cdot 0,95 + 0,041 \cdot 224,574 \cdot 0,31 \\ &= 29,95 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\Delta u_{\%} = \frac{\Delta U_f \cdot 100 \cdot \sqrt{3}}{U_s} = \frac{29,95 \cdot 100 \cdot \sqrt{3}}{400} = 12,97 \%$$

Dovolený úbytek napětí pro distribuční rozvody je 10 %. Vypočtená hodnota nevyhovuje, proto musím zvolit větší průřez.

Další vyšší průřez používaného kabelu distribuční společností je kabel 1-AYKY 3x240+120 s proudovou zatížitelností 364 A:

$$R_k = 0,125 \Omega/\text{km}, X_L = 0,08 \Omega/\text{km}$$

$$R = R_k \cdot l = 0,125 \cdot 0,502 = 0,063 \Omega, \quad X = X_L \cdot l = 0,08 \cdot 0,502 = 0,04 \Omega$$

$$\Delta U_f = R \cdot I_v \cdot \cos \varphi + X \cdot I_v \cdot \sin \varphi = 0,063 \cdot 224,574 \cdot 0,95 + 0,04 \cdot 224,574 \cdot 0,31 \\ = 16,225 \text{ V}$$

$$\Delta u_{\%} = \frac{\Delta U_{f6} \cdot 100 \cdot \sqrt{3}}{U_s} = \frac{16,225 \cdot 100 \cdot \sqrt{3}}{400} = 7,03 \% \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Ačkoli i tato hodnota je celkem vysoká, je tato hodnota pro distribuční rozvody povolena. Provozování této varianty je pouze v krajním případě, pokud dojde k poruše na jednom z kabelů mezi rozvaděčem transformační stanice a vždy první pojistkovou skříní.

Pokud nebudu uvažovat případné napájení celé lokality přes jeden vývod ve stanici v případě poruchy, tedy pro dva paralelní kabely nn budou úbytky napětí:

Pro kabely 1-AYKY 3x120+70

1. větev:

$$R = R_k \cdot l = 0,253 \cdot 0,301 = 0,076 \Omega, \quad X = X_L \cdot l = 0,081 \cdot 0,301 = 0,024 \Omega$$

$$\Delta U_f = R \cdot I_v \cdot \cos \varphi + X \cdot I_v \cdot \sin \varphi = 0,076 \cdot 124,76 \cdot 0,95 + 0,024 \cdot 124,76 \cdot 0,31 \\ = 9,93 \text{ V}$$

$$\Delta u_{\%} = \frac{\Delta U_f \cdot 100 \cdot \sqrt{3}}{U_s} = \frac{9,93 \cdot 100 \cdot \sqrt{3}}{400} = 4,29 \%$$

2. větev:

$$R = R_k \cdot l = 0,253 \cdot 0,216 = 0,055 \Omega, \quad X = X_L \cdot l = 0,081 \cdot 0,216 = 0,017 \Omega$$

$$\Delta U_f = R \cdot I_v \cdot \cos \varphi + X \cdot I_v \cdot \sin \varphi = 0,055 \cdot 99,81 \cdot 0,95 + 0,017 \cdot 99,81 \cdot 0,31 = 5,74 \text{ V}$$

$$\Delta u_{\%} = \frac{\Delta U_f \cdot 100 \cdot \sqrt{3}}{U_s} = \frac{5,74 \cdot 100 \cdot \sqrt{3}}{400} = 2,48 \%$$

Pro kabely 1-AYKY 3x240+120

1. větev:

$$R = R_k \cdot l = 0,125 \cdot 0,301 = 0,038 \Omega, \quad X = X_L \cdot l = 0,08 \cdot 0,301 = 0,024 \Omega$$

$$\Delta U_f = R \cdot I_v \cdot \cos \varphi + X \cdot I_v \cdot \sin \varphi = 0,038 \cdot 124,76 \cdot 0,95 + 0,024 \cdot 124,76 \cdot 0,31 \\ = 5,43 \text{ V}$$

$$\Delta u_{\%} = \frac{\Delta U_f \cdot 100 \cdot \sqrt{3}}{U_s} = \frac{5,43 \cdot 100 \cdot \sqrt{3}}{400} = 2,35 \%$$

2. větev:

$$R = R_k \cdot l = 0,125 \cdot 0,216 = 0,027 \, \Omega, \quad X = X_L \cdot l = 0,08 \cdot 0,216 = 0,017 \, \Omega$$

$$\Delta U_f = R \cdot I_v \cdot \cos \varphi + X \cdot I_v \cdot \sin \varphi = 0,027 \cdot 99,81 \cdot 0,95 + 0,017 \cdot 99,81 \cdot 0,31 = 3,09 \, V$$

$$\Delta u_{\%} = \frac{\Delta U_f \cdot 100 \cdot \sqrt{3}}{U_s} = \frac{3,09 \cdot 100 \cdot \sqrt{3}}{400} = 1,34 \, \%$$

11.3.3 Kontrola na tepelné účinky zkratových proudů

Výpočet zkratového proudu v rozvaděči nn transformační stanice:

$$Z_s = \frac{c \cdot U_n^2}{S_k''} \cdot \frac{U_2^2}{U_1^2} = \frac{1,1 \cdot 22^2}{181,95} \cdot \frac{0,4^2}{22^2} = 9,67 \cdot 10^{-4} \, \Omega$$

Použijí vypočtené hodnoty $R = 0,033 \, \Omega$ a $X = 0,014 \, \Omega$ zvoleného vodiče AlFe 42/7

$$Z_v = \sqrt{(R \cdot l)^2 + (X \cdot l)^2} = \sqrt{(0,033 \cdot 0,048)^2 + (0,014 \cdot 0,048)^2} = 1,721 \cdot 10^{-3} \, \Omega$$

$$Z_v = Z_v \cdot \frac{U_2^2}{U_1^2} = 0,001721 \cdot \frac{0,4^2}{22^2} = 5,68 \cdot 10^{-7} \, \Omega$$

$$Z_T = u_k \cdot \frac{U_n^2}{S_T} = 0,04 \cdot \frac{0,4^2}{250} = 0,026 \, \Omega$$

$$Z_{celk} = Z_s + Z_v + Z_T = 9,67 \cdot 10^{-4} + 5,68 \cdot 10^{-7} + 0,026 = 0,027 \, \Omega$$

$$I_k'' = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{celk}} = \frac{1,1 \cdot 400}{\sqrt{3} \cdot 0,026} = 9,41 \, kA$$

Ekvivalentní oteplovací proud pro součinitel $k_e = 1,04$ pro dobu zkratu $t_k = 0,1 \, s$:

$$I_{th} = I_k'' \cdot k_e = 9,41 \cdot 1,04 = 9,79 \, kA$$

Koeficient materiálu vodiče AYKY s PVC izolací $K = 74$

$$S_{min} = \frac{I_{th} \cdot \sqrt{t_k}}{K} = \frac{9786,4 \cdot \sqrt{0,1}}{74} = 41,82 \, mm^2 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

11.3.4 Jištění kabelů

Musí platit:

$$I_B \leq I_n \leq I_z \text{ a současně } I_n \leq K \cdot I_z$$

Kabelové vedení nn bude provozováno jako dva samostatné paprsky. Vzdálenost mezi kabely cca 5 cm. Referenční teplota pro takto uložené kabely je 20°C a s přepočítávacím činitelem

$k = 0,8$ pro dva souběžné kabely v zemi. Dovolené proudové zatížení pro standardní provoz kabelů nn:

$I_z = k \cdot I_n = 0,8 \cdot 364 = 291,2 \text{ A} \rightarrow$ vyhovuje pro oba kabely nn, neboť jeden kabel bude napájet 10 odběrů s výpočtovým proudem 124,76 A, druhý kabel bude napájet 8 odběrů s výpočtovým zatížením 99,81 A.

S využitím součinitele přiřazení jisticího prvku proti přetížení pro pojistky charakteristiky gG (jištění vedení) od 16 A a kabely s PVC izolací $K = 0,9$ určím maximální jmenovitý proud pojistky:

$$I_n \leq 0,9 \cdot 291,2 \leq 262,1 \text{ A}$$

nejbližší nižší hodnota z řady pojistek je hodnota 250 A.

11.4 Návrh uzemnění

Pro správný návrh uzemnění jsem si v místě lokality provedl potřebná měření měrného odporu půdy, která jsem si poté zaznamenal do protokolu (viz. Příloha 10).

Vliv kolísání rezistivity půdy v závislosti na ročním období eliminuji tak, že naměřenou hodnotu měrného odporu půdy vynásobím činitelem K vycházejícího z grafu závislosti činitele K na ročním období (viz. Příloha 11). Tím stanovím ekvivalentní rezistivitu půdy ρ_e , která je směrodatná pro následující návrh uzemnění.

11.4.1 Výpočet uzemnění stožárové transformační stanice

Pro uzemňování distribuční transformační stanice se používá ochranné uzemnění ve formě ekvipotenciálních kruhů. Postup výpočtu provedu na základě PNE 33 0000-4.

a) Zemní odpor u paty ocelové výztuže železobetonového stožáru

Průměr sloupu u paty (základu) - $D_p = 0,323$ m

Hloubka základu - $L_p = 2,0$ m

Poměr L_p/D_p :

$$\frac{L_p}{D_p} = \frac{2}{0,323} = 6,188$$

Z grafu poté vyčtu hodnotu koeficientu K_{11} pro ocelovou výztuž základu stožáru

→ $K_{11} = 0,4$.

Měření na místě jsem provedl 23. ledna a činila hodnotu $\rho_E = 69,3 \Omega \cdot m$. Potom ekvivalentní rezistivita půdy vychází:

$$\rho_e = \rho_E \cdot K = 69,3 \cdot 1 = 69,3 \Omega \cdot m$$

Zemní odpor ocelové výztuže železobetonového stožáru R_{st} určím vztahem:

$$R_{st} = 1,1 \cdot K_{11} \cdot \frac{\rho_e}{L_p} = 1,1 \cdot 0,4 \cdot \frac{69,3}{2} = 15,246 \Omega$$

b) Zemní odpor obvodového zemniče

Z navrženého výkresu uzemnění v programu AutoCAD se třemi ekvipotenciálními kruhy jsem odečetl tyto hodnoty:

$$L_1 = 7,539 \text{ m}, L_2 = 16,965 \text{ m}, L_3 = 26,389 \text{ m}.$$

Z těchto hodnot poté pro možnost výpočtu odporu obvodového zemniče jednoduše ze vztahu pro obvod kruhu určím průměry kruhových zemničů:

$$D_1 = \frac{L_1}{\pi} = \frac{7,539}{\pi} = 2,4 \Omega, D_2 = \frac{L_2}{\pi} = \frac{16,965}{\pi} = 5,4 \Omega, D_3 = \frac{L_3}{\pi} = \frac{26,389}{\pi} = 8,4 \Omega$$

Pro uzemnění použiji materiál daný standardem energetiky a tím je pásek FeZn 30x4 mm. Jeho šířka je 30 mm. Pro další výpočet potřebuji polovinu šířky páskového zemniče
→ d = 15 mm.

Odpor jednotlivých obvodových zemničů je:

$$R_{ER1} = \frac{\rho_e}{\pi^2 \cdot D_1} \cdot \ln \frac{2 \cdot \pi \cdot D_1}{d} = \frac{69,3}{\pi^2 \cdot 2,4} \cdot \ln \frac{2 \cdot \pi \cdot 2,4}{0,015} = 20,227 \Omega,$$

$$R_{ER2} = \frac{\rho_e}{\pi^2 \cdot D_2} \cdot \ln \frac{2 \cdot \pi \cdot D_2}{d} = \frac{69,3}{\pi^2 \cdot 5,4} \cdot \ln \frac{2 \cdot \pi \cdot 5,4}{0,015} = 10,043 \Omega,$$

$$R_{ER3} = \frac{\rho_e}{\pi^2 \cdot D_3} \cdot \ln \frac{2 \cdot \pi \cdot D_3}{d} = \frac{69,3}{\pi^2 \cdot 8,4} \cdot \ln \frac{2 \cdot \pi \cdot 8,4}{0,015} = 6,826 \Omega$$

c) Zemní odpor kombinace obvodových zemničů

Pro výpočet použiji doporučený koeficient využití dílčích uzemnění $\eta_{12} = 0,7$ z příslušné podnikové normy. Je stanoven pro malé objekty a vzájemnou vzdálenost zemničů do 2 m. Vychází z údajů v typizační směrnici Tsm - so : Uzemnění stožárů venkovních vedení vvn a zvn, II. etapa, část 1 SEP ELEKTROVOD, FMPE, ČEZ, SEP Bratislava 1990.

S využitím odporů jednotlivých obvodových zemničů je odpor:

$$R_E = \frac{\frac{R_{ER1} \cdot R_{ER2}}{R_{ER1} + R_{ER2}} \cdot R_{ER3}}{\frac{R_{ER1} \cdot R_{ER2}}{R_{ER1} + R_{ER2}} + R_{ER3}} \cdot \frac{1}{\eta_{12}} = \frac{\frac{20,227 \cdot 10,043}{20,227 + 10,043} \cdot 6,826}{\frac{20,227 \cdot 10,043}{20,227 + 10,043} + 6,826} = 4,834 \Omega$$

c) Kombinace základového a obvodového zemniče (výsledný odpor uzemnění)

Výsledný odpor uzemnění určím z kombinace odporu ocelové výztuže a kombinace obvodových zemničů s využitím koeficientu využití dílčích uzemnění $\eta = 0,7-0,8$ opět vycházející z výše uvedené typizační směrnice:

$$R_V = \frac{R_{st} \cdot R_E}{R_{st} + R_E} \cdot \frac{1}{\eta} = \frac{15,246 \cdot 4,834}{15,246 + 4,834} \cdot \frac{1}{0,8} = 4,588 \Omega$$

11.4.2 Výpočet uzemnění spínacího prvku na betonovém sloupu

Při výpočtu hodnoty uzemnění spínacího prvku přípojky vn na betonovém sloupu budu postupovat obdobně jako při výpočtu stožárové transformační stanice. Jedná se o pracovní uzemnění. Rozdíl je v tom, že jsem pro návrh uzemnění použil pouze dva ekvipotenciální kruhy.

a) Zemní odpor u paty ocelové výztuže železobetonového stožáru

Průměr D_p paty sloupu a hloubka vetknutí L_p podpěrného bodu je, jak jsem zjistil z katalogového listu betonových stožárů, stejná jako u podpěrného bodu transformační stanice.

Při měření měrného odporu půdy v místě předpokládaného sloupu jsem zaznamenal hodnotu $\rho_E = 78,5 \Omega \cdot \text{m}$. Ekvivalentní rezistivita půdy je potom:

$$\rho_e = \rho_E \cdot K = 78,5 \cdot 1 = 78,5 \Omega \cdot \text{m}$$

Zemní odpor ocelové výztuže železobetonového stožáru R_{st} :

$$R_{st} = 1,1 \cdot K_{11} \cdot \frac{\rho_e}{L_p} = 1,1 \cdot 0,4 \cdot \frac{78,5}{2} = 17,27 \Omega$$

b) Zemní odpor obvodového zemniče

Opět jsem z navrženého výkresu uzemnění se dvěma ekvipotenciálními kruhy získal hodnoty:

$$L_1 = 8,95 \text{ m}, L_2 = 21,55 \text{ m}.$$

Z těchto hodnot určím průměry kruhových zemničů:

$$D_1 = \frac{L_1}{\pi} = \frac{8,95}{\pi} = 2,849 \Omega, D_2 = \frac{L_2}{\pi} = \frac{21,55}{\pi} = 6,86 \Omega$$

Opět zvolím pásek FeZn 30x4 mm a s jeho polovinou šířky vypočtu odpor jednotlivých obvodových zemničů:

$$R_{ER1} = \frac{\rho_e}{\pi^2 \cdot D_1} \cdot \ln \frac{2 \cdot \pi \cdot D_1}{d} = \frac{78,5}{\pi^2 \cdot 2,849} \cdot \ln \frac{2 \cdot \pi \cdot 2,849}{0,015} = 19,779 \Omega,$$

$$R_{ER2} = \frac{\rho_e}{\pi^2 \cdot D_2} \cdot \ln \frac{2 \cdot \pi \cdot D_2}{d} = \frac{78,5}{\pi^2 \cdot 6,86} \cdot \ln \frac{2 \cdot \pi \cdot 6,86}{0,015} = 9,233 \Omega$$

c) Zemní odpor kombinace obvodových zemničů

S využitím stejného koeficientu využití dílčích uzemnění $\eta_{12} = 0,7$ z příslušné podnikové normy a jednotlivých obvodových zemničů je odpor:

$$R_E = \frac{R_{ER1} \cdot R_{ER2}}{R_{ER1} + R_{ER2}} \cdot \frac{1}{\eta_{12}} = \frac{19,779 \cdot 9,233}{19,779 + 9,233} = 8,933 \Omega$$

d) Kombinace základového a obvodového zemniče (výsledný odpor uzemnění)

Výsledný odpor uzemnění určím stejně jako při výpočtu uzemnění podpěrného bodu transformační stanice se stejným koeficientem využití dílčích uzemnění $\eta = 0,8$:

$$R_V = \frac{R_{st} \cdot R_E}{R_{st} + R_E} \cdot \frac{1}{\eta} = \frac{17,27 \cdot 8,933}{17,27 + 8,933} \cdot \frac{1}{0,8} = 7,392 \Omega$$

11.4.3 Výpočet uzemnění kabelových rozvodů nízkého napětí

Kabelové skříně v rozvodné síti by neměly být vzdáleny od nejbližšího místa uzemnění více než 100 m. V trase kabelového vedení má mít odpor uzemnění nejvýše 15 Ω . Na konci hlavního vedení potom nejvýše 5 Ω . Uzemnění jsem navrhl paprskové ze stejného materiálu (FeZn 30x4 mm).

Poté co jsem rozmístil pojistkové skříně v situaci lokality pro rodinné domy, vychází mi tři místa pro uzemnění přípojkových skříní označených X2, X6 a X8 v trase kabelového vedení a jedno místo určující konec hlavního vedení u rozpojovací skříně označené R40 (označení skříní vychází z metodiky jednotného značení). Po určení míst jsem si provedl další čtyři měření měrného odporu půdy, na základě nichž jsem získal tyto hodnoty rovnající se zároveň ekvivalentním hodnotám:

$$\rho_{E1} = 66,1 \Omega \cdot m \text{ (X2)}, \rho_{E2} = 76,3 \Omega \cdot m \text{ (X6)}, \rho_{E3} = 63,8 \Omega \cdot m \text{ (X8)}, \rho_{E4} = 69,6 \Omega \cdot m \text{ (R40)}$$

Abych tedy nepřesáhl požadované hodnoty uzemnění, musím spočítat minimální délky paprskových zemničů pro stanovené pojistkové skříně ze vztahu:

$$R_{EB} = \frac{\rho_E}{\pi \cdot L} \cdot \ln \frac{2 \cdot L}{d}$$

Protože výraz obsahuje přirozený logaritmus, využil jsem programu Microsoft Excel, ve kterém jsem vytvořil jednoduchý program, pomocí něhož jsem postupným zadáváním určil minimální délky paprskových zemničů v celých metrech:

$$R_{EB1} = \frac{\rho_{E1}}{\pi \cdot L_1} \cdot \ln \frac{2 \cdot L_1}{d} = \frac{66,1}{\pi \cdot 11} \cdot \ln \frac{2 \cdot 11}{0,015} = 13,949 \Omega \rightarrow L_1 = 11 \text{ m}$$

$$R_{EB2} = \frac{\rho_{E2}}{\pi \cdot L_2} \cdot \ln \frac{2 \cdot L_2}{d} = \frac{76,3}{\pi \cdot 12} \cdot \ln \frac{2 \cdot 12}{0,015} = 14,932 \Omega \rightarrow L_2 = 12 \text{ m}$$

$$R_{EB3} = \frac{\rho_{E3}}{\pi \cdot L_3} \cdot \ln \frac{2 \cdot L_3}{d} = \frac{63,8}{\pi \cdot 10} \cdot \ln \frac{2 \cdot 10}{0,015} = 14,613 \Omega \rightarrow L_3 = 10 \text{ m}$$

$$R_{EB4} = \frac{\rho_{E4}}{\pi \cdot L_4} \cdot \ln \frac{2 \cdot L_4}{d} = \frac{69,6}{\pi \cdot 38} \cdot \ln \frac{2 \cdot 38}{0,015} = 14,613 \Omega \rightarrow L_4 = 38 \text{ m}$$

Závěr

Cílem mé diplomové práce byl návrh připojení nové lokality rodinných domů na zdroj elektrické energie. Ta se nachází v jižní části obce Stanovice, v oblasti, která navazuje na stávající lokalitu. Pro ní již byly rozvody elektrické energie vybudovány. Požadavkem bylo připojení lokality na vedení z napěťové hladiny vysokého napětí, jenž prochází podél navrhované lokality a tím ji odděluje od té stávající.

Pro plánovaný počet 18 rodinných domů jsem podle předpokládaného požadavku odběratelů stanovil soudobý odběr na straně nízkého napětí na téměř 225 A. Odpovídá to zdánlivému výkonu cca 156 kVA. S využitím ideálního převodu transformátoru je výpočtový proud na straně vysokého napětí menší než 5 A. Z těchto základních hodnot a s využitím působících klimatických vlivů (vítr, námraza, ...) jsem přistoupil k návrhu vzdušné přípojky vysokého napětí.

Porovnáním úbytků napětí na běžně používaných vodičích jsem dospěl k tomu, že je na tak krátké přípojce vysokého napětí zanedbatelný (do 0,1 %) i při použití nejmenšího průřezu používaného v distribučních společnostech (AlFe 25). Jak dále uvádím, tak jsem nezískal informace o zkratovém výkonu v místě připojení na hlavní vedení vysokého napětí. Proto jsem předpokládal, že pokud stávající hlavní vedení vyhovuje na tepelné účinky zkratových proudů, tak je nejvyšší předpokládaný zkratový výkon při použití vodiče AlFe 42/7 téměř 182 MVA. Trasu jsem stanovil přímo k místu osazení distribuční transformační stanice. Volba podpěrných bodů je zohledněna výpočty zatěžovacích stavů, společně s působením tlaku větru a tíhy námrazy na vodiče. Součástí přípojky je též spínací prvek umístěný na podpěrný bod před plánovanou stanicí pro možnost manipulací v beznapěťovém stavu. Jedná se o úsekový odpojovač, který odpíná bez zátěže. Jeho elektrické parametry je možno zjistit z katalogového listu výrobce. Při návrhu přípojky vysokého napětí jsem se pouze zmínil o konzolách a izolátorech, které tvoří nedílnou součást vzdušných rozvodů. Jelikož se jedná o typizované prvky uvedené ve standardech energetiky, nejsou tedy probírány podrobněji.

Transformační stanici jsem z důvodu vzdušné přípojky vysokého napětí zvolil stožárovou. Vhodně navrženými tahy vodičů jsem vyloučil použití příhradového stožáru a umístil ji na betonový sloup. Jedná se o typizovaný „výrobek“, s příslušnou výstrojí (konzoly, pojistkové spodky s omezovači přepětí, rozvaděč nn, příslušné svody a vývody), tudíž je pro její návrh nejdůležitější stanovení zdánlivého výkonu transformátoru a jeho parametrů. Se zohledněním dané situace v oblasti a případného rozšíření lokality jsem výpočtem dospěl k výkonu

transformátoru 250 kVA. Z toho vyplývá použití jisticích prvků pro ochranu transformátoru jak na straně vysokého, tak i nízkého napětí (Příloha 7). A dále se zohledněním následného návrhu kabelových rozvodů nízkého napětí (úbytky napětí) navrhuji před instalací nastavit na transformátoru první odbočku + 2,5 % jmenovitého napětí.

Kabelové rozvody nízkého napětí jsem se rozhodl provést tak, aby bylo možné provozovat je bez dlouhé odstávky elektrické energie. V případě poruchy v libovolném místě mezi pojistkovými skříněmi lze provést odpojení místa v přilehlých skříních a napájení uskutečnit osazením pojistek v koncové rozpojovací skříně R40 podle potřeby. Kabelové vedení však bude provozováno ve formě dvou samostatných paprsků.

Postupným zohledněním požadovaných parametrů na dimenzování vodičů jsem nakonec stanovil použití maximálního průřezu hliníkových kabelů používaných energetikou a to 240 mm². Podle podmínky ochrany před úrazem elektrickým proudem (impedance poruchové smyčky), je doba odpojení pro distribuční rozvody nízkého napětí, z normy PNE 33 0000-1 stanovena na 30 s. Tato podmínka, pokud nebudu uvažovat extrémně dlouhá vedení, bude vždy splněna. V případě potřeby je možné tento výpočet provést například pomocí výpočtového programu Sichr od společnosti OEZ, s.r.o. Letohrad, zabývající se výrobou především jisticích přístrojů. Stejně tak lze pomocí tohoto software provést kontrolu na ostatní parametry (úbytek napětí, kontrola na oteplení podle způsobu uložení, tepelné účinky zkratových proudů).

Volbu pojistkových skříní jsem uskutečnil na základě běžné koncepce energetiky pro návrh kabelových rozvodů nn. Řešení dalšího připojení (osazení elektroměrových rozvaděčů, domovní přívody a elektroinstalace) by se poté řešilo samostatně na základě konkrétních požadavků vlastníků budoucích nemovitostí.

Součástí elektrifikace lokality je též návrh uzemňovací soustavy, jak pro zařízení vysokého napětí, transformační stanice, tak následně zařízení kabelových rozvodů nízkého napětí. Návrh uzemnění jednotlivých zařízení jsem provedl pomocí měření měrného odporu půdy (Příloha 11), výpočtů a postupů v PNE 33 0000-4. Jednotlivé délky paprskových zemničů jsem pak zapsal na přehledovém schéma napájení, které je součástí přílohy (Příloha 9).

Pro zpracování mé diplomové práce jsem použil materiály a software se svolením společnosti ELEKTROPLAN, s.r.o., která se zabývá projekcí elektrických rozvodů.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] DSO_ME_0152r01. *Koncepce venkovních sítí vn.* Praha, 2011. Dostupné z: <http://www.cezdistribuce.cz/edee/content/pubutf/ds3/cs/prododavatele/standardy2g/standardy-katalog.html>
- [2] ČSN EN 50423-1. *Elektrická venkovní vedení s napětím nad AC 1 kV do AC 45 kV včetně - Část 1: Všeobecné požadavky - Společné specifikace.* Praha, 2005. Dostupné z: <https://csnonlinefirmy.unmz.cz/default.aspx>
- [3] PNE 33 3301. *Elektrická venkovní vedení s napětím nad 1 kV AC do 45 kV včetně.* 2. vyd. Praha, 2008. Dostupné z: <http://www.csres.cz/CZ/podnikove-normy>
- [4] Příručka pro projektování
- [5] MERTLOVÁ, Jiřina a NOHÁČOVÁ Lucie. *Elektrické stanice a vedení.* 1. vyd. V Plzni: Západočeská univerzita, Fakulta elektrotechnická, 2008, 168 s. ISBN 978-80-7043-724-7.
- [6] ČSN EN 50341-1 ed.2. *Elektrická venkovní vedení s napětím nad AC 1 kV - Část 1: Obecné požadavky - Společné specifikace.* Praha, 2013. Dostupné z: <https://csnonlinefirmy.unmz.cz/default.aspx>
- [7] EGÚ Brno. *Optimalizace tahů vodičů venkovních vedení vn.* Brno, 2008.
- [8] Iterace. *Wikipedie* [online]. 2014 [cit. 2015-11-17]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Iterace>
- [9] ČSN 33 2000-5-52 ed.2. *Elektrické instalace nízkého napětí - Část 5-52: Výběr a stavba elektrických zařízení - Elektrická vedení.* Praha, 2012. Dostupné z: <https://csnonlinefirmy.unmz.cz/default.aspx>
- [10] HEŘMAN, Josef. *Příručka silnoproudé elektrotechniky.* Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1984, 1026 s.
- [11] Dimenzování průřezu elektrického vodiče a určení typu elektrického kabelu. *Elektronika - mé hobby* [online]. 2011 [cit. 2015-11-17]. Dostupné z: <http://elektronika-me-hobby.michal-kolesa.cz/dimenzovani-prurezu-elektrickeho-vodice-a-urceni-typu-elektrickeho-kabelu.php>
- [12] *Zkratky podle standardů ČSN a IEC: [sborník přednášek].* 1. vyd. Trutnov: H.V.K.L. Propag Team, 1996, 91 s.

- [13] VO;KÁL, Josef. *Výpočty zkratových proudů v kontextu vývoje standardů* [online]. 2012 [cit. 2015-11-17]. Dostupné z: <https://www.powerwiki.cz/wiki/Vyuka>
- [14] ČSN EN 60909-0. *Zkratové proudy v trojfázových střídavých soustavách - Část 0: Výpočet proudů*. Praha, 2002. Dostupné z: <https://csnonlinefirmy.unmz.cz/default.aspx>
- [15] ČSN 33 2000-4-41 ed.2. *Elektrické instalace nízkého napětí - Část 4-41: Ochranná opatření pro zajištění bezpečnosti - Ochrana před úrazem elektrickým proudem*, 2007. Dostupné z: <https://csnonlinefirmy.unmz.cz/default.aspx>
- [16] PNE 33 0000-1. *Ochrana před úrazem elektrickým proudem v distribučních soustavách a přenosové soustavě*. 5. vyd. Praha, 2011. Dostupné z: <http://www.csres.cz/CZ/podnikove-normy>
- [17] PNE 33 0000-4. *Příklady výpočtů uzemňovacích soustav v distribuční a přenosové soustavě dodavatele elektřiny*. 3. vyd. Praha, 2011. Dostupné z: <http://www.csres.cz/CZ/podnikove-normy>
- [18] PNE 34 8220. *Odstřed'ované betonové sloupy pro elektrická venkovní vedení do 45 kV*. 3. vyd. Praha, 2015. Dostupné z: <http://www.csres.cz/CZ/podnikove-normy>

Seznam příloh

Příloha 1: Situace s umístěním lokality pro rodinné domy v obci Stanovice

Příloha 2: Mapa námrazových mezooblastí pro vedení vvn, vn

Příloha 3: Mapa větrových mezooblastí pro vedení vvn, vn a nn

Příloha 4: Parametry betonových sloupů pro energetiku

Příloha 5: Katalogový list vodiče AlFe 42/7

Příloha 6: Stožárová transformační stanice

Příloha 7: Schéma transformační stanice

Příloha 8: Pojistkové tavné vložky vn

Příloha 9: Přehledové schéma napájení rozvodů nn

Příloha 10: Katalogový list kabelů 1-AYKY

Příloha 11: Protokol o měření měrného odporu půdy

Příloha 12: Pracovní uzemnění spínacího prvku vysokého napětí

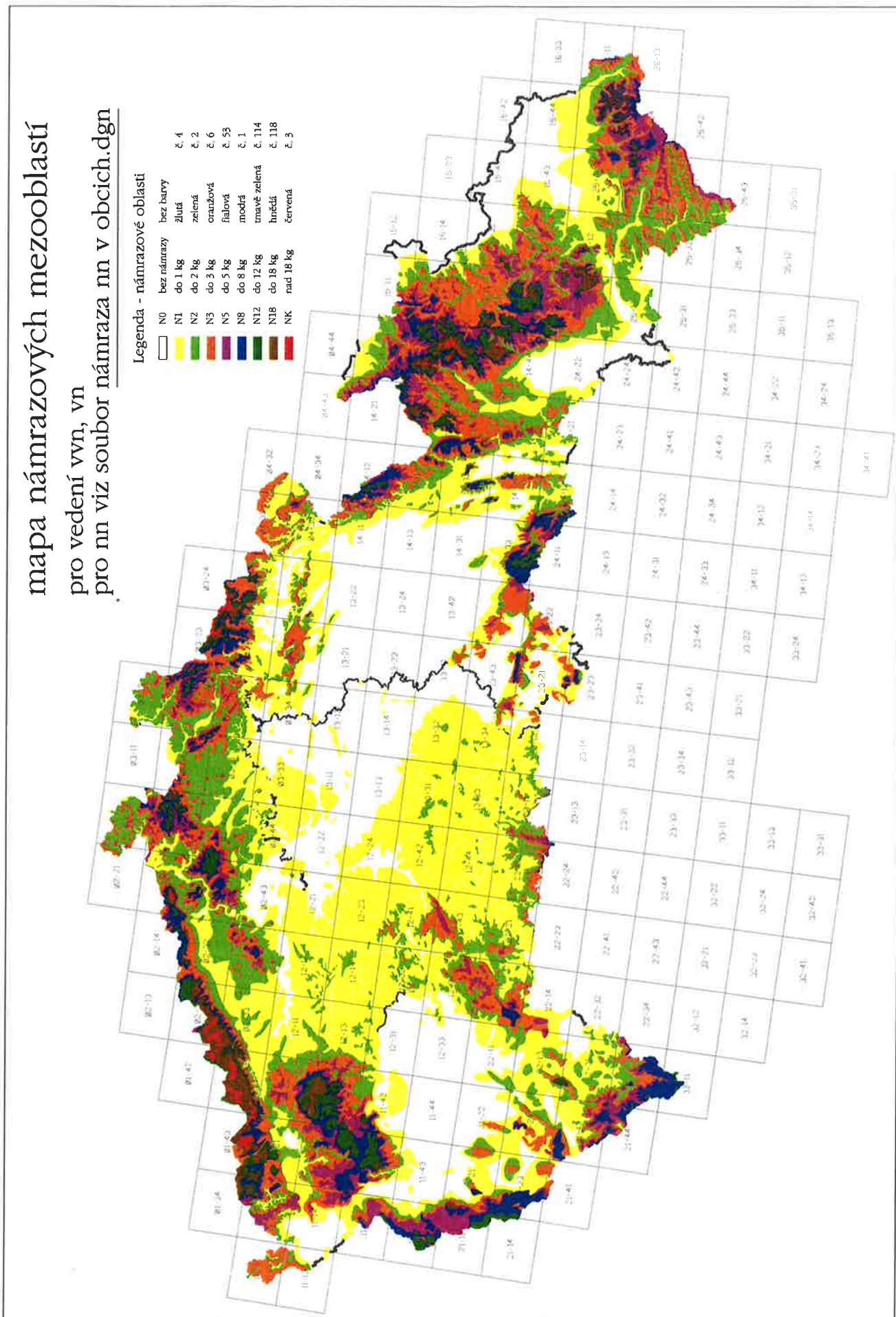
Příloha 13: Ochranné uzemnění stožárové transformovny

Příloha 14: Situace - celkový návrh

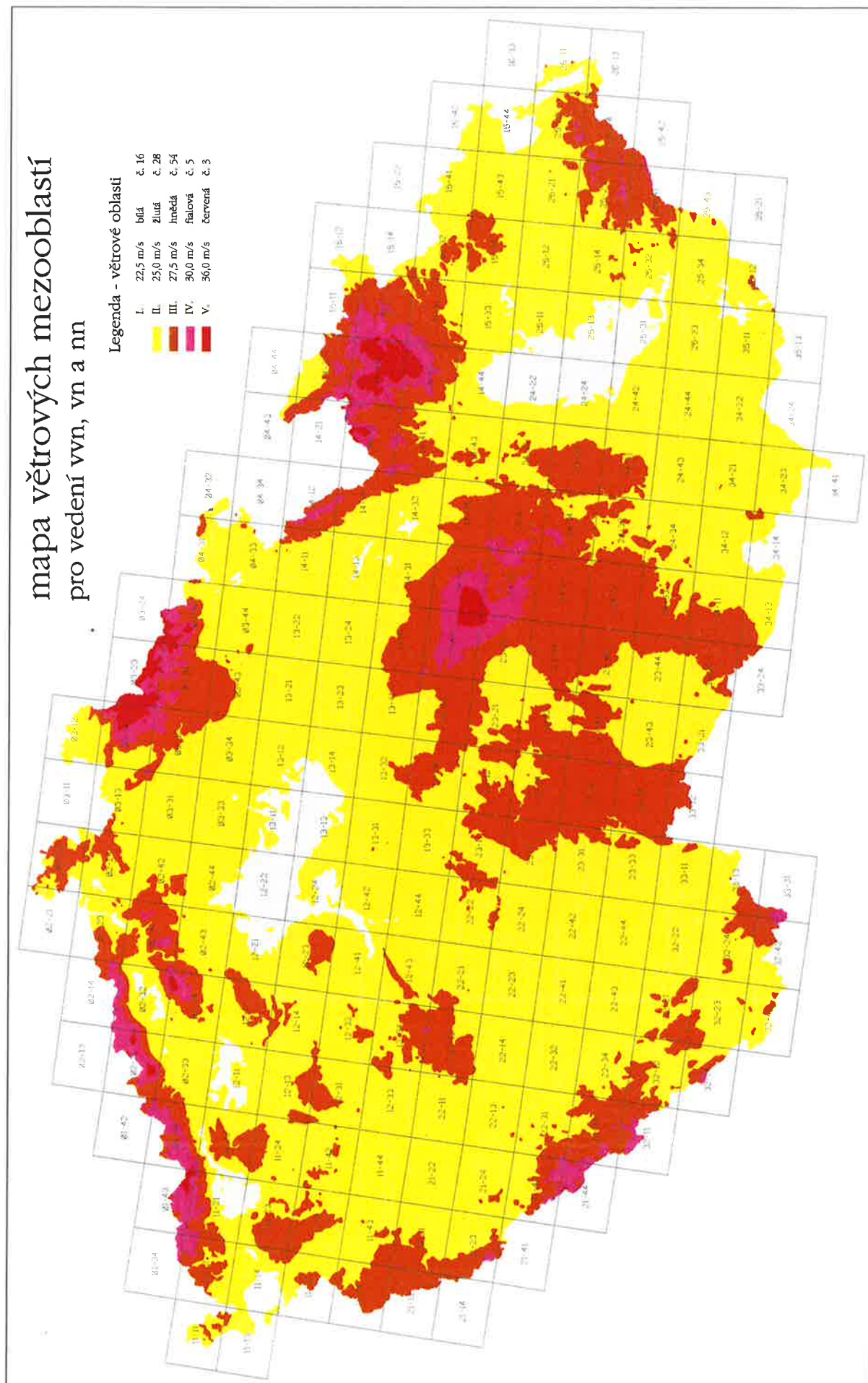
Příloha 1: Situace s umístěním lokality pro rodinné domy v obci Stanovice



Príloha 2: Mapa námrazových mezooblastí pro vedení vvn, vn



Příloha 3: Mapa větrových mezooblastí pro vedení vvn, vn a nn



Příloha 4: Parametry betonových sloupů pro energetiku

typ sloupu	jmenovitá vrcholová síla „F _n “	délka sloupu „L“		hloubka založení do terénu „H“	barevné označení sloupu	průměr vrcholu sloupu „d ₁ “		průměr paty sloupu „d ₂ “		hmotnost sloupu		plocha sloupu vystavená větru	
[m/kN]	[kN]	[m]		[m]	[-]	[mm]		[mm]		[kg]		[m ²]	
9/3	3	9,0	9,1	1,6	černé	180	180	305	309	767	900	1,79	1,83
9/6	6	9,0	9,1	1,6	zelené	222	220	335	349	1194	1200	2,10	2,13
9/10	10	9,0	9,1	1,8	červené	222	220	335	349	1242	1250	2,01	2,08
9/15	15	9,0	9,1	1,8	modré	222	220	332	349	1370	1320	1,99	2,08
9/20	20	9,0	9,1	2,0	fialové	222	220	332	349	1520	1550	1,94	2,02
10,5/3	3	10,5	10,6	1,8	černé	180	180	317	330	1097	1100	2,16	2,24
10,5/6	6	10,5	10,6	1,8	zelené	222	220	347	370	1455	1520	2,48	2,60
10,5/10	10	10,5	10,6	2,0	červené	222	220	347	370	1544	1550	2,42	2,54
10,5/15	15	10,5	10,6	2,0	modré	222	220	347	370	1760	1680	2,42	2,54
10,5/20	20	10,5	10,6	2,0	fialové	222	220	347	370	1925	1750	2,42	2,54
12/3	3	12,0	12,1	2,0	černé	180	180	332	352	1323	1360	2,56	2,69
12/6	6	12,0	12,1	2,0	zelené	222	220	363	392	1726	1790	2,93	3,09
12/10	10	12,0	12,1	2,0	červené	222	220	363	392	1872	1850	2,93	3,09
12/15	15	12,0	12,1	2,0	modré	222	220	363	392	1920	1960	2,93	3,09
12/20	20	12,0	12,1	2,0	fialové	222	220	363	392	2000	2250	2,93	3,09
13,5/6	6	13,5	13,6	2,0	černé	222	220	378	413	2200	1850	3,45	3,67
13,5/10	10	13,5	13,6	2,0	zelené	222	220	378	413	2200	2050	3,45	3,67

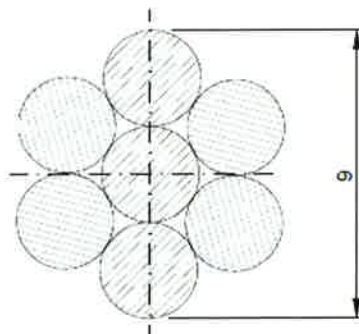
Údaje uvedené v tabulce **červeně** platí pro Sloupáru Majdalena.
Údaje uvedené v tabulce **modře** platí pro ELV Produkt Senec.
Údaje uvedené v tabulce **černě** platí pro oba výrobce.
Oba výrobci dodávají pro celé území bez přidělených regionů tzn. je nutné uvažovat s oběma hodnotami a při návrhu používat nepříznivější hodnoty.

výrobní tolerance rozměrů sloupů	
délka	±100 mm
vnější průměr	±5 mm
staticky účinná tloušťka stěny	+15 mm -5 mm
tvárová přímost	3mm/1bm
hmotnost	+10% -5%

Příloha 5: Katalogový list vodiče AIFe 42/7

Název, typ: Vodič AIFe 42-AL1/7-ST1A (AIFe 42/7)

Vyobrazení:



Technické parametry:

Název položky	M.J.	Hodnota
Průměr vodiče	mm	9,00
Průřez vodiče	mm ²	49,48
Hmotnost vodiče na jednotku délky – bez maziva	kg/km	171,20
Jmenovitý DC el. odpor při 20°C – včetně ST duše	Ω/km	0,6593
Jmenovitý DC el. odpor při 20°C – bez ST duše	Ω/km	0,6757
Teplotní součinitel délkové roztažnosti	1 / K	1,86E-05
Jmenovitá pevnost	kN	15,27
Konečný modul pružnosti	MPa	79 000
Konstrukce Al části (počet drátů / Ø drátu)	-/mm	6 / 3,00
Konstrukce Fe části (počet drátů / Ø drátu)	-/mm	1 / 3,00

Číslo materiálu SAP:

1002819320 - LANO ALFE 42-AL1/7ST1A - NEMAZANA DUŠE

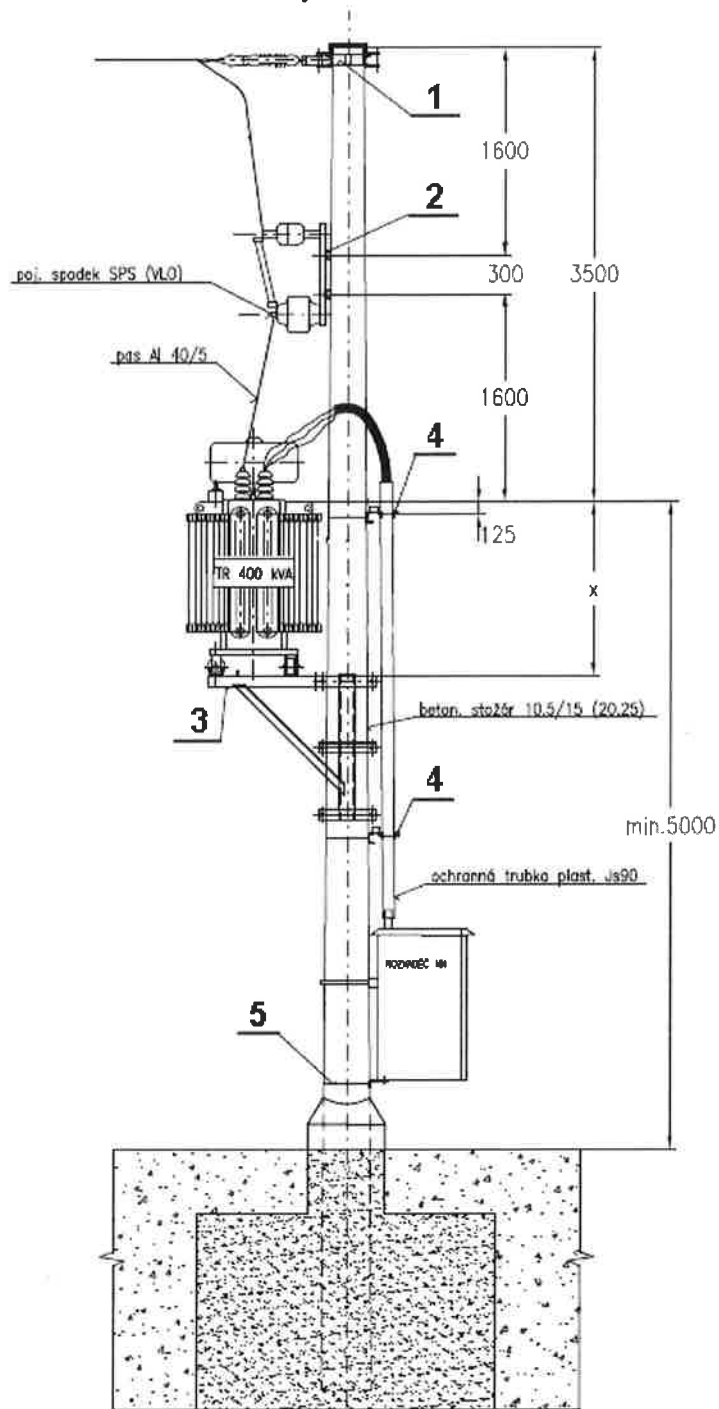
Návaznost na ZMP / Soupis ZMP

Prvek	Název montážního prvku	M.J.
BTA24	ZAVES BEZPECNOSTNI PRO VOD.ALFE 42/7	kus
XDA03	LANO ALFE NN 42-AL1/7ST1A (42/7)NEMAZ	m
XDA17	LANO ALFE VN 42-AL1/7ST1A (42/7)NEMAZ	m

Příloha 6: Stožárová transformační stanice

Vyobrazení:

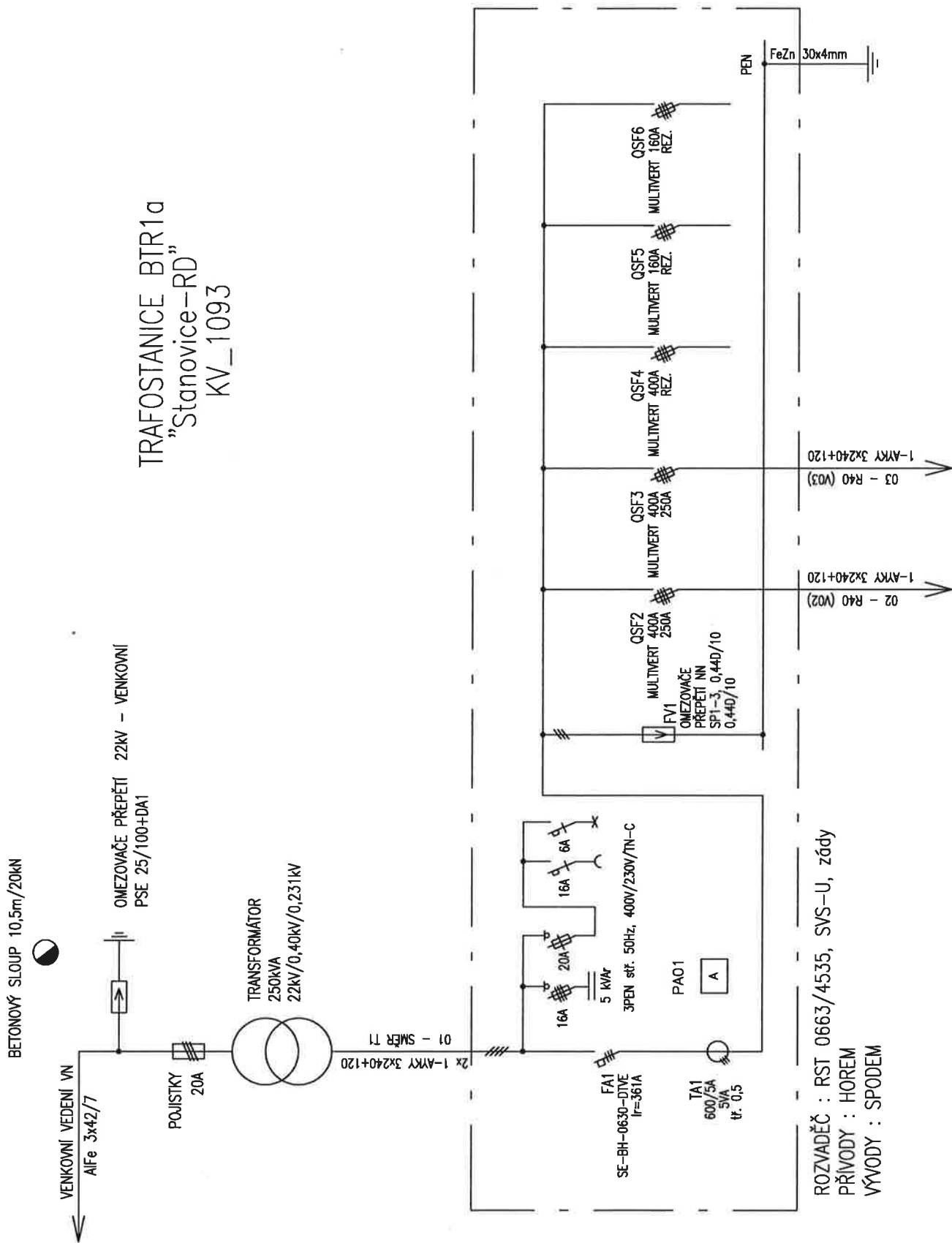
BTS 400 kVA S rozváděčem ve skříni SVS – U zády



Části sestavy:

Pozice.č.	Název	Pozice.č	Název
1	Konzola rovinná vn	4	Držák trubek RST SVS – U zády
2	Konzola pojistek vn	5	Konzola pro rozváděč ve skříni SVS - U
3	Konzola pod transformátor		

Příloha 7: Schéma transformační stanice



Příloha 8: Pojistkové tavné vložky vn

Pojistkové tavné vložky vn na 10/25 kV

(Pro zařízení s výzbrojí 22/25 kV pro pojistky pr.45/442 mm)

Technické údaje pojistkových vložek a přiazení pojistek pro TR 22/25 kV:

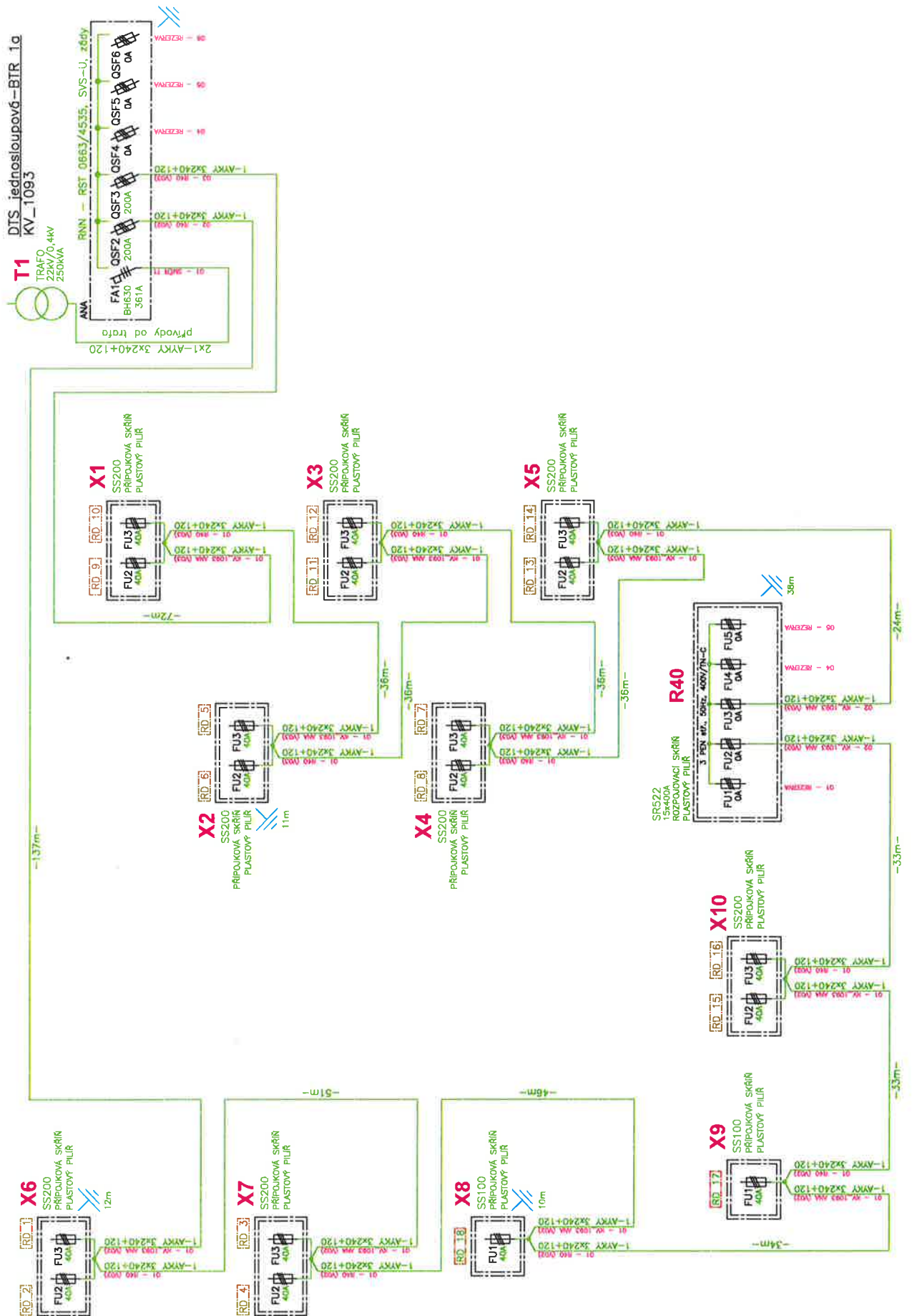
Jmenovitý výkon transformátoru v [kVA]	Jmenovitý proud pojistky v [A]	Maximální vypínací proud I_1 v [kA]	Minimální vypínací proud I_3 v [A]	Maximální magnetizační záběrový proud transformátoru po dobu 0,1 sec. v [A]	Hodnota vypínacího proudu pojistky v [A] / čas v [sec] pro $u_k = 4\%$	Hodnota vypínacího proudu pojistky v [A] / čas v [sec] pro $u_k = 6\%$	Hodnota proudu pojistky v čase 2 sec v [A]	Odpor za studena R_c [mΩ]	Ztráty P_N ve [W]	Maximální předobloukový I^2t v [A ² s]	Maximální celkový vypínací I^2t v [A ² s]		Hmotnost v [kg]
50	4	50	20	19	3313	22/48	14	1270	31,5	17	164		2,3
75*	6		25	42	50/69	33/170	23	550	28,9	50	200		2,3
100	6		25	42	65/35	43/90	23	550	28,9	50	200		2,3
125*	10		46	70	83/42	55/600	51	162	19,2	161	1530		2,3
160	10		46	70	105/21	70/100	51	162	19,2	161	1530		2,3
200*	16		60	83	130/22	87/90	59	102	32,6	250	2270		2,3
250	20		80	110	165/26	110/115	67	85	46,9	430	3750		2,3
315*	20		80	110	208/16	135/52	67	85	46,9	430	3750		2,3
400	32		130	170	263/30	175/80	100	48,0	81,1	1220	10100		2,3
500*	32		130	170	328/20	218/50	100	48,0	81,1	1220	10100		2,3
630	40		178	360	413/70	275/220	198	36,4	96,4	2270	18100		2,3
800	40		178	360	525/35	350/100	198	36,4	96,4	2270	18100		2,3
1000	50		220	430	655/35	437/95	225	24,5	80,5	6270	31300		2,3

Poznámka: * transformátory mimo standard

Příklad štítku pojistky:



Příloha 9: Přehledové schéma napájení rozvodů nn



Příloha 10: Katalogový list kabelů 1-AYKY

C. Technické údaje:

Vyobrazení:



Technické parametry:

Počet a průřez žil mm ²	Průměr kabelu (inf.) mm	Hmotnost (inf.) kg/km	Induktivní reaktance (ωL) ohm/km	Činný odpor vodivých jader při 20°C max. ohm/km	Proudová zatížitelnost		Provedení jádra typ (inf.)
					na vzduchu A	v zemi A	
4x16	20,0	600	0,090	1,91	61	81	RE
4x25	24,0	830	0,089	1,200	81	102	
4x35	26,5	1020	0,086	0,868	99	123	
4x50	30,0	1370	0,086	0,641	119	144	
4x70	33,5	1750	0,083	0,443	152	179	
3x120+70	38,5	1950	0,081	0,253/0,443	216	245	SM/RE
3x185+95	48,0	3000	0,081	0,164/32	285	313	SM/SM
3x240+120	54,0	3800	0,080	0,125/0,253	338	364	

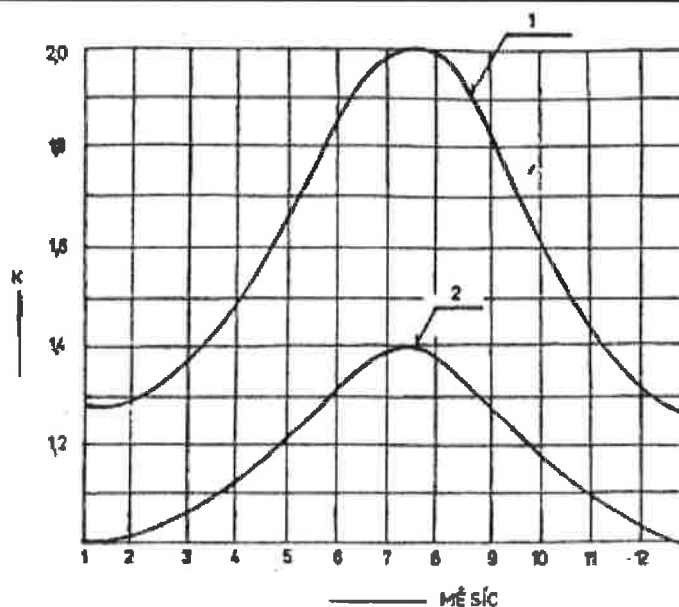
Návaznost na ZMP / Soupis ZMP

ZMP prvek	Název montážního prvku	M.J.
CEA19	KABEL 1-AYKY-J 4X16 MM2, VOLNE ULOZENY	m
CEA20	KABEL 1-AYKY-J 4X25 MM2, VOLNE ULOZENY	m
CEA21	KABEL 1-AYKY-J 4X35 MM2, VOLNE ULOZENY	m
CEA22	KABEL 1-AYKY-J 4X50 MM2, VOLNE ULOZENY	m
CEA23	KABEL 1-AYKY-J 4X70 MM2, VOLNE ULOZENY	m
CEA25	KABEL 1-AYKY-J 3X120+70 MM2, VOLNE ULOZENY	m
CEA26	KABEL 1-AYKY-J 3X185+95 MM2, VOLNE ULOZENY	m
CEA27	KABEL 1-AYKY-J 3X240+120 MM2, VOLNE ULOZENY	m
CFA19	KABEL 1-AYKY-J 4X16 MM2, PEVNE ULOZENY	m

Příloha 11: Protokol o měření měrného odporu půdy

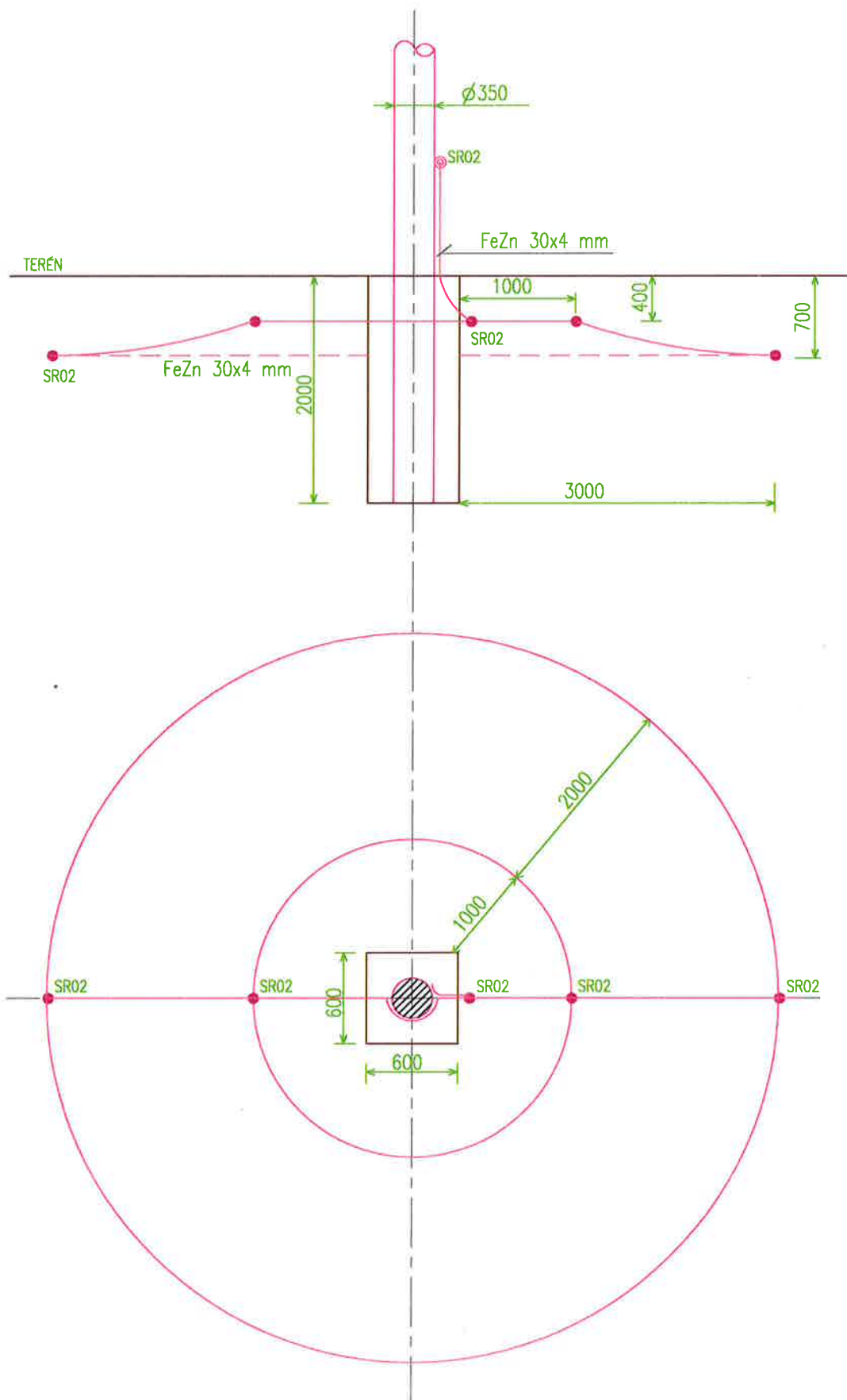
Akce: STANOVICE, lokalita 18 RD – vVN, DTS, kNN						
Protokol o měření měrného odporu půdy						
Místo měření: Stanovice				Měřicí body: lokalita nových RD		
Datum: 23. 1. 2016		Čas: 14,30 - 15,30 h		Měření provedl: Miroslav Povolný		
Teplota: -7°C				Počasí: Zataženo		
Druh půdy: Hlinitá				Stav půdy: Vlhká		
Přístroj - výrobek : SMARTEC MI2124 v.č.: 20224452						
Naměřené a vypočtené hodnoty:						
a (m)	k (2 π a)	R (Ω)	K	ρ _E (Ω m)	l (m)	Poznámka
1			1,00	69,3		v místě transformovny
1			1,00	78,5		v místě spínacího prvku
1			1,00	66,1	11	v místě X2
1			1,00	76,3	12	v místě X6
1			1,00	63,8	10	v místě X8
1			1,00	69,6	38	v místě R40
Návrh zemního zařízení, rozměry:				Schematický obrázek zemniče:		
pásek FeZn 30x4 mm				v drážce pod výkopem pro silový vodič nn - paprskový zemnič; ekvipotenciální kruhy - pro zařízení vn		

a - vzdálenost měřících elektrod
k - konfigurační konstanta
R - naměřené hodnoty
K - konstanta ročního období
ρ - měrný odpor půdy
l - délka zemniče



1. Měření v deštivém období
2. Měření v období sucha

Příloha 12: Pracovní uzemnění spínacího prvku vysokého napětí



Příloha 14: Situace - celkový návrh

