

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

PROJEKTOVÁNÍ PODPĚRNÝCH BODŮ VENKOVNÍHO VEDENÍ VN

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

PAVEL KŘEPELA

BRNO 2012



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor

Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika

Student: Pavel Křepela

ID: 128128

Ročník: 3

Akademický rok: 2011/2012

NÁZEV TÉMATU:

Projektování podpěrných bodů venkovního vedení vn

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Postup při projektování podpěrných bodů vedení vn s ohledem na požadavky stanovené v ČSN 50423 a PNE 333301.
2. Konstrukce a provedení podpěrných bodů v sítích vn, specifiky jejich aplikace v projektech.
3. Příklad řešení kontrolních výpočtů důležitých podpěrných bodů v projektu rekonstrukce linky 22kV.
4. Softwarová aplikace pro návrh podpěrných bodů při projektování sítí vn.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 6.2.2012

Termín odevzdání: 25.5.2012

Vedoucí práce: doc. Ing. Jaroslava Orságová, Ph.D.

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

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

Bibliografická citace práce:

KŘEPELA, P. Projektování podpěrných bodů venkovního vedení VN. Bakalářská práce. Brno: Ústav elektroenergetiky FEKT VUT v Brně, 2012, 45 stran.

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

Zároveň bych na tomto místě chtěl poděkovat za pomoc při zpracování vedoucí práce doc. Ing. Jaroslavě Orságové, Ph.D, jednatele společnosti Michalovi Güntherovi a projektantovi Bc. Pavlovi Jonákovi z firmy PROSIG s.r.o. Za konzultaci k problematice děkuji Ing. Petrovi Lehkému z EGÚ Brno a.s., Dipl. Ing. Vítovi Kocourkovi z EGE s.r.o. a Ing.Čeňkovi Laubovi z EGEM s.r.o. Za pomoc při řešení v programu Microsoft Excel děkuji Petrovi Pecháčkovi.

.....



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
Ústav elektroenergetiky

Bakalářská práce

Projektování podpěrných bodů venkovního vedení VN

Pavel Křepela

vedoucí: doc. Ing. Jaroslava Orságová, Ph.D

Ústav elektroenergetiky, FEKT VUT v Brně, 2012

Brno



BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Faculty of Electrical Engineering and Communication

Department of Electrical Power Engineering

Bachelor's Thesis

Dimensioning of supporting constructions for MV overhead lines

by

Pavel Křepela

Supervisor: doc. Ing. Jaroslava Orságová, Ph.D

Brno University of Technology, 2012

Brno

ABSTRAKT

Úkolem podpěrného bodu je přenést veškerá silová působení na něj kladená a splnit požadavky na bezpečný provoz elektrické sítě. Tato bakalářská práce se zabývá konkrétně projektováním podpěrných bodů venkovních sítí VN. Hlavním úkolem je seznámení s provedením jednotlivých částí podpěrného bodu a vysvětlit postup při výpočtu silových účinků dle požadavků současné legislativy. Výstupem je i jednoduchá softwarová aplikace pro návrh podpěrného bodu z hlediska silového působení.

KLÍČOVÁ SLOVA: venkovní vedení VN; podpěrný bod; betonový sloup; dřevěný sloup; příhradový stožár; vítr; námraza;

ABSTRACT

The reason of supporting constructions is to transfer all power activity and fulfill all requirements on safe operation of electrical grid. This bachelor's thesis deals with designing of supporting constructions of the overhead line MV. The main task is to acquire knowledges about single parts of supporting constructions and to describe steps of power effects calculation according to current legislation. The outcome is a simple software application for supporting constructions design from power effect viewpoint.

KEY WORDS: MV overhead lines; supporting construction; concrete pole; wooden pole; lattice tower; wind; frost;

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	9
SEZNAM TABULEK	10
1 ÚVOD	11
2 SILOVÁ PŮSOBNÍ NA PODPĚRNÉ BODY	12
2.1 ZATÍŽENÍ VĚTREM	12
2.2 ZATÍŽENÍ NÁMRAZOU	16
2.3 KOMBINOVANÉ ZATÍŽENÍ VĚTREM A NÁMRAZOU	18
2.4 SMĚRY PŮSOBÍCÍCH SIL	19
2.5 ZATĚŽOVACÍ STAVY.....	20
3 PROVEDENÍ PODPĚRNÝCH BODŮ	22
3.1 DŘEVĚNÉ SLOUPY	22
3.2 BETONOVÉ SLOUPY	23
3.3 PŘÍHRADOVÉ STOŽÁRY.....	23
3.4 KONZOLY.....	24
3.5 ZÁKLADY	28
4 BEZPEČNOSTNÍ POŽADAVKY	31
4.1 UMÍSTĚNÍ PODPĚRNÝCH BODŮ.....	31
4.2 BEZPEČNÉ VZDÁLENOSTI NA PODPĚRNÉM BODĚ.....	31
4.3 VÝSTRAŽNÁ TABULKA	31
4.4 ČÍSLOVÁNÍ PODPĚRNÝCH BODŮ.....	32
5 PROJEKT PODPĚRNÉHO BODU Č. 131 VN 99.....	33
5.1 POŽADAVEK A)	34
5.2 POŽADAVEK B)	35
5.3 POŽADAVEK C)	37
5.4 POŽADAVEK D)	39
5.5 VOLBA PODPĚRNÉHO BODU.....	39
5.6 VOLBA KONZOL.....	40
5.7 VOLBA ZÁKLADU.....	41
5.8 BEZPEČNOSTNÍ POŽADAVKY	41
6 SOFTWAREOVÁ APLIKACE AMATER.....	42
7 ZÁVĚR.....	44
POUŽITÉ ZDROJE:	45

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1</i>	<i>Mapa větrových oblastí ČR [2].....</i>	<i>12</i>
<i>Obr. 2</i>	<i>Mapa námrazových oblastí ČR[3].....</i>	<i>16</i>
<i>Obr. 3</i>	<i>Síly působící na podpěrné body.....</i>	<i>19</i>
<i>Obr. 4</i>	<i>Silové působení odbočky a) proti směru výslednice b) ve směru výslednice.....</i>	<i>21</i>
<i>Obr. 5</i>	<i>Typy dřevěných podpěrných bodů [4]</i>	<i>22</i>
<i>Obr. 6</i>	<i>Standardizovaná délková řada příhradových stožárů pro E.ON.....</i>	<i>24</i>
<i>Obr. 7</i>	<i>Konzoly pro betonové sloupyPařát II [5] [6].....</i>	<i>25</i>
<i>Obr. 8</i>	<i>Konzola Pařát II DB 225-250 s kotevními adaptéry na holém vedení.....</i>	<i>25</i>
<i>Obr. 9</i>	<i>Konzoly pro betonové sloupy IZVE II [7] [8].....</i>	<i>26</i>
<i>Obr. 10</i>	<i>Konzoly pro dřevěné sloupy Pařát DS [9].....</i>	<i>26</i>
<i>Obr. 11</i>	<i>Konzoly pro dřevěné sloupy IZVE DS [10]</i>	<i>27</i>
<i>Obr. 12</i>	<i>Konzoly pro příhradové stožáry [11]</i>	<i>27</i>
<i>Obr. 13</i>	<i>Jednostranná a dvoustranná konzola na příhradovém stožáru.....</i>	<i>28</i>
<i>Obr. 14</i>	<i>Provedení bezpečnostní tabulky.....</i>	<i>32</i>
<i>Obr. 15</i>	<i>Číslování na podpěrném bodě</i>	<i>32</i>
<i>Obr. 16</i>	<i>Výřez výkresu projektu rekonstrukce vedení VN 99.....</i>	<i>33</i>
<i>Obr. 17</i>	<i>Původní podpěrný bod č. 141 VN 99</i>	<i>34</i>
<i>Obr. 18</i>	<i>Rozložení sil při požadavku c)</i>	<i>39</i>
<i>Obr. 19</i>	<i>Dvoustupňový betonový základ [11].....</i>	<i>41</i>
<i>Obr. 20</i>	<i>Volba parametrů v aplikaci AMATER.....</i>	<i>42</i>
<i>Obr. 21</i>	<i>Řešení stavové rovnice v aplikaci AMATER.....</i>	<i>43</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1</i>	<i>Referenční rychlosti dle větrových oblastí [1]</i>	<i>12</i>
<i>Tab. 2</i>	<i>Hodnoty součinitelů aerodynamického odporu pro vodiče [1]</i>	<i>14</i>
<i>Tab. 3</i>	<i>Hodnoty součinitelů pro různé větrové oblasti a kategorie terénu II a III [1]</i>	<i>14</i>
<i>Tab. 4</i>	<i>Referenční zatížení námrazou I_R [N/m] [1]</i>	<i>17</i>
<i>Tab. 5</i>	<i>Charakteristické hodnoty zemin [12]</i>	<i>28</i>
<i>Tab. 6</i>	<i>Hloubky založení dřevěných podpěrných bodů [12]</i>	<i>29</i>
<i>Tab. 7</i>	<i>Hloubky založení betonových podpěrných bodů [13][14]</i>	<i>30</i>

1 ÚVOD

Již více jak jedno století se k distribuci elektrické energie využívá vedení na podpěrných bodech. I přes stáří této koncepce a nedostatky stále nachází v této době své uplatnění a to i v napěťové hladině VN. Hlavní výhodou je určitě viditelné zjištění a snadné dohledání poruchy ve vedení. Jako další můžeme jmenovat mnohaleté zkušenosti s těmito aplikacemi, které napomáhají jak ke spolehlivému provozu, tak i k přesnějším modelovým simulacím. Samozřejmostí je, zejména v dnešní době, i přijatelná finanční náročnost.

A právě díky zkušenostem s aplikacemi venkovních vedení, se měnila i legislativa při jejich navrhování. V současné době se řídí návrh venkovních vedení na území ČR podnikovou normou PNE 33 3301 - Elektrická venkovní vedení s napětím nad 1 kV AC do 45 kV včetně (2.vydání). Tato norma vychází z české verze evropské normy ČSN EN 50423 a je závazná pro projekty provozovatelů distribučních sítí E.ON a ČEZ. Pro projektování podpěrných bodů jsou ovšem důležité i doplňující normy a směrnice, dle provedení konstrukce, a nakonec i typové podklady výrobců jednotlivých částí podpěrných bodů.

2 SILOVÁ PŮSOBENÍ NA PODPĚRNÉ BODY

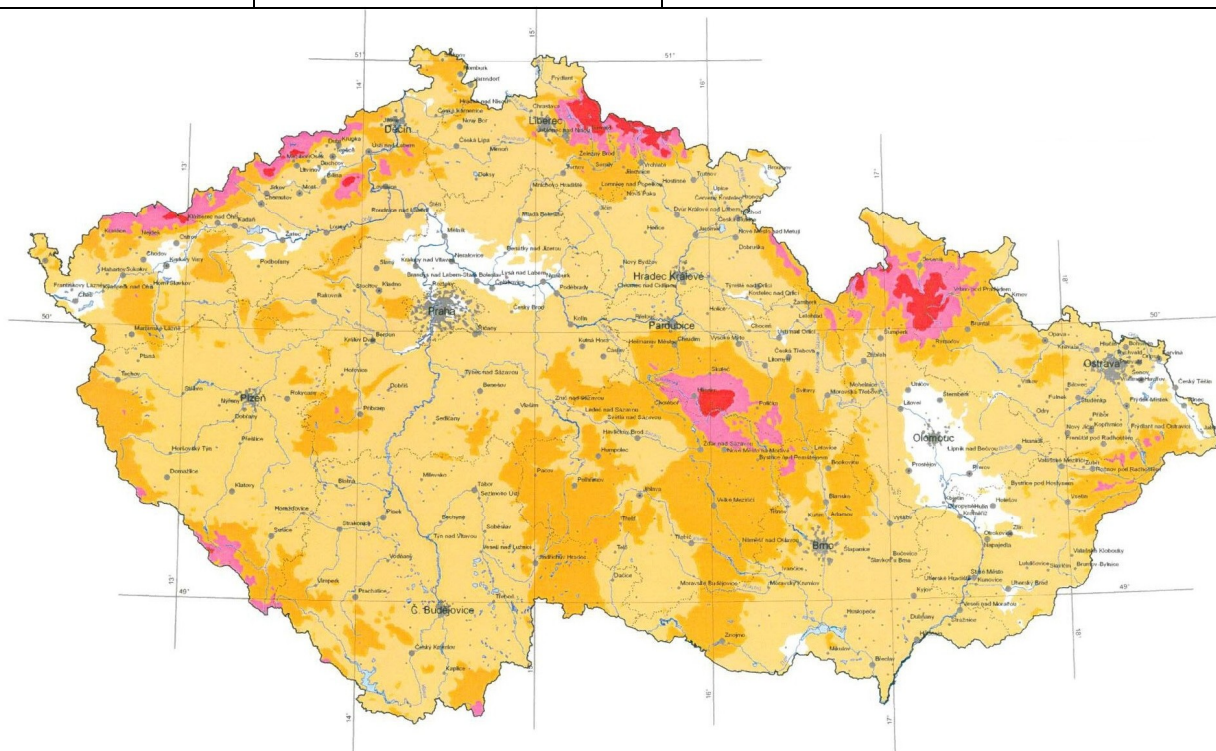
2.1 Zatížení větrem

Vítr hraje velkou roli ve správné funkci a bezpečnosti vedení. Proto je potřeba zohlednit tento fakt i při návrhu. Jeho činnost způsobuje přidavné zatížení ve směru vedení, které je posléze nutné započítat do celkových účinků, které působí na podpěrné body.

Výpočet zatížení vychází z rozložení ČR do tzv. mapy větrových oblastí. Tyto větrové oblasti stanovují hodnotu referenční rychlosti ve výšce 10 m nad povrchem pro kategorii terénu II - zemědělské plochy s rozptýlenou zástavbou a porosty.

Tab. 1 Referenční rychlosti dle větrových oblastí [1]

Větrová oblast	Barevné značení	Referenční rychlost VR (m.s-1)
I	bílá	22,5
II	světle žlutá	25
III	tmavě žlutá	27,5
IV	růžová	30
V	červená	36



Obr. 1 Mapa větrových oblastí ČR [2]

Je-li v projektu vedená linka VN zalesněným úsekem je možné použít referenční rychlosti pro kategorii typu III - předměstské a průmyslové plochy a trvale zalesněná území. Tuto hodnotu získáme vynásobením referenční rychlosti pro kategorii II součinitelem 0,77. Jiné kategorie terénu se při projektování nepoužívají.

Skutečná rychlost větru značně závisí na výšce nad úrovní terénu. V projektech se ovšem používá zjednodušení, kdy s aplikacemi do 20m dosazujeme hodnotu referenční pro 10m. Jestliže bychom se pak pohybovali ve výškách 20-40m, dosazujeme hodnotu rychlosti vypočítanou pro hodnotu 30m nad zemí pomocí vztahu [1]

$$V_h = k_T \cdot V_R \cdot \ln \frac{h}{z_0} \quad (1)$$

kde je

k_T – součinitel terénu (pro kategorii terénu II $k_T = 0,05m$; pro kategorii terénu III $k_T = 0,3m$)

V_R – referenční rychlost ve výšce 10m a kategorie terénu II (dle tab. 1)

h – výška nad terénem ($h=30m$)

z_0 – třecí výška (pro kategorii terénu II $z_0 = 0,05m$; pro kategorii terénu III $z_0 = 0,3m$)

Než lze vypočítat hodnoty sil, kterými působí vítr na jednotlivé části soustavy, je nutné vypočítat nejdříve jeho dynamický tlak [1]

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

kde je

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

V_h – rychlost větru ve výšce h (dle (1) v m.s^{-1})

Vítr působí v soustavě na:

- lana vodičů
- podpěrné body
- ostatní části jako jsou armatury, izolátory, konzoly

Síla působící na vodiče vedení je dána vztahem [1]

$$Q_{wc} = q_h \cdot G_q \cdot G_c \cdot C_c \cdot d \cdot L \cdot \sin^2 \beta \quad (3)$$

kde je

q_h – dynamický tlak větru (dle (2))

G_q – poryvový součinitel (dle tab. 3)

G_c – součinitel rozpětí (dle tab. 3)

C_c – součinitel aerodynamického odporu vodičů (dle tab. 2)

d – průměr vodiče (m)

L – délka rozpětí (m)

β – úhel mezi směrem větru a podélnou osou vodiče ($^\circ$)

V daném rozpětí působí tato síla na každý podpěrný bod jednou polovinou a směr působení je vodorovný a kolmý k tomuto rozpětí. Pro posouzení zatížení, vlivem účinku větru, uvažujeme

směr větru dle zamýšleného účelu podpěrného bodu. Zvýšení mechanického namáhání ve vodiči vlivem větru se neuvažuje.

Tab. 2 Hodnoty součinitelů aerodynamického odporu pro vodiče [1]

Průměr vodiče	součinitel aerodynamického odporu C_c (-)
$d < 12,5\text{mm}$	1,2
$12,5 < d < 16\text{mm}$	1,1
$d > 16\text{mm}$	1
vodič s námrazou	1,1

Tab. 3 Hodnoty součinitelů pro různé větrové oblasti a kategorie terénu II a III [1]

Terén kategorie II								
Větrová oblast	Rychlost větru V_h (m.s-1) 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 20m	20-40m	do 20m	20-40m	do 20m	20-40m	do 100m	100-200m
I	22,5	27,3	316	466	2,05	1,84	0,92	0,87
II	25	30,4	391	578	2,05	1,84	0,92	0,87
III	27,5	33,4	473	697	2,05	1,84	0,92	0,87
IV	30	36,5	563	833	2,05	1,84	0,92	0,87
V	36	43,7	810	1194	2,05	1,84	0,92	0,87

Terén kategorie III								
Větrová oblast	Rychlost větru V_h (m.s-1) 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 20m	20-40m	do 20m	20-40m	do 20m	20-40m	do 100m	100-200m
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

Síla působící na konstrukci podpěrného bodu se vypočítá pomocí vztahu [1]

$$Q_{wpol} = q_h \cdot G_q \cdot G_{pol} \cdot C_{pol} \cdot A_{pol} \quad (4)$$

kde je

q_h – dynamický tlak větru (dle (2))

G_q – poryvový součinitel (dle tab. 3)

G_{pol} – dynamický součinitel (pro aplikace do 20m $G_{pol} = 1$)

C_{pol} – aerodynamický součinitel sloupu (C_{pol} pro betonový = 0,7 ; C_{pol} pro dřevěný = 0,8)

A_{pol} – účinná plocha dřívku sloupu (m^2)

U podpěrných bodů příhradové konstrukce je třeba použít odlišný vztah [1]

$$Q_{wt} = q_h \cdot G_q \cdot G_t \cdot C_t \cdot A_t \quad (5)$$

kde je

q_h – dynamický tlak větru (dle (2))

G_q – poryvový součinitel (dle tab. 3)

G_t – dynamický součinitel (pro výšky do 30m $G_t = 1$)

C_t – aerodynamický součinitel $C_t = 2,6$ pro vítr působící kolmo na podpěrný bod

$C_t = 3$ pro vítr působící úhlopříčně na podpěrný bod

A_t – účinná plocha prvků stěny stožáru (m^2)

Hodnota je uváděna i v typovém podkladu od výrobce příhradových stožárů pod názvem tlak větru. Není ovšem uvedeno za jakých podmínek (větrová oblast, kategorie terénu, typ hlavy stožáru). Pro přesnější výpočtové síly je dobré požádat výrobce příhradových stožárů o hodnoty účinné plochy nárožníků a příček. Tyto údaje nejsou totiž součástí typových podkladů. Po poskytnutí údajů je vhodné použít posléze uvedený vztah.

Uváděné síly na konstrukce podpěrných bodů působí v těžišti plochy. Obvykle je bráno zjednodušení, že působí v polovině nadzemní části. Je tedy nutný ještě přepočet síly do vrcholu, který provedeme přes rovnici momentů

$$Q_{wpol} \cdot \frac{1}{2} \cdot (L - H) = Q_{wpol2} \cdot (L - H)$$

$$\frac{1}{2} \cdot Q_{wpol} = Q_{wpol2} \quad (6)$$

kde je

Q_{wpol} – síla působící na konstrukci podpěrného bodu (dle (4))

Q_{wpol2} – síla přepočtená do vrcholu podpěrného bodu

L – výška podpěrného bodu

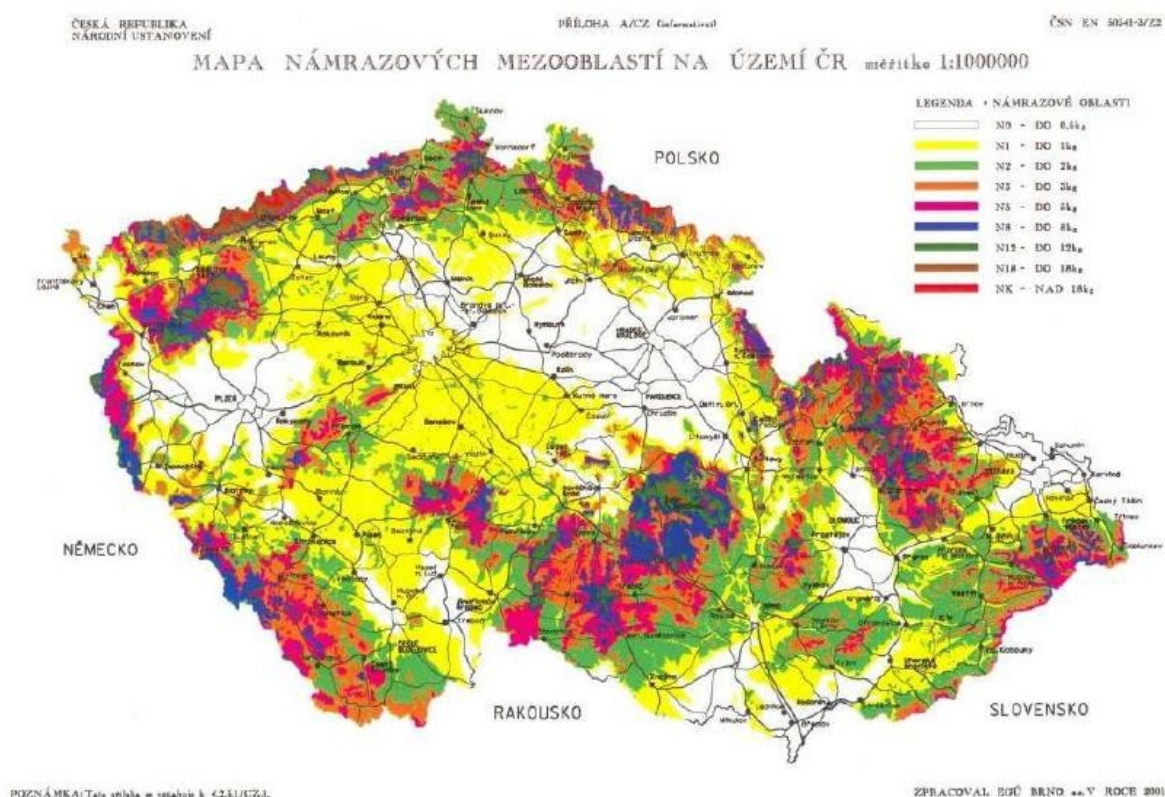
H – hloubka základu

Při výpočtu síly působící na příhradovou konstrukci Q_{wt} se postupuje stejným způsobem.

Síly působící na ostatní části soustavy vedení se běžně v projektech neuvažují. Potřebný výpočet lze nalézt v normě PNE 33 3301 v části 4.2.1.4 Síly větru na ostatní výzbroj.

2.2 Zatížení námrazou

Při vzniku vysoké vzdušné vlhkosti a zároveň okolní teplota se pohybuje kolem 0°C , dochází k namrzání kapiček vody na předměty. Pokud dochází k tomuto jevu bez účinku větru, je námrazek charakteru jinovatky. Svoji strukturou není pro vedení problémem, poněvadž je lehká a i slabým vánkem se na lanech neudrží. Jestliže při namrzání dojde i k působení účinku větru, dojde k vytvoření námrazku charakteru námrazy. Při dlouhodobém trvání toto zatížení je pak natolik znatelné, že je nutné provést kontrolní výpočty.



Obr. 2 Mapa námrazových oblastí ČR[3]

Výpočet probíhá na základě modelového rozdělení ČR na námrazové oblasti. Dle určení námrazové oblasti se provede dosazení průměru vodiče do uvedených vztahů pro referenční hodnotu zatížení I_R .

Tab. 4 Referenční zatížení námrazou I_R [N/m] na jednotku délky vodiče o průměru d (mm) ve výšce $h=10$ m nad zemí s dobou návratu $T=50$ let [1]

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	$1,298 + 0,1562d$	$5,267 + 0,0239d$
N1	$3,873 + 0,2698d$	$10,566 + 0,0467d$
N2	$10,566 + 0,4457d$	$21,423 + 0,0838d$
N3	$18,305 + 0,5866d$	$33,032 + 0,0957d$
N5	$35,376 + 0,8155d$	$55,569 + 0,1424d$
N8	$63,077 + 1,0890d$	$90,254 + 0,1831d$
N12	$102,062 + 1,3852d$	143,619
N18	$162,924 + 1,7501d$	215,427
NK	Stanoví se individuálně	

Podle vztahu pak vypočítáme charakteristické zatížení I_K [1]

$$I_K = K_h \cdot I_R \quad (7)$$

kde je

K_h – součinitel výšky pro zatížení námrazou pro aplikace do 20m = 1

nad 20m pro N0 až N3 $K_h = 1,09$

pro N5 až NK $K_h = 1,19$

I_R – referenční hodnota zatížení námrazou (dle tab. 4)

S ohledem na koeficient úrovně spolehlivosti vypočítáme návrhové zatížení I_d [1]

$$I_d = \gamma_I \cdot I_K \quad (8)$$

kde je

γ_I – koeficient spolehlivosti

úroveň 0 $\gamma_I = 0,80$ (doba návratu $T = 20$ let)

úroveň 1 $\gamma_I = 1,00$ (doba návratu $T = 50$ let) - referenční hodnota

úroveň 2 $\gamma_I = 1,25$ (doba návratu $T = 150$ let)

úroveň 3 $\gamma_I = 1,50$ (doba návratu $T = 500$ let)

I_K – charakteristické zatížení námrazou (dle (6))

Výsledné zatížení na podpěrný bod získáme ze vztahu [1]

$$Q_I = I_{d1} \cdot L_{w1} + I_{d2} \cdot L_{w2} \quad (9)$$

kde je

I_{d1}, I_{d2} – návrhová zatížení námrazou přilehlých rozpětí (dle (7))

L_{w1}, L_{w2} – délky přilehlých rozpětí (pokud není sklon terénu vyšší jak 30° uvažuje se $\frac{1}{2}$ rozpětí)

Tento vypočítaný účinek síly pak v podpěrném bodě působí svisle k vedení.

Největší problémy činí projektování v námrazové oblasti N12, kdy tíhová složka působí takovými silami, že dochází v určitých případech k překročení povolených hodnot konzol. Nadimenzovat správně posléze podpěrný bod vzhledem k dodržení normy s údaji z podkladů výrobce se stává velmi složitým. Této problematice se v této práci věnuje i konkrétní návrh podpěrného bodu.

Při návrhu vedení VN je pak potřeba dbát ohledu i na způsob odstraňování námrazy. Pokud máme úsek, kde se provádí odstranění sklepáváním, je třeba dbát na výšku podpěrných bodů tak, aby tato práce byla proveditelná. Tento ohled pak může kolidovat s dodržением bezpečnostních vzdáleností při průhybech vedení.

2.3 Kombinované zatížení větrem a námrazou

Tvorbou námrazy na vodičích se kromě jeho váhy mění i jeho průměr. Lze tedy předpokládat, že při současném účinku s větrem se bude měnit i jeho zatížení na podpěrný bod. Výpočet návrhového zatížení je pak obdobný, jako tomu bylo u zatížení větrem jen s úpravou vztahů pro výpočet. Nejdříve se provede výpočet dynamického tlaku [1]

$$q_H = \psi_w \cdot q_H \quad (10)$$

kde je

ψ_H – součinitel kombinace ($\psi_H = 0,25$)

q_H – dynamický tlak pro zatížení větrem (dle (2))

Vytvořením námrazy dojde ke změně průměru vodiče dle vztahu [1]

$$D = \sqrt{d^2 + \frac{4 \cdot I_d}{g \cdot \pi \cdot \rho_I}} \quad (11)$$

kde je

d – průměr vodiče (m)

I_d – návrhové zatížení námrazou (dle (7))

g – gravitační konstanta ($g = 9,81 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-2}$)

ρ_I – hustota námrazy ($\rho_I = 500 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$)

A konečně výsledná síla při kombinovaném zatížení větrem a námrazou [1]

$$Q_{WCI} = g_{hl} \cdot G_q \cdot G_c \cdot C_c \cdot D \cdot L \cdot \sin^2 \beta \quad (12)$$

kde je

g_{hl} – dynamický tlak působící při kombinovaném zatížení (dle (9))

G_q – poryvový součinitel (dle tab. 3)

G_c – součinitel rozpětí (dle tab. 3)

C_c – aerodynamický součinitel ($C_c = 1,1$, dle tab. (2))

D – průměr omrzlého vodiče (dle (10))

L – délka rozpětí (m)

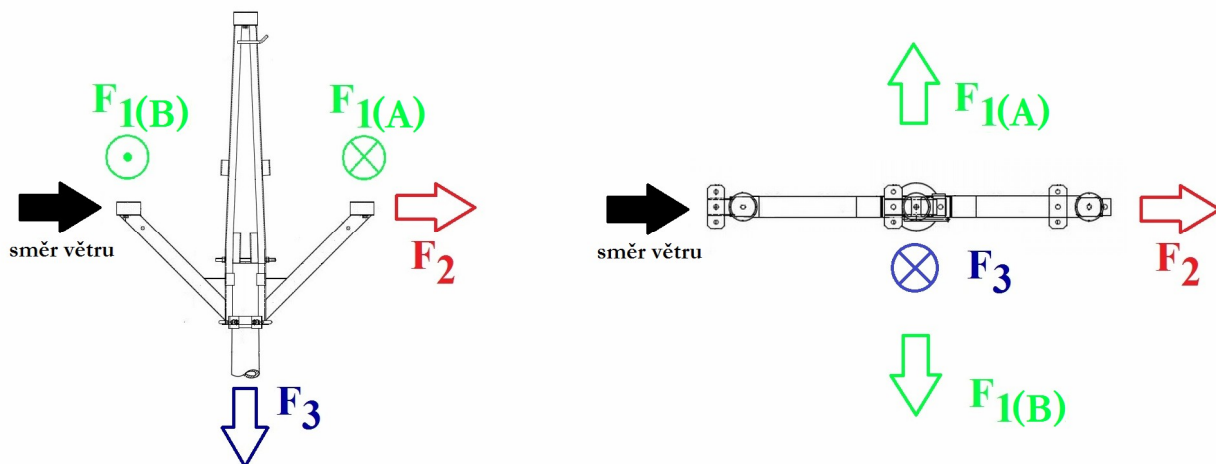
β – úhel mezi směrem větru a podélnou osou vodiče ($^\circ$)

Směr účinku síly je stejný jako v případě prostého zatížení větrem, tedy je vodorovný a kolmý na rozpětí.

2.4 Směry působících sil

Pro posouzení výpočtových sil je třeba vědět, jakým směrem působí na podpěrný bod. V obrazovém zobrazení bylo použito značení sil F_1 , F_2 , F_3 . Toto značení odpovídá typovým podkladům pro návrh konzoly podpěrného bodu.

Síla F_1 je výslednicí rozdílů $F_{1(A)}$ a $F_{1(B)}$. Tato síla závisí na rozpětí a možném rozdílném tahu, kterým jsou vodiče při montáži upevněny. Směr F_2 se odvíjí od směru účinku větru. Uvažovaná hodnota vychází z výpočtů sil pro zatížení větrem Q_{WC} (ze vztahu (3)) nebo kombinovaného zatížení větrem a námrazou Q_{WCI} (ze vztahu (11)). Síla F_3 je tvořena tíhou vodičů a její velikost navíc značně ovlivňuje námraza, která je na nich vytvořena. Uvažovaná hodnota je brána ze vztahu pro zatížení námrazou Q_I (ze vztahu (8)).



Obr. 3 Síly působící na podpěrné body

2.5 Zatěžovací stavy

Dle účelu rozdělujeme podpěrné body do skupin. Podle smyslu funkce ve vedení je pak nutno při návrhu postupovat dle kritérii na něj kladených.

Rozdělení podpěrných bodů dle účelu ve vedení:

N – nosný

Jedná se podpěrný bod v přímé trase. Při návrhu se posuzuje zatížení větrem a kombinované zatížení větrem a námrazou. Směr větru se uvažuje kolmo na vedení

V – výztužný

Podpěrný bod sloužící ve vedení jako záchytný bod při šíření poruchy. Při návrhu se posuzuje 2/3 jednostranný tah omrzlých lan při kombinovaném zatížení větrem a námrazou a 2/3 jednostranný tah lan při zatížení větrem.

R – rohový

Podpěrný bod v lomu trasy vedení. Při návrhu se posuzuje zatížení větrem a kombinované zatížení větrem a námrazou. Směr větru se uvažuje ve směru výslednice tahů. Pro krátká rozpětí je nutné překontrolovat stav při minimální teplotě (obvykle -30°C) V praxi se často vyskytuje kombinace rohového a výztužného RV vzhledem k pozitivnímu účinku 2/3 jednostranného tahu.

K – křížovatkový

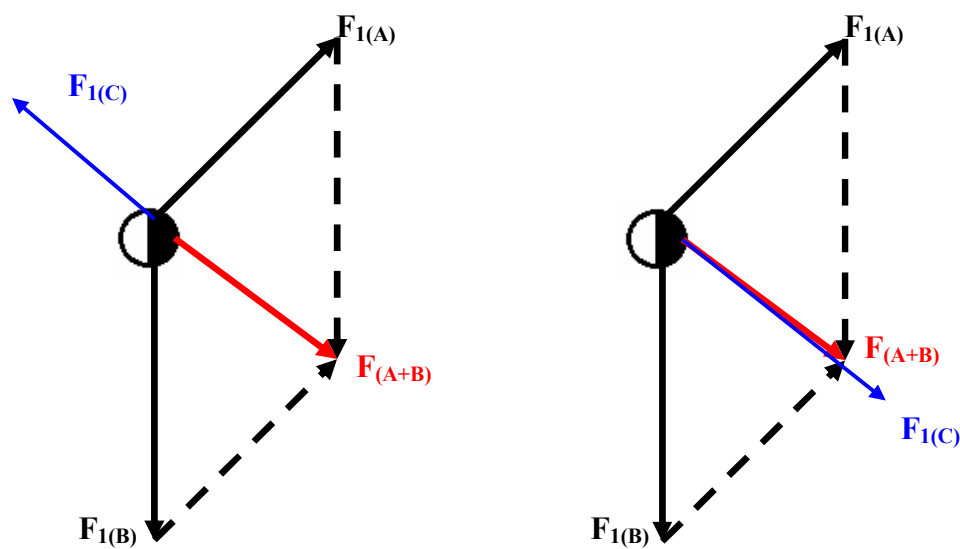
Podpěrný bod vzniklý při křížení pozemní komunikace, vodního toku nebo železniční nebo popřípadě jiné dráhy. Při návrhu se posuzuje 1/3 tah omrzlých lan při kombinovaném zatížení větrem a námrazou a 1/3 tah lan při zatížení větrem. Směr větru se uvažuje kolmo na vedení.

Ko – koncový

Již z názvu je patrné, že se jedná o ukončovací podpěrné body venkovních vedení. Posuzuje se tah omrzlých lan při kombinovaném zatížení větrem a námrazou a tah lan při zatížení větrem. Směr větru se uvažuje ve směru výslednice tahu nebo kolmo na vedení v závislosti, který z těchto jevů způsobí vyšší zatížení. Krátká rozpětí je nutné zkontrolovat při minimální teplotě.

O – odbočný

Při vzniku odbočného vedení z daného podpěrného bodu je nutné posuzovat jeho návrh na tah omrzlých lan při kombinovaném zatížení větrem a námrazou. Směr větru se v tomto případě uvažuje ve směru výslednice. Dále se uvažuje tah lan při zatížení větrem. Směr větru je uvažován pro největší namáhání. V případě odboček je nutno zohlednit její směr působení. Jestliže působí proti výslednici hlavního vedení F_v , snižuje její velikost (Obr. 4). Tento jev je nežádoucí v případě, pokud dojde k „odstřižení“. V praxi se tak může stát, pokud bude prováděna rekonstrukce odbočky nebo pro její nepotřebnost by byla fyzicky zrušena. Na podpěrný bod by náhle byla vyvíjena větší síla a mohlo by dojít k jeho havárii. Zatímco v případě účinku odbočky ve směru výslednice, je již nutno její vliv přičíst. Prokazatelně totiž bude zvyšovat zátěž kladenou na konstrukci podpěrného bodu.



Obr. 4 Silové působení odbočky a) proti směru výslednice b) ve směru výslednice

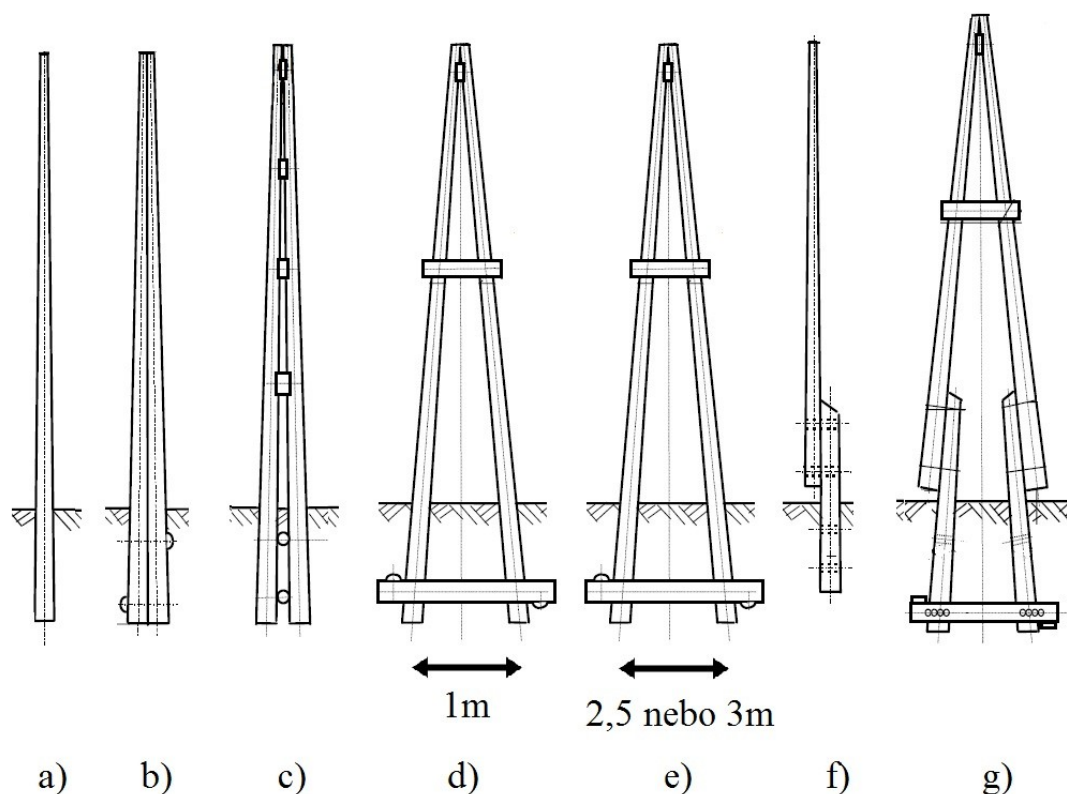
3 PROVEDENÍ PODPĚRNÝCH BODŮ

3.1 Dřevěné sloupy

I v současnosti se v projektech venkovního vedení VN, lze setkat s tímto typem podpěrného bodu. Je to dáno hlavně díky jejich pozitivním vlastnostem. A to zejména nízká hmotnost a nižší pořizovací náklady. Jedná se zejména o místa, kde je obtížný terén pro dopravu a mechanizaci nutnou ke stavbě betonových podpěrných bodů. Pro svůj přírodní vzhled dochází k jejich aplikování i v chráněných krajinných oblastech. V ČR se používají pro výrobu dřevěných sloupů rostlé stromy, zejména jehličnaté (smrk, borovice, jedle) s průměrem ve vrcholu od 16 cm. Ve světě pak jsou ještě rozšířené vrstvené laminované sloupky Glulam.

Hlavním negativem dřeva v přírodních podmínkách je jeho náchylnost k hnilobě. Největší problém nastává při přímém zapuštění do země. Potlačením tohoto vlivu dospějeme vhodnou impregnací dřeva kreosotovým olejem. Dalším řešením je osazení sloupu na železobetonovou patku. Tímto provedením ovšem zvyšujeme nároky na logistiku v těžko přístupném terénu.

Dle různých způsobů provedení rozlišujeme typy sloupů J(p), D(p), U(p), A(p) a Š(p), kde p značí osazení sloupu na železobetonové patce. Namáhání na vrchol podpěrného bodu se pohybuje nejčastěji v hodnotách od 5 do 15 kN. V dostupných délkách sloupů od 8 do 15 m.



Obr. 5 Typy dřevěných podpěrných bodů – a) J b) D c) U d) Š e) A f) Jp g) Šp nebo Ap [4]

3.2 Betonové sloupy

Pro stavbu venkovního vedení VN se v současnosti nejčastěji používají podpěrné body betonové. Důvodem jsou jejich stálé vlastnosti po dobu své životnosti. Ruší tedy negativa dřevěných sloupů. Největším neduhem je ovšem jejich hmotnost, která se může projevit v podobě problému s dopravou podpěrného bodu a mechanizace nutné pro stavbu v těžko přístupných místech jako jsou např. svahy.

Základním prvkem sloupu je předpjatá ocelová výztuž. Tato výztuž je při výrobě součástí formy sloupu, která je posléze vyplněná betonovou směsí. Pro urychlení tvrdnutí betonu se forma vyhřívá. Děje se tak ovšem s ohledem na zachování vlastností betonu a jeho soudržnosti s ocelovou výztuží. Pro zamezení vníkaní vody středním otvorem sloupu je vrchol dodatečně osazen plastovou čepičkou. Již z výroby je proveden uzemňovací otvor a dosazen identifikační štítek s nutnými údaji o sloupu.

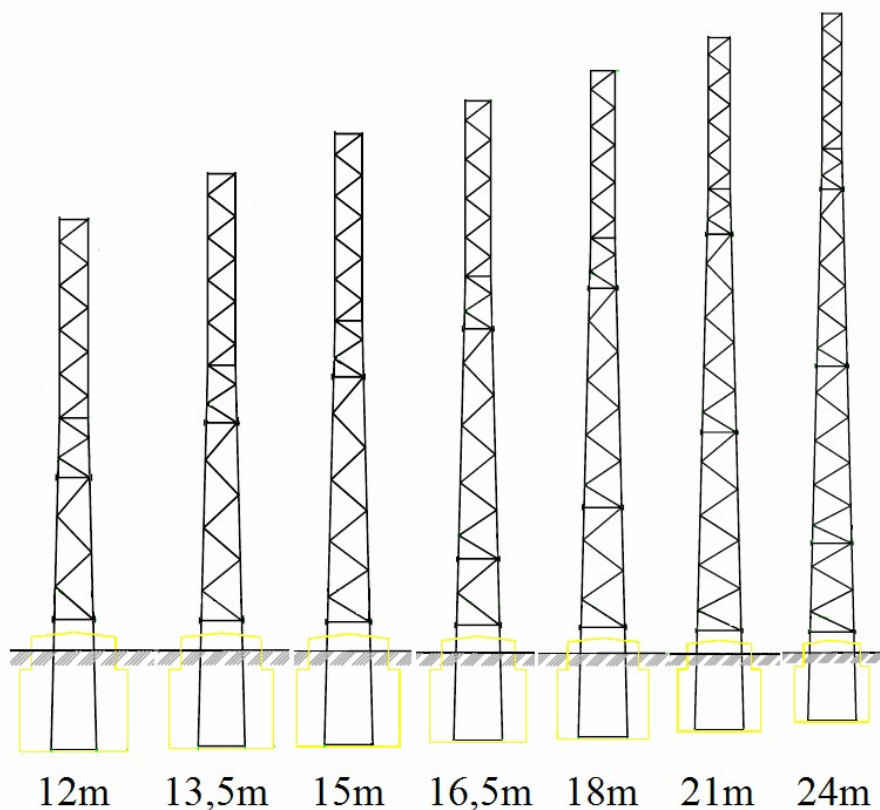
Podpěrné body jsou vyráběny v délkových řadách 9m, 10,5m, 12m, 13,5m a 15m. Ve vrcholových silách 1,5kN, 3kN, 4,5kN, 6kN, 10kN, 12kN, 15kN, 20kN a 25kN. Požadované síly je možné navýšit pomocí dvojitého betonového sloupu (DB). Jedná se o vztyčení dvou shodných konstrukcí podpěrného bodu. Pro odlišení řad vrcholových sil jsou patky sloupů barevně značeny. Značení je ovšem u obou výrobců betonových sloupů odlišné. Podrobné informace o daných sloupech poskytují produktové listy firem Sloupárna Majdaléna a ELV Produkt. Pro použití v projektech je důležitá standardizovaná řada zadavatele.

3.3 Příhradové stožáry

Ačkoliv hlavní doménou příhradových konstrukcí je zejména napěťová hladina VVN, existují nenahraditelné aplikace i v oblasti VN. Použití nachází v místech, kde je potřeba umístit lana do vyšší polohy z důvodu bezpečných vzdáleností způsobených průhybem vedení. Další aplikací je souběh vedení a jeho provedení na jeden podpěrný bod. Nejčastěji ovšem dochází k použití při velkých hodnotách výpočtového zatížení, díky vysoké pevnosti příhradové konstrukce. Nevýhodu těchto podpěrných bodů pak najdeme ve vyšších pořizovacích nákladech a problémech s oxidací ocelové konstrukce.

V současnosti se příhradové stožáry zhotovují jako díly, složené ze svařovaných příhradových profilů tvaru L. Toto rozdělení na jednotlivé díly usnadňuje zejména dopravu na místo stavby. Spojení jednotlivých příhradových součástí se posléze provádí pomocí šroubů. Ochrana proti korozi ocelové konstrukce se provádí, díky moderním technologiím, pouze žárovým zinkováním v požadované tloušťce 80μm. Ochranný nátěrový systém se dnes používá pouze při rekonstrukcích linek VN a ponechání původního příhradového stožáru. Pro tuto oblast použití se nejlépe uplatnil ochranný systém Amerlock díky výborné přilnavosti na zrezivělé povrchy. Výjimku pak v některých projektech tvoří požadavek nanesení nátěrového systému i na nové stožáry v odstínu barvy, z důvodu lepšího nebo naopak odlišného začlenění do okolního prostředí.

Konstrukce se vyrábí v délkových řadách po krocích 1,5m v rozmezí 12 – 24m včetně a vrcholových silách 12kN, 20kN, 30kN, 40kN, 50kN, 60kN, 70kN a 80kN. Pro použití v projektech je důležitá standardizovaná řada zadavatele.



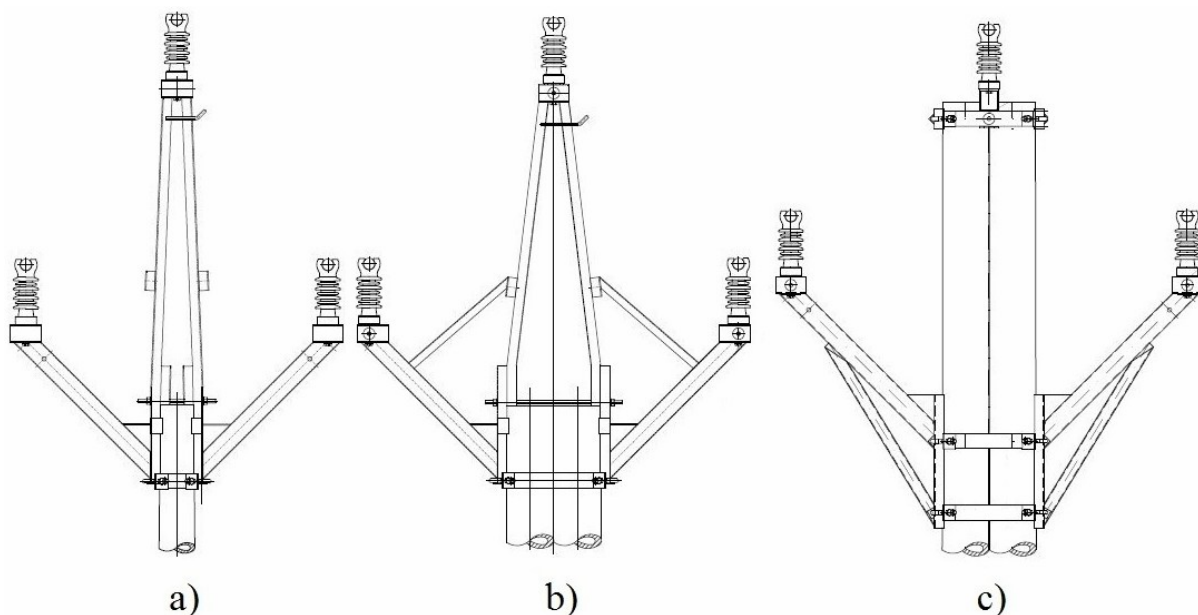
Obr. 6 Standardizovaná délková řada příhradových stožárů pro E.ON s hlavou 700x700-5550

3.4 Konzoly

Veškeré silové účinky vedení se přenáší přes podpěrné izolátory popř. kotevní závěsy na konzolu a posléze konstrukci sloupu. V současnosti se používá v nových projektech pro holá vedení pouze konzol řad Pařát II vyvinuté firmou Energetika Servis s.r.o. V nejbližším horizontu časového období dojde k nahrazení typem Pařát III, který je momentálně ve vývoji. Pro izolovaná vedení se aplikuje konzol typu IZVE II od téže firmy. Zcela odlišné konzoly se používají pro příhradové stožáry, které vyrábí jejich zhotovitel. V uvedeném přehledu konzol jsem použil podklady firmy EGE s.r.o. Je to dáno k jejich největší rozšířenosti v nových projektech.

Pro betonové podpěrné body holých vedení používá jediné konzol v trojúhelníkovém uspořádání řad Pařát II v provedení pro jednoduchý (JB) nebo dvojitý betonový sloup (DB). Na tyto druhy sloupů je pak možný výběr mezi klasickou řadou Pařát II a speciální Pařát II 40 ST. Na JB sloupy s vrcholovými průměry od 180 do 250mm je výběr konzoly omezen pouze na klasickou řadu. Pro JB a DB sloupy s průměry ve vrcholu v intervalu 225-250mm je pak možnost výběru již z obou řad. Výběr konzoly je pak ještě dán z hlediska výpočtového silového zatížení vodiče. Na všechny typy konzol je možné namontovat podpěrné izolátory VPA nebo VPAv pro holé vedení 110-AL1/22-ST1A (staré značení AlFe 110/22). Dále je pak pomocí přidavného kotevního adaptéru možné namontovat i kotevní izolátory. Výjimku tvoří pouze konzoly z klasické řady DB 28R, DB 28K a speciální 40 ST, na které je možná montáž přímo. Konzoly jsou ocelové svařované konstrukce, které proti účinkům povětrnostních vlivů jsou chráněny žárovým zinkováním. K tělesu betonového sloupu jsou spojeny pomocí svorníku a třmenové objímky se šrouby, pro přizpůsobení na daný průměr sloupu. Svým upevněním zároveň zamezují

odpadávání ochranné plastové krytky. Pařát II 40 ST je svou konstrukcí rozdělen na dvě části. Horní část se montuje na úplný vrchol sloupu, tak aby montáž opět neumožňovala odstranění plastové krytky. Spodní část je pak dle požadované výšky ukotvena pomocí dvou svorníků.

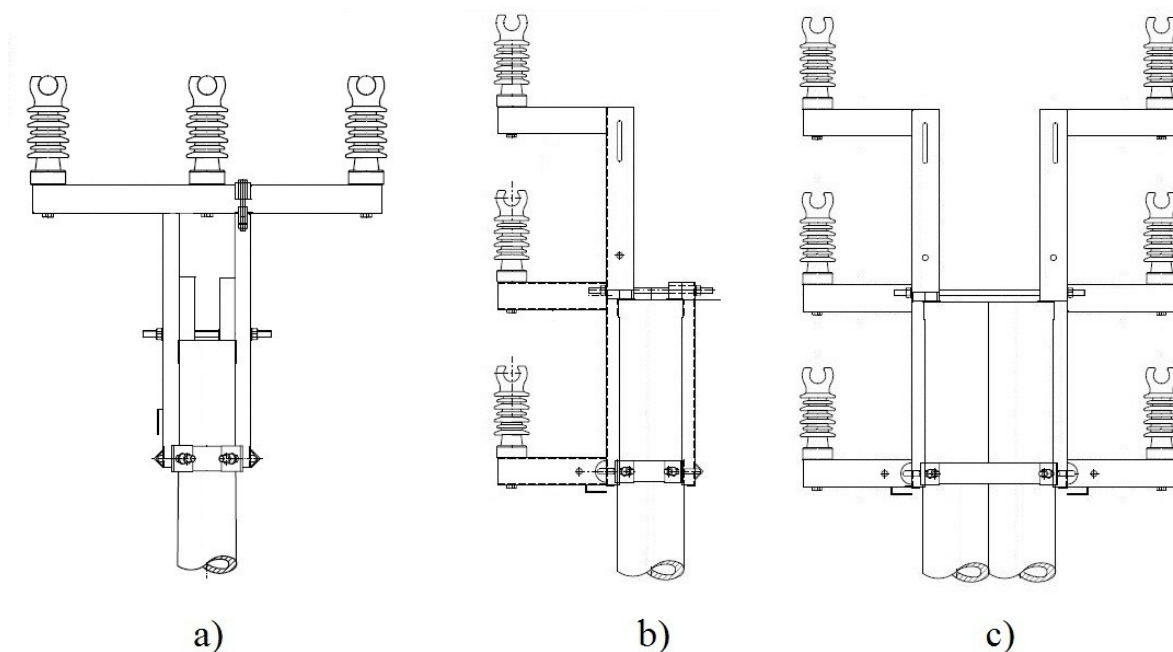


Obr. 7 Konzoly pro betonové sloupy – a) Pařát II JB 180-250 b) Pařát II DB 28R 225-250 c) Pařát II 40 ST DB 225-250 [5] [6]



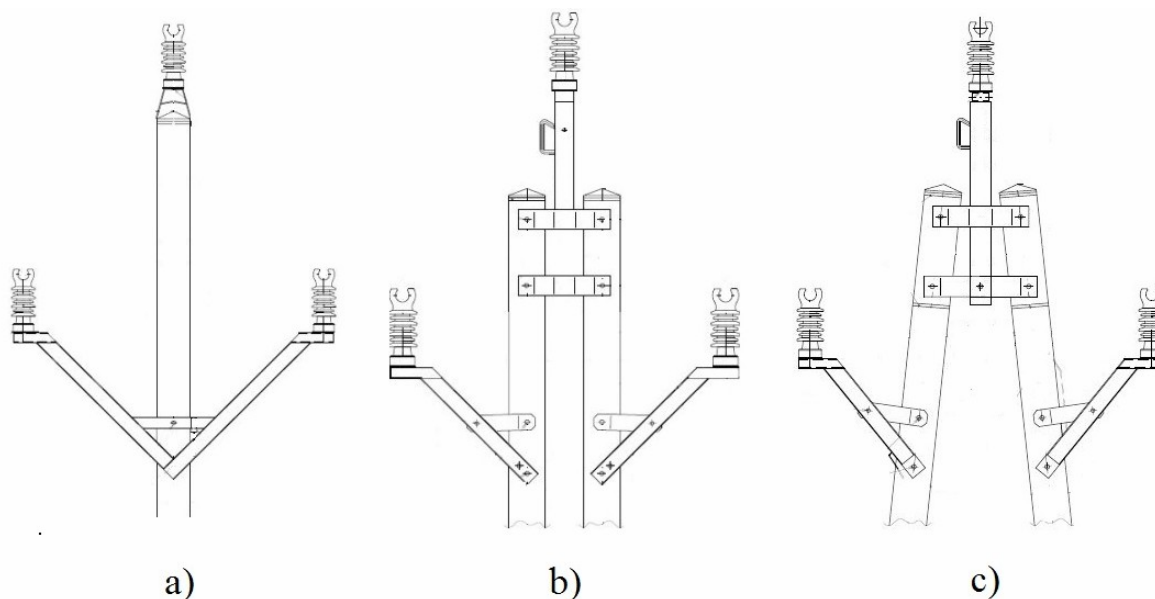
Obr. 8 Konzola Pařát II DB 225-250 s kotevními adaptéry a izolátory VPAv na holém vedení 110-AL1/22-ST1A

Konzoly IZVE pro izolovaná vedení se montují na sloupy JB i DB. Dle způsobu uchycení vodičů je na výběr z nosného nebo kotevního typu konzoly. Připevnění k podpěrnému bodu se děje opět pomocí svorníku a třmenové objímky a také zamezuje odpadávání plastové krytky.

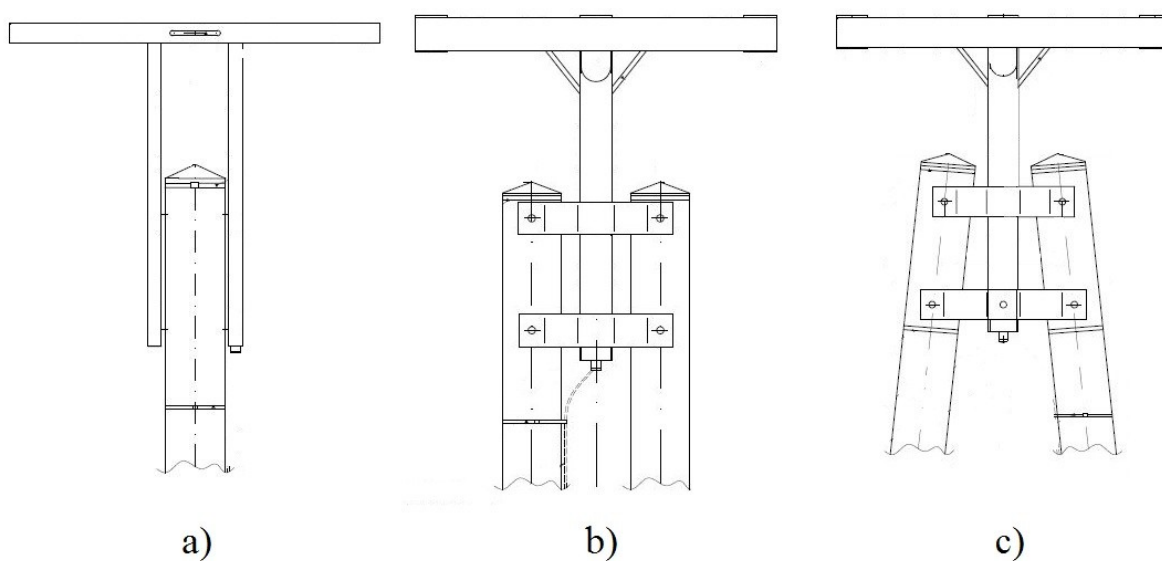


Obr. 9 Konzoly pro betonové sloupky – a) 3xIZVE II JB N b) 3xIZVE svislá nosná JB c) 6xIZVE svislá nosná DB [7] [8]

U dřevěných podpěrných bodů pro holá vedení se používají konzoly Pařát určené speciálně pro tyto typy sloupů J, U, A a Š. Založení sloupů na betonových patkách není pro návrh konzoly limitující. Podle funkce sloupu ve vedení se rozlišují konzoly nosné (N), kotevní (K) a výztužné (V). Dle tohoto rozdělení se na nosné konzoly dají namontovat pouze podpěrné izolátory obou typů. Na kotevní a výztužné je možnost připevnit navíc i kotevní izolátory. Aplikace všech konzol je omezena vrcholovým průměrem dřevěného sloupu v rozmezí od 160 do 210mm. Materiálové složení a způsob ochrany proti povětrnostním vlivům je stejný jako u konzol pro betonové sloupky. K dřevěným konstrukcím se konzoly upevňují přišroubováním do předem vyvrtaných otvorů a dotáhnutím šroubů ve svorníku. Pro izolovaná vedení je opět k dispozici řada IZVE určená pro dřevěné podpěrné body.

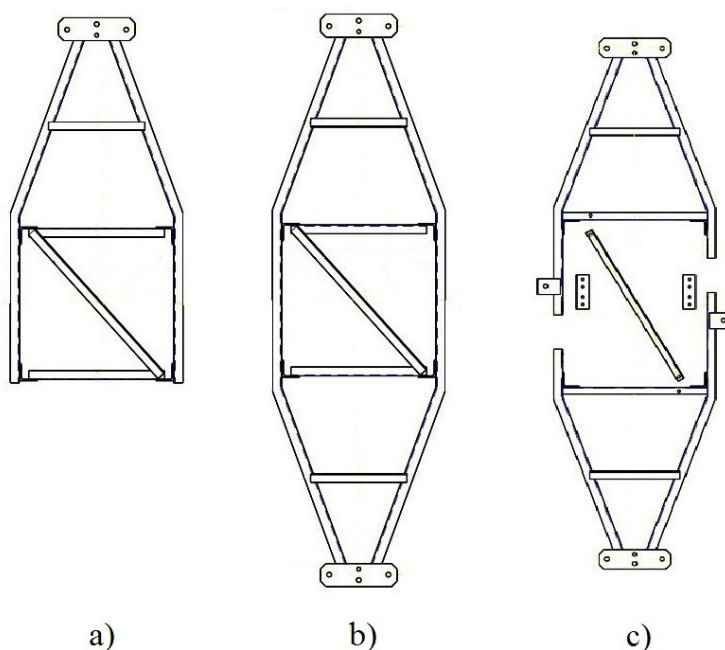


Obr. 10 Konzoly pro dřevěné sloupky – a) Pařát DS-N-J b) Pařát DS-N-U c) Pařát DS-N-A[9]



Obr. 11 Konzoly pro dřevěné sloupy a) IZVE DS 6 J b) IZVE DS 15 U c) IZVE DS 15 A [10]

Konzoly pro příhradové podpěrné body jsou v provedení jednostranné, oboustranné nebo montované konstrukce. Podle délky vyložení se vyrábí v řadách 1000, 1250, 1500, 1750, 2000 a 2250mm. Provedení je z ocelové svařované konstrukce tvořené z profilů ve tvaru „U“ chráněné opět žárovým zinkováním. Pro určení požadovaného profilu je z ekonomického a váhového hlediska potřeba použít tabulek z typových podkladů výrobce. Ke konzole lze připevnit jak podpěrné izolátory obou typů, tak kotevní izolátory. Montáž konzoly se provádí pouze na hlavu příhradové konstrukce. Navléknutím a sešroubováním čtyřmi šrouby se provede její připevnění.



Obr. 12 Konzoly pro příhradové stožáry – a) jednostranná b) oboustranná c) montovaná [11]



Obr. 13 Jednostranná a dvoustranná konzola na příhradovém stožáru

3.5 Základy

Nejdůležitější částí podpěrného bodu je uložení jeho konce do země. Správné založení sloupu nebo stožáru vede ke správné stabilitě a přenesení sil působících na podpěrný bod vedení, do základové půdy.

Tab. 5 Charakteristické hodnoty zemin [12]

Druh zemin	Γ (kN/m ³)	Φ (°)	c (MPa)	E_{DEF} (MPa)	τ (-)	Z_S (MN/m ³)	R_{DT} (MPa)	σ_{pyp} (MPa)
štěrkovité	19-21	36-43	0	50-200	0,2-0,3	75-300	0,40-0,95	0,177
hrubé písky	17,5-20,5	32-41	0	30-70	0,28-0,30	45-105	0,40-0,65	0,158
jemné až střední písky	17-19	27-35	0	10-30	0,30-0,35	15-45	0,25-0,45	0,112
spraše	18-22	16-33	0,01-0,03	11-21	0,30-0,35	15-30	0,10-0,30	0,23
hlinitopísčité	18,5-19,5	22-30	0,01-0,03	5-15	0,35-0,40	35-105	0,10-0,30	0,197
jílly, slíny a plastické hlíny konzistence:								
měkké	20-21	0	0,02-0,03	1-3	0,40-0,42	20-40	0,04-0,07	0,09
tuhé	20-21	0	0,04-0,06	3-5	0,40-0,42	40-60	0,08-0,15	0,153
pevné	20-21	0-10	0,07-0,09	5-10	0,40-0,42	60-80	0,15-0,25	0,256
tvrdé	20-21	0-16	0,08-0,18	9-18	0,40-0,42	70-140	0,30-0,40	0,52

kde je

Γ –měrná tíha zeminy

Φ – úhel vnitřního tření

c – koheze

E_{def} – deformační modul zeminy

τ – Poissonovo číslo

Z_s – modul stlačitelnosti na svislé stěně v hloubce 2 m

R_{DT} – charakteristická únosnost zeminy

σ_{pvyp} – charakteristický pasivní odpor v hloubce 2 m

Pro projektanta je určitě nejsložitější posouzení zeminy, do které bude podpěrný bod uložen. Ve všech dostupných dokumentech se doporučuje provést geologický průzkum, který pak vede k přesným údajům o dané zemině v místě založení. Ovšem provádět geologický průzkum v každém místě uložení podpěrného bodu je určitě těžko představitelný, hlavně z finančních důvodů. Geologický průzkum se v každém místě uložení provádí až u projektů vyšší důležitosti např. VVN. U projektů vedení VN se předpokládá návrh dle tabulky zemin s charakteristickou hodnotou únosností R_{DT} .

V naprosté většině se ale navrhuje základy pro hlinitopísčité zeminy. Až pokud by se při samotné stavbě základu podpěrného bodu přišlo na netypickou strukturu zeminy, musí se kontaktovat projektant, aby posoudil správnost daného založení. Ačkoliv se zdá tato metoda nepříliš spolehlivá, není dle informací evidován případ, kdy by došlo k havárii podpěrného bodu vlivem špatného posouzení únosnosti zeminy.

Tab. 6 Hloubky založení dřevěných podpěrných bodů [12]

Délka podpěrného bodu	Hloubka založení
8 - 9m	1,6m
10 - 11m	1,8m
12m	2m
13m	2,2m
14m	2,3m
15m	2,5m

Zakládání dřevěných sloupů se provádí třemi druhy základů. Prvním z nich je dusaný základ. Použití tohoto typu je vhodné jen pro podpěrné body s malými vrcholovými silami (cca do 5,5kN). Uložení sloupu se provede do vykopané jámy a zához se provede vykopanou zeminou, která je průběžně dusána. U tohoto typu základu je velmi důležitá ochrana dřevěné konstrukce, poněvadž sloup je v přímém styku s okolní zeminou. Náhradním řešením je založení sloupu na betonovou patku. Tloušťka základu je 30cm. Druhým typem uložení je tzv. prstencový základ. Pata sloupu v jámě se zasype kamenivem cca do výšky 40cm. Na tuto vrstvu přijde vrstva

písku nebo šterku, která se provede pod 1/3 hloubky. V této hloubce se provede znovu kamenný prstenec. Posléze se provede zához udusanou vykopanou zeminou. Tloušťka tohoto základu je 0,5m. Posledním druhem uložení pro dřevěné podpěrné body jsou válcové základy. Ty se skládají ze směsi velkých lomových kamenů a šterku, kterou je sloup obsypán. Díky průměru základu 0,8m slouží pro založení sloupů s nejvyššími vrcholovými silami. Dřevěné podpěrné body se nikdy nezakládají do betonu!

Tab. 7 Hloubky založení betonových podpěrných bodů [13][14]

Typ podpěrného bodu (délka / vrcholová síla)	Hloubka založení	Typ podpěrného bodu (délka / vrcholová síla)	Hloubka založení
9/1,5	1,6m	10,5/12	2m
9/3	1,6m	10,5/15	2m
9/4,5	1,6m	10,5/20	2m
9/10	1,8m	12/3	2m
9/12	2m	12/4,5	2m
9/15	2m	12/6	2m
10,5/3	1,8m	12/10	2m
10,5/4,5	1,8m	12/12	2m
10,5/6 (Majdaléna)	1,8m	12/15	2m
10,5/6 (ELV Produkt)	2m	12/20	2m
10,5/10	2m	13,5/6	2m

**tučně zvýrazněné sloupy používané v projektech pro E.ON*

Betonové podpěrné body se zakládají do připravené jámy, ať už ručními nebo mechanizačními prostředky, do hloubky, která je dána z typových podkladů. Posléze se provede betonáž sloupů. Tvar základu má podobu hranolu. Přímé zapuštění do země je možné pouze u sloupů s malými vrcholovými silami (do 6kN).

Zakládání ocelových příhradových konstrukcí se provádí do betonového základu. Použit se může jednostupňový nebo dvoustupňový základ. Do vykopané nebo vytěžené jámy se provede nejdříve podkladní 10cm vrstva betonu, která po vytvrdnutí bude zamezovat propíchnutí základu. Dále se postupuje betonáží dalšího stupně základu, dle zvoleného typu. Těleso základu musí přesahovat v nejnižším bodě nadzemní části o 30cm. Vrch této nadzemní části se provede ve tvaru jehlanu o výšce 10cm pro snadný odtok vody. Dále se v rozích úhelníků příhradové konstrukce provede spád betonu tak, aby bylo zamezeno usazování vody. Po vytvrzení základu se provede zához zeminou, která je pravidelně hutněna. Pro zvýšení ochrany nadzemní části před povětrnostními vlivy se může provést penetrační nátěr. Přechodová spára mezi ocelovou konstrukcí a betonovým základem se může utěsnit ochranným tmelem.

Záměrem této práce bylo i pro určitý typ podpěrného bodu provést kontrolu výpočtu hloubky založení. Pro danou problematiku jsou ale kladeny vysoké požadavky na znalosti z oblasti mechaniky zemin. Od uvedeného záměru se proto po konzultaci se stavebním statikem upustilo a budou brány hodnoty dostupné z typových podkladů.

4 BEZPEČNOSTNÍ POŽADAVKY

4.1 Umístění podpěrných bodů

Pokud při návrhu dojde ke křížení s pozemní komunikací, je zakázáno umisťovat podpěrné body na silničních pozemcích. Umístění v její ochranném pásmu se musí projednat s úřadem, provádějící správu silnic. Zvláštní pozornost se věnuje při křížení v zatáčce nebo v blízkosti křižovatky, aby nedocházelo k omezení rozhledu. U dálnic a rychlostních silnic je třeba dodržet bezpečné vzdálenosti od konstrukce podpěrných bodů:

9 m – od vnitřní hrany nezpevněných krajnic

7,5 m – od vnitřní hrany příkopu

2,5 m – od paty násypu nebo vnější hrany zářezu.

Dále dle druhu komunikace nesmí žádná část sloupu, či stožáru zasahovat do výšky:

6,0 m – u silnice I. a II. třídy

5,6 m – u silnic III. třídy, místních a účelových komunikací

5,0 m – u cyklistických stezek a chodníků.

Dojde-li ke křížení s dráhami, je třeba umisťovat podpěrné body co nejdále od nich. Založení konstrukce musí být až za provedením odvodnění dráhy. Úsek vedení křižující železniční dráhu se umístí mezi dva křižovatkové výztužné stožáry KV nebo křižovatkové rohové výztužné stožáry KRV. Je-li z ekonomického nebo technického hlediska vhodné, lze v úseku křižovatky vložit až tři nosné N nebo rohové R podpěrné body.

Jestliže se v blízkosti nachází potrubí, ať už nadzemní nebo zemní, je třeba umístit podpěrný bod nejméně do vzdálenosti 5m. Jestliže je součástí podpěrného bodu uzemnění a navíc je potrubí chráněno katodovou ochranou, zvyšuje se vzdálenost na 10m. Je-li potrubí provedeno např. z PVC nebo PE, umístí se podpěrný bod jen s ohledem na jeho neporušení během stavby.

4.2 Bezpečné vzdálenosti na podpěrném bodě

K zamezení možného přeskoků, zejména při přepětí, je třeba dodržet bezpečných vzdáleností. Jako bezpečná vzdálenost vodiče od konstrukce podpěrného bodu se považuje v sítích 22kV 23cm, pro síť 35kV pak 38 cm. Vzdálenost mezi jednotlivými fázovými vodiči je považována za bezpečnou, je-li dodržen odstup 26cm v sítích 22kV a 45cm v sítích 35kV. Bezpečnou vzdálenost zabezpečuje již konstrukce konzoly. Ne ovšem za každých podmínek. Zvýšenou pozornost je třeba dbát u rohových (např. z důvodu natočení konzoly) nebo odbočných podpěrných bodů (např. vzdálenosti u propojovacích vodičů).

4.3 Výstražná tabulka

Každý podpěrný bod ve vedení s izolovanými vodiči nebo závěsnými kabely musí být označen bezpečnostní tabulkou s bleskem doplněnou o nápis: „Vysoké napětí - Životu nebezpečno dotýkat se elektrických zařízení nebo drátů i na zem spadlých“.

U holých vedení jsou nutností jedná-li se o podpěrné body:

- v zastavěném území měst a obcí
- při křížení pozemních komunikací, drah, vodních cest, ostatních liniových staveb a vedení rekreačních ploch a objektů spojených s přítomností osob
- ocelové příhradové konstrukce
- vyzbrojené úsekovými spínači a omezovači
- při souběhu s pozemními komunikacemi, dráhami, vodními cestami, ostatními liniovými stavbami a vedeními, rekreačními plochami a ostatními objekty spojenými s přítomností osob, je-li nejkratší vzdálenost svislé roviny procházející krajním vodičem od hlavy nejbližší kolejnice, vnitřní hrany nezpevněné krajnice pozemní komunikace (okraje asfaltového povrchu nebo její zpevněné části), okraje sjezdovky, menší než 20m

Výstražné tabulky se umísťují na konstrukci podpěrného bodu na straně s možným přístupem osob ve výši 1,8 až 2,5 m nad zemí. [1]



Obr. 14 Provedení bezpečnostní tabulky

4.4 Číslování podpěrných bodů

Každý podpěrný bod musí na sobě nést informaci o svém pořadovém čísle. Nejčastěji se provádí speciální tabulkou. Provedení musí být čitelné po celou dobu životnosti konstrukce.



Obr. 15 Číslování na podpěrném bodě

5 PROJEKT PODPĚRNÉHO BODU Č. 131 VN 99

Pro uvedený příklad řešení návrhu podpěrného bodu byl zvolen PB č. 131 (původní značení 141) vedení VN 99 22kV, jenž se nachází v katastrálním území Polnička - kraj Vysočina. Uváděný příklad řešení byl nejsložitějším místem rekonstrukce trasy.

Geodetické parametry:

Vzdálenost US 130 - PB 131 (dále jen rozpětí A): 61,6m

Vzdálenost PB 131 - US 132 (dále jen rozpětí B): 40,1m

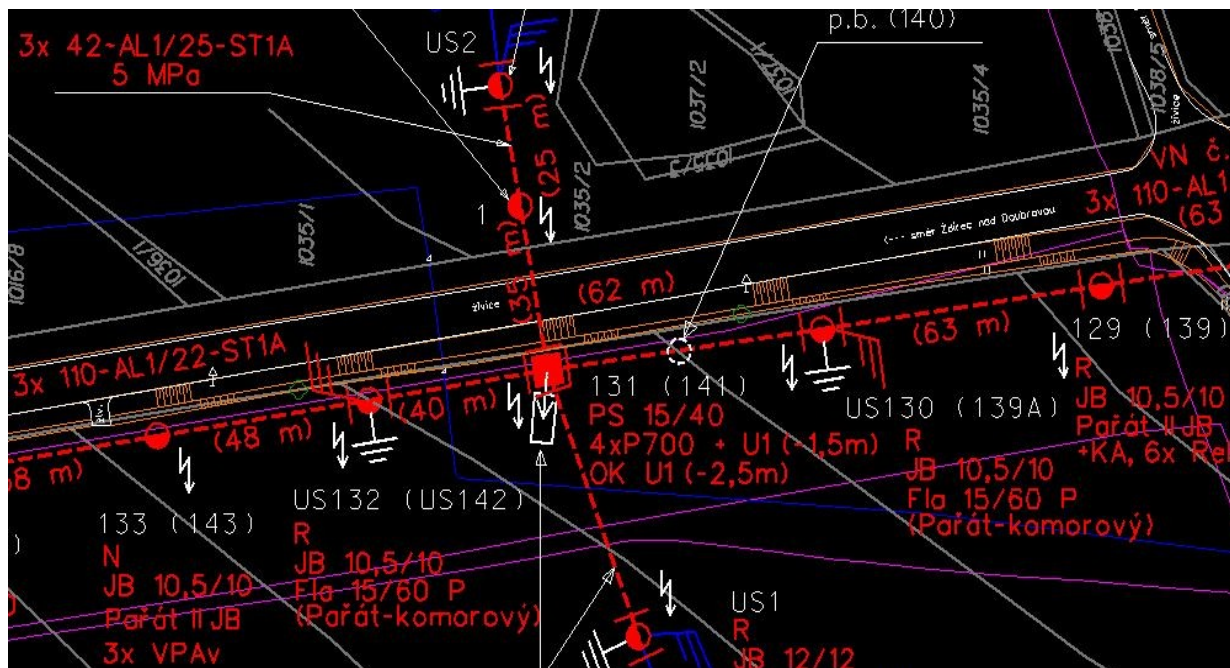
Vzdálenost PB 131-US1 směr Polnička (dále jen rozpětí C): 58,7m

Vzdálenost PB 131 - PB 1 směr Světnov (dále jen rozpětí D): 34,5m

Úhel lomu hlavního vedení: 178°

Úhel lomu odbočného vedení Polnička: 78°

Úhel lomu odbočného vedení Světnov: 92°



Obr. 16 Výřez výkresu projektu rekonstrukce vedení VN 99

Prvním řešením bylo ponechat původní příhradový stožár a provést pouze nezbytné úpravy jako oprava betonového základu, odrezivění konstrukce a následná aplikace nového ochranného nátěrového systému a nakonec úpravy dle požadavků zadavatele stavby. V projektu se nakonec přešlo k náročnějšímu záměru a to nahradit původní podpěrný bod novým. Hlavní pozitiva tohoto řešení lze shledat v absolutní nezávislosti na případné rekonstrukci odbočných vedení nebo v podobě nové moderní příhradové konstrukce vyhovující všem standardům kladené na podpěrné body v současné době. Negativem jsou určitě vyšší pořizovací náklady, nutnost provést doplňující opatření odbočných vedení tak, aby vyhovovala všem normám a požadavkům.



Obr. 17 Původní podpěrný bod č. 141 VN 99

Návrh se řídí požadavky pro odbočné podpěrné body:

- a) snižuje-li působení odbočného vedení hodnotu tahů hlavního vedení, je nutno uvažovat zatížení bez těchto snižujících účinků
- b) na zatížení výslednic tahů vodičů s účinkem zatížení větrem pod úhlem, který způsobí nejnepříznivější účinek.
- c) na zatížení výslednic tahů omrzlých lan s účinkem kombinovaného zatížení větrem a námrazou
- d) krátká rozpětí zkontrolovat na účinek minimální teploty

5.1 Požadavek a)

Z hlavního vedení jsou na konkrétním podpěrném bodě vyvedena dvě odbočná vedení. Aby se zcela určitě vyloučil případný snižující účinek zatížení na hlavní vedení, je uvažován při výpočtu pouze směr odbočky způsobující největší silový účinek na podpěrný bod. V konkrétním případě se jedná o odbočné vedení ve směru Polníčka.

5.2 Požadavek b)

Pro výpočet při zatížení větrem jsou brány hodnoty pro teplotu -5°C . Pro hlavní vedení v provedení 3x 110-AL1/22-ST1A z řešení stavové rovnice v příložené aplikaci zjistíme vodorovnou sílu pro rozpětí A

$$F_{1(A)} = 3 \cdot 1058,4 = 3175,2 \text{ N}$$

pro rozpětí B je hodnota stejná, poněvadž se jedná o referenční hodnotu

$$F_{1(B)} = 3 \cdot 1058,4 = 3175,2 \text{ N}$$

Odbočné vedení směr Polníčka je nyní provedeno nově lany 3x 42-AL1/25-ST1A k prvním úsekovým odpínačům. Jejich vodorovná síla působící na podpěrný bod je

$$F_{1(C)} = 3 \cdot 335,5 = 1006,5 \text{ N}$$

Podpěrný bod neplní funkci křížovatkového ani výztužného, a proto lze rozdíl vodorovných sil hlavního vedení vypočítat vlivem malého úhlu lomu pomocí kosinové věty [15]

$$F_{1(A+B)} = \sqrt{3175,2^2 + 3175,2^2 + 2 \cdot 3175,2 \cdot 3175,2 \cdot \cos 178^{\circ}} = 110,8298 \text{ N}$$

Úhel svírající tato výslednice k $F_{1(A)}$ lze vypočítat [15]

$$\alpha_{F_{1(A+B)}} = \arcsin\left(\frac{3175,2}{3175,2} \cdot \sin 178^{\circ}\right) = 89^{\circ}$$

Abychom mohli určit celkovou velikost účinku vodorovných sil $F_{1(C)}$ a $F_{1(A+B)}$ provedeme jejich rozklad do x a y souřadnic

$$F_{1X(A+B)} = 110,8298 \cdot \cos 89^{\circ} = 1,9342 \text{ N}$$

$$F_{1Y(A+B)} = 110,8298 \cdot \sin 89^{\circ} = 110,8129 \text{ N}$$

$$F_{1X(C)} = 1006,5 \cdot \cos 78^{\circ} = 209,2631 \text{ N}$$

$$F_{1Y(C)} = 1006,5 \cdot \sin 78^{\circ} = 984,5056 \text{ N}$$

Vektorovým sečtením velikostí x -ových a y -ových souřadnic byl získán celkový účinek F_1 [15]

$$F_1 = \sqrt{(1,9342 + 209,2631)^2 + (110,8129 + 984,5056)^2} = 1115,4140 \text{ N}$$

Úhel svírající výslednice F_1 k $F_{1(A)}$ má velikost [15]

$$\alpha_{F_1} = \arctg\left(\frac{110,8129 + 984,5056}{1,9342 + 209,2631}\right) = 79^{\circ}$$

Daná oblast se nachází ve větrové oblasti III pro kterou platí dle tab.:1 referenční rychlost $V_R = 27,5 \text{ m.s}^{-1}$. Kategorii terénu volíme typu II - zemědělské plochy s rozptýlenou zástavbou a porosty a to s ohledem k okolí podpěrného bodu. Konstrukce podpěrného bodu bude určitě splňovat podmínku výšky do 20 m, lze tedy konstatovat, že $V_R = V_h$. Výpočet dynamického tlaku větru q_h vypočítáme pak podle (2)

$$q_h = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 27,5^2 = 472,6562 \text{ Pa}$$

Hodnota poryvového součinitele G_q dle tab.: 3 pro danou kategorii terénu a výšku podpěrného bodu je 2,05. S odkazem na stejnou tabulku je součinitel rozpětí G_c pro všechna rozpětí 0,92. Pro lano 110-AL1/22-ST1A je průměr $d = 14,96 \text{ mm}$ a dle tab.:2 koeficient aerodynamického odporu lana $C_c = 1,1$. Úhel směru větru β je volen vzhledem k požadavku účinku maximálního zatížení a byl určen z přiložené aplikace

$$Q_{WC(A)} = 472,6562 \cdot 2,05 \cdot 0,92 \cdot 1,1 \cdot 0,01496 \cdot 61,6 \cdot \sin^2 93^\circ = 911,1579 \text{ N}$$

$$Q_{WC(B)} = 472,6562 \cdot 2,05 \cdot 0,92 \cdot 1,1 \cdot 0,01496 \cdot 40 \cdot \sin^2 95^\circ = 582,3175 \text{ N}$$

Pro lano 42-AL1/25-ST1A je průměr $d = 10,68 \text{ mm}$ $C_c = 1,2$

$$Q_{WC(C)} = 472,6562 \cdot 2,05 \cdot 0,92 \cdot 1,2 \cdot 0,01068 \cdot 58,7 \cdot \sin^2 13^\circ = 44,9231 \text{ N}$$

Celková síla Q_{WC} působící na všechna lana za předpokladu, že vypočítané hodnoty působí v každém rozpětí jednou polovinou

$$Q_{wc} = 3 \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot 911,1579 + \frac{1}{2} \cdot 582,3175 + \frac{1}{2} \cdot 44,9231 \right) = 2292,5978 \text{ N}$$

Síla působící na konstrukci podpěrného bodu vlivem větru je počítána podle vztahu (5). Účinná plocha prvků stěn A_t pro zvolený typ PS 15/40 s hlavou 700x700 – 5550 mm má hodnotu $3,03 \text{ m}^2$

$$Q_{wt} = 472,6562 \cdot 2,05 \cdot 1 \cdot 3 \cdot 3,03 = 8807,7120 \text{ N}$$

Tuto sílu přepočteme do vrcholu stožáru

$$Q_{wt2} = \frac{1}{2} \cdot 8807,7120 = 4403,8564 \text{ N}$$

Celková vypočítaná síla působící do vrcholu podpěrného bodu je dána vektorovým součtem výslednice tahů F_1 , celkovou silou působící na vodiče všech rozpětí Q_{WC} a silou působící na podpěrný bod Q_{wt2} při zatížení větrem. Před celkovým vektorovým součtem je proveden rozklad sil do os x a y

$$F_{1X} = 1115,4940 \cdot \cos 79^\circ = 211,1974 \text{ N}$$

$$F_{1Y} = 1115,4940 \cdot \sin 79^\circ = 1095,3184 \text{ N}$$

Jelikož Q_{WC} a Q_{wt2} jsou stejného směru byl proveden jejich součet a proveden rozklad do os x a y

$$Q_{wX} = (4403,8564 + 2292,5978) \cdot \cos 93^\circ = -350,4653 \text{ N}$$

$$Q_{wY} = (4403,8564 + 2292,5978) \cdot \sin 93^\circ = 6687,2770 \text{ N}$$

Výsledná síla působící do vrcholu podpěrného bodu

$$Q = \sqrt{(211,1974 - 350,4653)^2 + (1095,3184 + 6687,2770)^2} = 7783,8414 \text{ N}$$

5.3 Požadavek c)

Z počátku je třeba určit vodorovné síly všech rozpětí pro stav -5°C a námraza. Vzhledem k známosti řešení stavové rovnice v přiložené aplikaci a pro hlavní vedení, které bude provedeno lanem 3x 110-AL1/22-ST1A je vodorovný účinek síly

$$F_{1(A)} = 3 \cdot 22132,0697 = 66396,2091 \text{ N}$$

pro rozpětí B:

$$F_{1(B)} = 3 \cdot 18776,3708 = 56329,1123 \text{ N}$$

Odbočné vedení směr Polnička bude provedeno nově lany 3x 42-AL1/25-ST1A k prvním úsekovým odpínačům. Jejich vodorovná síla působící na podpěrný bod je

$$F_{1(C)} = 3 \cdot 12067,9573 = 36203,8719 \text{ N}$$

Podpěrný bod neplní funkci křížovatkového ani výztužného, a proto lze rozdíl vodorovných sil hlavního vedení vypočítat vlivem malého úhlu lomu pomocí kosinové věty [15]

$$F_{1(A+B)} = \sqrt{66396^2 + 56329^2 + 2 \cdot 66396 \cdot 56329 \cdot \cos 178^{\circ}} = 10290,9231 \text{ N}$$

Úhel svírající tato výslednice k F_{1A} lze vypočítat [15]

$$\alpha_{F_{1(A+B)}} = \arcsin\left(\frac{56329}{10291} \cdot \sin 178^{\circ}\right) = 11^{\circ}$$

Abychom mohli určit celkovou velikost účinku vodorovných sil $F_{1(C)}$ a $F_{1(A+B)}$ provedeme jejich rozklad do x a y souřadnic

$$F_{1X(A+B)} = 10291 \cdot \cos 11^{\circ} = 10101,4109 \text{ N}$$

$$F_{1Y(A+B)} = 10291 \cdot \sin 11^{\circ} = 1965,8577 \text{ N}$$

$$F_{1X(C)} = 36204 \cdot \cos 78^{\circ} = 7527,2082 \text{ N}$$

$$F_{1Y(C)} = 36204 \cdot \sin 78^{\circ} = 35412,7304 \text{ N}$$

Vektorovým sečtením velikostí x -ových a y -ových souřadnic získáme celkový účinek F_1 [15]

$$F_1 = \sqrt{(10101 + 7527)^2 + (1966 + 35413)^2} = 41327,0742 \text{ N}$$

Úhel svírající výslednice F_1 k $F_{1(A)}$ má velikost [15]

$$\alpha_{F_1} = \arctg\left(\frac{1966 + 35413}{10101 + 7527}\right) = 65^{\circ}$$

Při kombinovaném zatížení větrem a námrazou se zmenší dynamický tlak dle (10) o koeficient kombinace ψ_H .

$$q_{hl} = 0,25 \cdot 472,6563 = 118,1641 \text{ Pa}$$

Pro zjištění referenčního zatížení námrazou v oblasti N12 a s průměry lan do 30 mm je použita tab.:4. Pro rozpětí A a B hlavního vedení a rozpětí C odbočného vedení má hodnoty

$$I_{R(A,B)} = 102,062 + 1,3852 \cdot 14,96 = 122,7846 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$I_{R(C)} = 102,062 + 1,3852 \cdot 10,68 = 116,8559 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$$

Součinitel výšky K_h pro aplikace do výšky 20 m má hodnotu 1. Charakteristické zatížení I_K se tedy nezmění podle (7)

$$I_{K(A,B)} = 1 \cdot 122,7846 = 122,7846 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$I_{K(C)} = 1 \cdot 116,8559 = 116,8559 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$$

Návrhové zatížení s ohledem na koeficient spolehlivosti $\gamma_1 = 1,00$ se podle vztahu (8) také nezmění

$$I_{d(A,B)} = 1 \cdot 122,7846 = 122,7846 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$I_{d(C)} = 1 \cdot 116,8559 = 116,8559 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$$

Vlivem tvorby námrazy se zvětší u obou typů lan původní průměr na hodnotu dle (11)

$$D_{(A,B)} = \sqrt{0,01496^2 + \frac{4 \cdot 122,7846}{9,81 \cdot 3,1416 \cdot 500}} = 0,1792 \text{ m}$$

$$D_{(C)} = \sqrt{0,01068^2 + \frac{4 \cdot 116,8559}{9,81 \cdot 3,1416 \cdot 500}} = 0,1745 \text{ m}$$

Síla větru působící na jedno lano s námrazou je vypočtena pro rozpětí A

$$Q_{WCI(A)} = 118,1641 \cdot 2,05 \cdot 0,92 \cdot 1,1 \cdot 0,1792 \cdot 61,6 \cdot \sin^2 65^\circ = 2222,1754 \text{ N}$$

pro rozpětí B

$$Q_{WCI(B)} = 118,1641 \cdot 2,05 \cdot 0,92 \cdot 1,1 \cdot 0,1792 \cdot 40 \cdot \sin^2 67^\circ = 1488,5326 \text{ N}$$

pro odbočné vedení s rozpětím C

$$Q_{WCI(C)} = 116,8559 \cdot 2,05 \cdot 0,92 \cdot 1,1 \cdot 0,1745 \cdot 58,7 \cdot \sin^2 13^\circ = 127,0602 \text{ N}$$

Celková síla Q_{WCI} působící na všechna lana a všechna rozpětí při kombinovaném zatížení větrem a námrazou

$$Q_{WCI} = 3 \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot 2222,1754 + \frac{1}{2} \cdot 1488,5326 + \frac{1}{2} \cdot 127,0602 \right) = 5756,6524 \text{ N}$$

Vítr působící na konstrukci podpěrného bodu podle vztahu (5). Účinná plocha prvků stěn A_t pro zvolený typ PS 15/40 s hlavou 700x700 – 5550 mm má hodnotu 3,03 m².

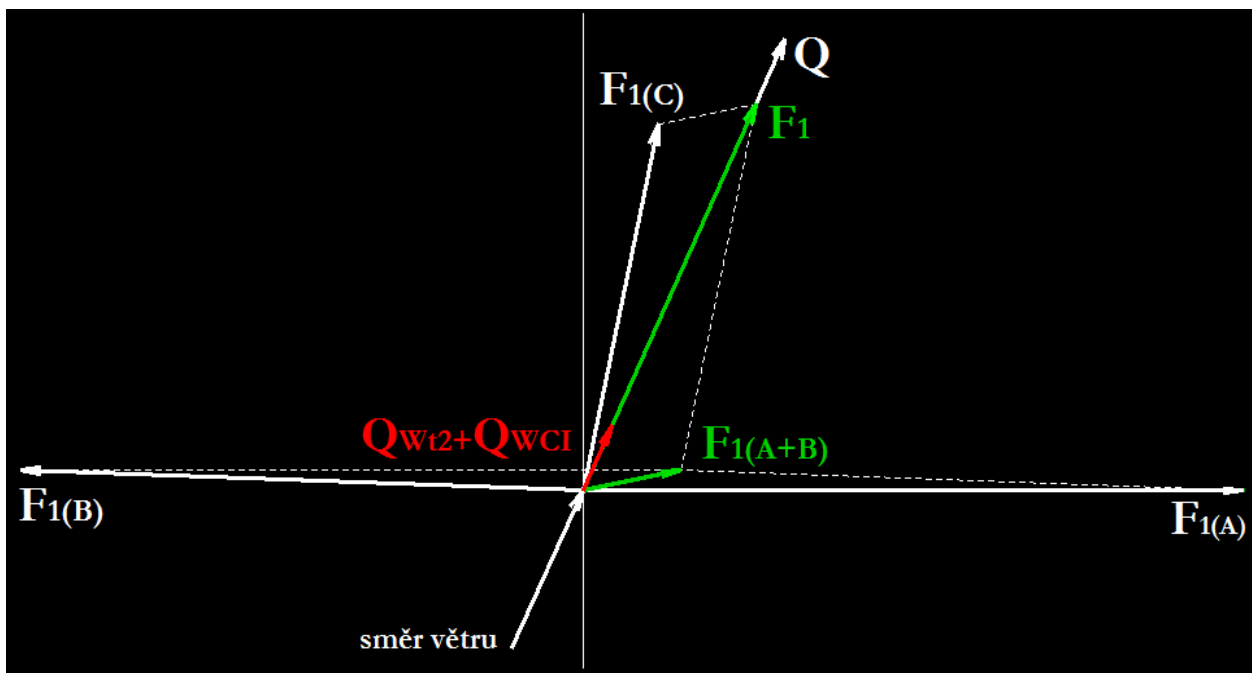
$$Q_{Wt} = 118,1641 \cdot 2,05 \cdot 1 \cdot 3 \cdot 3,03 = 2201,9289 \text{ N}$$

Tuto sílu přepočteme do vrcholu stožáru

$$Q_{Wt2} = \frac{1}{2} \cdot 2201,9289 = 1100,9645 \text{ N}$$

Celková vypočítaná síla působící do vrcholu podpěrného bodu je dána vektorovým součtem výslednice tahů F_1 , celkovou silou působící na vodiče všech rozpětí Q_{WCI} a silou působící na podpěrný bod Q_{Wt2} při kombinovaném zatížení větrem a námrazou. Směr sil je shodný a je možné provést zjednodušený součet

$$Q = 41327,0742 + 5756,6524 + 1100,9645 = 48184,6911 \text{ N}$$



Obr. 18 Rozložení sil při požadavku c)

5.4 Požadavek d)

Hodnota mechanického namáhání σ_H při minimální teplotě -30°C nepřekračuje σ_{Dov} kombinovaného lana u žádného rozpětí.

5.5 Volba podpěrného bodu

Z vypočítaných zatěžovacích stavů kladených na odbočné podpěrné body je zřetelné, že největší zatížení vzniká při požadavku c), tedy při tahu omrznutých lan a při kombinovaném zatížení větrem a námrazou. Při výpočtu už byl brán předběžně typ příhradového stožáru s délkou 15m a vrcholovou silou 40kN. Z výpočtu je patrné, že celková síla Q , kladená na podpěrný bod, je vyšší, než jmenovitá vrcholová síla zvoleného příhradového stožáru. Za této situace by bylo nutné zvolit stožár o řadu vyšší, což vzhledem k standardizované řadě zadavatele stavby je až 60kN. V tomto případě je ovšem nutné vzít na vědomí, za jakých okolností toto maximální namáhání vzniká. Možnost výskytu uvažované námrazy se snižuje, poněvadž je vedení možno vyhřívat. Pokud by k ní ovšem nakonec došlo, muselo by dojít k „odstřížení“ odbočného vedení Světnov a zároveň by musel vítr působit v návrhovém směru. Pravděpodobnost současného výskytu je tedy velmi malá. Posledním faktorem, který působí pro volbu příhradové konstrukce 40kN, je, že ocelové stožáry jsou vypočítávány na 1,3 násobek normového zatížení. Podle předpokladů výrobce by snesl daný typ až 52kN. Volba 60kN řady by tedy prodražila investici podpěrného bodu a došlo by k jeho značnému předimenzování.

5.6 Volba konzol

Uchycení dvou lan hlavních a odbočných vedení bude pomocí oboustranných konzol. Pro volbu profilu konzol je třeba provést výpočet svislého zatížení lan. Výsledné zatížení námrazou jednoho lana hlavního vedení

$$Q_{I(AB)} = 122,7846 \cdot \frac{1}{2} \cdot 61,6 + 122,7846 \cdot \frac{1}{2} \cdot 40 = 6237,4573 \text{ N}$$

Výsledné zatížení námrazou jednoho lana odbočného vedení

$$Q_{I(CD)} = 116,8559 \cdot \frac{1}{2} \cdot 58,7 + 116,8559 \cdot \frac{1}{2} \cdot 34,5 = 5445,4849 \text{ N}$$

Pro celkový účinek svislé složky je nutno spočítat celkovou tíhovou sílu. Z parametrů lana 110-AL1/22-ST1A je známa váha $484,9 \text{ kg.km}^{-1}$

$$F_{g(AB)} = 9,81 \cdot \frac{484,9}{1000} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot 61,6 + \frac{1}{2} \cdot 40 \right) = 241,6489 \text{ N}$$

Z parametrů lana 42-AL1/25-ST1A je známa váha $319,3 \text{ kg.km}^{-1}$

$$F_{g(CD)} = 9,81 \cdot \frac{319,3}{1000} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot 58,7 + \frac{1}{2} \cdot 34,5 \right) = 145,9667 \text{ N}$$

Maximální celková svislá síla jednoho lana hlavního a odbočného vedení

$$F_{3(AB)} = 6237,4573 + 241,6489 = 6479,1062 \text{ N}$$

$$F_{3(CD)} = 5445,4849 + 145,9667 = 5591,4516 \text{ N}$$

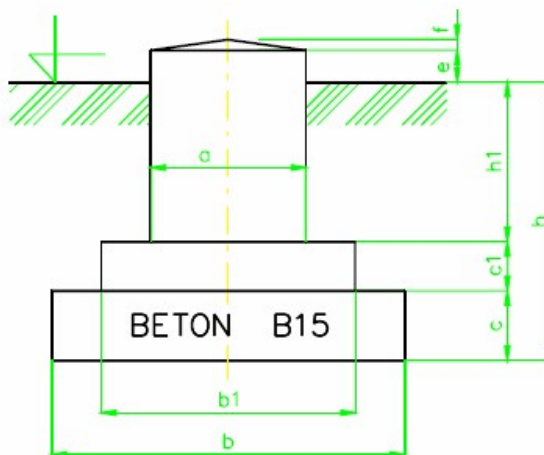
S ohledem na velké návrhové svislé zatížení je volba vyložení konzol 1000mm. Vzhledem k vypočítaným maximálním zatížením je zvolen profil U65, který unese tíhu jednoho vodiče 7000N.

Uchycení třetích vodičů je pomocí staršího typu konzol P700, které nejsou standardně v nabídce. Konstrukci zvolené konzoly je nutno dimenzovat na jednostranný tah lana. Vzhledem k maximální vodorovné síle jednoho vodiče (cca 22kN) je zvolen profil U120 z pevnější oceli typu S355JRG2.

Konzoly na podpěrném bodu:

- 2x U1/65/700 (typ/profil/hlava stožáru)
- 4x P700/120/700 (typ/profil/hlava stožáru)

5.7 Volba základu



Obr. 19 Dvoustupňový betonový základ [11]

Pro zvolený typ příhradového stožáru je použit dvoustupňový základ vzhledem k jeho účelu a zatížení. Hloubka založení je pro všechny typy zemin 2,25m.

5.8 Bezpečnostní požadavky

Zajištění bezpečných vzdáleností na podpěrném bodě, spolu s ohledem k dodržení bezpečných vzdáleností v rozpětí, je provedeno ukotvení konzol P700 ve vrcholu příhradové konstrukce. Konzola U1 odbočného vedení je upevněna ve výšce 1,5m a konzola hlavního vedení 2,5m pod vrcholem stožáru.

Na podpěrný bod bude osazena bezpečnostní tabulka, protože se jedná o příhradovou konstrukci. V tomto případě dochází ke splnění více podmínek. Vedení je vedeno v souběhu s pozemní komunikací a navíc je tento podpěrný bod osazen omezovačem přepětí.

6 SOFTWAREVÁ APLIKACE AMATER

Součástí této práce je i jednoduchá výpočetní aplikace pro posouzení silových účinků působících na podpěrné body s ohledem na normu PNE 33 3301. Aplikace je provedena v prostředí Microsoft Excel. Zvoleno bylo s ohledem na plošné rozšíření a finanční dostupnost.

Součástí sešitu jsou 4 listy, kde každý plní důležitou roli pro funkčnost výpočtu. List s názvem VOLBA je určen pro zadání parametrů a pro konečné vyhodnocení výsledků jednotlivých zatížení.

Obr. 20 Volba parametrů v aplikaci AMATER

Volené parametry:

Rozpětí – pro rozpětí A hlavního vedení je doporučeno brát delší hodnotu.

Namáhání – udávaná hodnota je pro stav -5°C bez námrazy.

Směr větru – je udáván pouze k rozpětí A hlavního vedení. Pro ostatní je již prováděn přepočít automaticky.

Počet lan – důležitý parametr při posuzování výztužných a křížovatkových podpěrných bodů.

Typ lana – prvotně jsou udávána lana používaná v projektech E.ON

Námrazová oblast – volba je možná až po maximální námrazovou oblast vyskytující se v ČR

Větrová oblast – odpovídá rozdělení ČR do větrovních oblastí

Kategorie terénu – omezení volby je jen na kategorie II a III

Volba podpěrného bodu – prvotně je možné volit z betonových sloupů JB a DB a příhradových stožárů PS s hlavou 700x700 – 5500

Úhel lomu hlavního vedení – úhel je volen z intervalu $0-180^{\circ}$

Úhel lomu odbočky – úhel je volen z intervalu $0-180^{\circ}$

Úroveň spolehlivosti – je umožněno změnit referenční hodnotu $T=50\text{let}$

List ST.RCE slouží pro zobrazení a výpočet řešení stavové rovnice. Je zde možnost změnit rozpětí a namáhání, které se automaticky opraví i v listu VOLBA. Tabulka namáhání a vodorovných sil je doplněna o hodnoty maximálního průhybu. Řešení je pomocí řetězovky a paraboly, tak aby bylo možné porovnat obě hodnoty. Kromě základních posuzovaných stavů je možné zadat i vlastní teplotu a zatížení.

Microsoft Excel - AMATER Polníčka

Šoubor Úpravy Zobrazit Vložit Formát Nástroje Data Okno Nápověda

Nápověda – zadejte dotaz

100% Arial 10

Microsoft Excel - AMATER Polníčka

1 A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z AA AB

2 Parametry hlavního vedení

3 HV rozpětí 1 21,5297 HV rozpětí 1 108,6418

4 HV rozpětí 2 18,2653 HV rozpětí 2 91,4113

5 OV rozpětí 11,4431 OV rozpětí 81,1565

6 Rozpětí A [m]

7 61,6

8 Namáhání rozpětí A

9 8

10 Rozpětí B [m]

11 40

12 Namáhání rozpětí B

13 8

14 Parametry odbočného vedení

15 HV rozpětí 1 1141,7690 HV rozpětí 1 1043,7832

16 HV rozpětí 2 1286,5288 HV rozpětí 2 1025,3283

17 OV rozpětí 340,7723 OV rozpětí 338,6338

18 Rozpětí C

19 58,7

20 Namáhání

21 5

22

23

24

25

26

27

28

29

30

31

32

33

34

35

36

37

38

39

40

41

42

43

44

45

46

47

48

49

50

51

52

53

54

55

56

57

58

59

60

61

62

63

64

65

66

67

68

69

70

71

72

73

74

75

76

77

78

79

80

81

82

83

84

85

86

87

88

89

90

91

92

93

94

95

96

97

98

99

100

101

102

103

104

105

106

107

108

109

110

111

112

113

114

115

116

117

118

119

120

121

122

123

124

125

126

127

128

129

130

131

132

133

134

135

136

137

138

139

140

141

142

143

144

145

146

147

148

149

150

151

152

153

154

155

156

157

158

159

160

161

162

163

164

165

166

167

168

169

170

171

172

173

174

175

176

177

178

179

180

181

182

183

184

185

186

187

188

189

190

191

192

193

194

195

196

197

198

199

200

201

202

203

204

205

206

207

208

209

210

211

212

213

214

215

216

217

218

219

220

221

222

223

224

225

226

227

228

229

230

231

232

233

234

235

236

237

238

239

240

241

242

243

244

245

246

247

248

249

250

251

252

253

254

255

256

257

258

259

260

261

262

263

264

265

266

267

268

269

270

271

272

273

274

275

276

277

278

279

280

281

282

283

284

285

286

287

288

289

290

291

292

293

294

295

296

297

298

299

300

301

302

303

304

305

306

307

308

309

310

311

312

313

314

315

316

317

318

319

320

321

322

323

324

325

326

327

328

329

330

331

332

333

334

335

336

337

338

339

340

341

342

343

344

345

346

347

348

349

350

351

352

353

354

355

356

357

358

359

360

361

362

363

364

365

366

367

368

369

370

371

372

373

374

375

376

377

378

379

380

381

382

383

384

385

386

387

388

389

390

391

392

393

394

395

396

397

398

399

400

401

402

403

404

405

406

407

408

409

410

411

412

413

414

415

416

417

418

419

420

421

422

423

424

425

426

427

428

429

430

431

432

433

434

435

436

437

438

439

440

441

442

443

444

445

446

447

448

449

450

451

452

453

454

455

456

457

458

459

460

461

462

463

464

465

466

467

468

469

470

471

472

473

474

475

476

477

478

479

480

481

482

483

484

485

486

487

488

489

490

491

492

493

494

495

496

497

498

499

500

501

502

503

504

505

506

507

508

509

510

511

512

513

514

515

516

517

518

519

520

521

522

523

524

525

526

527

528

529

530

531

532

533

534

535

536

537

538

539

540

541

542

543

544

545

546

547

548

549

550

551

552

553

554

555

556

557

558

559

560

561

562

563

564

565

566

567

568

569

570

571

572

573

574

575

576

577

578

579

580

581

582

583

584

585

586

587

588

589

590

591

592

593

594

595

596

597

598

599

600

601

602

603

604

605

606

607

608

609

610

611

612

613

614

615

616

617

618

619

620

621

622

623

624

625

626

627

628

629

630

631

632

633

634

635

636

637

638

639

640

641

642

643

644

645

646

647

648

649

650

651

652

653

654

655

656

657

658

659

660

661

662

663

664

665

666

667

668

669

670

671

672

673

674

675

676

677

678

679

680

681

682

683

684

685

686

687

688

689

690

691

692

693

694

695

696

697

698

699

700

701

702

703

704

705

706

707

708

709

710

711

712

713

714

715

716

717

718

719

720

721

722

723

724

725

726

727

728

729

730

731

732

733

734

735

736

737

738

739

740

741

742

743

744

745

746

747

748

749

750

751

752

753

754

755

756

757

758

759

760

761

762

763

764

765

766

767

768

769

770

771

772

773

774

775

776

777

778

779

780

781

782

783

784

785

786

787

788

789

790

791

792

793

794

795

796

797

798

799

800

801

802

803

804

805

806

807

808

809

810

811

812

813

814

815

816

817

818

819

820

821

822

823

824

825

826

827

828

829

830

831

832

833

834

835

836

837

838

839

840

841

842

843

844

845

846

847

848

849

850

851

852

853

854

855

856

857

858

859

860

861

862

863

864

865

866

867

868

869

870

871

872

873

874

875

876

877

878

879

880

881

882

883

884

885

886

887

888

889

890

891

892

893

894

895

896

897

898

899

900

901

902

903

904

905

906

907

908

909

910

911

912

913

914

915

916

917

918

919

920

921

922

923

924

925

926

927

928

929

930

931

932

933

934

935

936

937

938

939

940

941

942

943

944

945

946

947

948

949

950

951

952

953

954

955

956

957

958

959

960

961

962

963

964

965

966

967

968

969

970

971

972

973

974

975

976

977

978

979

980

981

982

983

984

985

986

987

988

989

990

991

992

993

994

995

996

997

998

999

1000

1001

1002

1003

1004

1005

1006

1007

1008

1009

1010

1011

1012

1013

1014

1015

1016

1017

1018

1019

1020

1021

1022

1023

1024

1025

1026

1027

1028

1029

1030

1031

1032

1033

1034

1035

1036

1037

1038

1039

1040

1041

1042

1043

1044

1045

1046

1047

1048

1049

1050

1051

1052

1053

1054

1055

1056

1057

1058

1059

1060

1061

1062

1063

1064

1065

1066

1067

1068

1069

1070

1071

1072

1073

1074

1075

1076

1077

1078

1079

1080

1081

1082

1083

1084

1085

1086

1087

1088

1089

1090

1091

1092

1093

1094

1095

1096

1097

1098

1099

1100

1101

1102

1103

1104

1105

1106

1107

1108

1109

1110

1111

1112

1113

1114

1115

1116

1117

1118

1119

1120

1121

1122

1123

1124

1125

1126

1127

1128

1129

1130

1131

1132

1133

1134

1135

1136

1137

1138

1139

1140

1141

1142

1143

1144

1145

1146

1147

1148

1149

1150

1151

1152

1153

1154

1155

1156

1157

1158

1159

1160

1161

1162

1163

1164

1165

1166

1167

1168

1169

1170

1171

1172

1173

1174

1175

1176

1177

1178

1179

1180

1181

1182

1183

1184

1185

1186

1187

1188

1189

1190

1191

1192

1193

1194

1195

1196

1197

1198

1199

1200

1201

1202

1203

1204

1205

1206

1207

1208

1209

1210

1211

1212

1213

1214

1215

1216

1217

1218

1219

1220

1221

1222

1223

1224

1225

1226

1227

1228

1229

1230

1231

1232

1233

1234

1235

1236

1237

1238

1239

1240

1241

1242

1243

1244

1245

1246

1247

1248

1249

1250

1251

1252

1253

1254

1255

1256

1257

1258

1259

1260

1261

1262

1263

1264

1265

1266

1267

1268

1269

1270

1271

1272

1273

1274

1275

1276

1277

1278

1279

1280

128

7 ZÁVĚR

Při návrhu venkovního vedení VN je třeba kromě řešení stavové rovnice a řešení průhybu lan posuzovat i hlediska ohledně volby podpěrného bodu. Tomuto hledisku byla věnována tato bakalářská práce. Hlavním smyslem této práce bylo objasnit problematiku výpočtu a volby podpěrných bodů v sítích VN tak, jak to ukládá současná legislativa.

Veškerá silová zatížení venkovního vedení jsou přenášena přes konstrukci podpěrného bodu. Toto zatížení může být stálé (např. tíha vodičů, účinky tahů při referenční teplotě) nebo přídavné (např. působení větru nebo námrazy). Problémy nastávají zejména u přídavných zatížení. Nejkomplikovanější projektování podpěrných bodů je prováděno v silných větrových oblastech a v těžkých námrazových oblastech N8 a N12. Této problematice je věnována pozornost i v kapitole 5. Jak je možné vyzorovat, je nutno přihlídnout u posouzení volby podpěrného bodu i k praktickým zkušenostem. Celkové praktické posouzení možného zatížení pak vede zejména k menším investičním nákladům celé stavby. Nesmí ovšem být současně ohrožena bezpečnost a spolehlivost celé stavby, a proto veškeré ústupky, které byly na konkrétním podpěrném bodě aplikovány, byly prodiskutovány s odborníky a prováděny s ohledem na jejich vyjádření.

Celkově lze projektování podpěrných bodů shrnout jako komplikovaný obor činnosti při návrhu venkovního vedení VN. Nejsložitější je skloubení veškerých typových podkladů výrobců jednotlivých komponent podpěrných bodů. Další problematikou je pak aplikování konkrétního zadání s respektováním legislativních požadavků jak normy PNE 33 3301, tak i doplňujících směrnic zadavatele stavby. Pozorováním některých staveb však bylo vyzorováno, že i přes veškerou snahu projektanta dbát veškerých hledisek, je praktické provedení venkovního vedení někdy značně odlišné od toho vyprojektovaného.

I s ohledem na veškerá úskalí problematiky projektování podpěrných bodů v sítích VN, je možné zhodnotit spolehlivost současných staveb jako vyhovující. Dáno je to především bezpečnostními požadavky kladených na jednotlivé součásti podpěrného bodu umocněné přísným posouzením dle požadavků normy PNE 33 3301.

Výstupem této práce bylo i vyhotovení jednoduché aplikace pro posouzení silových účinků na podpěrné body. Tato aplikace je ve stádiu ověřování a hledání nedostatků pro možné uvedení do projekční činnosti. Hlavním důvodem, kvůli kterým jsou podobné vlastní aplikace tvořeny, je finanční úspora, která by byla nutná pro pořízení adekvátního softwaru.

POUŽITÉ ZDROJE:

- [1] PNE 33 3301. *Elektrická venkovní vedení s napětím nad 1 kV AC do 45 kV včetně*. EGÚ Brno, Ing. Petr Lehký. 2.vydání. [s.l.] : [s.n.], 1.1.2008. 65 s.
- [2] ČSN EN 1991-1-4. *Zatížení konstrukcí: Obecná zatížení - Zatížení větrem*. Zpracovatel: ČVUT v Praze, Kloknerův ústav, Ing. Jaromír Král, CSc., Technická normalizační komise: TNK 38 Spolehlivost stavebních konstrukcí (Pracovník normalizačního institutu Ing. Zuzana Aldabaghová), 2007.
- [3] ČSN EN 50341-3:2002/Z2. *Elektrická venkovní vedení s napětím nad AC 45 kV - Část 3: Soubor Národních normativních aspektů*. Zpracovatel: EGÚ – Laboratoř vvn a.s., 190 11 Praha 9 – Běchovice, IČO 25634330, 2001.
- [4] PNE 34 8210. *Dřevěné sloupy a dřevěné sloupy na patkách pro elektrická venkovní vedení do 45 kV*. EGÚ Brno, Ing. Petr Lehký. 2.vydání. [s.l.] : [s.n.], 1.1.2004. 17 s.
- [5] *Ocelová konzola typ PAŘÁT II - 40 ST na betonové sloupy..* [s.l.] : Energetika servis s.r.o, Červenec 2008. 6 s. Dostupné z WWW: <http://www.energetika-servis.cz/tp/200804/200804.PDF> .
- [6] *Ocelové konzoly typ PAŘÁT II na betonové sloupy..* [s.l.] : Energetika servis s.r.o, Únor 2005. 8 s. Dostupné z WWW: <http://www.energetika-servis.cz/tp/200503/200503.PDF> .
- [7] *Ocelová konzola typ 3xIZVE a 6x IZVE svislá nosná, kotevní a rohová na betonové sloupy pro venkovní vedení VN s jednoduchými izolovanými vodiči..* [s.l.] : Energetika servis s.r.o, Listopad 2006. 6 s. Dostupné z WWW: <http://www.energetika-servis.cz/tp/200812/200812.PDF> .
- [8] *Ocelové konzoly typ 3xIZVE II na betonové sloupy..* [s.l.] : Energetika servis s.r.o, Září 2006. 6 s. Dostupné z WWW: <http://www.energetika-servis.cz/tp/200606/200606.PDF> .
- [9] *Ocelové konzoly typ PAŘÁT-DS se svorníky na dřevěné sloupy venkovního vedení VN*. druhé vydání. [s.l.] : Energetika servis s.r.o, Září 2006. 6 s. Dostupné z WWW: <http://www.energetika-servis.cz/tp/200601/200601.PDF> .
- [10] *Ocelové konzoly typ IZVE - DS se svorníky na dřevěné sloupy venkovního vedení VN pro jednoduché izolované vodiče.* [s.l.] : Energetika servis s.r.o, Leden 2006. 6 s. Dostupné z WWW: <http://www.energetika-servis.cz/tp/200603/200603.PDF> .
- [11] *Ocelové svařované příhradové stožáry VN*. Ing. Vít Kocourek. [s.l.] : EGE spol. s.r.o., Datum vydání: 04/00 Aktualizace: 2/02. 54 s.
- [12] *Základy pro dřevěné stožáry - podniková směrnice*. Ing. Petr Lehký, Ing. Vladimír Piják. Brno : EGÚ, 2000. 51 s.
- [13] *STOŽIARE PRE ENERGETIKU POLES FOR POWER DISTRIBUTION 2011 - 2012*. [s.l.] : ELV Produkt a.s., 2011. 16 s. Dostupné z WWW: http://www.elv.sk/_img/Documents/Download%5CKatalogy%5C5.pdf .
- [14] PNE 34 8220. *Odstřed'ované betonové sloupy pro elektrická venkovní vedení do 45 kV*. EGÚ Brno, Ing. Petr Lehký. 2.vydání. [s.l.] : [s.n.], 1.1.2006. 16 s.
- [15] *Encyklopedie fyziky: Síly se společným působiš'tem* [online]. 2006 - 2012 [cit. 2012-03-08]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/701-sily-se-spolecnym-pusobistem> .