KATEDRA ELEKTROENERGETIKY

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

PROJEKTOVÁNÍ ELEKTRICKÉHO VEDENÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

LÉTO 2022

MARTIN ROZEHNAL

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Rozehnal** Jméno: **Martin** Osobní číslo: **483539**

Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**

Zadávající katedra/ústav: **Katedra elektroenergetiky**

Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**

Specializace: **Aplikovaná elektrotechnika**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Projektování elektrického vedení

Název bakalářské práce anglicky:

Design of power lines

Pokyny pro vypracování:

1) Typy elektrických vedeni vysokého napětí.
2) Dimenzování elektrického vedení vysokého napětí.
3) Návrh elektrického vedení vysokého napětí.
4) Rozpočet stavby elektrického vedení vysokého napětí.

Seznam doporučené literatury:

1) ČSN EN 50341-1. Elektrická venkovní vedení s napětím nad AC 1 kV – Část 1: Obecné požadavky – Společné specifikace. 2. vydání. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013, 230 s.
2) MERTLOVÁ, Jiřina a Lucie NOHÁČOVÁ. Elektrické stanice a vedení. V Plzni: Západočeská univerzita, Fakulta elektrotechnická, 2008. ISBN 978-80-7043-724-7
3) ORSÁGOVÁ, Jaroslava. Elektrické stanice a vedení. Brno: Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií VUT v Brně, 2013, 145 s.
4) TLUSTÝ, Josef a kol. Návrh a rozvoj elektroenergetických sítí. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04939-6.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

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

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

Datum zadání bakalářské práce: **31.01.2022** Termín odevzdání bakalářské práce: **20.05.2022**

Platnost zadání bakalářské práce: **30.09.2023**

Ing. Mgr. Vít Klein, Ph.D. podpis vedoucí(ho) práce	doc. Ing. Zdeněk Müller, Ph.D. podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry	prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D. podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

. | Podpis studenta

Datum převzetí zadání

© ČVUT v Praze, Design: ČVUT v Praze, VIC

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji Mgr. Ing. Vítu Kleinovi, Ph.D., za vedení mé bakalářské práce a za podnětné návrhy, které ji obohatily.

PROHLÁŠENÍ

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

V Praze dne 19. května 2022

.....

ABSTRAKT

Práce se zabývá návrhem venkovního vedení vysokého napětí. 1. kapitola se zabývá popisem základních typů elektrického vedení vysokého napětí. Jsou zde popsány jednotlivé komponenty, které se používají na stavbu vedení vysokého napětí. 2. kapitola se zabývá dimenzováním elektrického vedení. Zde v první časti jsou popsána jednotlivá zatížení jako například zatížení větrem a námrazou. V druhé části je kladen důraz na mechanické namáhání vedení. Je zde popsán výpočet nepružné řetězovky. V kapitole 3 jsou aplikovány teoretické znalosti z kapitoly 2 pro návrh reálného vedení v Brandýse nad Labem. V kapitole 4 je technický návrh z kapitoly 3 ekonomicky zhodnocen.

Klíčová slova: venkovní vedení, vysoké napětí, řetězovka, vnější vlivy, podpěrný bod, vodič, zemnící lano

ABSTRACT

The work deals with the design of overhead power line. Chapter 1 deals with the description of the basic types of high voltage power lines. The individual components used to build high voltage lines are described here. Chapter 2 deals with the dimensioning of power lines. Here, the first part describes the individual strains, such as wind and icing. In the second part, emphasis is placed on the mechanical stress of the power line. The calculation of an inelastic chain link is described here. In Chapter 3, the theoretical knowledge from Chapter 2 is applied for the design of real overhead power line in Brandýs nad Labem. In Chapter 4, the technical design from Chapter 3 is economically evaluated.

Keywords: overhead line, high voltage, chain link, external effect, support point, conductor, earthing rope

OBSAH

ÚVOD **11**

KAPITOLA 1: TYPY ELEKTRICKÝCH VEDENI VYSOKÉHO NAPĚTÍ **12**

1.1 NAPĚŤOVÉ HLADINY **12**
1.2 TYPY PODPĚRNÝCH BODŮ VN **12**
1.2.1 Dřevěné sloupy 12
1.2.1.1 Rozměry dřevěného sloupu 14
1.2.2 Betonové sloupy 17
1.2.2.1 Rozměry betonového sloupu 17
1.2.3 Příhradové stožáry 19
1.2.3.1 Rozměry příhradového stožáru 19
1.2.4 Ocelové plechové sloupy 21
1.2.5 Rozměry ocelového plechového sloupu 22
1.3 ZÁKLADY PODPĚRNÉHO BODU **23**
1.4 KONZOLE **24**
1.4.1 Konzole pro holé vodiče 24
1.4.1.1 Konzole používané na dřevěných sloupech 24
1.4.1.2 Konzole používané na betonových sloupech 25
1.4.1.3 Konzole používané na příhradových stožárech 27
1.4.2 Konzole pro izolované vodiče 28
1.4.3 Konzole pro zemnící lana 28
1.5 ARMATURY **29**
1.5.1 Armatury pro vodiče 29
1.5.2 Armatury pro izolátorové závěsy 29
1.6 IZOLÁTOROVÝ ZÁVĚS **29**
1.7 IZOLÁTORY **30**
1.7.1 Izolátor podpěrný 30
1.7.2 Izolátor závěsný 30
1.8 VODIČE PRO VN **30**
1.8.1 Holé vodiče 31
1.8.2 Jednoduché izolované vodiče vn 33
1.8.3 Závěsné kabely vn 33
1.9 ZEMNÍCÍ LANA PRO VN **34**
1.10 SPÍNACÍ PŘÍSTROJE PRO VENKOVNÍ VEDENÍ VN **34**
1.10.1 Úsekové odpínače 35
1.10.1.1 Dálkově ovládaný úsekový odpínač 35
1.10.1.2 Odpínač komorový 35
1.10.1.3 Odpínač bezkomorový 35
1.10.2 Odpojovače 35
1.10.3 Reclosery 36

KAPITOLA 2: DIMENZOVÁNÍ ELEKTRICKÉHO VEDENÍ VN **37**

2.1 ZATÍŽENÍ STÁLÉ **37**
2.2 ZATÍŽENÍ PROMĚNNÉ **37**
2.2.1 Zatížení větrem na vodiče 38
2.2.2 Zatížení větrem na příhradové stožáry 40
2.2.3 Zatížení větrem na sloupy 40
2.2.4 Zatížení vodiče námrazou 40

2.2.5 Zatížení ostatních částí vedení námrazou 41
2.2.6 Kombinované zatížení větrem a námrazou na vodiče 41
2.3 KOMBINOVANÉ ZATÍŽENÍ NA PODPĚRNÉ BODY 42
2.4 MECHANICKÉ NAMÁHANÍ VEDENÍ 42
2.4.1 Rovnice nepružné řetězovky 43
2.4.2 Namáhání vodiče 45
2.4.3 Stavová rovnice 45
2.5 URČENÍ ELEKTRICKÝCH VZDÁLENOSTÍ 46
2.5.1 Nejkratší vzdušné vzdálenosti pro zamezení přeskoku 46
2.5.2 Nejkratší vnitřní vzdálenosti v rozpětí a na podpěrném bodu 47
2.5.3 Nejkratší vnější vzdálenosti 47
2.6 DIMENZOVÁNÍ VODIČE 48
2.6.1 Podle nejvyšší dovolené trvalé provozní teploty ϑdov 49
2.6.1.1 Dovolená teplota vodiče ϑjv 49
2.6.1.2 Charakteristika provozu 49
2.6.1.3 Charakteristika prostředí 49
2.6.2 Dimenzování průřezu vodiče z hlediska hospodárnosti 50
2.6.3 Dimenzování vodičů podle úbytku napětí 50

KAPITOLA 3: NÁVRH ELEKTRICKÉHO VEDENÍ VN 51

3.1 ZADÁNÍ 51
3.2 VÝPOČET ÚSEKU VEDENÍ 51
3.2.1 Zatížení větrem na vodiče 52
3.2.2 Zatížení větrem na příhradové stožáry 52
3.2.3 Celkové zatížení větrem 53
3.2.4 Průhyb vedení 53
3.2.5 Délka vodiče 54
3.2.6 Namáhání vodiče ve vertikálním směru 55
3.2.7 Celkové namáhání podpěrného bodu ve vertikálním směru 56
3.2.8 Namáhání rohového podpěrného bodu v řetězovce 57
3.2.9 Celkové namáhání podpěrného bodu v horizontálním směru 58
3.2.10 Síla působící na podpěrný bod ve vypočítané řetězovce 59

KAPITOLA 4: ROZPOČET STAVBY ELEKTRICKÉHO VEDENÍ VN 61

ZÁVĚR 63

LITERATURA 64

PŘÍLOHA A: PŘÍKLAD SEZNAMU SYMBOLŮ A ZKRATEK 65

A.1 SEZNAM ZKRATEK 65

PŘÍLOHA B: ROZMĚRY BETONOVÝCH PATEK 66

PŘÍLOHA C: PROJEKT BRANDÝS NAD LABEM 67

C.1 SITUACE 67
C.2 PODÉLNÝ PROFIL PRO POČÍTANÝ ÚSEK 69

SEZNAM TABULEK

Tab. 1-1. Technické parametry dřevěného sloupu Jp pro průměr sloupu v čepu 16-18 cm. 15
Tab. 1-2. Technické parametry dřevěného sloupu Jp pro průměr sloupu v čepu 19-21 cm. 16
Tab. 1-3. Parametry betonových sloupů. 18
Tab. 1-4. Parametry příhradových stožárů. 20
Tab. 1-5. Parametry ocelových plechových sloupů. 23
Tab. 1-6. Technické parametry konzole rovinné odbočné pro dřevěné sloupy. 24
Tab. 1-7. Technické parametry konzole Delta V pro dřevěné sloupy. 25
Tab. 1-8. Technické parametry konzole Delta V pro betonové sloupy. 25
Tab. 1-9. Technické parametry konzole pařát III pro betonové sloupy. 26
Tab. 1-10. Technické parametry konzole rovinné odbočné pro betonové sloupy. 26
Tab. 1-11. Technické parametry konzolí pro příhradové stožáry 27
Tab. 1-12. Technické parametry konzole rovinné odbočné pro betonové sloupy. 28
Tab. 1-13. Technické parametry lana AlFe 32
Tab. 2-1. Namáhání větrem v terénu II. 39
Tab. 2-2. Hodnoty součinitele rozpětí $\boldsymbol{Gc}$ v terénu II. 39
Tab. 2-3. Referenční zatížení extrémní námrazou $q2$ 41
Tab. 2-4. Zatížení na podpěrné body. 42
Tab. 2-5. Nejkratší vzdálenosti D_{el} a $D_{pp.}$ 46
Tab. 2-6. Nejkratší vzdálenosti v rozpětí a na podpěrném bodu. 47
Tab. 2-7. Nejkratší vnější vzdálenosti 47
Tab. 2-8. Nejkratší vnější vzdálenosti od sdělovacích vedení a ostatních silových vedenís napětím do 45 kV. 48
Tab. 2-9. Zvyšování přenosových vlastností vedení. 48
Tab. 2-10. Teploty vodiče. 49
Tab. 3-1. Vstupní hodnoty vedení 51
Tab. 3-2. Celkové zatížení větrem 53
Tab. 3-3. Průhyby jednotlivých vedení 54
Tab. 3-4. Průhyby vedení bez námrazku 54
Tab. 3-5. Průhyby vedení s námrazkem 55
Tab. 3-6. Vertikální namáhání vodiče bez námrazku 55
Tab. 3-7. Vertikální namáhání vodiče s námrazkem 56
Tab. 3-8. Celková síla namáhání ve vertikálním směru 56
Tab. 3-9. Namáhání rohového podpěrného bodu v řetězovce 57
Tab. 3-10. Namáhání rohového podpěrného bodu v řetězovce 59
Tab. 3-11. Celková síla působící na nosný podpěrný bod 60

Tab. 3-12. Celková síla působící na rohový podpěrný bod 60
Tab. 4-1. Potřebné informace k příhradovým stožárům 61
Tab. 4-2. Ceny jednotlivých komponentů 62
Tab. 4-3. Celková síla působící na podpěrné body 63

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1-1 Typy dřevěných podpěrných bodů – a) J b) D c) U d) Š e) A f) Jp g) Šp nebo Ap. 13
Obr. 1-2 Betonová sloup. 17
Obr. 1-3 Příhradový stožár. 19
Obr. 1-4 ocelový plechový sloup. 22
Obr. 1-5 Řez lany AlFe a Fe. 31
Obr. 1-6 Jednoduchý izolovaný kabel. 33
Obr. 1-7 Složení závěsného kabelu. 34
Obr. 2-1 Mapa větrných oblastí na uzemí ČR. 37
Obr. 2-2 Mapa námrazových oblastí na území ČR. 38
Obr. 2-3 Síly větru na vodiče. 39
Obr. 2-4 Schématický model řetězovky 43
Obr. 2-5 Namáhání vodiče. 45
Obr. 3-1 Síly působící na úsek vedení 58
Obr. 3-2 Síly působící na místo kde je uchycený vodič 59
Obr. 4-1 Specifikace parametrů patek (normativní) 66
Obr. 4-3 Situace A 67
Obr. 4-3 Situace B 67
Obr. 4-4 Situace C 68
Obr. 4-5 Situace D 68
Obr. 4-6 Podelný profil vedení 69

ÚVOD

Problematika návrhu elektrického vedení spočívá v mnoha faktorech. Při návrhu je třeba uvažovat mechanické namáhání, elektrické zatížení a vnější vlivy. Při samotném návrhu je potřeba všechny tyto vlivy podrobně prověřit a provést k nim dané výpočty. Důležité je, aby navržené vedení vyhovovalo všem zmíněným faktorům. Pokud by vedení bylo navrženo špatně, tak může dojít k havárii, která často může znamenat rozsáhlou finanční škodu a také může způsobit zranění osob. Proto je třeba dbát zvýšené ostražitosti při výběru vhodných komponentů.

Kapitola 1 popisuje podpěrné body a jejich komponenty pro použití na návrh venkovního elektrického vedení. Jsou zde uvedeny výhody a nevýhody jednotlivých podpěrných bodů. U komponentů je napsáno podle čeho se třídí a pro jaké hodnoty jsou použity.

Cílem 2 kapitoly je provést podrobný popis jmenovaných faktorů. Zde je kladen důraz zejména na popis výpočtů mechanického namáhání vedení. Zejména je proveden rozsáhlý popis pro nepružnou řetězovku. Dále je zde popis výpočtů vnějších vlivů jako jsou síly větru a vliv námrazy, nebo jejich kombinace.

Hlavním obsahem bakalářské práce je kapitola 3. Zde jsou uvedeny konkrétní výpočty pro návrh úseku elektrického vedení v projektu Brandýs nad Labem. Hlavním cílem zde bylo vypočítat mechanické síly působící na jednotlivé podpěrné body a provést kontrolu, zda tyto hodnoty nepřesahují hodnoty jmenovité. Spolu s tím je provedena analýza okolních vlivů. Zejména větru a námrazy, které dané hodnoty sil na konstrukci mění a ovlivňují tak mechanické namáhání celého vedení.

Nakonec je provedeno ekonomické zhodnocení, kde je hlavním výsledkem cena materiálu pro projekt v Brandýse nad Labem. Každý projekt musí být ekonomicky zhodnocen.

KAPITOLA 1: TYPY ELEKTRICKÝCH VEDENÍ VYSOKÉHO NAPĚTÍ

1.1 Napěťové hladiny

Základní dělení napěťových hladin je:

Malé napětí (MN) - napětí dosahuje hodnot 0 V – 50 V. Používáme v hračkách, kde se můžeme setkat při úmyslném dotyku **živých částích**

Nízké napětí (NN) - napětí dosahuje hodnot 50 V – 1000 V. Používáme převážně pro napájení domácích spotřebičů

Vysoké napětí (VN) - napětí dosahuje hodnot 1 000 V – 52 kV. Používáme převážně pro **distribuční soustavu**

Velmi vysoké napětí (VVN) - napětí dosahuje hodnot 52 kV – 300 kV. Používáme převážně pro **přenosnou soustavu**

Zvlášť vysoké napětí (ZVN) - napětí dosahuje hodnot 300 kV – 800 kV. Používáme převážně pro **přenosnou soustavu**

Ultra vysoké napětí (UVN) - napětí dosahuje hodnot více jak 800 kV. Používáme převážně pro laboratorní účely

Distribuční soustava je propojovacím článkem mezi přenosovou soustavou a koncovými místy odběru elektrické energie. Při distribuci elektřiny jsou postupně upravovány její parametry, především napěťová úroveň, s cílem minimalizace ztrát a dodávky elektřiny v požadovaném množství a kvalitě. V České republice je tvořena sítěmi 0,23/0,4 kV, 3 kV, 6 kV, 10 kV, 22 kV, 35kV a 110 kV. My se budeme zabývat pouze vysokým napětím (dále jen VN), takže zanedbáváme sítě 0,23/0,4 kV a 110 kV. Distribuční síť VN má uzel sítě izolovaný a neživé části jsou přímo uzemněné neboli jde o zapojení soustavy do IT.

1.2 Typy podpěrných bodů VN

Podpěrné body třídíme podle materiálu a podle funkce:

N – nosný podpěrný bod – Podpěrný bod vybavený podpěrnými izolátory nebo nosnými izolátorovými závěsy v přímé trase vedení.

V – výztužný podpěrný bod – Podpěrný bod v přímé trase nebo lomu trasy vedení s výztužnou funkcí, sloužící jako pevný bod pro omezení lavinového šíření poruchy.

O – odbočný podpěrný bod – Podpěrný bod, ze kterého vedou jednotlivá vedení alespoň třemi různými směry.

R – rohový podpěrný bod – Podpěrný bod vybavený podpěrnými izolátory nebo kotevními izolátorovými závěsy použitý v lomovém bodu trasy vedení, bez výztužné funkce

Ko – koncový podpěrný bod – Podpěrný bod s kotevními závěsy s výztužnou funkcí, který je zatížen celkovým jednostranným tahem vodičů.[1]

Nebo se můžeme setkat s jejich kombinací.

1.2.1 Dřevěné sloupy

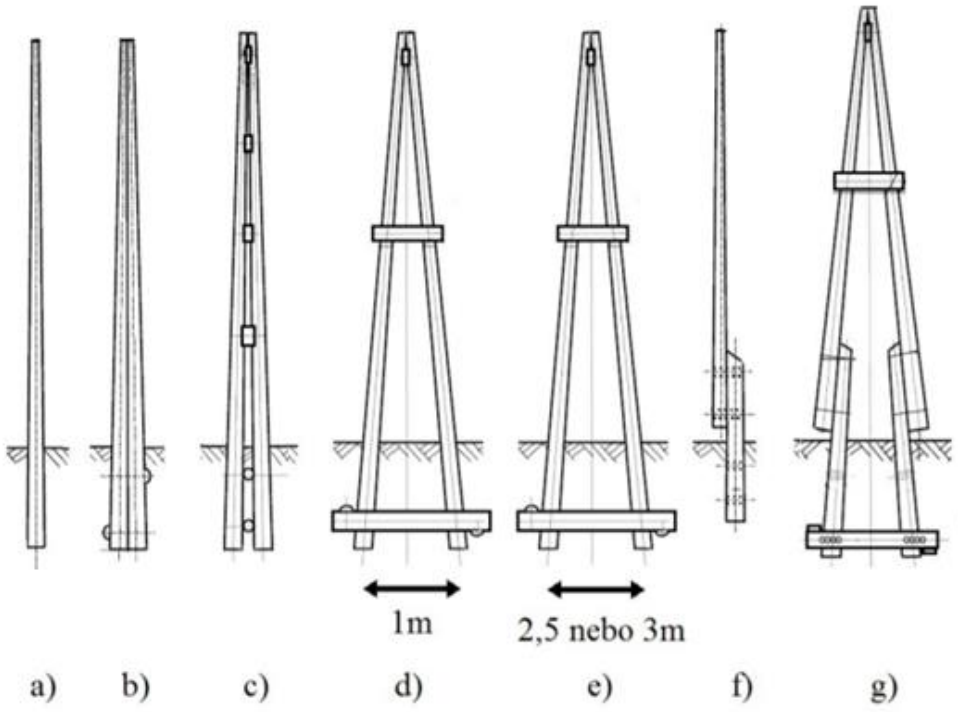
Dřevěné sloupy jsou nejlevnější variantou podpěrných sloupů VN. Nejvíce používané dřevo je z jehličnanů. Byly to první hromadně používané sloupy pro přenos VN. Mohou sloužit jako provizorní podpěrné body VN po kalamitě, protože na jejich umístění nepotřebujeme těžkou techniku anebo se používají v chráněných krajinných oblastech, kde nechceme změnit vzhled krajiny.

V dnešní době jsou dřevěné sloupy převážně nahrazovány betonovými nebo příhradovými sloupy. Nahrazují se, protože mohou být napadené hnilobou nebo brouky. Dřevěné sloupy nemají stejné mechanické vlastnosti po celou dobu své životnosti. Napadení hnilobou nebo brouky se

[1] PNE 33 3301. *Elektrická venkovní vedení s napětím nad 1 kV AC do 45 kV včetně*. 2019. str. 36

omezuje tím, že se dřevěné sloupy dávají na betonové patky, aby nebyly v zemi. Dřevo na sloupy se impregnuje nejčastěji za použitím vakua a tlaku vodorozpustnou látkou na bázi Cu soli dle ČSN 490615 „Ochrana dřeva. Technologické postupy impregnace dřeva proti biotickým škůdcům“ a ČSN EN 335-1„ Trvanlivost dřeva a materiálů na jeho bázi. Definice tříd. Ohrožení biologickým napadením. Část 1: Všeobecné zásady“, tato impregnace není nijak škodlivá pro přírodu. Doba technické životnosti je minimálně 25 let.

Dřevěné sloupy dělíme podle typu použitého dřeva a podle konstrukce sloupů. Použité dřevo dělíme na jehličnaté a na listnaté. Listnaté dřevo má v tahu a ohybu minimální pevnost 80 MPa a modul pružnosti má kolem12500 MPa. Jehličnaté dřevo má v tahu a ohybu minimální pevnost 50 MPa a modul pružnosti má kolem 10000 MPa. Typy konstrukce dřevěných sloupů jsou znázorněny na obr.1-1.



Obr. 1-1 Typy dřevěných podpěrných bodů – a) J b) D c) U d) Š e) A f) Jp g) Šp nebo Ap.[2]

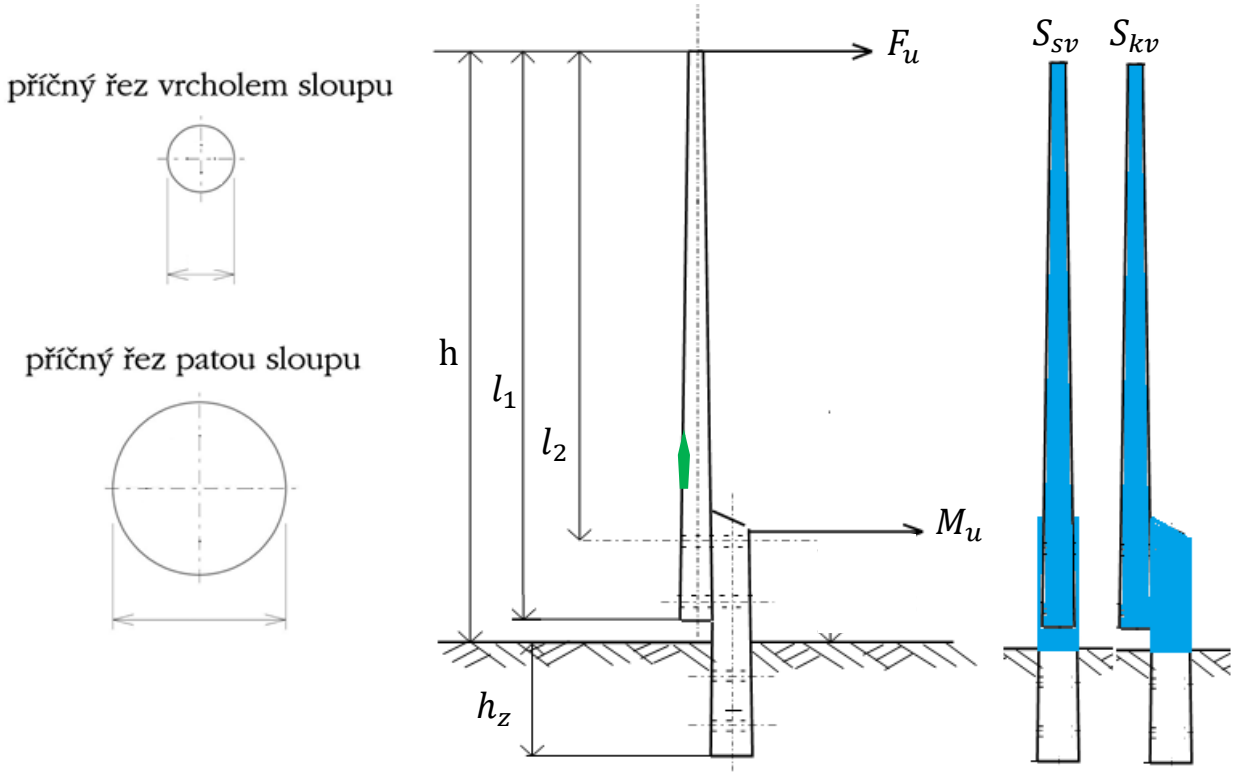
sloup J – jednoduchý sloup vetknutý přímo do země,
sloup D – složený ze dvou nerozkročených sloupů spojených navzájem pouze v čepu a patě, vetknutý přímo do země,
sloup U – složený ze dvou sloupů rozkročených na vzdálenost použitých spojovacích hmoždinek, vetknutý přímo do země,
sloup Š – složený ze dvou sloupů rozkročených v patě na 1 m, vetknutých přímo do země,
sloup A – složený ze dvou sloupů rozkročených v patě na 2,5 a 3 m, vetknutých přímo do země,
sloup Jp – jednoduchý sloup upevněný na stožárové patce,
sloup Dp – jako sloup D, ale upevněný na 1 nebo více patkách,
sloup Up – jako sloup U, ale upevněný na 1 nebo více patkách,
sloup Šp – složený ze dvou sloupů upevněných na patkách, rozkročených na 1,0 m,
sloup Ap – složený ze dvou sloupů upevněných na patkách, rozkročených na 2,5 a 3,0 m[3].

[2] KŘEPELA, P. Projektování podpěrných bodů venkovního vedení VN. Bakalářská práce. Brno: Ústav elektroenergetiky FEKT VUT v Brně, 2012, 45 stran. str. 22

[3] PNE 34 8210. *Dřevěné sloupy a dřevěné sloupy na patkách pro elektrická venkovní vedení do 45 kV*. EGÚ Brno: Ing. Petr Lehký. 2.vydání, 2004. str. 3

1.2.1.1 Rozměry dřevěného sloupu

Každý typ dřevěného sloupu má jinou konstrukci a také rozdílné parametry, které jsou dány výrobcem a jsou uvedené v normách PNE 34 8210 „Dřevěné sloupy a dřevěné sloupy na patkách pro elektrická venkovní vedení do 45 kV“ a PNE 34 8211 „Železobetonové patky pro dřevěné sloupy venkovních vedení do 45 kV“. Na obr. 1-2 je dřevěný sloup typu Jp a jeho možné parametry jsou uvedené v tabulkách tab. 1-1 a tab. 1-2.



Obr. 1-2 Dřevěný sloup typu Jp[4].

Kde:

F_u	únosnost sloupu při zatížení v čepu vodorovnou silou [kN],
d_1	průměr sloupu v čepu [cm],
d_2	průměr sloupu v patce [cm],
h	výška sloupu od země k čepu sloupu [m],
h_z	hloubka založení [m],
l_1	celková délka sloupu [m],
l_2	délka sloupu od horního šroubu patky k čepu sloupu [m],
S_{kv}	plocha vystavená větru kolmo na vedení [m²],
S_{kv}	plocha vystavená větru ve směru vedení [m²],
M_u	ohybový moment patky [kMm],

Tolerance rozměru sloupu
– v délce ±1 %,
– ve vnějším průměru ± 4 mm,
– maximální konicita 7 mm/1 bm.

[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, 2004. str. 3

Vrcholy sloupů jsou seříznuté do tvaru šišky, aby se zamezilo zatékání. Pata sloupu je umístěná minimálně 0,15 m nad zemí. Hmotnost dřevěného sloupu se uvažuje 200 kg a hmotnost betonové patky 400 kg. Na zelené místo vyznačené na sloupu se upevňuje štítek ve vzdálenosti 1,5m od paty sloupu, kde jsou uvedeny informace:

1. Délka sloupu,
2. Průměr čepu,
3. Rok impregnace,
4. Výrobce.

Tab. 1-1. Technické parametry dřevěného sloupu Jp pro průměr sloupu v čepu 16-18 cm.[5]

Typ sloupu		**Jp 7**	**Jp 8**	**Jp 9**	**Jp 10**	**Jp 11**	**Jp 12**
Průměr sloupu v čepu „d_1“	[cm]	16-18	16-18	16-18	16-18	16-18	16-18
Minimální a maximální průměr sloupu v patě „d_2“	[cm]	20,9 22,9	21,6 23,6	22,3 24,3	23,0 25,0	23,7 25,7	24,4 26,4
Výška čepu sloupu nad terénem „h“	[m]	7,15	8,15	9,15	10,15	11,15	12,15
Hloubka založení „h_z“	[m]	1,60	1,60	1,80	1,80	1,80	1,80
Celková výška sloupu „l_1“	[m]	7,00	8,00	9,00	10,00	11,00	12,00
Výška čepu sloupu od 1. svorníku „l_2“	[m]	6,07	7,07	8,07	9,07	10,07	11,07
Plocha vystavená větru kolmo na vedení „S_{kv}“	[m^2]	1,40	1,70	1,94	2,19	2,44	2,70
Plocha vystavená větru ve směru vedení „S_{sv}“	[m^2]	1,63	1,92	2,23	2,48	2,73	2,99
*Minimální výpočtová únosnost sloupu „F_u“	[kN]	2,60 2,98 3,36	2,41 2,77 3,17	2,33 2,66 3,03	2,27 2,59 2,94	2,25 2,55 2,88	2,23 2,53 2,85
Minimální výpočtová únosnost patky	[kN]	**EZP 20		***EZP 40			
		3,29	2,83	4,96	4,41	3,97	3,61
Minimální výpočtová únosnost základu	[kN]	3,36	3,17	3,03	2,94	2,88	2,85
*pro každý průměr čepu sloupu máme jinou hodnotu minimální výpočtové únosnosti **EZP 20 – pro betonovou patku rozměrů 20x20cm ***EZP 40 - pro betonovou patku rozměrů 25x25cm							

[5] A201.003F. *Dřevěné sloupy vn, nn*. 14.2.2018. Děčín IV: Ondřej Novák, 2017. str. 19

Tab. 1-2. Technické parametry dřevěného sloupu Jp pro průměr sloupu v čepu 19-21 cm.[6]

Typ sloupu		**Jp 7**	**Jp 11**	**Jp 7**
Průměr sloupu v čepu „d_1“	[cm]	19–21	19–21	19–21
Minimální a maximální průměr sloupu v patě „d_2“	[cm]	26,0 28,0	26,7 28,7	27,4 29,4
Výška čepu sloupu nad terénem „h“	[m]	50–52	51–53	52–54
Hloubka založení „h_z“	[m]	51–53	52–54	52–54
Celková výška sloupu „l_1“	[m]	10,15	11,15	12,15
Výška čepu sloupu od 1. svorníku „l_2“	[m]	1,80	1,80	1,80
Plocha vystavená větru kolmo na vedení „S_{kv}“	[m^2]	10,00	11,00	12,00
Plocha vystavená větru ve směru vedení „S_{sv}“	[m^2]	9,07	10,07	11,07
*Minimální výpočtová únosnost sloupu „F_u“	[kN]	2,49	2,77	3,06
Minimální výpočtová únosnost patky	[kN]	**EZP 40		
		4,41	3,97	3,61
Minimální výpočtová únosnost základu	[kN]	4,17	4,05	3,97
*pro každý průměr čepu sloupu máme jinou hodnotu minimální výpočtové únosnosti **EZP 40 - pro betonovou patku rozměrů 25x25cm				

V příloze B jsou uvedeny hodnoty betonových patek používané pro dřevěné sloupy.

[6] A201.003F. *Dřevěné sloupy vn, nn*. 14.2.2018. Děčín IV: Ondřej Novák, 2017. str. 19

1.2.2 Betonové sloupy

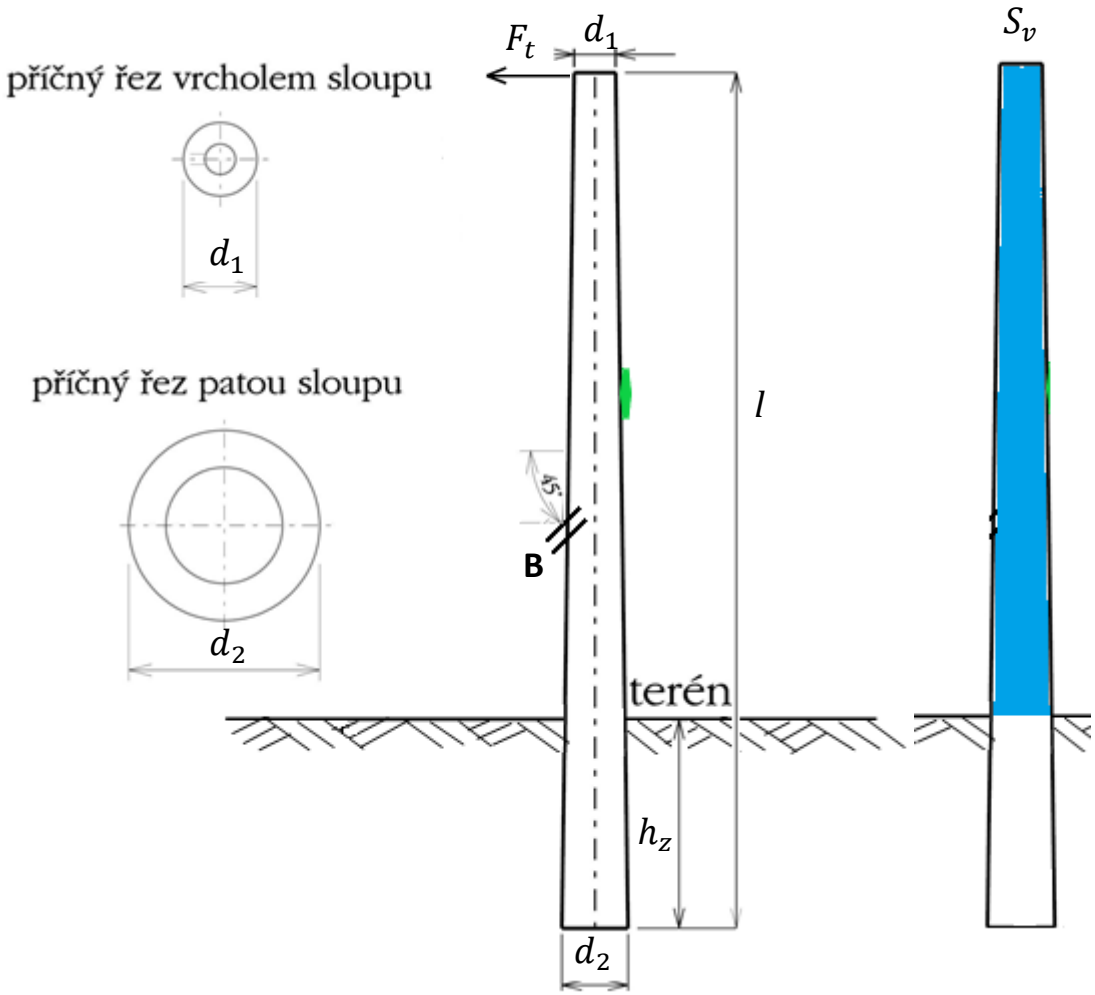
Betonové sloupy jsou dnes nejčastěji používané podpěrné body VN, protože mají stálé mechanické vlastnosti po celou dobu životnosti. Jejich největší nevýhoda je doprava a jejich váha. K jejich umístění je zapotřebí autojeřáb do 5 tun.

Betonový sloup je tvořen z prefabrikovaného betonu s předpjatou nebo kombinovanou ocelovou výztuží, která eliminuje problém nízké pevnosti betonu v tahu. Jsou zakázané dodatečné úpravy sloupu, kromě zkracování sloupu řezáním. Opravy při poškození se nepřipouští. Doba technické životnosti je minimálně 30 let.

Od roku 2008 je zákaz osazování nových dvojitých betonových sloupů z důvodů ekonomických a estetických. Dříve neměly betonové sloupy vysokou nosnost a aby se zvýšila, dávaly se dva vedle sebe.

1.2.2.1 Rozměry betonového sloupu

Betonové sloupy mají různou výšku a poloměr, ale jejich konstrukce zůstává stejná. Sloup musí být dutý komolý kužel s hladkým povrchem. Uvnitř sloupu může vést uzemnění, které se vyvede ven v bodě **B** na obr.1-3.



Obr. 1-2 Betonová sloup.[7]

[7] A201.002F. *Betonové sloupy pro elektrická venkovní vedení do 45 kV*. EGÚ Brno, a.s.: Kamil Čihák, 2016. str. 8

Kde:

F_t typová vrcholová síla [kN],
d_1 průměr sloupu v čepu [cm],
d_2 průměr sloupu v patce [cm],
l celková délka sloupu [m],
h_z hloubka založení [m],
S_v plocha sloupu vystavená větrum [m²].

Tolerance rozměru sloupu
– v délce ±100 mm,
– ve vnějším průměru ± 5 mm,
– ve staticky účinné tloušťce stěny + 15 mm, – 5 mm,
– ve tvarové přímosti 3 mm/1 m v hmotnosti sloupu +10 %, – 5 %.

Na vrch sloupu se dává krycí hlavice, která zabraňuje proniknutí vody do vnitřního prostoru sloupu. Váha sloupu může být od 1 tuny do 2,5 tuny. Sloupy mají připevněný štítek ve vzdálenosti 4 ± 0,05 m od paty sloupu, kde jsou uvedeny informace:

1. Typ sloupu,
2. Identifikační číslo sloupu,
3. Datum výroby,
4. Výrobce.

Rozměry sloupů a jejich barevné značení mohou být různé, záleží na zvoleném výrobci. Tabulka tab. 1-3 se vztahuje pouze na výrobce „Sloupárna Majdalena“ od které odebírá sloupy ČEZ.

Tab. 1-3. Parametry betonových sloupů.[8]

typ [m/kN]	l [m]	F_t [kN]	h_z [m]	d_1 [mm]	d_2 [mm]	S_v [m²]	m [kg]
9/3	9,0	3,0	1,6	180	302	1,8	884
9/6	9,0	6,0	1,6	222	332	2,1	1194
9/10	9,0	10,0	1,8	222	332	2,1	1242
9/12	9,0	12,0	1,8	222	332	2,1	1255
9/15	9,0	15,0	1,8	222	332	2,1	1280
9/20	9,0	20,0	2,0	222	332	2,1	1320
10,5/3	10,5	3,0	1,8	180	317	2,2	1097
10,5/6	10,5	6,0	1,8	222	347	2,6	1455
10,5/10	10,5	10,0	2,0	222	347	2,6	1544
10,5/12	10,5	12,0	2,0	222	347	2,6	1550
10,5/15	10,5	15,0	2,0	222	347	2,6	1590
10,5/20	10,5	20,0	2,0	222	347	2,6	1733
10,5/25	10,5	25,0	2,0	244	378	2,8	2160

[8] A201.002F. *Betonové sloupy pro elektrická venkovní vedení do 45 kV*. EGÚ Brno, a.s.: Kamil Čihák, 2016. 9 s.

12/3	12,0	3,0	2,0	180	332	2,7	1323
12/6	12,0	6,0	2,0	222	363	3,1	1726
12/10	12,0	10,0	2,0	222	363	3,1	1872
12/12	12,0	12,0	2,0	222	363	3,1	1872
12/15	12,0	15,0	2,0	222	363	3,1	1920
12/20	12,0	20,0	2,0	222	363	3,1	1980
13,5/6	13,5	6,0	2,0	222	378	3,7	2083
13,5/10	13,5	10,0	2,0	222	378	3,7	2120

1.2.3 Příhradové stožáry

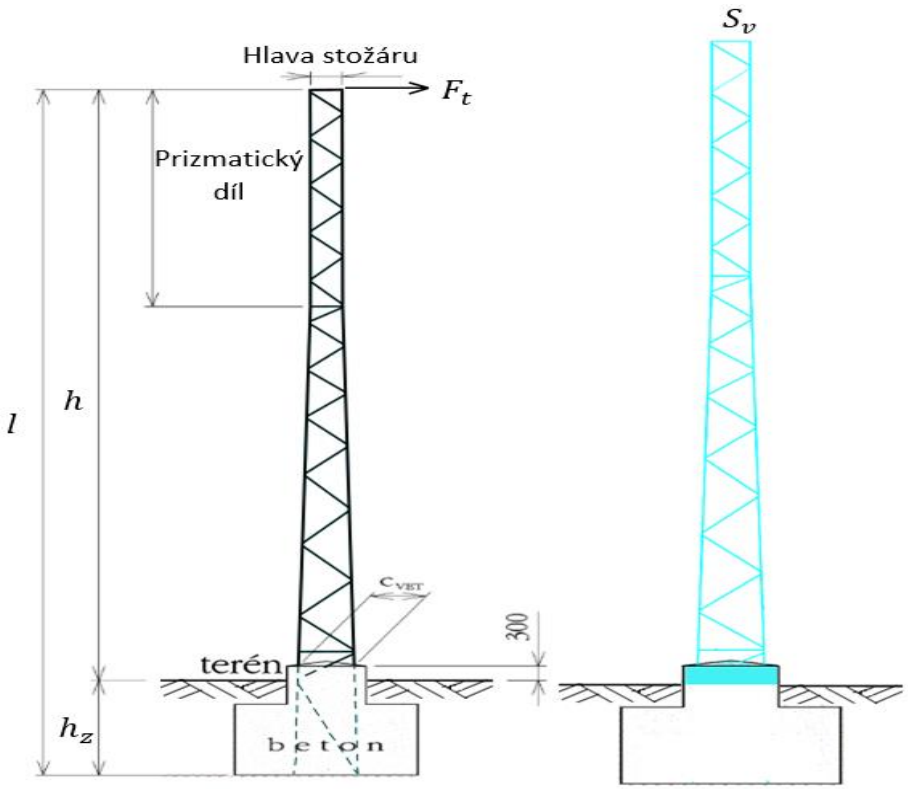
Příhradový stožár je přepravovaný v dílech dlouhých 3 až 12 m, takže není problém s dopravou. Stožár se konstruuje až na místě. Dražší oproti ostatním podpěrným bodům. Doba technické životnosti je 30 let.

Proti atmosférické korozi se příhradový stožár chrání žárovým zinkováním podle normy ČSN EN ISO 1461 „Žárové povlaky zinku nanášené ponorem na železných a ocelových výrobcích - Specifikace a zkušební metody“.

Používá se tam kde nedostačují betonové sloupy ve výšce nebo v nosnosti.

1.2.3.1 Rozměry příhradového stožáru

Vychýlení vrcholu stožáru bez výstužné funkce je maximálně 4 % z volné výšky stožáru a u stožáru s výstužnou funkcí je maximálně 2 %.



Obr. 1-3 Příhradový stožár.[9]

[9] PNE 34 8240. *Příhradové stožáry pro elektrická venkovní vedení do 45 kV*. 3. vydání. Brno: EGÚ Brno, 2015.

Kde:

F_t typová jmenovitá vrcholová síla [kN],
l celková délka sloupu [m],
h výška sloupu od země k čepu sloupu [m],
h_z hloubka založení [m],
S_v plocha sloupu vystavená větrum [m^2],
C_{vet} šířka dříku v místě vetknutí do betonového základu [m].

Tolerance rozměru sloupu
-v délce ±100 mm,
– ve vnějším průměru ± 5 mm,
– v hmotnosti +10 %, –5 %.

Na betonovém základu se vršek upraví do jehlanu o sklonu 10°, který zabraňuje usazování vody. Váha sloupu může být od 1 tuny do 3,5 tuny. Hlava stožáru má pro všechny typy rozměr 600x600 mm, jediná výjimka jsou stožáry s nosností 20 kN kde má rozměr 400x400 mm. Na hlavu stožáru se mohou osadit konzole pro upevnění zemnícího lana, ale tím se zvýší celková výška stožáru. Prizmatický díl má délku kolem 4,5m, záleží na výrobci. Stožáry mají připevněný štítek ve vzdálenosti 4, 0 až 4,5 m od paty stožáru, kde jsou uvedeny informace:

1. Typ sloupu
2. Typ příček
3. Datum výroby
4. Výrobce

Tab. 1-4. Parametry příhradových stožárů.[10]

typ [m/kN]	l [m]	a [mm]	F_t [kN]	F_{ST} [kN]	B [m]	h [m]	C_{vet} [m]	m [kg / kg]	S_V [m^2]
12/20	11,4	20,0	20,0	20,0	9,4	2,0	0,58	747,0 / 776,0	2,53
13,5/20	12,9	20,0	20,0	20,0	10,9	2,0	0,65	832,0 / 862,0	2,95
15/20	14,4	20,0	20,0	20,0	12,4	2,0	0,71	955,0 / 995,0	3,36
16,5/20	16,1	20,0	20,0	20,0	13,9	2,2	0,77	1062,0 /1062,0	3,79
18/20	17,5	20,0	20,0	20,0	15,3	2,2	0,83	1151,0 / 1181,0	4,18
21/20	20,5	20,0	20,0	20,0	18,3	2,2	0,95	1344,0 / 1373,0	5,05
24/20	23,7	20,0	20,0	20,0	21,3	2,4	1,06	1586,0 / 1615,0	5,92
28/20	28,0	20,0	20,0	20,0	25,4	2,6	1,24	1901,0 / 1930,0	7,23
12/30	11,8	30,0	25,0	20,0	9,6	2,2	0,82	837,0 / 871,0	2,95
13,5/30	13,3	30,0	25,0	20,0	11,1	2,2	0,91	931,0 / 965,0	3,37
15/30	14,4	30,0	25,0	20,0	12,2	2,2	0,97	1045,0 / 1045,0	3,83
16,5/30	16,1	30,0	25,0	20,0	13,9	2,2	1,05	1140,0 / 1140,0	4,20
18/30	17,9	30,0	25,0	20,0	15,7	2,2	1,14	1324,0 / 1358,0	4,71
21/30	20,9	30,0	25,0	20,0	18,5	2,4	1,28	1473,0 / 1507,0	5,65
24/30	23,8	30,0	25,0	20,0	21,4	2,4	1,43	1710,0 / 1744,0	6,60
12/40	11,8	40,0	30,0	26,0	9,4	2,2	0,84	965,0 / 1005,0	3,34
13,5/40	13,3	40,0	30,0	26,0	11,1	2,2	0,91	1084,0 / 1125,0	3,89

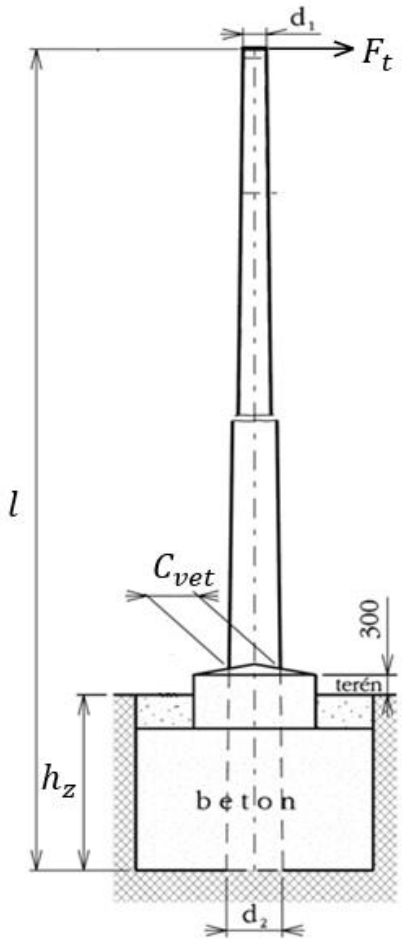
[10] A201.001H. *Stožáry ocelové příhradové svařované pro elektrická venkovní vedení do 45 kV*. ČEZ Distribuce, a.s: Kamil Čihák, 2018.

15/40	14,8	40,0	30,0	26,0	12,4	2,4	0,99	1246,0 / 1246,0	4,44
16,5/40	16,3	40,0	30,0	26,0	13,9	2,4	1,07	1342,0 / 1342,0	4,82
18/40	17,9	40,0	30,0	26,0	15,5	2,4	1,14	1489,0 / 1530,0	5,48
21/40	20,9	40,0	30,0	26,0	18,5	2,4	1,28	1738,0 / 1778,0	6,58
24/40	23,8	40,0	30,0	26,0	21,2	2,6	1,43	2018,0 / 2059,0	7,69
28/40	28,0	40,0	30,0	26,0	25,4	2,6	1,64	2524,0 / 2565,0	9,41
12/60	11,8	60,0	35,0	42,0	9,4	2,4	0,82	1363,0 / 1409,0	3,34
13,5/60	13,3	60,0	35,0	42,0	10,9	2,4	0,91	1533,0 / 1579,0	3,89
15/60	14,8	60,0	35,0	42,0	12,4	2,4	0,99	1751,0 / 1751,0	4,45
16,5/60	16,3	60,0	35,0	42,0	13,9	2,4	1,07	1713,0 / 1713,0	4,82
18/60	17,9	60,0	35,0	42,0	15,3	2,6	1,14	2086,0 / 2132,0	5,48
21/60	20,9	60,0	35,0	42,0	18,3	2,6	1,28	2414,0 / 2460,0	6,59
24/60	23,9	60,0	35,0	42,0	21,3	2,6	1,42	2803,0 / 2849,0	7,70
28/60	28,0	60,0	35,0	42,0	25,4	2,6	1,64	3053,0 / 3099,0	9,41
34,5/60	34,5	60,0	35,0	42,0	31,9	2,6	1,97	4109,0 / 4195,0	12,08
12/80	11,8	80,0	40,0	62,0	9,4	2,4	0,82	1509,0 / 1578,0	3,59
13,5/80	13,3	80,0	40,0	62,0	10,9	2,4	0,91	1694,0 / 1763,0	4,17
15/80	14,8	80,0	40,0	62,0	12,4	2,4	0,99	1968,0 / 1968,0	4,47
16,5/80	16,3	80,0	40,0	62,0	13,9	2,4	1,07	2086,0 / 2086,0	5,27
18/80	17,9	80,0	40,0	62,0	15,3	2,6	1,14	2289,0 / 2358,0	5,90
21/80	20,9	80,0	40,0	62,0	18,3	2,6	1,28	2636,0 / 2705,0	7,03
24/80	23,9	80,0	40,0	62,0	21,3	2,6	1,42	3062,0 / 3131,0	8,20
16,5/100	16,3	100,0	40,0	60,0	13,9	2,4	1,07	2316,0 / 2385,0	5,27
18/100	17,9	100,0	40,0	60,0	15,3	2,6	1,14	2528,0 / 2622,0	5,90
21/100	20,9	100,0	40,0	60,0	18,3	2,6	1,29	2953,0 / 3035,0	7,03
24/100	23,9	100,0	40,0	60,0	21,3	2,6	1,43	3408,0 / 3501,0	8,20

1.2.4 Ocelové plechové sloupy

Tento typ sloupů se přestal používat, důvodem jsou vysoké pořizovací náklady. Mají jednoduší montáž než příhradové sloupy, protože se skládají z méně částí. Sloup se chrání proti atmosférické korozi pomocí žárového zinkování jako v případě příhradového stožáru. Tyto podpěrné body jsou zmíněné v normě PNE 34 8250 „Ocelové plechové sloupy pro elektrická venkovní vedení do 45 kV“.

1.2.5 Rozměry ocelového plechového sloupu



Obr. 1-4 ocelový plechový sloup .[11]

Kde:

F_t	typová jmenovitá vrcholová síla [kN],
l	celková délka sloupu [m],
h	výška sloupu od země k čepu sloupu [m],
h_z	hloubka založení [m],
C_{vet}	šířka dříku v místě vetknutí do betonového základu [m],
d_1	průměr sloupu v čepu [cm],
d_2	průměr sloupu v patce [cm].

Tolerance rozměru sloupu
-v délce ±100 mm,
– ve vnějším průměru ± 5 mm,
– v hmotnosti +10 %, –5 %,
- rozsah průměru vrcholu a paty sloupu ± 5 mm,
- šířka dříku v místě vetknutí +5 mm

[11] PNE 34 8250. *Ocelové plechové sloupy pro elektrická venkovní vedení do 45 kV*. EGÚ Brno, a.s.: Ing. Petr Lehký, 2015.

Na betonovém základu se vršek upraví do jehlanu o sklonu 10°, který zabraňuje usazování vody. Stožáry mají připevněný štítek ve vzdálenosti 4, 0 až 4,5 m od paty stožáru, kde jsou uvedeny informace:

1. Výrobce,
2. Rok výroby,
3. Typ sloupu.

Tab. 1-5. Parametry ocelových plechových sloupů.[12]

typ	F_t [kN]	l [m]	h_z [m]	d_1 [m]	d_2 [m]	C_{vet} [m]	m [kg]
12/20	20	11,4	2,0	0,25–0,35	0,50–0,60	0,55	890
12/30	30	11,8	2,2	0,25–0,35	0,55–0,65	0,60	1240
12/40	40	11,6	2,2	0,25–0,35	0,55–0,65	0,60	1680
12/60	60	11,8	2,4	0,25–0,35	0,55–0,65	0,60	1970
13,5/20	20	12,9	2,0	0,25–0,35	0,55–0,65	0,60	1050
13,5/30	30	13,3	2,2	0,25–0,35	0,55–0,65	0,60	1440
13,5/40	40	13,3	2,2	0,25–0,35	0,55–0,65	0,60	1830
13,5/60	60	13,3	2,4	0,25–0,35	0,60–0,70	0,65	2340
15/20	20	14,4	2,0	0,25–0,35	0,55–0,65	0,60	1190
15/30	30	14,4	2,2	0,25–0,35	0,60–0,70	0,65	1600
15/40	40	14,8	2,4	0,25–0,35	0,60–0,70	0,65	2140
15/60	60	14,8	2,4	0,25–0,35	0,60–0,70	0,65	2650
16,5/20	20	16,1	2,2	0,30–0,40	0,60–0,70	0,65	1380
16,5/30	30	16,1	2,2	0,30–0,40	0,60–0,70	0,65	1850
16,5/40	40	16,3	2,4	0,30–0,40	0,60–0,70	0,65	2350
16,5/60	60	16,3	2,4	0,30–0,40	0,65–0,75	0,70	2950
18/20	20	17,5	2,2	0,30–0,40	0,60–0,70	0,65	1560
18/30	30	17,9	2,2	0,30–0,40	0,70–0,80	0,75	2280
18/40	40	17,9	2,4	0,30–0,40	0,70–0,80	0,75	2860
18/60	60	17,9	2,6	0,30–0,40	0,75–0,85	0,80	3720
21/20	20	20,5	2,2	0,30–0,40	0,70–0,80	0,75	1940
21/30	30	20,9	2,4	0,30–0,40	0,75–0,85	0,80	2760
21/40	40	20,9	2,4	0,30–0,40	0,75–0,85	0,80	4000
21/60	60	20,9	2,6	0,30–0,40	0,80–0,90	0,85	4440
24/20	20	23,7	2,4	0,35–0,45	0,75–0,85	0,80	2420
24/30	30	23,8	2,4	0,35–0,45	0,75–0,85	0,80	3370
24/40	40	23,8	2,6	0,35–0,45	0,75–0,85	0,80	4340
24/60	60	23,9	2,6	0,35–0,45	0,85–0,95	0,90	5500

1.3 Základy podpěrného bodu

Základy plní úkol převést zatížení z podpěrného bodu na okolní zeminu a ochránit stožár před kritickým pohybem podloží.[13] Při vykopání základu stožáru nebo sloupu uvažuji, jestli jde o ruční

[12] PNE 34 8250. *Ocelové plechové sloupy pro elektrická venkovní vedení do 45 kV*. EGÚ Brno, a.s.: Ing. Petr Lehký, 2015.

[13] ČSN EN 50341-1. *Elektrická venkovní vedení s napětím nad AC 1kV - Část 1: Obecné požadavky - Společné specifikace. Ed. 2. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví,* 2013.

výkop nebo strojní hloubení. Ruční výkop se dělá tehdy pokud se tam nedostane těžká technika a musí se počítat navíc s manipulačním výkopem, který se pak zasype zeminou.

Máme 9 typů zemin, které uvažujeme při umisťování sloupu:
Spraše; Hlinitopísčitá; Jíly, hlíny – měkké; Jíly, hlíny – tuhé; Jíly, hlíny – pevné; Jíly, hlíny – tvrdé; Jemné, střední písky; Hrubé písky; Štěrkovité
U každé zeminy uvažujeme jiný objem výkopu, objem spotřebovaného betonu/kameniva a odvozu zeminy.

Dřevěné sloupy se nebetonují, ale ukládají se přímo do hlíny nebo do kameniva, a to do hloubky od 1,6 m do 2,3 m. Betonové sloupy se dávají do hloubky od 1,6 m do 2 m a betonují se bez bednění až na výjimku u JB 13,5m, nebo pokud se ručně kope tak se používá bednění ze strany kde je manipulační výkop. Příhradové stožáry a ocelové plechové sloupy se betonují s bedněním, a to do hloubky 2 m až 2,6 m. Tabulky základů jednotlivých sloupů se dají najít v katalogových listech ČEZu.

1.4 Konzole

Je to ocelová konstrukce pro upevnění vodičů na podpěrný bod. Některé typy konzolí se přestali používat z důvodu zeštíhlení materiálové základny. Rozměry konzole závisí na použitém sloupu a na použitém izolátoru. Konzole dělíme je podle použití:

1. vedení jednoduché x vedení dvojité,
2. typ podpěrného bodu na který se používají,
3. podle vodiče, který upevňují.

Všechny hodnoty byly čerpány z katalogů ČEZ Distribuce, a. s.

1.4.1 Konzole pro holé vodiče

1.4.1.1 Konzole používané na dřevěných sloupech

V současné době se používají dva typy konzolí, a to konzole delta V a konzole rovinná odbočná. Doba technické životnosti je minimálně 40 let. Slouží k uchycení holých vodičů u jednoduchých vedení VN.

Konzole rovinná odbočná se používá jako jediná rovinná konzole, a to na sloupy typu **A** a **Ap**. Slouží k propojování mezi odbočkou a hlavním vedením. Umisťuje se buď 1 m nebo 1,5 m pod vrchol sloupu, ale její technické parametry se nezmění. Izolátory dělíme podle použití. Izolátory závěsné používáme, pro jednostranné uchycení holých vodičů VN. Izolátory podpěrné používáme, pro uchycení propojovacích vodičů mezi odbočkou a hlavním vedením. Orientační technické parametry jsou vedeny v tabulce tab. 1-6.

Tab. 1-6. Technické parametry konzole rovinné odbočné pro dřevěné sloupy.

Sloupy **A, Ap**	Dovolená zatížení sestavy na jeden vodič	
-o Ø 160 - *210* mm *-Hmotnost 50,0 kg* -Plocha vystavená větru kolmo na vedení 0,20 m^2	*svislé v ose izolátoru*	6,7 kN
	vodorovné na vrcholu izolátoru ve směru vedení	6,7 kN
	vodorovné na vrcholu izolátoru kolmo na vedení	6,7 kN

Konzole Delta V se používá na sloupy typu **J, Jp, D, Dp, Š, Šp, A a Ap**. Slouží pro uchycení holých vodičů VN pomocí jednoduchého závěsu. Izolátory jsou standartně jednoduché nebo dvojité podpěrné. Pokud potřebujeme umístit závěsné izolátory musíme přidat kotevní příložku. Kotevní příložka se nepoužívá u sloupů **J** a **Jp.** Orientační technické parametry jsou vedeny v tabulce tab. 1-7.

Tab. 1-7. Technické parametry konzole Delta V pro dřevěné sloupy.

Sloupy ***J, Jp, D, Dp, Š, Šp, A a Ap***	Dovolená zatížení sestavy na jeden vodič	
- O Ø 160 - *210* mm *-Hmotnost 52,1 - 60,9 kg* -Plocha vystavená větru kolmo na vedení 0,15 m^2	*svislé v ose izolátoru*	9,0 kN
	vodorovné na vrcholu izolátoru ve směru vedení	3,0 kN
	vodorovné na vrcholu izolátoru kolmo na vedení	8,0 -12,1 kN

1.4.1.2 Konzole používané na betonových sloupech

V současné době se používají tři typy konzolí, a to konzole delta V, konzole rovinná, konzole pařát III. Všechny tyto konzole můžeme použít na libovolný betonový sloup. Konzole na dvojité betonové sloupy nebudeme uvažovat, i když se stále vyrábí tak platí zákaz osazování nových dvojitý betonový sloupů. Doba technické životnosti je minimálně 40 let. U konzole delta V a konzole pařát III je tvar konzol je navržen tak, aby zabraňoval ptactvu v nebezpečném dotyku z hlediska úrazu elektrickým proudem, ale u konzole rovinné se musí použít u podpěrného izolátoru plastová ochrana. Konzole slouží k uchycení holých vodičů u jednoduchých vedení VN.

Konzole delta V slouží pro uchycení holých vodičů VN pomocí jednoduchého závěsu. Izolátory jsou standartně jednoduché nebo dvojité podpěrné. Pokud potřebujeme umístit závěsné izolátory musíme přidat kotevní příložku. Orientační technické parametry jsou vedeny v tabulce tab. 1-8.

Tab. 1-8. Technické parametry konzole Delta V pro betonové sloupy.

Sloupy ***JB*** *o* Ø 180-250 mm	Dovolená zatížení sestavy na jeden vodič	
-Délka sloupu 9,0 – 13,5 m *-Hmotnost 62,7-72,2 kg* -Plocha vystavená větru kolmo na vedení 0,20 m^2	*svislé v ose izolátoru*	5,0 – 9,0 kN
	vodorovné na vrcholu izolátoru ve směru vedení	3,0 – 5,0 kN
	vodorovné na vrcholu izolátoru kolmo na vedení	3,0 -8,4 kN

Konzole pařát III dělíme na lehké a lehké kotevní. Konzole pařát III lehká slouží pro uchycení holých vodičů VN pomocí podpěrných izolátorů. Konzole pařát III lehká kotevní slouží k uchycení holých vodičů VN pomocí kotevních izolátorových řetězců. Možnost umístění bočního nosníku, použije při přechodu na odbočnou linku nebo pro ukotvení závěsného izolátoru při odbočení z horního ramene. Orientační technické parametry jsou vedeny v tabulce tab. 1-9.

Tab. 1-9. Technické parametry konzole pařát III pro betonové sloupy.

Sloupy ***JB*** *o* Ø 180-250 mm	Dovolená zatížení sestavy na jeden vodič	
Pařát III lehká *-Délka sloupu 9,0 – 13,5 m* *-Hmotnost 66,0 kg* -Plocha vystavená větru kolmo na vedení 0,30 m^2	*svislé v ose izolátoru*	7,0 kN
	vodorovné na vrcholu izolátoru ve směru vedení	3,0 kN
	vodorovné na vrcholu izolátoru kolmo na vedení	4,0 kN
Pařát III lehká kotevní *-Délka sloupu 9,0 – 13,5 m* *-Hmotnost 85,7 kg* -Plocha vystavená větru kolmo na vedení 0,20 m^2	*svislé v ose izolátoru*	7,0 kN
	vodorovné na vrcholu izolátoru ve směru vedení	5,0 kN
	vodorovné na vrcholu izolátoru kolmo na vedení	5,0 kN

Konzole rovinná se používá pouze v odůvodněných případech, kde nevyhovují konzoly s trojúhelníkovým uspořádáním. Konzole rovinné odbočné do této skupiny patří, ale používají se bez omezení, takže se budeme bavit pouze o odbočných. Izolátory dělíme podle použití. Izolátory závěsné používáme, pro jednostranné uchycení holých vodičů VN. Izolátory podpěrné používáme, pro uchycení propojovacích vodičů mezi odbočkou a hlavním vedením. Orientační technické parametry jsou vedeny v tabulce tab. 1-10.

Tab. 1-10. Technické parametry konzole rovinné odbočné pro betonové sloupy.

Sloupy ***JB*** *o* Ø 180-250 mm	Dovolená zatížení sestavy na jeden vodič	
-Délka sloupu 9,0 – 13,5 m *-Hmotnost 37,0 kg* -Plocha vystavená větru kolmo na vedení 0,20 m^2	*svislé v ose izolátoru*	6,2 kN
	vodorovné na vrcholu izolátoru ve směru vedení	6,2 kN
	vodorovné na vrcholu izolátoru kolmo na vedení	6,2 kN

1.4.1.3 Konzole používané na příhradových stožárech

Slouží k uchycení holých vodičů u jednoduchých a dvojitých vedení VN. Existují i konzole pro více násobná vedení, ale těmi se nebudeme zabývat. Doba technické životnosti je minimálně 30 let. Máme šest typů konzol:

Konzole A jsou rovinné oboustranné konzole a slouží k uchycení vodičů VN na obou stranách stožáru pomocí závěsných izolátorových řetězců. U propojů vedení používáme podpěrné izolátory.

Konzole B jsou rovinné jednostranné konzole a slouží k uchycení vodičů VN na jedné straně stožáru pomocí závěsných izolátorových řetězců. U propojů vedení používáme podpěrné izolátory.

Konzole C jsou rovinné odbočné a slouží k uchycení vodičů VN na jedné straně stožáru pomocí závěsných izolátorových řetězců. U propojů vedení používáme podpěrné izolátory.

Konzole D slouží k osazení podpěrného izolátoru pro převedení prostředního vodiče přes vrchol.

Konzole K slouží k uchycení vodičů pro provedení „klesačky“ pomocí závěsných izolátorových řetězců a podpěrných izolátorů.

Konzole P slouží k uchycení jednoho vodiče VN (oboustranně i jednostranně) pomocí závěsných izolátorových řetězců na vrchol stožáru (např. pro vytvoření konfigurace trojúhelník u jednoduchého vedení).

Orientační technické parametry jsou vedeny v tabulce tab. 1-11.

Tab. 1-11. Technické parametry konzolí pro příhradové stožáry

Sloupy ***Fe***	Dovolená zatížení sestavy na jeden vodič	
Konzole A *-Hmotnost 43,0 - 168,8 kg* -Plocha vystavená větru kolmo na vedení 0,12 – 0,78 m^2 -vzdálenost vodiče od osy stožáru 600 – 2250 mm	*svislé v ose izolátoru*	6,0 kN
	vodorovné na vrcholu izolátoru ve směru vedení	15,0 – 30,0 kN
	vodorovné na vrcholu izolátoru kolmo na vedení	15,0 – 30,0 kN
Konzole B *-Hmotnost 27,0 - 64,7 kg* -Plocha vystavená větru kolmo na vedení 0,09 – 0,56 m^2 *-vzdálenost vodiče od osy stožáru 600 – 1500 mm*	*svislé v ose izolátoru*	6,0 kN
	vodorovné na vrcholu izolátoru ve směru vedení	15,0 – 30,0 kN
	vodorovné na vrcholu izolátoru kolmo na vedení	15,0 – 30,0 kN
Konzole C *-Hmotnost 31,5 – 35,7 kg* -Plocha vystavená větru kolmo na vedení 0,22 – 0,25 m^2 *-vzdálenost vodiče od osy stožáru 855 – 1000 mm*	*svislé v ose izolátoru*	6,2 kN
	vodorovné na vrcholu izolátoru ve směru vedení	6,2 kN
	vodorovné na vrcholu izolátoru kolmo na vedení	6,2 kN

Konzole D *-Hmotnost 3,1 - 4,9 kg* -Plocha vystavená větru kolmo na vedení 0,10 – 0,24 m^2	*svislé v ose izolátoru*	0,3 kN
	vodorovné na vrcholu izolátoru ve směru vedení	0,1 kN
	vodorovné na vrcholu izolátoru kolmo na vedení	0,1 kN
Konzole K *-Hmotnost 53,0 kg* -Plocha vystavená větru kolmo na vedení 0,47 m^2 *-vzdálenost vodičů od osy stožáru 1182 a 1682 mm*	*svislé v ose izolátoru*	0,08 kN
	vodorovné na vrcholu izolátoru ve směru vedení	0,5 kN
	vodorovné na vrcholu izolátoru kolmo na vedení	0,5 kN
Konzole P *-Hmotnost 4,6 – 11,4 kg* -Plocha vystavená větru kolmo na vedení 0,04 – 0,09 m^2	*svislé v ose izolátoru*	5,0 kN
	vodorovné na vrcholu izolátoru ve směru vedení	15,0 – 30,0 kN
	vodorovné na vrcholu izolátoru kolmo na vedení	15,0 – 30,0 kN

1.4.2 Konzole pro izolované vodiče

Slouží k uchycení izolovaných vodičů u jednoduchých vedení VN. Používáme všechny typy rovinných konzolí pro jednoduché vedení, a to pro dřevěné a betonové sloupy. Izolátory používáme stejné jako u holých vodičů, ale používáme jenom jednoduché podpěrné a závěsné izolátory. Nevybavují se ochranou ptactva před nebezpečným dotykem. Dále se s nimi nebudeme zaobírat.

1.4.3 Konzole pro zemnící lana

Konzole se umisťují se na vrchol stožáru a pomocí svorky se uchytí zemnící lano. Orientační technické parametry jsou vedeny v tabulce tab. 1-12.

Tab. 1-12. Technické parametry konzole rovinné odbočné pro betonové sloupy.

Sloupy ***Fe***	Dovolená zatížení sestavy na zemnící lano	
-Hmotnost 31,6 – 69,8 kg -Plocha vystavená větru kolmo na vedení 0,23 – 0,41 m^2 -Délka konzoly 1400 – 2200 mm	*svislé v ose izolátoru*	6,0 kN
	vodorovné na vrcholu izolátoru ve směru vedení	5,0 – 12,0 kN
	vodorovné na vrcholu izolátoru kolmo na vedení	5,0 – 12,0 kN

1.5 Armatury

Armatury se používají k uchycení nebo spojování jednotlivých částí řetězce, vodičů či zemnících lan u nadzemních elektrických vedení.[14] Tyto armatury musí splňovat specifické požadavky, aby vyhovovaly použití na vysokém napětí. Příklady požadavků:

1. chráněny proti atmosférické korozi,
2. odolávat zpracováním lisováním za studena,
3. vydržet minimální předepsanou sílu,
4. nesmí být povrch dílů z hliníku či z hliníkové legované slitiny, mědi či měděné slitiny znečištěn jinými kovy,
5. svorky nosné, svorky kotevní a svorky pro spojování vodičů namáhané tahem má každá jiné další požadavky které se musí dodržet.

Mají minimální dobu technické životnosti 35 let.

1.5.1 Armatury pro vodiče

Dělíme na to, jestli jimi prochází elektrický proud a jestli jsou rozebíratelné nebo nerozebíratelné, pevné nebo odlehčené. Spojují se přímo s neizolovaným vodičem.

Mezi proudové armatury patří například spojovací, odbočné, opravné armatury. Tyto armatury musí být ze stejného nebo podobného materiálu, aby měli podobné fyzikální vlastnosti a vodivost.

Mezi bezproudové armatury patří například kotevní a nosné armatury, distanční rozpěrky, tlumiče vibrací a ochranné spirály. Upevňují se k izolátorovým závěsům nebo jiným nosným nebo kotevním konstrukcím.

1.5.2 Armatury pro izolátorové závěsy

Armatury pro izolátorové závěsy jsou určené na spojení nebo ochranu izolátorových závěsů. Dělí se na spojovací a ochranné armatury.

Mezi ochranné armatury patří například armatury na izolátory tyčové, izolátory talířové a stínící armatury. Jejich hlavní účel je snížení intenzity elektrického pole na napěťovém konci izolátorového závěsu. Normálně se nepoužívají na venkovní vedení do 45 kV.

Mezi spojovací armatury patří armatury pro spojení izolátorů, distanční izolátory pro izolátorové závěsy, upevňovací armatury a regulační armatury. Používáme je na spojení izolátorových řetězců a na přichycení k podpěrným bodům.

1.6 Izolátorový závěs

Izolátorový zavěs je uspořádání jednoho i více izolátorových řetězců, spojených dohromady buď sériově nebo paralelně, vybavených spojovacím a ochranným zařízením požadovaným v provozu. Závěsy dělíme je na nosné a kotevní. Nosný závěs je namáhán vodičem jen svislou silou, u kotevního závěsu je namáhán plným tahem vodičů.

Izolátorový řetězec je jeden nebo spojení více závěsných izolátorů, které slouží k netuhé opoře vodičů. Hodnoty, které nás zajímají u izolátorových řetězců:

a) předepsané výdržné napětí při atmosférickém impulzu za sucha,
b) předepsané výdržné napětí při spínacím impulzu za deště,

[14] *Armatury, spojky, svorky vn – obecný popis: A206.000C* [online]. 15. 7. 2021, 1-9 [cit. 2022-05-09]. Dostupné z: https://www.standardy.cezdistribuce.cz/edee/content/dis-standard/katalogove-listy/a2-vedeni-vn/a-venkovni-vedeni-vn/c-izolatory-retezce-armatury/e-armatury-svorky-spojky/A206.000C_Armatury_svorky_spojky_vn.pdf

c) předepsané výdržné napětí střídavé za deště.[15]

V praxi se setkáme na venkovním vedení VN s izolátorovými řetězci, který se skládá z dvou a více závěsných izolátorů jen pokud nebude splněna podmínka bezpečnosti a hodnota navrhovaného zatížení vyvolaného vodiči překročí 1/3 mechanické pevnosti závitu.

1.7 Izolátory

Izolátory oddělují vodiče pod napětím od ostatních částí vedení, kde se nesmí objevit napětí. Přenáší mechanické namáhání vodiče na konstrukci podpěrného bodu. Nejdůležitější vlastnost je že izolátor musí být neprůrazný, dříve se používaly i průrazné a dnes se nahrazují. Musí být odolné vůči atmosférickému znečištění, obloukovému zkratu, mechanickému namáhaní, klimatických podmínek a slunečního záření. Technickou životnost mají minimálně 30 let. Materiály, které se používají pro výrobu izolátoru jsou keramiky, skla a kompozit.

Keramický izolátor je tvořen z porcelánu C110 dle ČSN EN 60672-3 „Keramické a skleněné izolační materiály - Část 3: Specifikace jednotlivých materiálů“, je ochráněn silikonovým tmelem proti pronikání vlhkosti. Největší výhodou je velmi vysoký odpor a samo čistící schopnost.

Skleněný izolátor je tvořen ze žíhaného tvrdého skla. Největší výhodou je že sklo má velmi dlouhou životnost, protože mechanické a elektrické vlastnosti skla nejsou ovlivněny stárnutím a má nízký koeficient tepelné roztažnosti. Nevýhodou je, že se snadno zkondenzuje voda na skleněném povrchu.

Kompozitní izolátor je tvořen ze silikonového kaučuku s vysokou odolností proti UV záření. Největší výhodou je nízká hmotnost, cena a odolnost proti vandalismu. Nevýhodou je možnost proniknutí vlhkosti do jádra.

1.7.1 Izolátor podpěrný

Podpěrný izolátor se používá pro holé i jednoduché izolované vodiče na podpěrných bodech **N** a **R** do maximální dovolené pevnosti izolátoru. V praxi se používají převážně keramické izolátory a typové hodnoty podpěrných izolátorů jsou 8 kN a 12 kN.

1.7.2 Izolátor závěsný

Je určen pro jednoduché nebo dojité nosné a kotevní závěsy, holých a izolovaných vodičů. Keramické izolátory jsou pro svoji větší hmotnost vhodné především pro nosné řetězce. Plastové závěsné izolátory mají dřík ze skleněného vlákna navinutého mnoha závity do smyčky tvaru „∞“ a používají se především pro kotevní závěsy.[16]

1.8 Vodiče pro VN

Jako vodiče používáme lana AlFe se kterými se setkáme ve většině návrhů. Požadavky na vodiče jsou velká pevnost, odolné proti vnějším vlivům, odolnost proti poškození při manipulaci, malé ztráty pevnosti při oteplení. Tolerance průměru lana od jmenovité hodnoty je 1 %. Používáme lana slaňované, protože tím snižujeme skin efekt. Slaňování lan má i spoustu nevýhod například má menší pevnost v tahu a modul pružnosti, naopak má větší pevnost a elektrický odpor.

[15] ČSN EN 60383 – 2 (348053):1996 Izolátory pro venkovní vedení se jmenovitým napětím nad 1000 V. Část 2, Izolátorové řetězce a izolátorové závěsy pro soustavy se střídavým napětím. Definice, zkušební metody a přejímací kritéria. Praha: Český normalizační institut.

[16] TOMAN, P. A KOL. *Provoz distribučních soustav. Vydání 1. České vysoké učení technické v Praze*, Praha 2011

1.8.1 Holé vodiče

Lana AlFe se skládají z drátů taženého hliníku o čistotě 99,7 % a z drátů tažené pozinkované oceli. Řez vodičem je zobrazen na obrázku, kde vidíme že ocelové dráty jsou uprostřed svazku. Značení těchto vodičů je:
podle normy ČSN EN 50 182
xx-AL**a**/**yy**-ST**bc**

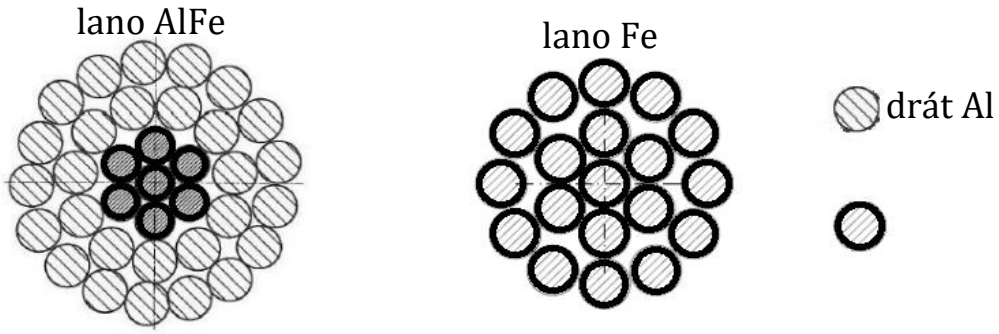
, kde:

xx – značí průřez hliníkového vodiče v mm^2,
a – udává druh použitého hliníku podle norem ČSN IEC 889 a ČSN EN 50 183 (1-7),
yy – značí průřez ocelových drátů v mm^2,
b – udává typ použité oceli (1-6),
c – udává třídu zinkového povlaku (A-E).

nebo se také setkáme se značením:
xx mm^2 AlFe **yy**

, kde:

xx – značí průřez vodiče v mm^2,
yy – poměr hliníkových vodičů k jednomu ocelovému.



Obr. 1-5 Řez lany AlFe a Fe.

Orientační hodnoty pro tyto lana jsou vypsané v tabulce tab. 1-13, které byly převzaté z normy ČSN 34 1020.

Tab. 1-13. Technické parametry lana AlFe.

Typ lana	D_{VOD} [mm]	D_{ST} [mm]	S_{VOD} [mm²]	S_{ST} [mm²]	m [kg/km]	I_{DOV} [A]	F_J [kN]	R [Ω/km]	E [MPa]	α [1/K.10⁻⁵]	γ [N/m.mm²]
42–AL1/7–ST1A	9,00	3,00	49,48	7,07	171,20	181	15,27	0,6593	79000	1,86	0,03393
66–AL1/11–ST1A	11,70	4,20	77,04	10,78	266,20	240	23,21	0,4227	73900	1,89	0,03388
100–AL1/25–ST1A	14,60	6,36	124,70	24,71	649,60	309	46,91	0,2822	81800	1,77	0,03693
110–AL1/22–ST1A	14,96	6,00	132,33	21,99	476,90	326	45,59	0,2560	77400	1,83	0,03534
143–AL1/25–ST1A	16,96	6,36	168,11	24,71	589,30	382	53,29	0,1969	74200	1,87	0,03438
35 mm² Fe 540	–	7,50	–	34,36	268,71	–	18,90	3,9890	180000	1,1	0,07669
50 mm² Fe 540	–	9,00	–	49,48	386,91	–	27,00	2,7700	180000	1,1	0,07668
70 mm² Fe 980	–	11,20	–	74,87	582,49	–	69,70	3,0030	175000	1,1	0,07630

D_{VOD} – průměr vodiče; **D_{ST} –** průměr ocelové duše; **S_{VOD}** – průřez vodiče; **S_{ST}** – průřez ocelové duše; **m** – hmotnost vodiče;
I_{DOV} – dovolené proudová zatížitelnost; **F_J –** jmenovitá pevnost; **R** – jmenovitý elektrický odpor při +20 °C; **E** – modul pružnosti;
α – součinitel délkové roztažnosti; **γ –** měrná tíha

1.8.2 Jednoduché izolované vodiče VN

Jako jednoduchý izolovaný vodič se používá nejčastěji slaněné lano z hliníkové slitiny AlMgSi potažené izolační hmotou, která je odolná povětrnostním vlivům včetně UV záření a vydrží teplotu vodiče 200 °C. Je zakázáno používat jednoduchý izolovaný vodič na vedení v zastavěných částech obcí. Ochranné pásmo od vedení jsou 2 m od nejbližšího izolovaného vodiče. Doba životnosti je 40 let. Používá se:

1. pokud hrozí nebezpečí pádu stromu do vedení, umožňují chránit vzrostlou zeleň,
2. k realizaci kmenových vedení,
3. k realizaci přípojky do trafostanice.

Obr. 1-6 Jednoduchý izolovaný kabel.[17]

1.8.3 Závěsné kabely VN

Jde o vysokonapěťový kabel, který má v sobě tři hliníkové svazkové kabely a nosné lano. Hliníkové svazkové kabely jsou od sebe izolovány a také stíněny. Nosné lano je ocelové a je žárově nebo galvanicky zinkované. Izolace je odolná proti UV záření. Závěsný kabel je znázorněn na obr. 1-7. Doba životnosti je 40 let. Používá se pokud se nacházíme:

1. V hustě zastavěných lokalitách, kde není možné přivést přípojku venkovního vedení k TS a řešení zemním kabelem je technicky nevhodné. V tomto případě je možné použít společné podpěry s izolovaným vedením NN.
2. V místech, kde nelze z technických, ekologických, prostorových nebo jiných důvodů použít zemní kabel.
3. Výjimečně při průchodu venkovního vedení v blízkosti jiných objektů nebo zalesněným prostorem.[18]

[17] Energetické kabely. *NKT* [online]. [cit. 2022-05-15]. Dostupné z: https://www.nkt.cz/nase-vyrobky/vn-kabely-do-50-kv/energeticke-kabely/22-pas-22-pas-w-12-20-kv

18 TOMAN, P. A KOL. *Provoz distribučních soustav*. Vydání 1. České vysoké učení technické v Praze, Praha 2011. str. 137

Obr. 1-7 Složení závěsného kabelu.[19]

1.9 Zemnící lana pro VN

Zemnící lano se používá na venkovním vedení VVN a ZVN, aby ochránilo fázové vodiče před přímým úderem blesku. Zároveň pokud dojde k úderu blesku do zemnícího lana tak bude nižší krokové napětí u podpěrného bodu, který má svod do země, protože se část atmosférického výboje přenese do ostatních podpěrných bodů. Při zásahu blesku poblíž vedení vznikne přepětí a indukuje se na fázové vodiče. Zemnící lano toto přepětí sníží, protože zvyšuje dílčí kapacitu proti zemi.

Od instalace zemnícího lana na vedení VN se upustilo a používá se pouze ve zvláštních případech např. v rámci rozvoje optické infrastruktury se instaluje kombinované zemnící lano nebo u venkovních vedení, které vedou z rozvodny s napěťovou úrovní VN 22 kV a 35 kV se používají výběhová lana do 1 km od rozvody. Výběhová lana jsou spojená s uzemňovací soustavou a bleskojistkami nebo koordinačním jiskřištěm. Pokud by došlo na venkovním vedení VN k úderu blesku do zemnícího lana mohlo by dojít k přeskokovému napětí na fázové vodiče a mohlo by i dojít k opakujícím se přeskokům mezi fázovým vodičem a zemnícím lanem.

Výběhová lana jsou většinou lana AlFe, ale setkáme se i s lany Fe. Lana Fe se vyrábějí z ocelových pozinkovaných drátů. Skládá se ze středního rovného drátu a jedné nebo dvou vrstev stáčených drátů a je zobrazeno v obrázku obr. 1-5. Značení těchto vodičů je

xx mm^2 Fe **yy**

, kde:

xx – značí průřez vodiče v mm^2,

yy – jmenovitá pevnost v MPa.

1.10 Spínací přístroje pro venkovní vedení VN

Pozor na rozdíl mezi odpojovačem, vypínačem a odpínačem. Odpínač i odpojovač mechanicky rozpojí elektrické vedení s viditelnou rozpojovací dráhou, ale pouze odpínač rozpojí vedení, pokud jím prochází elektrický proud. Vypínač je schopný vypínat a zapínat zkratové proudy, ale přímo nevidíme rozpojený obvod. Dělají se pro jmenovité napětí 25 kV a 38,5 kV, a používají se na

[19] *Závěsný kabel vn AXEKVCEz s holým ocelovým lanem: A208.001E* [online]. 2022, 1-5 [cit. 2022-05-09]. Dostupné z: https://www.standardy.cezdistribuce.cz/edee/content/dis-standard/katalogovea-listy/a2-vedeni-vn/c-zavesne-kabely-vn/d-zavesne-kabely-a-jejich-armatury-vn/a-zavesne-kabely-vn/A208.001E-Kabely-AXEKVCEz-.pdf

venkovním vedení 22 kV a 35 kV. Signalizace zapnuté a vypnuté polohy, se odesílá, pokud délka odpojovací dráhy dosahuje 80% celkové odpojovací dráhy.

1.10.1 Úsekové odpínače

Existují čtyři typy umístění těchto odpínačů. Jsou dimenzovány, aby vydržely minimální jmenovitou dobu zkratu rovnou 1 s. Musí být uzemněné podle PNE 33 0000-1 „Ochrana před úrazem elektrickým proudem v distribučních soustavách a přenosové soustavě.“. K základnímu rozpojení pomocí úsekového odpínače nepotřebujeme vědět hodnoty napětí a proudu. Vždy se dávají zábrany proti přisedání ptactva. Mají minimální životnost 30 let.

„Do vedení“ – je ovládán motorovým pohonem, který je napájen z transformátoru na dálkové ovládání. Je umístěn do vedení na vrchol sloupu a konstrukce odpínače přenáší tahy vodičů. Používá se pro umístění do hlavních či spojovacích vedení, odboček, přípojek.

„Nad vedení“- Je umístěn nad hlavní konzolí a na konstrukci nepůsobí tahy vodičů. V dnešní době se nepoužívá.

„Pod vedení, odbočný svislý“ - Je umístěn pod hlavní konzolí a na konstrukci nepůsobí tahy vodičů. Používá se pro propojení venkovního vedení a zemního vedení.

„Pod vedení, odbočný rovinný“- Je umístěn pod hlavní konzolí a na konstrukci nepůsobí tahy vodičů. Používá se pro propojení venkovního vedení.

„Jednopólový“- nestandardního geometrického provedení sestavený ze samostatných pólů, který je umístěn na konstrukci v jiném než ve vodorovném uspořádání. Musí být soudobost spínání a vypínání jednotlivých pólů. Na konstrukci může nebo nemusí působit vodič tahem. Používají se výhradně na příhradových stožárech[20]

1.10.1.1 Dálkově ovládaný úsekový odpínač

Jde o 3f úsekový komorový dálkově ovládaný odpínač. Skládá se z motorového pohonu (musí tam být i ruční ovládání), sestava táhel a přístrojový transformátor pro dálkové ovládání.

1.10.1.2 Odpínač komorový

Jde o 3f úsekový komorový odpínač. Využívá pro zhášení oblouku zhášecí komoru. Dělí se podle typu zhášejícího media. Nejčastěji se dnes používá maloolejové médium asi 0,5 litru. Další media mohou být plynotvorná a vakuum. Vydrží větší zkratový zapínací proud než bezkomorový odpínač.

1.10.1.3 Odpínač bezkomorový

Jde o 3f úsekový bezkomorový odpínač. Jsou dva způsoby vypínání. Vypínání s volně hořícím obloukem, protože oblouk zhasíná samovolně oddalováním. Vypínání mžikovým mechanismem, kde nesmí dojít k hořícímu oblouku, ale může dojít k záblesku. V praxi se využívá pro zhášení oblouku mžikový mechanismus, který má pružinový mechanismus.

1.10.2 Odpojovače

Jde o mechanicky spínací stroj, který je umístěn ve fázových vodičích namáhaných tahem. Ve vypnutém stavu je odpojovací vzdálenost vyhovující podmínkám určeným pro odpojení. Jsou dimenzovány, aby vydržely minimální jmenovitou dobu zkratu rovnou 1 s. Odpojovače nenahrazují standardně třífázové úsekové odpínače a vypínače. Jsou odolné vůči mechanickému namáhání a nezhoršují se jim schopnosti.

[20] PNE 35 4212. *ÚSEKOVÉ SPÍNAČE PRO VENKOVNÍ VEDENÍ DO 45 KV, VČETNĚ*. Třetí vydání. 2018.

1.10.3 Reclosery

Jde o 3f vypínač s dálkovým ovládáním. Skládá se z vakuového vypínače, přístrojových transformátorů proudu a snímačů napětí, umístěné ve společném krytu. Dělíme je podle provedení a umístění spínacího bloku, podle ovládaní a podle typu podpěrného bodu. Musí mít ochranu proti atmosférickému přepětí. Funkce recloseru jsou:

1. vypínat a opět zapínat obvody střídavého proudu s předem stanoveným sledem vypnutí a opětovného zapnutí s následným resetováním s definitivním zapnutím nebo blokovací funkcí;
2. spínat stanovené proudy při stanoveném napětí a kmitočtu do svých jmenovitých vypínacích proudů při všech funkcích zapnutí a vypnutí, které mohou normálně vzniknout v distribuční síti;

přenášet a zapínat zkratové proudy. Recloser musí splňovat požadavky na funkce mechanického a elektrického blokování minimálně dle stanovených požadavků a předpisů.[21]

[21] *Vypínač pod vedení s dálkovým ovládáním na JB, OSM25 AL 2 25 kV* [online]. 2022, **203.018D**, 1-10 [cit. 2022-05-09]. Dostupné z: https://www.standardy.cezdistribuce.cz/edee/content/dis-standard/katalogove-listy/a2-vedeni-vn/D-Spinaci-pristroje-do-vedeni-vn/B-Vypinace-reclosery/A203.018D_Vypinac_pod_vedeni_s_DO_na_JB_OSM25_Al_2_25_kV.pdf

KAPITOLA 2: DIMENZOVÁNÍ ELEKTRICKÉHO VEDENÍ VN

Dimenzujeme venkovní vedení tak, aby nebylo příčinou zranění nebo ohrožení života. Dále by mělo odolat řetězové havárii, pokud dojde k poruše a nemělo by mít velký dopad na životní prostředí. Musí ekonomicky sloužit svému účelu s určitou úrovní spolehlivosti. Standartně se používá spolehlivost 1, což znamená že předpokládaná životnost vedení je 50 let při předpokládané údržbě a bez nutnosti podstatných oprav. Pro potřeby navrhování je stanovena referenční teplota –5°C. Zatížení na vedení může být stálé, proměnné a mimořádné.

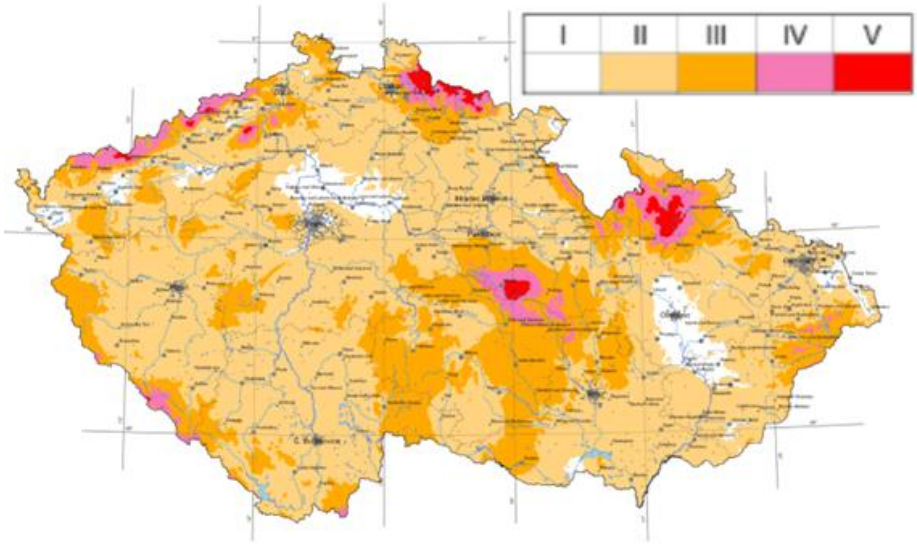
2.1 Zatížení stálé

Mezi tyto zatížení patří například vlastní tíha podpěrného bodu včetně základů, armatur a upevněného vybavení.

2.2 Zatížení proměnné

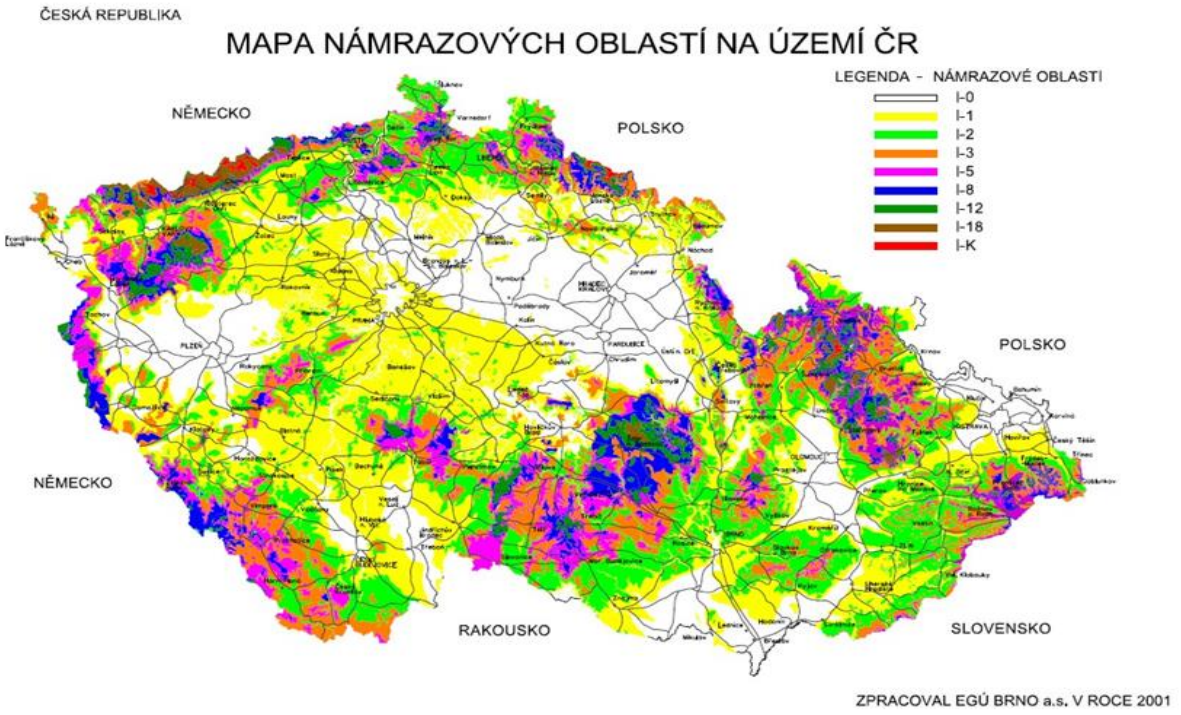
Mezi tyto zatížení patří například zatížení větrem a námrazou. Tyto údaje můžeme získat ze tří zdrojů buď z evropských nebo národních norem, ze statických metodologických údajů a z historických NNA.

U projektování vedení musíme vědět v jaké větrné a námrazové oblasti jsme, protože každá má jinou základní rychlost větru nebo jiné referenční zatížení extrémní námrazou. Mapa větrných oblastí je na obr. 2-1 a v tabulce 2-1 jsou napsané charakteristické hodnoty pro oblasti s nízkou vegetací (terén II). Mapa námrazové oblasti na obr. 2-2 a hodnoty referenčního zatížení extrémní námrazou v tabulce 2-3.



Obr. 2-1 Mapa větrných oblastí na uzemí ČR.[22]

[22] Větrná a sněhová mapa. *David Štička fotovoltaické systém* [online]. [cit. 2022-05-15]. Dostupné z: http://www.sticka.cz/mapy/



Obr. 2-2 Mapa námrazových oblastí na území ČR.[23]

2.2.1 Zatížení větrem na vodiče

Vítr zvyšuje tahy ve vodičích a také může rozkmitat vodiče čím snižuje ochranné vzdálenosti. Dělíme je na dvě složky:

1. Ve směru konzoly

$$Q_{Wc_v} = q_p(h) \cdot G_c \cdot C_c \cdot d \left[\pm \frac{L_1}{2} \cos^2\left(\emptyset + \frac{\theta_1}{2}\right) \cos\left(\frac{\theta_1}{2}\right) + \frac{L_2}{2} \cos^2\left(\emptyset - \frac{\theta_2}{2}\right) \cos\left(\frac{\theta_2}{2}\right) \right]. \quad (2\text{-}1)$$

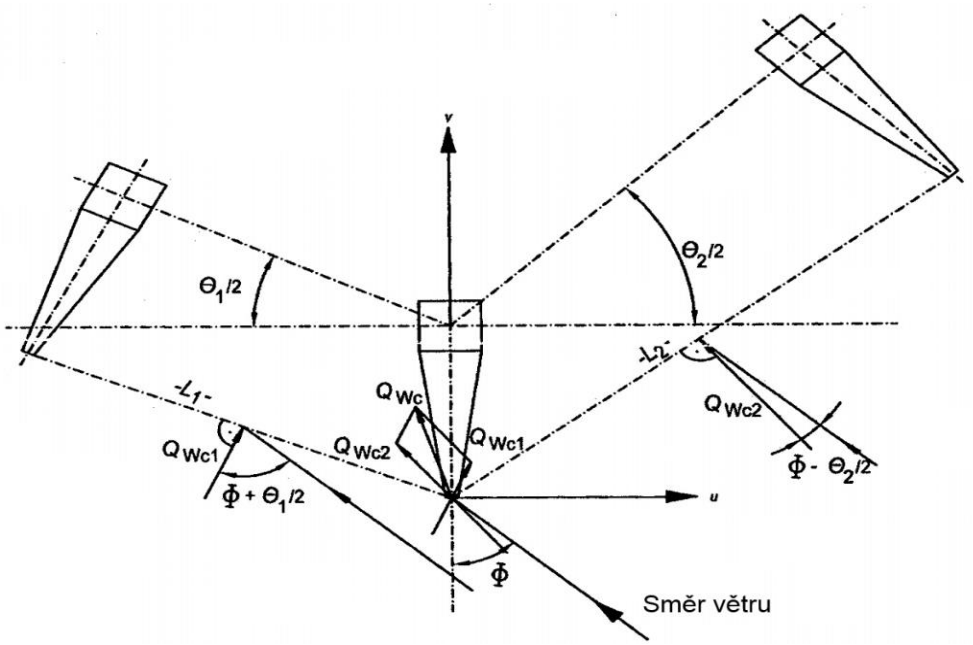
2. Kolmo na konzolu

$$Q_{Wc_u} = q_p(h) \cdot G_c \cdot C_c \cdot d \left[\pm \frac{L_1}{2} \cos^2\left(\emptyset + \frac{\theta_1}{2}\right) \cos\left(\frac{\theta_1}{2}\right) - \frac{L_2}{2} \cos^2\left(\emptyset - \frac{\theta_2}{2}\right) \cos\left(\frac{\theta_2}{2}\right) \right], \quad (2\text{-}2)$$

kde:

Q_{Wc_u}	síla větru na vodiče [N],
$q_p(h)$	maximální tlak větru [Pa],
h	referenční výška vodiče – výška vodiče v závěsném bodu na izolátoru [m],
G_c	součinitel konstrukce pro vodič (také nazývaný součinitel rozpětí) [-],
C_c	součinitel aerodynamického odporu (nebo součinitel síly) [-],
	-pro slaněné vodiče je C_c = 1,
	- pro optické kabely a izolované vodiče je C_c = 1 ,
d	průměr vodiče [m],
L_1, L_2	délky dvou sousedních rozpětí [m],
$\emptyset$	úhel mezi směrem větru a podélnou osou konzoly [°],
θ_1, θ_2	úhel změny směru trasy [°].

[23] PNE 33 3300. *Navrhování a stavba venkovních vedení nad AC 45 kV*. Praha 9, 2016.



Obr. 2-3 Síly větru na vodiče.[24]

Hodnoty pro maximální tlak větru $q_p(h)$ v referenční výšce h vezmeme z následující tabulky, pokud platí že se pohybujeme v terénu II (zemědělské plochy s rozptýlenou zástavbou a porosty).

Tab. 2-1. Namáhání větrem v terénu II.

Terén II.				
Větrová oblast	Rychlost větru V_h [m/s]		Max. tlak větru $q_p(h)$ [Pa]	
	do 24 m	24 až 40 m	do 24 m	24 až 40 m
I.	22,5	27,2	734,4	968,4
II.	25,0	30,2	906,7	1193,8
II.	27,5	33,3	1097,1	1451,5
IV.	30,0	36,3	1305,7	1724,8
V.	36,0	43,5	1880,2	2476,8

Hodnoty pro součinitel konstrukce pro vodič v terénu II jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab. 2-2. Hodnoty součinitele rozpětí $\boldsymbol{G_c}$ v terénu II.

Délka rozpětí L_1, L_2 [m]	Referenční výška h [m]				
	pro 10 m	pro 15 m	pro 20 m	pro 25 m	pro 30 m
do 100 m	0,70	0,73	0,74	0,76	0,77
100–200 m	0,63	0,66	0,68	0,70	0,71
200–300 m	0,60	0,63	0,65	0,67	0,68
300–400 m	0,58	0,61	0,63	0,64	0,66
400–500 m	0,57	0,59	0,61	0,61	0,64

[24]PNE 33 3301. *Elektrická venkovní vedení s napětím nad 1 kV AC do 45 kV včetně*. 2019.

2.2.2 Zatížení větrem na příhradové stožáry

Zatížení větru na vodiče a izolátory se přenáší na konstrukci stožáru, a také zatížení tlakem větru na vlastní konstrukci stožáru. Existují dvě metody na vypočítání síly větru na stožár. První metoda rozdělí stožár na řadu polí. Druhá metoda počítá s každým prvkem stožáru.

My budeme používat druhou metodu a budeme počítat pro že každý prvek je síla větru kolmá k ose prvku a leží v rovině, tvořené touto osou a směrem rychlosti větru.

$$Q_{Wm} = q_p(h) \cdot G_m \cdot C_m \cdot A_m, \tag{2-3}$$

kde:

Q_{Wm} síla větru na příhradové stožáry [N],
$q_p(h)$ maximální tlak větru [Pa],
h referenční výška nad zemí [m],
-u stožárů s celkovou výškou do 24 m je h = 10 m,
-u stožárů s celkovou výškou 24-40 m je h = 30 m,
G_m součinitel konstrukce pro stožáry se doporučuje G_m= 0,9 [-],
C_m součinitel aerodynamického odporu [-],
-používá se C_m= 2,6 pro vítr kolmo na stěny stožáru,
-používá se C_m= 3 pro vítr úhlopříčně na stožáru,
A_m účinná plocha prvků stěny stožáru [m^2].

2.2.3 Zatížení větrem na sloupy

Zatížení větru na vodiče a izolátory se přenáší na konstrukci stožáru, a také zatížení tlakem větru na vlastní konstrukci sloupu. Existují dvě metody na vypočítání síly větru na stožár. První metoda rozdělí stožár na několik polí a referenční výška každého pole je výška nad zemí geometrického středu uvažovaného pole. Druhá metoda počítá se sloupem jako s vertikální konstrukcí a referenční výška odpovídá procentní části celkové výšky sloupu.

Síla větru na sloup:

$$Q_{Wm} = q_p(h) \cdot G_{pol} \cdot C_{pol} \cdot A_{pol}, \tag{2-4}$$

kde:

Q_{pol} síla větru na sloupy [N],
$q_p(h)$ maximální tlak větru [Pa],
h referenční výška nad zemí [m],
G_{pol} součinitel konstrukce pro sloupy se doporučuje G_m= 0,9 [-],
C_{pol} součinitel aerodynamického odporu pro sloupy [-],
-používá se C_m= 0,7 pro jednoduché sloupy betonové s kruhovým průřezem,
-používá se C_m= 0,9 pro jednoduché sloupy dřevěné s kruhovým průřezem,
A_{pol} plocha průmětu sloupu [m^2].

2.2.4 Zatížení vodiče námrazou

Zatížení vodiče námrazou q_2 způsobí větší hmotnost na vodiči a tím budou zvyšovat tahy ve vodičích. Zatížení námrazou závisí na oblasti použití a průměru vodiče.

Pokud uvažujeme referenční výšku 10 m a úroveň spolehlivosti 1 tak bereme zatížení námrazou na jednotku délky vodiče z tabulky 2-3. Tyto hodnoty se mohou lišit, pokud máme daný součinitel místních podmínek a součinitel výšky, tak pak je musíme vynásobit se zatížením námrazou vodiče.

Tab. 2-3. Referenční zatížení extrémní námrazou $\boldsymbol{q_2}$.

Námrazová oblast	Referenční zatížení extrémní námrazou q_2 [N/m] na jednotku délky vodiče o průměru d [mm]	
	$d \leq 30$ mm	$d > 30$ mm
I-0	1,064 + 0,1280 d	3,963 + 0,0314 d
I-1	3,175 + 0,2212 d	8,515 + 0,0432 d
I-2	8,661 + 0,3653 d	17,53 + 0,070 d
I-3	15,00 + 0,481 d	25,46 + 0,132 d
I-5	29,00 + 0,668 d	43,84 + 0,174 d
I-8	51,70 + 0,893 d	73,89 + 0,153 d
I-12	83,66 + 1,135 d	107,8+ 0,330 d
I-18	133,53 + 1,435 d	176,58
I-K	stanoví se individuálně případ od případu	

2.2.5 Zatížení ostatních částí vedení námrazou

Zatížení námrazou na podpěrných bodech se neuvažuje, pokud to není požadováno a námraza na izolátorových závěsech se také neuvažuje.

2.2.6 Kombinované zatížení větrem a námrazou na vodiče

Vodič je zatížen větrem v době, kdy je pokrytý námrazou. Závisí na rychlosti větru, hmotnosti námrazové vrstvy a na tvaru námrazové vrstvy. Máme dvě metody, jak vypočítat kombinované zatížení. První metoda je zatížení extrémní námrazou kombinované s rychlostí větru s vysokou pravděpodobnou rychlostí větru. Druhá metoda je jmenovité zatížení námrazou kombinované s málo pravděpodobnou rychlostí větru.

My budeme používat první metodu s **úrovní spolehlivosti 1**, kde je extrémní zatížení námrazou I stejné jako v kapitole 2.2.4. a rychlost větru se uvažuje 50 % V_h z tabulky 2-1. Do vzorce se přidá 1/4, protože maximální tlak větru $q_p(h)$ se nám sníží o 25 %.

1. Ve směru konzoly

$$Q_{Wlc_v} = \frac{1}{4} q_p(h) \cdot G_c \cdot C_c \cdot D \left[\pm \frac{L_1}{2} \cos^2\left(\emptyset + \frac{\theta_1}{2}\right) \cos\left(\frac{\theta_1}{2}\right) + \frac{L_2}{2} \cos^2\left(\emptyset - \frac{\theta_2}{2}\right) \cos\left(\frac{\theta_2}{2}\right) \right]. \quad (2\text{-}5)$$

2. Kolmo na konzolu

$$Q_{Wlc_u} = \frac{1}{4} q_p(h) \cdot G_c \cdot C_c \cdot D \left[\pm \frac{L_1}{2} \cos^2\left(\emptyset + \frac{\theta_1}{2}\right) \cos\left(\frac{\theta_1}{2}\right) - \frac{L_2}{2} \cos^2\left(\emptyset - \frac{\theta_2}{2}\right) \cos\left(\frac{\theta_2}{2}\right) \right]. \quad (2\text{-}6)$$

Kde:

Q_{Wc_u}	síla větru na vodiče [N],
$q_p(h)$	maximální tlak větru [Pa],
h	referenční výška vodiče – výška vodiče v závěsném bodu na izolátoru [m],
G_c	součinitel konstrukce pro vodič (také nazývaný součinitel rozpětí) [-],
C_c	součinitel aerodynamického odporu (nebo součinitel síly) [-],
	- používá se C_c = 1,1 nezávisle na průměru vodiče a velikosti námrazy,
D	průměr vodiče pokrytého námrazou [m],
L_1, L_2	délky dvou sousedních rozpětí [m],

$\emptyset$ úhel mezi směrem větru a podélnou osou konzoly [°],
θ_1, θ_2 úhel změny směru trasy [°].

Maximální tlak větru získáme z tabulky 2-1. Součinitel konstrukce pro vodič z tabulky 2-2. Průměr vodiče pokrytého námrazou vypočítáme podle vzorce:

$$D = \sqrt{d^2 + \frac{4 \cdot q_2}{g \cdot \pi \cdot \rho_I}}, \tag{2-7}$$

kde:

D průměr vodiče pokrytého námrazou [m],
d průměr vodiče [m],
I zatížení námrazou na jednotku délky vodiče [Nm^{-1}],
g gravitační zrychlení [ms^{-2}],
ρ_I hustota námrazy [kgm^{-3}],
-používá se ρ_I=500 kgm^{-3}.

2.3 Kombinované zatížení na podpěrné body

Pro různé typy podpěrných bodů se uvažují různé složky zatížení. Svislá složka zatížení se určí jako zatížení tíhou námrazy na vodičích a zemnících lanech v příslušné délce přilehlých rozpětí. Podle účelu podpěrných bodů se vodorovná složka zatížení určí podle následujících kombinací zatížení. [25]Rozdělení těchto zatížení nalezneme v následující tabulce 2-4.

Tab. 2-4. Zatížení na podpěrné body.

Účel podpěrného bodu	**Zatížení**	**Poznámka**
N – nosný	- Zatížení větrem -Kombinované zatížení větrem a námrazou	Směr větru se uvažuje kolmo na trasu vedení
R – rohový	- Zatížení větrem -Kombinované zatížení větrem a námrazou	Směr větru se uvažuje ve směru výslednice tahů
V – výstužný	- Zatížení větrem -Kombinované zatížení větrem a námrazou	Směr větru se uvažuje ve směru výslednice tahů. Musí vyhovovat požadavku jednostranného zatížení vodiči
Ko – koncový	-Kombinované zatížení větrem a námrazou	Směr větru se uvažuje s největším zatížením na podpěrný bod, a to buď u kombinovaného zatížení nebo zatížení větrem.
O – odbočný	- Zatížení větrem -Kombinované zatížení větrem a námrazou	Směr větru musí způsobovat nejnepříznivější namáhání.

2.4 Mechanické namáhaní vedení

Mechanický výpočet namáhaní vedení se provádí pomocí řetězovky. Existují dva typy řetězovky, a to řetězovka pružná a nepružná. Pružná řetězovka má dokonale ohebné vlákno a v tahu je

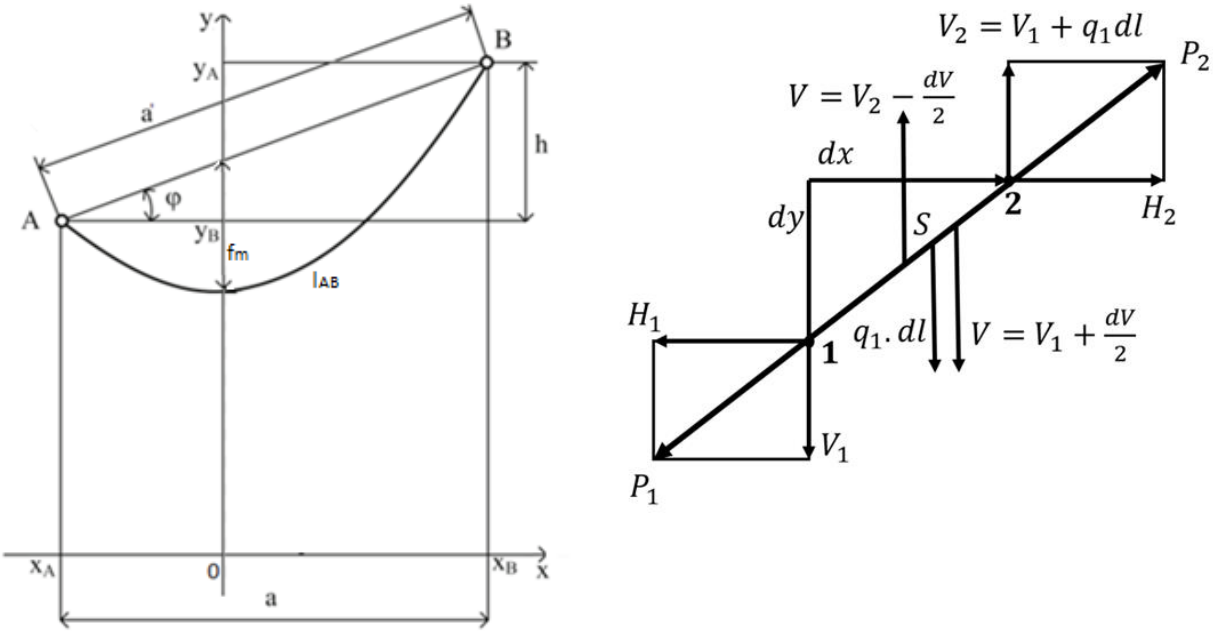
[25] PNE 33 3301. Elektrická venkovní vedení s napětím nad 1 kV AC do 45 kV včetně. 2019.

pružné. Deformace se řídí Hookeovým zákonem a jehož jednotka délky v nenapjatém stavu má všude stejnou váhu. Nepružná řetězovka má vlákno dokonale nepružné v tahu. My se budeme zabývat pouze nepružnou řetězovkou, protože je lehčí než pružná a jen lehce nepřesnější.

2.4.1 Rovnice nepružné řetězovky

Body A a B znázorňují umístění konce lana na podpěrných bodech. Pokud body A a B leží ve stejné výšce platí, že:

$$h = 0,$$
$$\varphi = 0°.$$



Obr. 2-4 Schématický model řetězovky[26]

Rovnice nepružné řetězovky byla odvozena pomocí rovnováhy sil působících na elementu řetězovky. Rovince řetězovky má tvar:

$$y = \frac{\sigma_H}{\Upsilon} \cdot \cosh\left(\frac{x \cdot \Upsilon \cdot z}{\sigma_H}\right) \tag{2-8}$$

kde:

σ_H	mechanické napětí [Pa],
Υ	měrná tíha [Pa. m^{-1}],
z	činitel přetížení [-].

Činitel přetížení se rovná $z = 1$, pokud neuvažujeme žádné vnější vlivy působící na vodič. Pohybuje se nejčastěji mezi hodnotami 1-2. Vypočítá se podle vzorce:

$$z = \frac{q_1 + q_2}{q_1}, \tag{2-9}$$

kde:

[26]TLUSTÝ, Josef. *Monitorování, řízení a chránění elektrizačních soustav*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04940-2.

q_1 hmotnost 1 m vodiče [kg.m^{-1}],
q_2 přidaná hmotnost 1 m vodiče [kg.m^{-1}].

Délka vodiče mezi podpěrnými body A a B se vypočítá pomocí integrálu:

$$l_{0A} = \int_{-x_A}^{0} cosh\frac{z \cdot \Upsilon \cdot x}{\sigma_H} dx, \tag{2-10}$$

$$l_{0B} = \int_{0}^{x_B} cosh\frac{z \cdot \Upsilon \cdot x}{\sigma_H} dx, \tag{2-11}$$

$$l_{AB} = l_{0A} + l_{0B}. \tag{2-12}$$

Body x_A a x_B se určí z rovnice z následující rovnice:

$$x_A = \frac{a}{2} - \frac{\sigma_H \cdot h}{a \cdot \Upsilon \cdot z}, \tag{2-13}$$

$$x_B = \frac{a}{2} + \frac{\sigma_H \cdot h}{a \cdot \Upsilon \cdot z}. \tag{2-14}$$

Nebo převedeme pomocí matematických operací do následujícího tvaru

$$l_{AB}^2 = \mathrm{h}^2 + \left(\frac{2 \cdot \sigma_\mathrm{H}}{\Upsilon \cdot z} sinh\frac{a \cdot \Upsilon \cdot z}{2 \cdot \sigma_\mathrm{H}}\right)^2 \tag{2-15}$$

kde:
l_{AB} Celková délka vodiče [m],
l_{0A} Délka vodiče mezi bodem A a osou y [m],
l_{0B} Délka vodiče mezi bodem B a osou y [m],
a vzdálenost mezi body A a B [m],
h převýšení mezi body A a B [m].

Největší průhyb vodiče v řetězovce se vypočítá pomocí mocninné řady, kde platí pro větší stupeň mocninné řady větší přesnost:

$$\begin{aligned} f_m = \frac{\delta_\mathrm{H}}{\Upsilon \cdot z \cdot \cos\varphi} \cdot \left[1 + \frac{1}{2!}\left(\frac{a \cdot \Upsilon \cdot z}{2 \cdot \sigma_H}\right)^2 + \frac{1}{4!}\left(\frac{a \cdot \Upsilon \cdot z}{2 \cdot \sigma_H}\right)^4 + \frac{1}{6!}\left(\frac{a \cdot \Upsilon \cdot z}{2 \cdot \sigma_H}\right)^6 + \cdots\right] \times \\ \times \left\{1 - \sin^2(\varphi) \cdot \left[\frac{1}{3!}\left(\frac{a \cdot \Upsilon \cdot z}{2 \cdot \sigma_H}\right)^2 + \frac{1}{5!}\left(\frac{a \cdot \Upsilon \cdot z}{2 \cdot \sigma_H}\right)^4 + \frac{1}{7!}\left(\frac{a \cdot \Upsilon \cdot z}{2 \cdot \sigma_H}\right)^6\right]\right\}. \end{aligned} \tag{2-16}$$

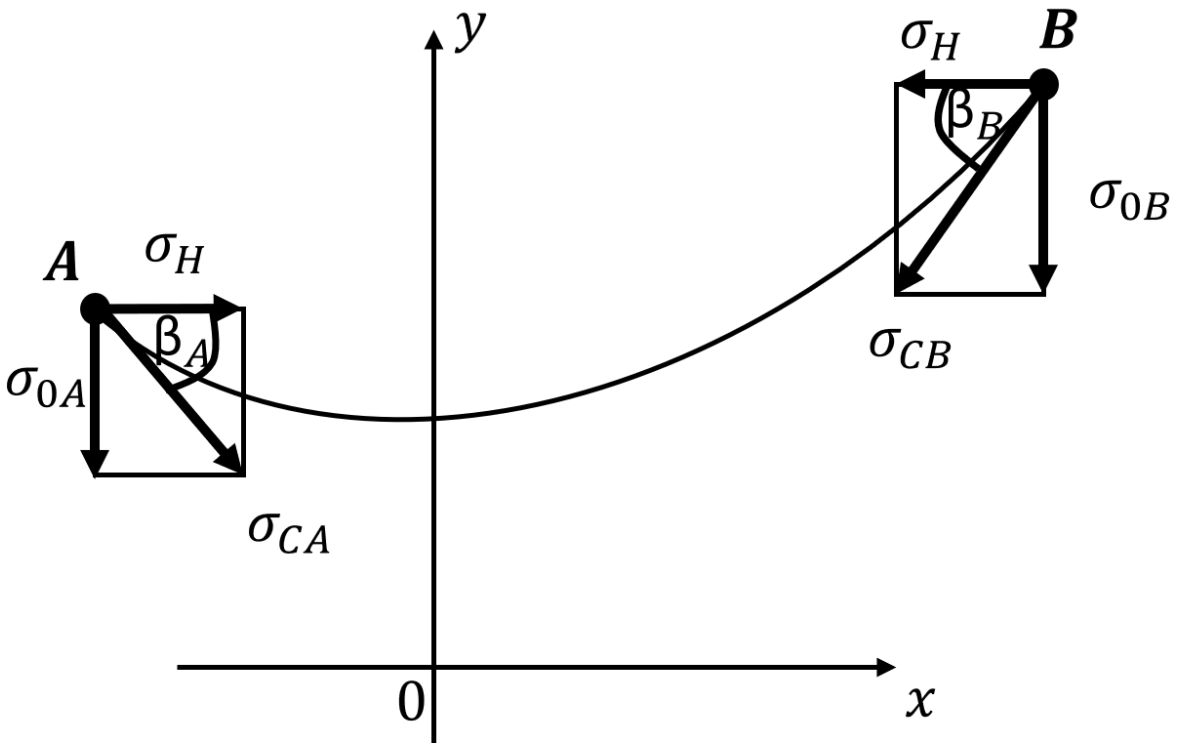
My budeme počítat s mocninou řadou třetího řádu, která má tvar:

$$f_m = \frac{1}{\cos\varphi} \cdot \left[\frac{a^2 \cdot \Upsilon z}{8 \cdot \sigma_H} + \frac{a^4 \cdot \Upsilon^3 \cdot \mathrm{z}^3 \cdot \cos 2\varphi}{384 \cdot \sigma_H^3}\right], \tag{2-17}$$

kde:
f_m Největší průhyb vodiče v řetězovce [m],
φ úhel mezi převýšením h a vzdáleností a [°].

2.4.2 Namáhání vodiče

Vodorovná složka namáhaní σ_H je v každém bodě vodiče stejná. Svislé složky namáhání σ_{0A} a σ_{0B} jsou různé, pokud nemáme body A a B ve stejné výšce.



Obr. 2-5 Namáhání vodiče.[27]

Svislá síla působící na body A a B:

$$\sigma_{0A} = l_{0A} \cdot \Upsilon \cdot z, \tag{2-18}$$

$$\sigma_{0B} = l_{0B} \cdot \Upsilon \cdot z, \tag{2-19}$$

kde:

σ_{0A} Svislá složka namáhání v bodě A [Pa],
σ_{0B} Svislá složka namáhání v bodě B [Pa].

Celkový tah v závěsném bodě:

$$\sigma_{CA}^2 = \sigma_H^2 + \sigma_{VA}^2, \tag{2-20}$$

$$\sigma_{CB}^2 = \sigma_H^2 + \sigma_{VB}^2, \tag{2-21}$$

Kde:

σ_{CA} Celkové namáhání v bodě A [Pa],
σ_{CB} Celkové namáhání v bodě B [Pa].

2.4.3 Stavová rovnice

Vyjadřuje vztah mezi namáháním vodiče zavěšeného na podpěrných bodech a mezi teplotou a přetížením. Výpočty řetězovky a namáhání vodiče vznikly za předpokladu, že namáhání

[27] TLUSTÝ, Josef. *Monitorování, řízení a chránění elektrizačních soustav*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04940-2.

napnutého vodiče je konstantní. Ve skutečnosti se však namáhání mění vlivem teploty, námrazku a větru. Tuto rovnici potřebujeme, abychom zjistili, jak se nám mění mechanické napětí s teplotou. Proměnné s indexem 1 jsou hodnoty s výchozí teplotou a proměnné s indexem 2 jsou hodnoty s konečnou teplotou:

$$\sigma_{H2}^3 + \sigma_{H2}^2\left[\frac{\Upsilon^2 \cdot E}{24}\left(\frac{z_1 \cdot a}{\sigma_{H1}}\right)^2 + \alpha \cdot E(\vartheta_2 - \vartheta_1) - \sigma_{H1}\right] = \frac{\Upsilon^2 \cdot E}{24}\left(\frac{z_1 \cdot a}{\sigma_{H1}}\right)^2 (z_2 \cdot a)^2, \qquad (2\text{-}22)$$

kde:

ϑ_1, ϑ_2	Teplota okolí [K],
α	koeficient teplotní roztažnosti [K^{-1}],
E	modul pružnosti [MPa].

2.5 Určení elektrických vzdáleností

Elektrické vzdálenosti se určují mezi fází a fází, nebo mezi vodičem a fází. Tyto elektrické vzdálenosti se dají vypočítat podle norem ČSN EN 50341-1 „Elektrická venkovní vedení s napětím nad AC 1 kV - Část 1: Obecné požadavky - Společné specifikace“ nebo PNE 33-3301 „Elektrická venkovní vedení s napětím nad 1 kV AC do 45 kV včetně“. Dále si uvedeme minimální hodnoty elektrických vzdáleností a kde se používají. Budeme brát v úvahu pouze holé vodiče, protože hodnoty pro ostatní vodiče nalezneme ve zmíněných normách. Pro určení elektrických vzdáleností je třeba uvažovat i zatěžovací podmínky.

2.5.1 Nejkratší vzdušné vzdálenosti pro zamezení přeskoku

Hodnoty v tabulce 2-5 byly vypočítány pomocí empirické metody, která je založená na evropských zkušenostech.

Tab. 2-5. Nejkratší vzdálenosti D_{el} a D_{pp}.

Nejvyšší napětí sítě U_s [kV]	Vnitřní – mezi fázovými vodiči a podpěrným bodem D_{el} [m]	Vnitřní – mezi fázovýmivodiči jednoho potahu vedení D_{pp} [m]	Vnější – k fázovým vodičům jiných potahů vedení D_{pp} [m]	Vnější – k zemia ostatním objektům D_{el} [m]
25,0	0,23	0,26	0,70	0,6
38,5	0,38	0,45	0,70	0,6

Kde:

D_{el}	Nejkratší vzdušná vzdálenost, požadovaná pro zamezení přeskoku mezi vodiči a objekty na potenciálu země,
D_{pp}	Nejkratší vzdušná vzdálenost, požadovaná pro zamezení přeskoku mezi fázovými vodiči.

2.5.2 Nejkratší vnitřní vzdálenosti v rozpětí a na podpěrném bodu

Za D_{pp} a D_{el} dosazujeme hodnoty z tabulky 2-3.

Tab. 2-6. Nejkratší vzdálenosti v rozpětí a na podpěrném bodu.

	Zatěžovací stav	Fázový vodič – fázový vodič	Fázový vodič – zemnící lano
-Nejkratší vzdálenosti v rozpětí -Nejkratší vzdálenosti na podpěrném bodu	Nejvyšší teplota vodiče	D_{pp}	D_{el}
	Extrémní zatížení námrazou	D_{pp}	D_{el}
	Jmenovité zatížení větrem	$0{,}7 \cdot D_{pp}$	$0{,}7 \cdot D_{el}$
	Extrémní zatížení větrem	$0{,}7 \cdot D_{pp}$	$0{,}7 \cdot D_{el}$

2.5.3 Nejkratší vnější vzdálenosti

Jejich účel je zabránit ohrožení veřejnosti, osob pohybujících se v blízkosti vedení a osob provádějících jejich údržbu. Uvedeme si jen nejpoužívanější v tabulkách tab.2-7 a tab.2-8.

Tab. 2-7. Nejkratší vnější vzdálenosti.

Místo	Zatěžovací stav	Vzdálenost [m]	Poznámky
vzdálenost k zemi ve volné krajině -běžný terénní profil	Platí pro všechny zatěžovací stavy stejná vzdálenost	6,0	-volně přístupná místa
vzdálenost od porostů pod vedením -porosty, u kterých se předpokládá výstup osob	Platí pro všechny zatěžovací stavy stejná vzdálenost	2,1	-může se na ně vylézt pomocí žebříku
vzdálenost od porostů vedle vedení -porosty, u kterých se předpokládá výstup osob	Platí pro všechny zatěžovací stavy stejná vzdálenost	2,1	-může se na ně vylézt pomocí žebříku -tato vzdálenost je horizontální
vzdálenost v blízkosti budov a od dalších zařízení -vedení v blízkosti budov	Platí pro všechny zatěžovací stavy stejná vzdálenost	3,0	-tato vzdálenost je horizontální
vzdálenost při křížení pozemní komunikace -dálnice a rychlostní silnice	Platí pro všechny zatěžovací stavy stejná vzdálenost	7,0	
vzdálenost při křížení pozemní komunikace - silnice I., II. a III. třídy, místní a účelové komunikace včetně polních a lesních cest	Platí pro všechny zatěžovací stavy stejná vzdálenost	6,0	
vzdálenost při křížení pozemní komunikace -cyklistické stezky a chodníky	Platí pro všechny zatěžovací stavy stejná vzdálenost	6,0	
výška vodičů nad vodní hladinou - normální vodní stav	Platí pro všechny zatěžovací stavy stejná vzdálenost	5,6	-Za normální vodní stav se považuje výška hladiny při 180denním průtoku ve vodním toku

Křižovatky a souběhy venkovních vedení se sdělovacími vedeními je třeba řešit tak, aby neohrožovaly sdělovací vedení a nerušily jejich provoz.

Tab. 2-8. Nejkratší vnější vzdálenosti od sdělovacích vedení a ostatních silových vedenís napětím do 45 kV.

Vedení	Vzdálenosti	Zatěžovací stav	Vzdálenost [m]
Křížení vedení	svislá vzdálenost mezi nejbližším vodičem horního vedení a živými nebo uzemněnými částmi spodního vedení	Platí pro všechny zatěžovací stavy stejná vzdálenost	1,0
	svislá vzdálenost vodičů nad podpěrným bodem	Platí pro všechny zatěžovací stavy stejná vzdálenost	3,0
	vodorovná vzdálenost mezi svislou osou vychýleného vodiče a částmi sdělovacích vedení	Jmenovité zatížení větrem	2,0
		Zatížení větrem a námrazou	2,0
Souběh vedení	vzdálenost mezi vodiči vedení různých vlastníků na společných podpěrných bodech	Platí pro všechny zatěžovací stavy stejná vzdálenost	0,7
	vzdálenosti mezi vodiči u vedení na samostatných podpěrných bodech	Platí pro všechny zatěžovací stavy stejná vzdálenost	1,0

2.6 Dimenzování vodiče

Vodiče patří mezi nejdůležitější části el. vedení, neboť volba vodiče působí nejen na cenu vedení, ale i na provozní bezpečnost, protože přetržení vodiče může způsobit velkou poruchu v dodávce el. energie, ale i zhroucení několika kilometrů vedení jednostranným tahem. Na volbě vodiče závisí také ztráty energie, úbytky napětí apod.[28] Uprating je zvyšování přenosových schopností vedení. Tím že budeme měnit polohu lana nebo materiál lana budeme tím i měnit energetické parametry vedení.

Tab. 2-9. Zvyšování přenosových vlastností vedení.[28]

Zvyšování	Metoda	Nástroj
Proudu	Zvýšení teploty	zvětšení výšky závěsného bodu vodiče změna mechanického tahu ve vodiči
	Výměna vodičů	kompaktní / hladké vodiče vysokoteplotní vodiče
	Speciální metoda	statistické metody metody reálného času

[28] TLUSTÝ, Josef. *Monitorování, řízení a chránění elektrizačních soustav*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011, 255 s. ISBN 978-80-01-04940-2

Napětí	Izolace	výměna / přídavných izolátorů modifikace uchycení
	Vzdálenost vůči zemi	zvětšení výšky závěsného bodu vodiče změna mechanického tahu ve vodiči
	Mezifázová vzdálenost	změna dvojitého vedení na jednoduché nová hlava konzole

2.6.1 Podle nejvyšší dovolené trvalé provozní teploty

Pokud by vodič pracoval na vyšší teplotě, než je dovolená trvalá provozní teplota ϑ_{dov} tak může dojít k rekrystalizaci materiálu a tím ke změně mechanických vlastností. Dovolená trvalá provozní teplota ϑ_{dov} záleží na typu vodiče, charakteristice provozu, charakteristice prostředí, uložení vodiče a charakteristika zátěže. Z této teploty můžeme určit proud I_{dov}, kterým můžeme vodič trvale zatěžovat.

2.6.1.1 Dovolená teplota vodiče

Určí se dovolená provozní teplota jader vodičů ϑ_{jv}. Tyto teploty vezmeme z normy „ČSN 33 2000-4-43 Elektrická zařízení Část 4 – Bezpečnost. Oddíl 43 – Ochrana proti nadproudům“. My budeme používat hodnoty z tabulky 2-10.

Tab. 2-10. Teploty vodiče.[29]

Druh izolace vodiče	Základní teplota okolního vzduchu [°C]	Nejvyšší dovolená provozní teplota [°C]	Nejvyšší dovolená teplota	
			při proudovém přetížení [°C]	při zkratu [°C]
Holé vodiče plné nebo slaněné Al nebo Cu mechanicky zatížené	30	80	180	200
Ocel mech. zatížená	30	80	180	250

2.6.1.2 Charakteristika provozu

Řešit ji nebudeme, protože máme soustavu kde se zatížení mění malými a pomalými změnami. Takže nebudeme uvažovat vedení s cyklickým zatížením a podobně.

2.6.1.3 Charakteristika prostředí

Pokud bychom měli skutečnou teplotu prostředí, mohli bychom přepočítat proud I_{dov} na maximální proud I_{max} pro současnou teplotu.
Pro venkovní vedení se skutečná teplota okolí mění se během roku i během dne, a proto ji nemůžeme použít k dimenzování.

[29] ČSN 33 2000-4-43 Elektrická zařízení Část 4 – Bezpečnost. Oddíl 43 – Ochrana proti nadproudům

2.6.2 Dimenzování průřezu vodiče z hlediska hospodárnosti

Vodiče a kabely mají být dimenzovány tak, aby nebyly zatěžovány více než hospodárným proudem, aby celkové roční náklady na jejich pořízení, provoz a údržbu byly optimální. Řídí se podle následujícího vzorce:

$$S = k \cdot I_z \cdot \sqrt{T}, \tag{2-23}$$

kde:

S	Průřez vodiče [mm^2],
k	Součinitel pro výpočet hospodárného průřezu [-] ,
I_z	Výpočtový proud [A],
T	Doba plných ztrát [s].[30]

Doba plných ztrát T je čas, za který maximální odobíraný proud způsobí stejné ztráty jako časově proměnný proud ve sledovaném období. Vypočítá se podle následujícího vztahu:

$$T = \frac{\int_0^t P(t)^2 dt}{P_{max}^2}, \tag{2-24}$$

kde:

t	Čas sledovaného období [s],
$P(t)$	Výkon ve sledovaném období [kW],
P_{max}	Maximální výkon odebíraný nepřetržitě za sledované období [kW].

2.6.3 Dimenzování vodičů podle úbytku napětí

Musíme dbát, aby úbytek napětí na venkovním vedení VN nezpůsobil nedovolený pokles napětí u koncového odběratele. Při odchylce provozního napětí od jmenovitého napětí může dojít ke snižování životnosti spotřebičů. Dovolený úbytek napětí na vedení 22kV pohybuje mezi -5 % až +10 % a dovolený úbytek napětí na vedení 35kV je ±5 %. Vypočte se podle následujícího vzorce:

$$\Delta U = R \cdot I \cdot cos\varphi + X \cdot I \cdot sin\varphi, \tag{2-25}$$

kde:

ΔU	Úbytek napětí [V],
R	Odpor vedení [Ω],
I	Proud procházející vedením [A],
X	Reaktance vedení [Ω].

[30] Orságová, J. Rozvodná zařízení. Brno: 2015. s. 1-179.

KAPITOLA 3: NÁVRH ELEKTRICKÉHO VEDENÍ VN

3.1 Zadání

Projekt v Brandýse nad Labem má za úkol zajistit pokrytí navyšujících se energetických požadavků v oblasti města Brandýs nad Labem – Stará Boleslav a okolí. Převážně se jedná o průmyslové oblasti s vazbou na zvyšující se trend požadavků obyvatelstva (elektromobilita, vyšší využitelnost el. energie, tepelná čerpadla atd…).

Bude se tam měnit vedení jednoduché za vedení dvojité, aby se navýšila přenosová schopnost vedení. Celková délka nového vedení bude cca 4 km. Vedení bude realizováno po nových podpěrných bodech Fe s lanem ALFe 143-AL1/25-STA a s kombinovaným zemnícím lanem.

Kombinované zemnící lano se umisťuje na stožáry v rámci rozvoje optické infrastruktury. Podpěrné body Fe budou s konstrukčním provedením pro ukotvení kombinovaného zemního lana (KZL). Kombinované zemnící lano KZL 2S 2/24 (M93/R62-64) bude použito.

Spínací přístroje pro venkovní vedení VN v trase nového dvojitého nadzemního vedení VN v blízkosti podpěrných bodů č. 39 a č. 100 umístit nové hraniční odpínací prvky v jednopólovém vertikálním uspořádání do jednotlivých vedení VN. Stávající podpěrný bod č. 47 se doplní sadou vertikálních ÚO.

Vedení se nachází v **terénu II**, ve **větrné oblasti I** a v **námrazové oblasti I-0** s referenční výškou 10 m, protože všechny stožáry jsou pod 24 m.

Poklady pro tento projekt jsou uvedeny v příloze C.

3.2 Výpočet úseku vedení

Vybral jsem si úsek z nového vedení, pro které vypočítám mechanické namáhání. Úsek, který jsem si vybral je mezi podpěrným bodem č. 24 a podpěrným bodem č. 28. Zatěžovat podpěrné body budu větrem a mechanickým tahem vodiče.

Vstupní hodnoty jsem vzal z přílohy C, kde vidím nakreslený úsek vedení, ze kterého určím nadmořské výšky základů a vzdálenosti mezi podpěrnými body. Výšky umístěných konzol jsem zjistil z přílohy C. Tyto hodnoty uvádím v následující tabulce tab. 3-1.

Zatížení působící na vedení se určí podle typu podpěrného bodu z tabulky tab. 2-4. Počítám zvlášť pro zatížení vedení s námrazkem a s větrem.

Tab. 3-1. Vstupní hodnoty vedení.

č. bodu	Typ podpěrného bodu	Typová jmenovitá vrcholová síla [kN]	Nadmořská výška základů [m]	Výška sloupu [m]	Výška nejspodnějšího vodiče od základů [m]	Výška zemnícího lana od základů [m]
23A	O	20,00	217,34	21,00	14,40	9,10
24	R	40,00	216,89	13,50	11,90	13,50
25	N	20,00	217,24	18,00	14,40	19,40
26	N	20,00	218,77	18,00	14,40	19,40
27	N	20,00	222,67	18,00	14,40	19,40
28	R	40,00	229,70	16,50	12,90	17,90
29	N	100,00	231,76	18,00	14,40	19,40

Mezi body	Vzdálenost mezi body a [m]	Převýšení bodů pro vodiče h [m]	Převýšení bodů pro KZL h_{KZL} [m]
23A-24	66	2,95	3,95
24-25	124	2,85	6,25
25-26	125	1,53	1,53
26-27	132	3,9	3,9
27-28	128	5,53	5,53
28-29	115	3,56	3,56

3.2.1 Zatížení větrem na vodiče

Hodnoty maximální tlaku větru $q_p(h)$ a součinitele konstrukce pro vodič G_c jsem určil z tabulek tab. 2-1 a tab. 2-2, protože znám polohu vedení. Průměr vodiče d zjistím z použitého lana podle tabulky tab.1-13.

Výpočet pro bod č. 27

$q_p(h)$= 734,4 Pa,
G_c= 0,63,
C_c=1,
$d = 16{,}96.10^{-3}$ m,
L_1=132 m,
L_2=128 m,
$\emptyset$=90 - směr větru je kolmo na vedení,
θ_1=0°,
θ_2=0°,

$$Q_{Wc_u} = q_p(h) \cdot G_c \cdot C_c \cdot d \left[\frac{L_1}{2}\cos^2\left(\emptyset + \frac{\theta_1}{2}\right)\cos\left(\frac{\theta_1}{2}\right) + \frac{L_2}{2}\cos^2\left(\emptyset - \frac{\theta_2}{2}\right)\cos\left(\frac{\theta_2}{2}\right)\right] =$$

$$= 734{,}4 \cdot 0{,}63 \cdot 1 \cdot 16{,}96 \cdot 10^{-3}\left[\frac{132}{2}\cos^2\left(90 + \frac{0}{2}\right)\cos\left(\frac{0}{2}\right) + \frac{128}{2}\cos^2\left(90 - \frac{0}{2}\right)\cos\left(\frac{0}{2}\right)\right] = \quad (3\text{-}1)$$

$$Q_{Wc_u} = 204{,}805 \text{ N}.$$

Postup bude pro body č. 25 a č. 26. stejný. U bodu č.28 jsem dosadil lomy vedení θ_1 a θ_2. U bodu č. 24 je součinitel konstrukce pro vodič G_c pro každé rozpětí L_1 a L_2 jiný. U výpočtu pro kombinované zemnící lano musím změnit průměr vodiče d.

3.2.2 Zatížení větrem na příhradové stožáry

Hodnotu maximální tlaku větru $q_p(h)$ bereme z tabulky tab. 2-1. Součinitel konstrukce pro stožáry se doporučuje G_m= 0,9. Součinitel aerodynamického odporu $C_m = 2{,}6$ použijeme u všech sloupů stejný. Účinná plocha prvků stěny A_m stožáru zjistíme z tabulky tab. 1-4.

Výpočet pro bod č. 27

$q_p(h)$= 734,4 Pa,
G_c= 0,70,
C_c=1,
$A_m = 4{,}18$ m^2,

$$Q_{Wm} = q_p(h) \cdot G_m \cdot C_m \cdot A_m = 734{,}4 \cdot 0{,}7 \cdot 1 \cdot 4{,}18 = 7183{,}31 \text{ N}. \quad (3\text{-}2)$$

Postup bude pro všechny body stejný.

3.2.3 Celkové zatížení větrem

Sečteme zatížení větrem na vodiče AlFe, na KZL a na stožár.

Výpočet pro bod č. 27

$$Q_{VC} = 6 \cdot Q_{Wc_u} + Q_{KZL} + Q_{Wm} = 6 \cdot 204{,}805 + 159{,}400 + 7183{,}310 = 8571{,}550\ N. \quad (3\text{-}3)$$

Tabulka pro zatěžování větru.

Tab. 3-2. Celkové zatížení větrem.

č. bodu	Síla větru na vodič Q_{Wc_u} [N]	Síla větru na KZL Q_{KZL} [N]	Síla větru na stožár Q_{Wm} [N]	Celkové zatížení větrem Q_{VC} [N]
24	799,514	622,263	6684,950	12104,300
25	196,140	152,656	7183,310	8512,810
26	202,442	157,561	7183,310	8555,530
27	204,805	159,400	7183,310	8571,550
28	330,479	257,212	8283,150	10523,200

3.2.4 Průhyb vedení

Hodnoty použitého lana se určí podle tabulky 1-13, kromě výchozí vodorovné složky namáhání. Ta se určí z tabulky č. 5 z katalogu „OPTIMALIZACE TAHŮ VODIČŮ VENKOVNÍCH VEDENÍ VN“ vypracovaného od EGÚ Brno, a. s.

Výpočet pro průhyb mezi body č. 27 a č. 28

σ_H= 38,69 MPa,

Υ=0,03438 N. m^{-1}. mm^{-2},

z=1,

a=128 m,

h= 5,53 m.

Mechanické napětí jsem dosadil v MPa, aby nám vyšly hodnoty v metrech. Činitel přetížení z jsem počítal bez námrazku v tomto příkladě

$$\varphi = \arctan\left(\frac{h}{a}\right) = \arctan\left(\frac{5{,}53}{128}\right) = 2{,}47°,$$

$$f_m = \frac{1}{\cos\varphi} \cdot \left[\frac{a^2 \cdot \Upsilon \cdot z}{8 \cdot \sigma_H} + \frac{a^4 \cdot \Upsilon^3 \cdot z^3 \cdot \cos 2\varphi}{384 \cdot \sigma_H^3}\right] = \quad (3\text{-}4)$$

$$= \frac{1}{\cos 2{,}47} \cdot \left[\frac{128^2 \cdot 0{,}03438.1}{8 \cdot 38{,}69} + \frac{128^4 \cdot 0{,}03438^3 \cdot 1^3 \cos 2.2{,}47}{384 \cdot (38{,}69)^3}\right] = 1{,}822 \text{ m}.$$

Postup bude pro všechny body stejný. U výpočtu průhybu KZL musím změnit všechny hodnoty podle použitého lana. Výchozí vodorovné složky namáhání je pro toto lana σ_H= 56 MPa.

V následující tabulce tab. 3-3 jsou uvedeny hodnoty ostatních průhybů.

Tab. 3-3. Průhyby jednotlivých vedení.

Vedení mezi body	Průhyb vodiče bez námrazku f_{mVB} [m]	Průhyb vodiče s námrazkem f_{mVS} [m]	Průhyb KZL bez námrazku f_{mKZLB} [m]	Průhyb KZL s námrazkem f_{mKZLS} [m]
23A-24	0,485	0,458	0,756	0,746
24-25	1,709	1,614	2,666	2,632
25-26	1,736	1,639	2,709	2,671
26-27	1,937	1,828	3,022	2,980
27-28	1,822	1,720	2,843	2,803
28-29	1,470	1,387	2,293	2,261

3.2.5 Délka vodiče

Výpočet délky vodiče mezi body č. 27 a č. 28

Nejdříve si vypočteme délku vodiče pro rovné pole, neboli body A a B jsou ve stejné výšce.

$$l_s = 2\cdot\frac{\sigma_H}{z\cdot\Upsilon}\cdot sinh\left(\frac{a\cdot\Upsilon\cdot z}{2\sigma_H}\right) = 2\cdot\frac{38{,}69}{1\cdot 0{,}03438}\cdot sinh\left(\frac{128\cdot 0{,}03438\cdot}{2\cdot 38{,}69}\right) = 128{,}069\text{ m}. \qquad (3\text{-}5)$$

Vypočítáme si body x_A a x_B, abychom si určili meze pro integrály v rovnici. Bod B je vždy ve větší výšce než bod A.

$$x_A = \frac{a}{2} - \frac{\sigma_H}{z\cdot\Upsilon}arcsinh\left(\frac{h}{l_s}\right) = \frac{128}{2} - \frac{38{,}69}{1\cdot 0{,}03438}arcsinh\left(\frac{5{,}53}{128{,}069}\right) = 15{,}422\text{ m},$$
$$x_B = \frac{a}{2} - \frac{\sigma_H}{z\cdot\Upsilon}arcsinh\left(\frac{h}{l_s}\right) = \frac{128}{2} + \frac{38{,}69}{1\cdot 0{,}03438}arcsinh\left(\frac{5{,}53}{128{,}069}\right) = 112{,}578\text{ m}. \qquad (3\text{-}6)$$

Délku vodiče pro vedení, kde nejsou body ve stejné výšce vypočítáme z následující rovince.

$$l_{0A} = \int_{-x_A}^{0} cosh\frac{z\cdot\Upsilon\cdot x}{\sigma_H}dx = \int_{-15{,}422}^{0} cosh\left(\frac{1\cdot 0{,}03438\cdot x}{38{,}69}\right)dx = 15{,}423\text{ m},$$
$$l_{0B} = \int_{0}^{x_B} cosh\frac{z\cdot\Upsilon\cdot x}{\sigma_H}dx = \int_{0}^{112{,}578} cosh\frac{1.0{,}03438.\,x}{38{,}69}dx = 112{,}766\text{ m}, \qquad (3\text{-}7)$$
$$l_{AB} = l_{0A} + l_{0B} = 15{,}42 + 112{,}77 = 128{,}189\,m.$$

Stejný výpočet bude i u KZL.
Délky ostatních průhybů jsou uvedeny v tabulce tab. 3-4, tyto hodnoty se počítaly bez námrazku.

Tab. 3-4. Průhyby vedení bez námrazku.

Vedení mezi body	Délka vodiče od průhybu k bodu A l_{0A} [m]	Délka vodiče od průhybu k bodu A l_{0A} [m]	Celková délka vodiče l_{AB} [m]	Délka KZL od průhybu k bodu A l_{0AKZL} [m]	Délka KZL od průhybu k bodu A l_{0AKZL} [m]	Celková délka KZL l_{ABKZL} [m]
23A-24	34,307	31,703	66,010	38,309	27,700	66,009
24-25	36,156	87,939	124,095	1,959	122,254	124,213
25-26	48,748	76,325	125,074	47,927	77,140	125,067
26-27	32,779	99,354	132,133	30,801	101,324	132,125
27-28	15,423	112,766	128,188	12,532	115,649	128,181
28-29	22,685	92,420	115,105	20,613	94,486	115,100

Délky průhybů počítané s námrazkem jsou uvedeny v tabulce tab. 3-5.

Tab. 3-5. Průhyby vedení s námrazkem.

Vedení mezi body	Délka vodiče od průhybu k bodu A l_{0AS} [m]	Délka vodiče od průhybu k bodu A l_{0AS} [m]	Celková délka vodiče l_{ABS} [m]	Délka KZL od průhybu k bodu A l_{0AKZLS} [m]	Délka KZL od průhybu k bodu A l_{0AKZLS} [m]	Celková délka KZL l_{ABKZLS} [m]
23A-24	10,142	55,915	66,056	10,752	55,301	66,053
24-25	45,469	78,717	124,185	25,183	99,123	124,306
25-26	53,729	71,436	125,166	53,603	71,559	125,161
26-27	44,744	87,498	132,242	44,440	87,796	132,237
27-28	32,890	95,397	128,287	32,448	95,835	128,283
28-29	35,205	79,972	115,177	34,888	80,285	115,173

3.2.6 Namáhání vodiče ve vertikálním směru

Výpočet pro namáhání vodiče ve vertikálním směru mezi body č. 27 a č. 28

Vypočteme vertikální namáhání pro každý bod jednotlivě.

$$\begin{aligned} \sigma_{VA} &= l_{0A} \cdot \Upsilon \cdot z = 15{,}423 \cdot 0{,}03438 \cdot 1 = 0{,}53 \text{ MPa}, \\ \sigma_{VB} &= l_{0B} \cdot \Upsilon \cdot z = 112{,}766 \cdot 0{,}03438 \cdot 1 = 3{,}877 \text{ MPa}. \end{aligned} \tag{3-8}$$

Převedeme namáhání na sílu, která působí na vrchol podpěrného bodu směrem k zemi. Hmotnost m je dána lanem je dán tabulkou tab. 1-13.

$$\begin{aligned} m &= 0{,}5893 \; kg/m, \\ F_{VA} &= l_{0A} \cdot g \cdot m = 15{,}423.9{,}81.0{,}5893 = 89{,}158 \text{ N}, \\ F_{VB} &= l_{0B} \cdot g \cdot m = 112{,}766.9{,}81.0{,}5893 = 651{,}903 \text{ N}. \end{aligned} \tag{3-9}$$

Hodnoty pro ostatní vertikální síly působící na podpěrné body A a B bez námrazku jsou uvedené v tabulce 3-6.

Tab. 3-6. Vertikální namáhání vodiče bez námrazku.

Vedení mezi body	Vertikálně působící síla na vodiče v bodě A F_{VA} [N]	Vertikálně působící síla na vodiče v bodě B F_{VB} [N]	Vertikálně působící síla na KZL v bodě A F_{VAKZL} [N]	Vertikálně působící síla na KZL v bodě B F_{VBKZL} [N]
23A-24	198,329	183,274	175,130	126,628
24-25	209,021	508,379	8,956	558,879
25-26	281,815	441,240	219,095	352,642
26-27	189,497	574,369	140,805	463,199
27-28	89,158	651,903	57,290	528,684
28-29	131,142	534,284	94,233	431,941

Hodnoty pro ostatní vertikální síly působící na podpěrné body A a B s námrazkem jsou uvedené v tabulce tab. 3-7.

Tab. 3-7. Vertikální namáhání vodiče s námrazkem.

Vedení mezi body	Vertikálně působící síla na vodiče v bodě A F_{VAS} [N]	Vertikálně působící síla na vodiče v bodě B F_{VBS} [N]	Vertikálně působící síla na KZL v bodě A F_{VAKZLS} [N]	Vertikálně působící síla na KZL v bodě B F_{VBKZLS} [N]
23A-24	91,444	504,164	80,090	411,908
24-25	409,976	709,767	187,577	738,319
25-26	484,461	644,121	399,261	533,009
26-27	403,440	788,944	331,016	653,954
27-28	296,558	860,170	241,688	713,830
28-29	317,435	721,079	259,867	598,007

3.2.7 Celkové namáhání podpěrného bodu ve vertikálním směru

Vertikální namáhání F_{VA} a F_{VB} z kapitoly 3.2.1.8 se beru pro jednu stranu vedení, abych vypočítal celkové namáhání podpěrného bodu ve vertikálním směru tak musím sečíst vertikální namáhání pro obě strany vedení. V mém případě, když jdu od podpěrného bodu č. 29 tak vždy platí že následující podpěrný bod je níž než předchozí, kromě bodu č. 24. Takže beru hodnoty v prvním rozpětí F_{VA} a v druhém rozpětí F_{VB}. Bodu č. 24 je níž než bod č. 23A. a č. 25 takže beru hodnoty v prvním i v druhém rozpětí F_{VA}.

Výpočet pro bod č. 27

Pro jeden vodič se vypočítá následovně

$$F_{VV} = F_{VA} + F_{VB} = 132{,}957 + 544{,}562 = 677{,}519 \text{ N}. \quad (3\text{-}10)$$

Pro KZL se vypočítá stejně F_{KZL}.

Celkové namáhání podpěrného bodu ve vertikálním směru se vypočítá následovně

$$F_V = n \cdot F_{VV} + m \cdot F_{KZL} = 6 \cdot 132{,}957 + 1 \cdot 544{,}562 = 677{,}519 \text{ N}. \quad (3\text{-}11)$$

Kde:

n počet vodičů upevněných na podpěrném bodu [-]
m počet zemnících lan upevněných na podpěrném bodu

Hodnoty pro ostatní vertikální síly jsou uvedeny v následující tabulce tab. 3-8.

Tab. 3-8. Celková síla namáhání ve vertikálním směru.

Č. bodu	Celkové namáhání podpěrného bodu ve vertikálním směru bez námrazku F_V [N]	Celkové namáhání podpěrného bodu ve vertikálním směru s námrazkem F_{VS} [N]
24	2628,186	3276,189
25	5519,138	8302,948
26	4277,869	7149,391
27	4501,652	7408,654
28	5321,187	8039,327

3.2.8 Namáhání rohového podpěrného bodu v řetězovce

V mé řetězovce počítám toto namáhání pouze pro body č. 24 a č.28, protože ostatní podpěrné body jsou jen nosné a nedrží přímo vodič. Pro podpěrné body č.24 a bod č.28 musím počítat i se silou působící z přilehlých řetězovek s podpěrnými body č. 23A a č. 29.

Výpočet pro řetězovku

U bodu č. 28 beru hodnotu σ_{CB}, protože je na výš než bod č. 27 a u bodu č. 24 beru hodnotu σ_{CA}, protože je níž než bod č. 25.

Namáhání na vodič

$$\sigma_{CAV} = \sigma_H cosh\left(\frac{l_{0A}\cdot \Upsilon \cdot z}{\sigma_H}\right) = 38{,}69.cosh\left(\frac{36{,}156\cdot 0{,}03438\cdot 1}{38{,}69}\right) = 38{,}71 \text{ MPa},$$
$$\sigma_{CBV} = \sigma_H \cdot cosh\left(\frac{l_{0B}\cdot \Upsilon \cdot z}{\sigma_H}\right) = 38{,}69.cosh\left(\frac{112{,}766\cdot 0{,}03438\cdot 1}{38{,}69}\right) = 38{,}884 \text{ MPa}. \quad (3\text{-}12)$$

Pro KZL je stejný výpočet.

Převedu namáhání jednoho vodiče na výslednou sílu, která působí na vrchol podpěrného bodu.

$$F_{CAV} = S\cdot\sigma_{CAV} = 168{,}11\cdot 38{,}71 = 6524{,}04 \text{ N},$$
$$F_{CBV} = S\cdot\sigma_{CBV} = 168{,}11\cdot 38{,}884 = 6536{,}86 \text{ N}. \quad (3\text{-}13)$$

Namáhání podpěrného bodu ve směru vedení se vypočítá

$$F_{CA} = 6F_{CAV} + F_{CAKZL} = 6.6524{,}04 + 5220{,}92 = 44261{,}590 \text{ N},$$
$$F_{CB} = 6F_{CBV} + F_{CBKZL} = 6.6536{,}86 + 5248{,}07 = 44462{,}120 \text{ N}. \quad (3\text{-}14)$$

Určím směr výsledné síly pomocí úhlu β, který zjistím z vodorovného a celkového zatížení. Úhel pro lano AlFe a pro KZL budu brát stejný, protože jejich rozdíl je zanedbatelný.

$$\beta_A = arc\cos\left(\frac{\sigma_H}{\sigma_{CA}}\right) = arc\cos\left(\frac{38{,}69}{38{,}71}\right) = 1{,}841°,$$
$$\beta_B = arc\cos\left(\frac{\sigma_H}{\sigma_{CB}}\right) = arc\cos\left(\frac{38{,}69}{38{,}884}\right) = 5{,}726°. \quad (3\text{-}15)$$

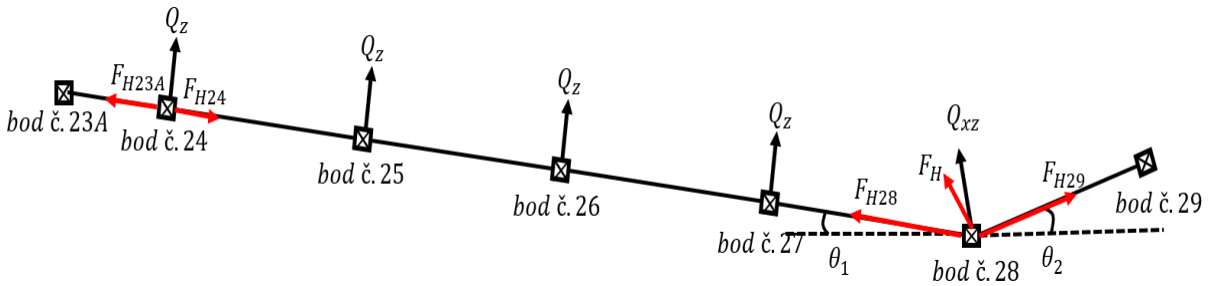
Stejný výpočet udělám i pro přilehlé řetězovky s body č. 23A a č. 29 a jejich hodnoty uvádím v tabulce tab. 3-9 spolu s výpočtem s námrazou.

Tab. 3-9. Namáhání rohového podpěrného bodu v řetězovce.

	Bez námrazku			S námrazkem		
Celková síla ve směru vedení	Síla ve směru vedení pro vodič F_{CV} [N]	Síla ve směru vedení pro KZL F_{CKZL}[N]	Celková síla ve směru vedení F_C [N]	Síla ve směru vedení pro vodič F_{CVS} [N]	Síla ve směru vedení pro KZL F_{CKZLS} [N]	Celková síla ve směru vedení F_{CS} [N]
23A	6507,200	5219,090	44262,290	6504,820	5216,960	44245,880
24	6507,530	5216,410	44261,590	6517,090	5219,490	44322,030
28	6536,860	5240,960	44462,120	6561,110	5261,200	44627,860
29	6505,500	5217,180	44250,180	6511,920	5222,330	44293,850

3.2.9 Celkové namáhání podpěrného bodu v horizontálním směru

Vypočítám pomocí předchozích kapitol 3.2.1.7 a 3.2.1.8. Pro body č. 24 a č. 28 musím počítat i s přilehlými řetězovkami. U bodu č. 24 se mi neláme vedení, takže horizontální hodnoty mohu od sebe rovnou odečíst. U bodu č. 28 se mi láme vedení, takže u výpočtu musím počítat s úhly θ_1 a θ_2.



Obr. 3-1 Síly působící na úsek vedení

Výpočet pro bod č. 28

Úhly jsou:

θ_1=12°,

θ_2=15°,

∅=76,5°,

$$F_{H28} = \sqrt{F_{C28}^2 - F_{V28}^2} = \sqrt{44462{,}120^2 - 5321{,}187^2} = 44627{,}758 \text{ N},$$
$$F_{H29} = \sqrt{F_{C29}^2 - F_{V28}^2} = \sqrt{44250{,}180^2 - 5321{,}187^2} = 44293{,}743 \text{ N}. \quad (3\text{-}16)$$

Vektorově určím celkové namáhání podpěrného bodu v horizontálním směru z rovnice 3-17.

$$\overline{F_{Hxz}} = \overline{F_{H28}} + \overline{F_{H29}} = F_{H28}(-\cos(\theta_1);\ \sin(\theta_1)) + F_{H29}(\cos(\theta_2);\ \sin(\theta_2)) =$$
$$= 44627{,}758(\cos(12);\ \sin(12)) + F_{H29}(\cos(15);\ \sin(15)) = \quad (3\text{-}17)$$
$$= (748{,}129;\ 20742{,}7) \text{ N}.$$

Vektorově vypočtu i zatížení větrem. Tento výpočet platí pouze pro bod č. 28, protože vítr na něj nepůsobí kolmo, ale tak aby ho nejvíce zatížil.

$$\overline{Q_{xz}} = Q_{VC}(\cos(\emptyset);\ \sin(\emptyset)) = 10523{,}200(\cos(76{,}5);\ \sin(76{,}5)) =$$
$$= (2456.592;\ 10232{,}443) \text{ N}. \quad (3\text{-}18)$$

Celkové namáhání podpěrného bodu v horizontálním směru

$$\overline{F_{xz}} = \overline{Q_{xz}} + \overline{F_{Hxz}} = (748{,}129;\ 20742{,}7) + (2456.592;\ 10232{,}443) =$$
$$= (3204{,}721;\ 30929{,}381) \text{ N}. \quad (3\text{-}19)$$

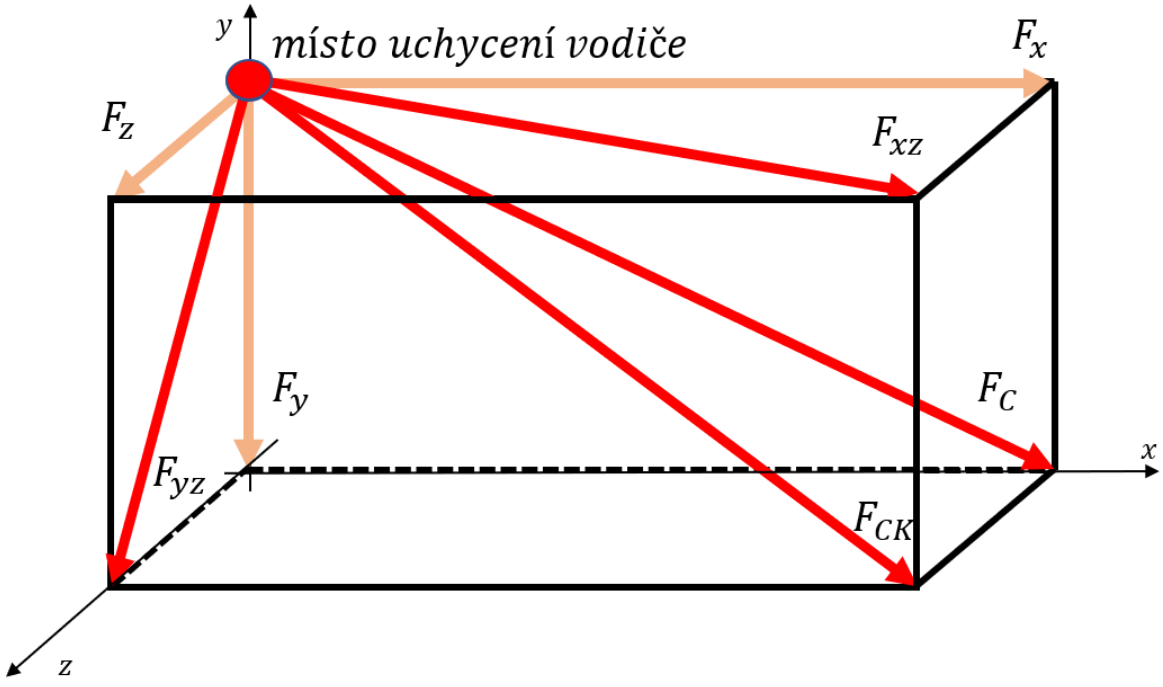
Skalárně vypočítané hodnoty jsou uvedeny v následující tabulce tab. 3-10 spolu s hodnotami pro bod č. 24.

Tab. 3-10. Namáhání rohového podpěrného bodu v řetězovce.

	Bez námrazku			S námrazkem		
Vedení mezi body	Horizontální síla pro řetězovky $F_{HŘ}$ [N]	Skalární horizontální síla F_H [N]	Vektorová horizontální síla $\overline{F_H}$ [N]	Horizontální síla pro řetězovky $F_{HŘS}$ [N]	Skalární horizontální síla F_{HS} [N]	Vektorová horizontální síla $\overline{F_{HS}}$ [N]
23A	44262,231			44245,806		(76,037; 0)
24	44261,465	0,760	(0,760; 0)	44321,843	76,037	
28	44462,024		(748,129; 20742,7)	44627,700		(868,065; 20742,7)
29	44250,078	20710,500		44293,683	20760,800	
Pro bod	Skalární celková horizontální síla F_{xz} [N]		Vektorová celková horizontální síla F_{xz} [N]	Skalární celková horizontální síla F_{xzS} [N]		Vektorová celková horizontální síla F_{xzS} [N]
24	12104,3		(0,766; 12104,3)	12104,5		(76,037; 12104,3)
28	31094,964		(3204,721; 30929,381)	20760,825		(868,065; 20742,7)

3.2.10 Síla působící na podpěrný bod ve vypočítané řetězovce

Abych správně ověřil že jsem použil správný podpěrný bod, musím vypočítat celkovou sílu působící na vrchol tohoto bodu. Z následujícího obrázku vyplívá, jak jednotlivé složky síly působí na místo, kde je vodič uchycen.



Obr. 3-2 Síly působící na místo kde je uchycený vodič

U výpočtů pro nosné podpěrné body platí, že

$$F_z = Q_{VC},$$
$$F_y = F_V.$$

Výpočet pro bod č. 27

Celková síla působící na nosný podpěrný bod se vypočítá z následujícího vzorce

$$F_{zy} = \sqrt{Q_{VC}^2 + F_V^2} = \sqrt{8571{,}55^2 + 4501{,}522^2} = 9681{,}692 \text{ N}. \quad (3\text{-}20)$$

Hodnoty celkové síly působící na ostatní nosné podpěrné body jsou uvedeny v následující tabulce tab. 3-9. Když počítám hodnoty s námrazkem dosazuji $Q_{VC} = 0$, takže se mi celková síla $F_{yzS} = F_V$.

Tab. 3-11. Celková síla působící na nosný podpěrný bod.

Č. bodu	Celkové namáhání podpěrného bodu bez námrazku F_{zy} [N]	Celkové namáhání podpěrného bodu s námrazkem F_{zyS} [N]
25	10145,384	8302,948
26	9565,420	7149,391
27	9681,753	7408,654

U výpočtů pro rohové podpěrné body musím počítat s úhly, jak jsou jednotlivé síly nakloněné. Hodnoty pro tento výpočet beru z kapitoly 3.2.1.9.

Výpočet pro bod č. 28

Celková síla působící na rohový podpěrný bod se vypočítá z následujícího vzorce. Pokud

$$F_{CK28} = \sqrt{F_{xz}^2 + F_V^2} = \sqrt{\left(\sqrt{3204{,}721^2 + 30929{,}381^2}\right)^2 + 5321{,}187^2} = 31546{,}979 \text{ N}. \quad (3\text{-}21)$$

Výpočet pro bod č. 24

Celková síla působící na rohový podpěrný bod se vypočítá z následujícího vzorce

$$F_{CK24} = \sqrt{F_{xz}^2 + F_V^2} = \sqrt{\left(\sqrt{0{,}766^2 + 12104{,}3^2}\right)^2 + 2628{,}186^2} = 12386{,}341 \text{ N}. \quad (3\text{-}22)$$

Tabulka pro rohové podpěrné body.

Tab. 3-12. Celková síla působící na rohový podpěrný bod.

Č. bodu	Celkové namáhání podpěrného bodu bez námrazku F_{CK} [N]	Celkové namáhání podpěrného bodu s námrazkem F_{CKS} [N]
24	12386,341	3277,072
28	31546,979	22263,010

KAPITOLA 4: ROZPOČET STAVBY ELEKTRICKÉHO VEDENÍ VN

V této kapitole uvádím jednotlivé komponenty, které jsem v projektu použil a jejich ceny.

Pro lana AlFe a pro KZL musím počítat s rezervou 5 %. Průhyby f_m nám celkovou délku v našem případě moc nezmění, takže mohu počítat pouze s rozpětím mezi podpěrnými body. Celková délka vedení je 4016 m, takže délka jednoho lana AlFe a KZL je také 4016 m. Rezerva pro jedno lano je 201 m.

Beton, který se používá pro výstavbu základů je směs třídy C12/15. Spotřebovaný beton pro výstavbu základů příhradových stožárů je pro každý typ příhradového stožáru jiný. V následující tabulce tab. 4-1 jsou vypsány hodnoty spotřebovaného betonu pro příhradové stožáry, které jsem v projektu použil. Zemina, do které stožár umisťuji je kategorie „Jíly, hlíny – tvrdé“. Tyto hodnoty byly převzaty z katalogových listů ČEZu.

Tab. 4-1. Potřebné informace k příhradovým stožárům.

Typ příhradového stožáru	Spotřebovaný beton C12/15 v m^3	Odvoz materiálu v m^3	Nátěrová plocha v m^2
Fe 21/20	8,27	7,13	44,00
Fe 21/30	8,92	7,78	49,55
Fe 21/100	20,42	2,59	61,85
Fe 18/20	6,52	5,63	36,91
Fe 18/30	7,68	6,79	41,87
Fe 18/60	10,16	10,02	48,84
Fe 18/80	13,87	12,73	52,65
Fe 18/100	16,96	15,82	52,65
Fe 16,5/20	6,52	5,63	33,69
Fe 16,5/30	6,52	5,63	37,53
Fe 16,5/40	8,33	7,44	43,21
Fe 16,5/80	13,40	12,39	47,24
Fe 16,5/100	16,31	15,30	47,24
Fe 15/40	6,18	5,40	39,94
Fe 13,5/40	5,77	5,20	35,36

S odvozem materiálu ze stavby příhradových stožárů se musí také počítat.

U úsekového odpínače a odpojovače se instaluje na podpěrný bod tahlo, které rozpojí obvod. Tahlo je zabezpečeno visacím zámkem, aby nemohlo dojít k nechtěné manipulaci.

Příhradový stožár je třeba po sestavení natřít. Stožár se natírá jednou základní barvou a pak dvakrát vrchní barvou.

V následující tabulce tab. 4-2 uvádím ceny jednotlivých položek, které se použijí pro výstavbu nového vedení.

Tab. 4-2. Ceny jednotlivých komponentů.

Název položek	Celkové množství	MJ	Jednotková cena	Celková Cena bez DPH
Příhradový stožár 21m/20kN	1,0	KS	103 798,34 Kč	103 798,34 Kč
Příhradový stožár 21m/30kN	1,0	KS	111 953,40 Kč	111 953,40 Kč
Příhradový stožár 21m/100kN	1,0	KS	228 120,90 Kč	228 120,90 Kč
Příhradový stožár 18m/20kN	16,0	KS	90 607,18 Kč	1 449 714,88 Kč
Příhradový stožár 18m/30kN	2,0	KS	99 231,43 Kč	198 462,86 Kč
Příhradový stožár 18m/60kN	1,0	KS	147 166,31 Kč	147 166,31 Kč
Příhradový stožár 18m/80kN	1,0	KS	180 674,10 Kč	180 674,10 Kč
Příhradový stožár 18m/100kN	1,0	KS	206 130,27 Kč	206 130,27 Kč
Příhradový stožár 16,5m/20kN	2,0	KS	86 125,34 Kč	172 250,68 Kč
Příhradový stožár 16,5m/30kN	4,0	KS	92 973,64 Kč	371 894,56 Kč
Příhradový stožár 16,5m/40kN	1,0	KS	105 639,77 Kč	105 639,77 Kč
Příhradový stožár 16,5m/80kN	2,0	KS	170 277,72 Kč	340 555,44 Kč
Příhradový stožár 16,5m/100kN	2,0	KS	195 189,63 Kč	390 379,26 Kč
Příhradový stožár 15m/40kN	1,0	KS	95 932,03 Kč	95 932,03 Kč
Příhradový stožár 13,5m/40kN	2,0	KS	85 680,20 Kč	171 360,40 Kč
Beton C12/15	323,0	M3	2 826,00 Kč	912 798,00 Kč
Odvoz materiálu	272,5	M3	800,00 Kč	218 000,00 Kč
tabulka	38,0	KS	175,14 Kč	6 655,32 Kč
Konzole KZL pro stožáry 20kN 1,4/5	19,0	KS	4 119,63 Kč	78 272,97 Kč
Konzole KZL pro stožáry >20kN 1,4/12	7,0	KS	4 561,45 Kč	31 930,15 Kč
Konzole KZL pro stožáry >20kN 1,4/5	8,0	KS	4 664,41 Kč	37 315,28 Kč
Konzole P-A 0,6X0,6M-U100	4,0	KS	1 104,76 Kč	4 419,04 Kč
Konzole pro čtyřnásobné vedení A2-4XV-KZ	4,0	KS	20 491,07 Kč	81 964,28 Kč
Konzole A2 0,4X0,4M-U100	40,0	KS	6 058,36 Kč	242 334,40 Kč
Konzole A4 0,4X0,4M-U100	19,0	KS	9 033,52 Kč	171 636,88 Kč
Konzole A2 0,6X0,6M-U80	36,0	KS	5 890,01 Kč	212 040,36 Kč
Konzole A3 0,6X0,6M-U100	1,0	KS	7 399,88 Kč	7 399,88 Kč
Konzole A4 0,6X0,6M-U120	22,0	KS	9 175,93 Kč	201 870,46 Kč
Základní nátěr, šedá	1544,2	M2	175,14 Kč	270 445,93 Kč
Vrchní nátěr, zelená	3088,3	M2	104,94 Kč	324 090,40 Kč
Kompozitní izolátor 25-2, kotevní	225,0	KS	3 671,97 Kč	826 193,25 Kč
Kompozitní izolátor 25-2, nosný	114,0	KS	1 826,05 Kč	208 169,70 Kč
Uchycení zemnícího lana	18,0	KS	1 493,27 Kč	26 878,86 Kč
Ukončení zemnícího lana	19,0	KS	3 108,24 Kč	59 056,56 Kč
Ukončení vodiče v usekovém odpínači	5,0	KS	244,48 Kč	1 222,40 Kč
Úsekový odpínač	5,0	KS	20 659,51 Kč	103 297,55 Kč
Tahlo odpínače	5,0	KS	1 333,40 Kč	6 667,00 Kč
Odpojovač	5,0	KS	1 000,00 Kč	5 000,00 Kč
Tahlo odpojovače	5,0	KS	978,60 Kč	4 893,00 Kč
Vysací zámek	10,0	KS	793,86 Kč	7 938,60 Kč
Vodič	2530,0	M	99,15 Kč	250 849,50 Kč
KZL	4217,0	M	220,08 Kč	928 077,36 Kč
Celková cena projektu bez DPH				9 503 450,33 Kč
Celková cena projektu zaokrouhlená bez DPH				9 503 451 Kč

ZÁVĚR

V předložené práci je provedena kontrola návrhu cca 500metrového úseku elektrického vedení vysokého napětí mezi podpěrnými body č. 24 a č. 28 v Brandýse nad Labem. Cílem projektu je výměna jednoduchého vedení za dvojité pro navýšení přenosové schopnosti a pokrytí energetických požadavků. Celková délka nového vedení činní 4 km. Vedení je realizováno pomocí Fe podpěrných bodů. Jako vodič elektrické energie slouží lano AlFe. V práci je také zahrnut výpočet pro kombinované zemnicí lano. Cílem je také provést mechanickou kontrolu, zda na žádný podpěrný bod nepůsobí větší zatížení, než je zatížení dovolené.

Pro daný projekt jsem provedl detailní výpočet mechanického namáhání. Výpočet jsem provedl pro každý podpěrný bod ze zvoleného úseku. Hlavní vypočtené veličiny jsou uvedeny v následující tabulce:

Tab. 4-3. Celková síla působící na podpěrné body.

Č. bodu	Celkové zatížení větrem Q_{VC} [N]	Průhyb vodiče f_m [m]	Celkové namáhání podpěrného bodu F [N]
24	12104,300	0,485	12386,341
25	8512,810	1,709	10145,384
26	8555,530	1,736	9565,420
27	8571,550	1,937	9681,753
28	10523,200	1,822	31546,979

Z výpočtu není žádný podpěrný bod z vybraného úseku zatěžován větší silou, než je jeho typová hodnota. Z tabulky tab. 4-3 vidíme že podpěrný bod č. 24 by mohl mít menší typovou hodnotu a to 20 kN. Pokud by došlo k přetržení vodiče na některé ze sousedních řetězovkách tak by podle tabulky tab. 3-10 byly podpěrné body č. 24 a č. 28 zatíženy větší silou, než na kterou jsou dimenzovány a mohlo by dojít k řetězové havárii. Výpočet pro kombinované zatížení by se počítalo stejně jako zatížení s námrazkem, ale za zatěžování větrem v kapitole 3.2.1.1. by se dosazovala rovnice 2-7 z kapitoly 2.2.6.

Cena materiálů pro projekt v Brandýse nad Labem bude cca 9,6 mil. Kč bez DPH. V této ceně není započítaná cena projekční práce, cena montáže, cena dopravy a cena dopravního značení. Dopravní značení se uvažuje pouze pokud by se podpěrný bod stavěl poblíž pozemní komunikace.

Dalším cílem bylo shrnutí poznatků o komponentech, které se používají pro venkovní vedení vysokého napětí a dimenzování venkovního vedení. Komponenty, které jsem v práci popsal jsou aktuální k roku 2022. Hodnoty těchto komponentů, jsem převzal z katalogových listů ČEZu, aby byla zaručena jejich pravdivost. Dimenzování venkovního vedení jsem provedl dle směrodatných norem ČSN a PNE.

LITERATURA

[1] A201.001H. *Stožáry ocelové příhradové svařované pro elektrická venkovní vedení do 45 kV*. ČEZ Distribuce, a.s: Kamil Čihák, 2018.

[2] A201.002F. *Betonové sloupy pro elektrická venkovní vedení do 45 kV*. EGÚ Brno, a.s.: Kamil Čihák, 2016.

[3] A201.003F. *Dřevěné sloupy vn, nn*. 14.2.2018. Děčín IV: Ondřej Novák, 2017.

[4] Armatury, spojky, svorky vn – obecný popis [online]. Děčín: ČEZ Distribuce, 2021, 21.6.2021, (A206.000C), 1-9 [cit. 2022-04-24]. Dostupné z: https://www.standardy.cezdistribuce.cz/edee/content/dis-standard/katalogove-listy/a2-vedeni-vn/a-venkovni-vedeni-vn/c-izolatory-retezce-armatury/e-armatury-svorky-spojky/A206.000C_Armatury_svorky_spojky_vn.pdf

[5] ČSN EN 50341-1. *Elektrická venkovní vedení s napětím nad AC 1kV - Část 1: Obecné požadavky - Společné specifikace*. Ed. 2. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.

[6] ČSN EN 60383 – 2 (348053):1996 Izolátory pro venkovní vedení se jmenovitým napětím nad 1000 V. Část 2, Izolátorové řetězce a izolátorové závěsy pro soustavy se střídavým napětím. Definice, zkušební metody a přejímací kritéria. Praha: Český normalizační institut.

[7] ELBA Kremnica, Katalog výrobků – Armatury pro venkovní elektrické vedení III. vydání [online], 2022, http://katalogy.elba.sk/katalogy/fittings-for-overhead-transmission-lines/

[8] Energetické kabely. *NKT* [online]. [cit. 2022-05-15]. Dostupné z: https://www.nkt.cz/nase-vyrobky/vn-kabely-do-50-kv/energeticke-kabely/22-pas-22-pas-w-12-20-kv

[9] HRUŠKA, Václav. *Venkovní elektrická vedení, počítaná jako pružná řetězovka*. Praha, 1940.

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

[11] MATĚNA, Štěpán. *Výroba a rozvod elektrické energie II*. Praha, 1975.

[12] Orságová, J. *Rozvodná zařízení.* Brno: 2015. s. 1-179.

[13] PNE 33 3300. *Navrhování a stavba venkovních vedení nad AC 45 kV*. Praha 9, 2016.

[14] PNE 33 3301. *Elektrická venkovní vedení s napětím nad 1 kV AC do 45 kV včetně*. 2019.

[15] PNE 35 4212. *ÚSEKOVÉ SPÍNAČE PRO VENKOVNÍ VEDENÍ DO 45 KV, VČETNĚ*. Třetí vydání. 2018.

[16] PNE 34 8211. *Železobetonové patky pro dřevěné sloupy venkovních vedení do 45 kV*. EGÚ Brno, a.s.: Ing. Petr Lehký, 2015.

[17] PNE 34 8240. *Příhradové stožáry pro elektrická venkovní vedení do 45 kV*. 3. vydání. Brno: EGÚ Brno, 2015.

[18] PNE 34 8210. *Dřevěné sloupy a dřevěné sloupy na patkách pro elektrická venkovní vedení do 45 kV*. EGÚ Brno: Ing. Petr Lehký. 2.vydání, 2004.

[19] PNE 34 8250. *Ocelové plechové sloupy pro elektrická venkovní vedení do 45 kV*. EGÚ Brno, a.s.: Ing. Petr Lehký, 2015.

[20] TLUSTÝ, Josef. Monitorování, řízení a chránění elektrizačních soustav. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011, 255 s. ISBN 978-80-01-04940-2.

[21] TOMAN, P. A KOL. Provoz distribučních soustav. Vydání 1. České vysoké učení technické v Praze, Praha 2011.

[22] *Vypínač pod vedení s dálkovým ovládáním na JB, OSM25 AL 2 25 kV* [online]. 2022, **203.018D**, 1-10 [cit. 2022-05-09]. Dostupné z: https://www.standardy.cezdistribuce.cz/edee/content/dis-standard/katalogove-listy/a2-vedeni-vn/D-Spinaci-pristroje-do-vedeni-vn/B-Vypinace-reclosery/A203.018D_Vypinac_pod_vedeni_s_DO_na_JB_OSM25_Al_2_25_kV.pdf

[23] *Závěsný kabel vn AXEKVCEz s holým ocelovým lanem: A208.001E* [online]. 2022, 1-5 [cit. 2022-05-09]. Dostupné z: https://www.standardy.cezdistribuce.cz/edee/content/dis-standard/katalogove-listy/a2-vedeni-vn/c-zavesne-kabely-vn/d-zavesne-kabely-a-jejich-armatury-vn/a-zavesne-kabely-vn/A208.001E-Kabely-AXEKVCEz-.pdf

PŘÍLOHA A: PŘÍKLAD SEZNAMU SYMBOLŮ A ZKRATEK

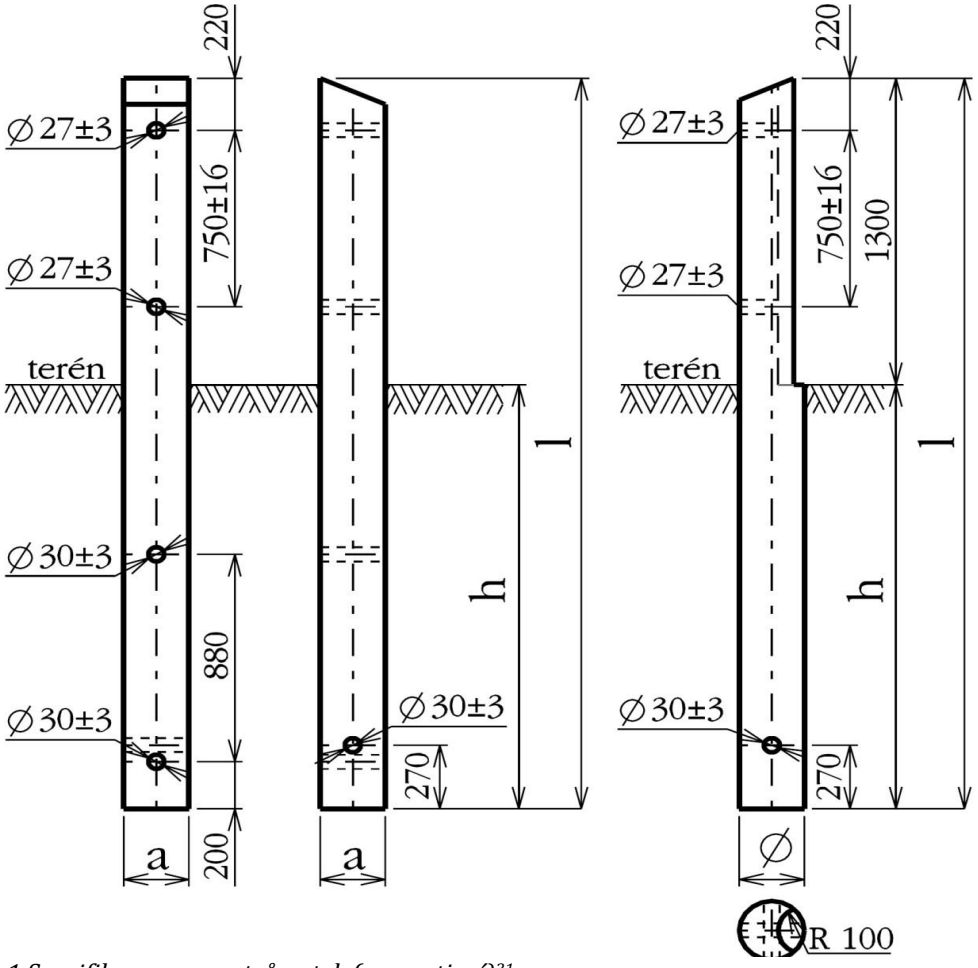
A.1 Seznam zkratek

ČSN	Česká technická norma
DPH	Daň z přidané hodnoty
JB	Jednoduchý betonový sloup
KZL	Kombinované zemnící lano
NNA	Národní normativní aspekty
NN	Nízké napětí
PNE	Podnikové normy energetiky
Fe	Příhradový stožár
VN	Vysoké napětí

PŘÍLOHA B: ROZMĚRY BETONOVÝCH PATEK

Obrázek č. 1 – Rozměry patek hranolových

Obrázek č. 2 – Rozměry patek válcových



Obr. 4-1 Specifikace parametrů patek (normativní)[31]

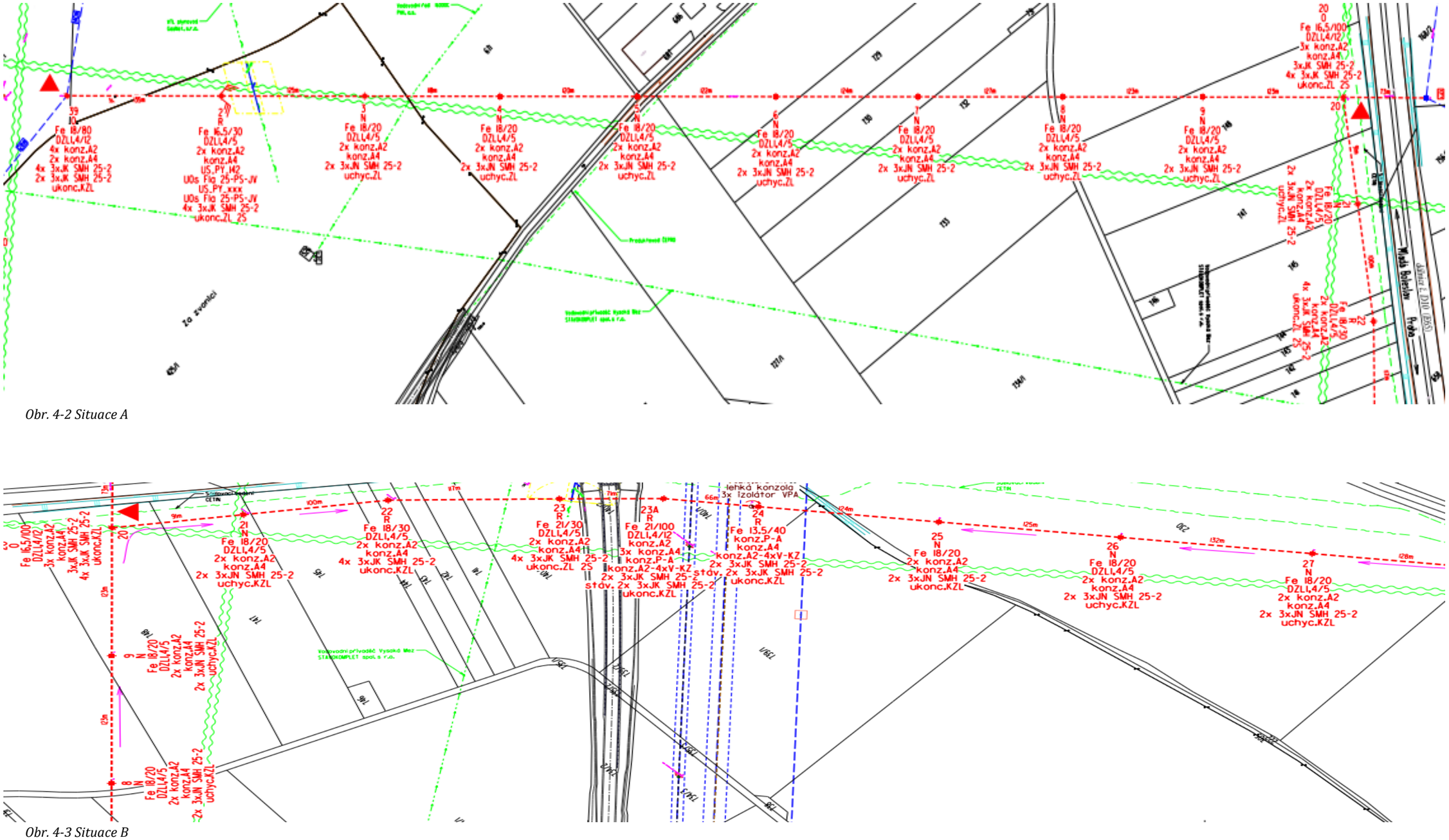
Tab. 4-5. Technické parametry betonové patky[30]

označení	a [mm]	Ø [mm]	l [mm]	h [mm]	M_u [kN.m]
EZP 20 H	200	–	2900	1600	20
EZP 40 H	250	–	3100	1800	40
EZP 60 H	300	–	3300	2000	60
EZP 20 K	–	200	2900	1600	20
EZP 40 K	–	250	3100	1800	40
EZP 60 K	–	300	3300	2000	60

[31] PNE 34 8211. *Železobetonové patky pro dřevěné sloupy venkovních vedení do 45 kV*. EGÚ Brno, a.s.: Ing. Petr Lehký, 2015. str. 9

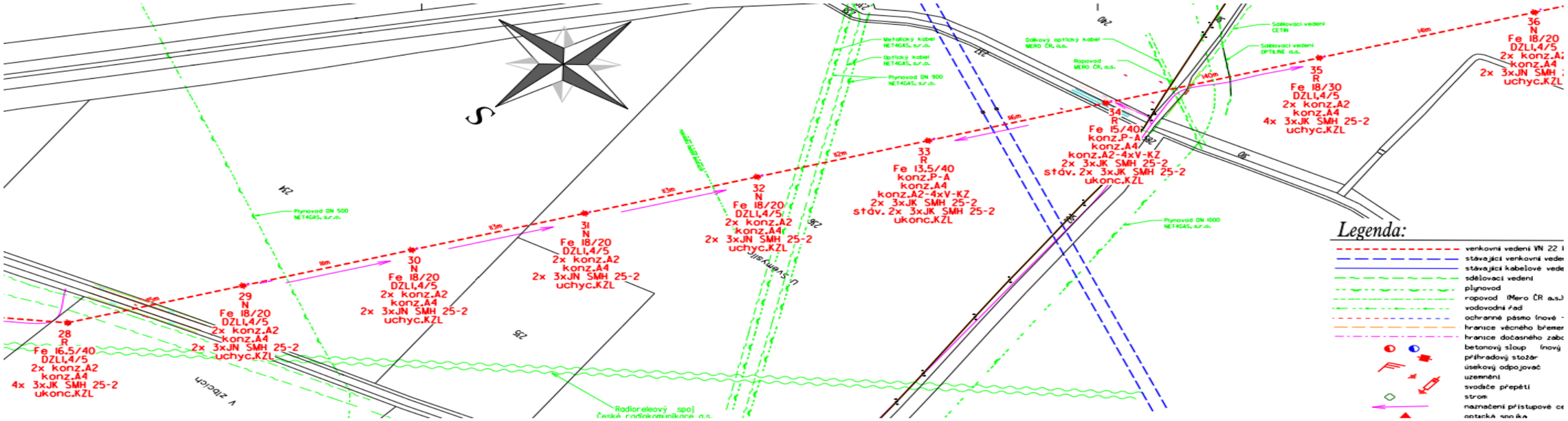
PŘÍLOHA C: PROJEKT BRANDÝS NAD LABEM

C.1 Situace



Obr. 4-2 Situace A

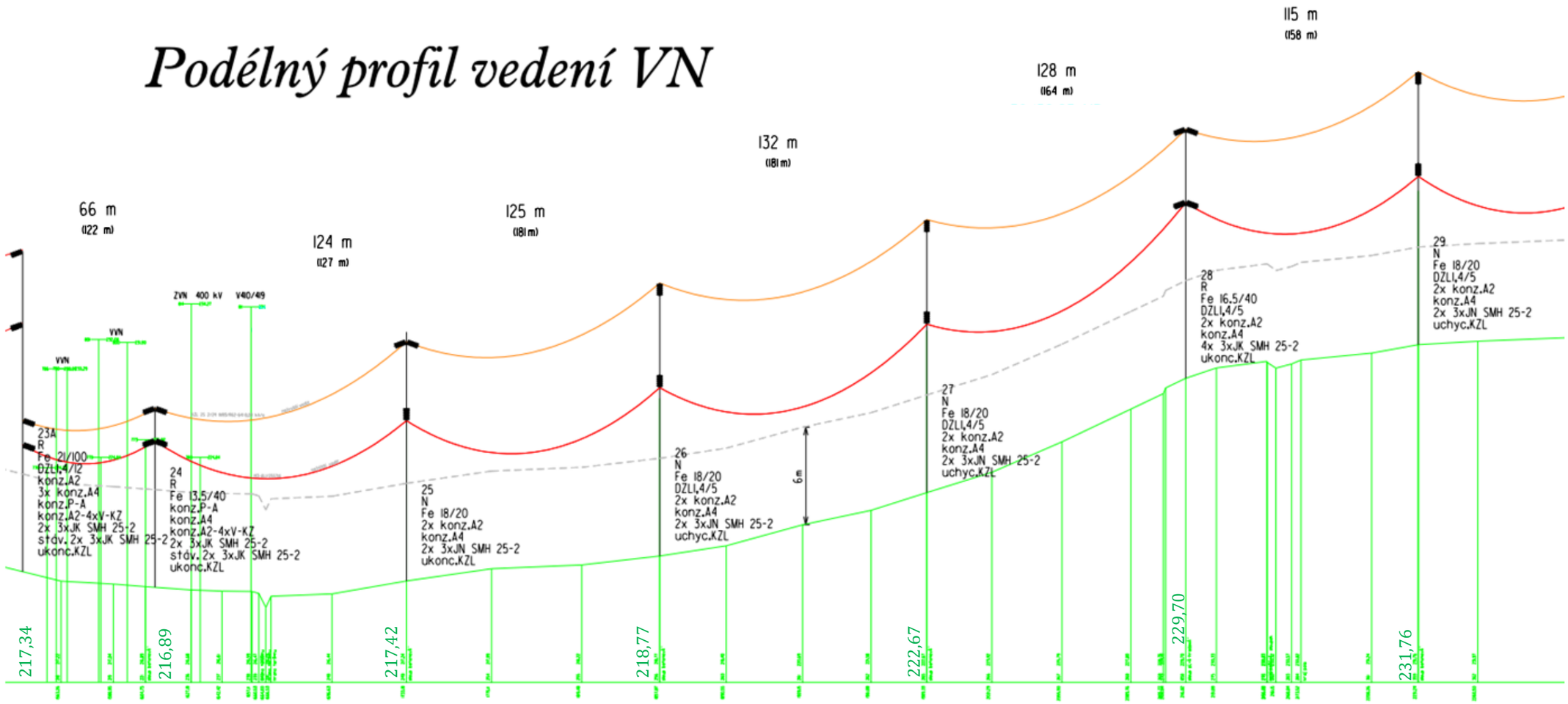
Obr. 4-3 Situace B



Obr. 4-4 Situace C

Obr. 4-5 Situace D

C.2 Podélný profil pro počítaný úsek



Obr. 4-6 Podélný profil vedení