



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

OCELOVÝ PŘÍHRADOVÝ STOŽÁR 4 X110KV

STEEL LATTICE MAST 4X110KV

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MARTIN BAŽURA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

prof. Ing. JINDŘICH MELCHER, DrSc.

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu Bakalářský studijní program s kombinovanou formou studia
Studijní obor 3608R001 Pozemní stavby
Pracoviště Ústav kovových a dřevěných konstrukcí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student Martin Baďura

Název Ocelový příhradový stožár 4x110kV

Vedoucí bakalářské práce prof. Ing. Jindřich Melcher, DrSc.

Datum zadání bakalářské práce 30. 11. 2013

Datum odevzdání bakalářské práce 30. 5. 2014

V Brně dne 30. 11. 2013

.....
doc. Ing. Marcela Karmazínová, CSc.
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

1. Předběžná dispozice konstrukčního systému.
2. Literatura podle doporučení vedoucího bakalářské práce.

Zásady pro vypracování

Navrhněte nosnou ocelovou konstrukci příhradového stožáru elektrického vedení 4×110 kV. Prostorovou skladbu nosné konstrukce navrhněte v souladu s požadavky na zabezpečení účelu, jemuž má objekt sloužit. Dále je třeba vyhovět požadavkům spolehlivosti (bezpečnost, použitelnost, trvanlivost) a dlouhodobě pojaté efektivnosti.

Požadované výstupy:

Technická zpráva

Statický výpočet hlavních nosných částí konstrukce

Výkresová dokumentace v rozsahu stanoveném vedoucím bakalářské práce

Předepsané přílohy

.....
prof. Ing. Jindřich Melcher, DrSc.
Vedoucí bakalářské práce

Abstrakt:

Cílem této bakalářské práce je návrh nosné ocelové konstrukce příhradového stožáru elektrického vedení 4 x 110 kV. Prostorová skladba nosné konstrukce je navržena v souladu s požadavky na zabezpečení účelu, jemuž má objekt sloužit – přenosu elektrické energie. Nosná konstrukce stožáru je navržena z normalizovaných ocelových válcovaných profilů, a aby vyhovovala všem změnám předpisů a technických norem, závazných k výstavbě a provozu venkovních vedení velmi vysokého napětí. Stěžejní změny byly zapříčiněny zejména přejímáním evropských předpisů a norem a jejich uvádění v soulad s předpisy a normami českými.

Klíčová slova:

ocelová konstrukce, ocelový příhradový stožár, rohový úhelník, diagonála, příčka, konzola, dřík stožáru, fázové vodiče, kombinované zemnicí lano, zatížení konstrukce

Abstract:

The aim of this thesis is the design of the supporting steel lattice tower for power lines 4 x 110 kV. The spatial structure of the support construction is designed in accordance with the security requirements for the purpose of the object (i.e. power transmission). The supporting structure of the tower is designed from standard rolled steel sections and accommodates any recent changes in regulations and technical standards related to the construction and operation of outdoor high-voltage power. These changes are mainly related to the new European regulations and standards and their harmonisation with the Czech system.

Keywords:

steel construction, steel lattice mast, corner angle, diagonal, crosspiece, cross-arm, tower body, phase conductors, combined ground wire, load structure

Bibliografická citace VŠKP

Martin Baďura *Ocelový příhradový stožár 4 x 110 kV*. Brno, 2014. 127 s., 4 s. příl.
Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav kovových
a dřevěných konstrukcí. Vedoucí práce prof. Ing. Jindřich Melcher, DrSc.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 28. 5. 2014

.....
podpis autora
Martin Baďura

Poděkování:

Tímto bych chtěl poděkovat svému vedoucímu práce panu prof. Ing. Jindřichu Melcherovi, DrSc. a ústavu kovových a dřevěných konstrukcí za jejich vstřícnost, ochotu a za možnost psát bakalářskou práci na téma ocelový příhradový stožár 4 x 110 kV. Rád bych též poděkoval své rodině za jejich trpělivost a podporu při psaní této práce a svým kolegům v zaměstnání za jejich pomoc a odborné rady.

V Brně dne 28. 5. 2014

.....
podpis autora
Martin Baďura

OBSAH

Technická zpráva

Úvod	1
1. Prostorové uspořádání konstrukce	2
2. Základní údaje o vedení 4 x 110	2
3. Podklady pro zpracování	3
4. Vodiče fázové, zemní lana a jejich namáhání	3
5. Podklady pro výpočet a posouzení stožáru	3
6. Stožárová konstrukce	4
6.1. Prvky konstrukce	4
6.2. Nerozebíratelné spoje	4
6.3. Uzemnění	4
6.4. Ochrana proti korozi	5
6.5. Výstup na stožáry	5
6.6. Upevnění fázových vodičů	5
7. Zatížení konstrukce	5
Závěr	6

Statický výpočet

1. Zatížení	7
1.1. Stálá zatížení – vlastní tíha vodičů	7
1.2. Tahy vodičů	7
1.3. Zatížení větrem na vodiče	8
1.4. Síly větru na izolátorové závěsy	13
1.5. Síla větru na příhradový stožár	13
1.6. Zatížení námrazou	15
1.7. Kombinovaná zatížení větrem a námrazou	17
1.8. Zatížení při montáži a údržbě	21
1.9. Zabezpečovací zatížení	22
1.10. Standardní zatěžovací stavy – mezní stav únosnosti	24
1.11. Standardní zatěžovací stavy – mezní stav použitelnosti	24

Výpočet pomocí programu SCIA engineer - LTA

1. Kombinace	25
2. Průběhy vnitřních sil - 1a-Zatížení extrémním větrem	50
3. N_{1a} -zatížení extrémním větrem	51
4. Vy_{1a} -zatížení extrémním větrem	52
5. Vz_{1a} -zatížení extrémním větrem	53
6. Mx_{1a} -zatížení extrémním větrem	54
7. My_{1a} -zatížení extrémním větrem	55
8. Mz_{1a} -zatížení extrémním větrem	56
9. Průběhy vnitřních sil - 1b-Zatížení minimální teplotou	57
10. N_{1b} -Zatížení minimální teplotou	58
11. Průběhy vnitřních sil - 2a-zatížení námrazou ve všech rozpětích	59
12. N_{2a} -Zatížení námrazou ve všech rozpětích	60
13. Průběhy vnitřních sil - 2c-Nerovnoměrné zatížení námrazou	61
14. N_{2c} -Nerovnoměrné zatížení námrazou	62
15. Průběhy vnitřních sil - 3-Kombinovaná zatížení větrem a námrazou	63

16.	N_3-Kombinovaná zatížení větrem a námrazou	64
17.	Průběhy vnitřních sil - 4-Montážní a údržbová zatížení	65
18.	N_4-Montážní a údržbová zatížení	66
19.	Průběhy vnitřních sil - 5a1-Torzni zatížení	67
20.	N_5-Torzni zatížení	68
21.	Průběhy vnitřních sil - 5b-Podélná zatížení	69
22.	N_5b-Podélná zatížení	70
23.	Průběhy vnitřních sil - MSÚ	71
24.	N_MSÚ	72
25.	Vy_MSÚ	73
26.	Vz_MSÚ	74
27.	Mx_MSÚ	75
28.	My_MSÚ	76
29.	Mz_MSÚ	77
30.	Výkaz materiálu	78
31.	Posudek ocelových průřezů na mezní stav únosnosti	78
32.	Jednotkový posudek průřezů	126
33.	Posouzení konstrukce na mezní stav použitelnosti	127



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

TECHNICKÁ ZPRÁVA

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MARTIN BAŽURA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

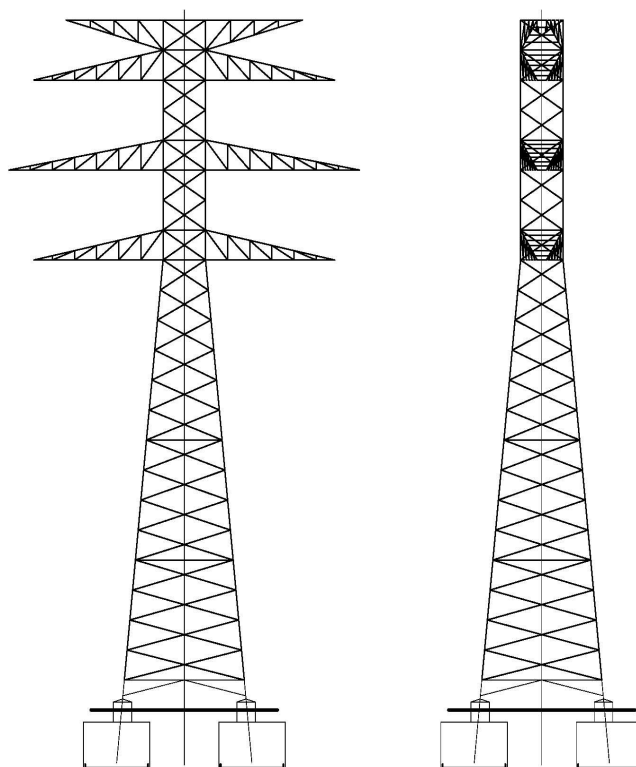
prof. Ing. JINDŘICH MELCHER, DrSc.

BRNO 2014

Úvod

Úkolem této práce bylo vytvoření nového rohového výztužného příhradového stožáru pro čtyřnásobné vedení přenosu elektrické energie, který bude vyhovovat všem změnám předpisů a technických norem, které byly vyvolány především přejímáním evropských předpisů a jejich uvádění v soulad s předpisy a normami českými. Prostorová konstrukce stožáru byla navržena tak, aby vyhovovala bezpečnostním požadavkům, které jsou kladeny na vedení velmi vysokého napětí. Těmito požadavky je myšleno například: výška vodičů nad terénem či vzájemná vzdálenost jednotlivých vodičů, tak aby v žádném případě nedošlo k jejich přiblížení na kratší než přeskokovou vzdálenost a vzdálenost vodičů od vlastní konstrukce. Čtyřnásobné vedení bylo zvoleno z důvodu potřeby navyšování kapacity přenosu elektrické energie a zmenšováním prostoru vhodného pro výstavbu vedení velmi vysokého napětí.

1. Prostorové uspořádání konstrukce



2. Základní údaje o vedení 4 x 110 kV

Třífázová soustava s přímo uzemněným nulovým bodem

Minimální výška vodičů nad terénem dle ČSN EN 50341: 6 m – 110 kV

Námrazová oblast: N1 (do 1kg/m)

Stupeň atmosférického znečištění dle ČSN 33 0405: I. – II.

Jmenovité napětí: 110 kV

Kmitočet: 50 Hz

Počet systémů: 4

Počet zemnicích lan: 2

Fázové vodiče: 4 x 3 x AlFe 680/89

Kombinované zemnicí lano: 1 x KZL AA/ACS 226/35-26,5

Zemnicí lano: 1 x AlFe 180/59

3. Podklady pro zpracování projektu

- Mapa námrazových oblastí – námrazová oblast N1 (ČSN EN 50341-3-19)
- Mapa větrových oblastí - V_R (II) = 26 m/s (ČSN EN 1991-1-4)
- ČSN EN 50341-1
- ČSN EN 50341-3-19
- ČSN EN 1993-1-1

4. Vodiče fázové, zemní lana a jejich namáhání

Fázové vodiče: 4 x 3 x AlFe 680/89

Výchozí napětí: $\sigma = 76$ MPa

Průměr: $\phi = 0,0358$ m

Hmotnost: $m = 2,556$ Kg/m

Průřez: $A = 761,7$ mm²

Kombinované zemní lano č. 1: 1 x KZL AA/ACS 226/35-26,5

Výchozí napětí: $\sigma = 110$ MPa

Průměr: $\phi = 0,022$ m

Hmotnost: $m = 0,984$ Kg/m

Průřez: $A = 281,7$ mm²

Zemní lano č. 2: 1 x AlFe 180/59

Výchozí napětí: $\sigma = 110$ MPa

Průměr: $\phi = 0,022$ m

Hmotnost: $m = 0,984$ Kg/m

Průřez: $A = 281,7$ mm²

5. Podklady pro výpočet a posouzení stožáru

- Minimální úhel vedení: 120°
- Větrové rozpětí: 300 m
- Váhové rozpětí: 250 m
- Referenční rychlost větru: 26 m/s

6. Stožárová konstrukce

Stožár jsem navrhl jako prostorovou příhradovou konstrukci, vyrobenou z normalizovaných ocelových válcovaných profilů – rovnoramenných úhelníků a „U“ profilů – vzájemně spojených přímo šrouby nebo za pomoci styčnickových plechů. Přírůstek šířky je 100 mm/m od horních prizmatických dílů, které jsou šířky 2300 mm. Materiál pro stožár je konstrukční ocel s označením S 355 J0 (dle ČSN EN 10025). Geometrie stožáru a výšky závěsných bodů izolátorových řetězců jsou patrné z výkresové dokumentace (viz Příloha č. 2).

6.1. Prvky konstrukce:

Dřík stožáru:	hlavní svislá část konstrukce
Diagonála:	úhlopříčné ztužení konstrukce
Konzola:	vodorovná část konstrukce, na níž jsou upevněny fázové vodiče nebo zemnicí lana
Příčka:	kolmé ztužování konstrukce
Rohový úhelník:	svislý prvek konstrukce tvořený válcovaným „L“ profilem (v půdorysném pohledu se nachází v rozích konstrukce)

6.2. Nerozebíratelné spoje

Do výšky cca 2,5 m nad betonový základ stožáru budou provedeny nerozebíratelné šroubové spoje diagonál pomocí tzv. "trhacích šroubů" společnosti SANBORN a.s. Jejich nespornou výhodou je poskytnutí zabezpečení spojů proti neodbornému a neoprávněnému rozebrání jednotlivých dílů konstrukce.

6.3. Uzemnění

Před zpětným přeskokem je vedení chráněno zemnicím lanem a uzemněním stožárů. V běžné trase vedení, kde je měrný půdní odpor do 150 Ω m, ocelovým stožárům slouží k uzemnění pouze patka stožáru a přídatné uzemnění se neprovádí. Do výběhové vzdálenosti 600 – 1000 m od trafostanice je maximální povolená hodnota měrného půdního odporu 100 Ω m. Hodnota odporu uzemnění stožárů s odpojeným zemnicím lanem v běžné trase je 15 Ω a ve výběhové vzdálenosti 10 Ω . Při vyšší hodnotě se provede přídatné uzemnění stožáru. Použití přídatného uzemnění se určí na základě měření měrného půdního odporu v stožárových místech min. 6 týdnů po zabetonování základů.

Pro přídatné uzemnění se používá zemnicího pásku (FeZn). Přídatné uzemnění se provádí jednopaprskovou až maximálně čtyřpaprskovou soustavou. Maximální délka pásku jednoho paprsku je 15 m. Délky pásků větší než 15 m se zanedbávají.

6.4. Ochrana proti korozi

Ochrana ocelové konstrukce bude provedena žárovým pozinkováním v tloušťce 86 μ m (min. 610 g/m²) včetně spojovacích prvků. Konečná povrchová úprava bude provedena nátěrem ve skladbě 1x základní nátěr a 1x krycí nátěr.

6.5. Výstup na stožáry

Stožár bude opatřen stupačkami, připevněnými na dvou vzájemně úhlopříčně protilehlých úhelnících ve vzdálenosti 250 mm - 300 mm, a to počínaje od výšky 2,5 m nad zhlavím betonového základu.

6.6. Upevnění fázových vodičů

Kotevní izolátorové závěsy budou připojeny pomocí kotevního kloubu, jehož připojovací (dlouhé) svorníky budou svislé (rozteč plechů držáku je 80 mm, otvory pro připojení svorníku jsou o průměru 24mm). Kromě úchyty pro závěsný kloub je každá konzola opatřena dvojicí otvorů průměru 24 mm, do nichž je možno pomocí nosného kloubu připevnit pomocné izolační závěsy (viz Příloha č. 4).

7. Zatížení konstrukce

Zatěžovací stavy jsem zpracoval dle ČSN EN 50341-1 a dle ČSN EN 50341-3-19. Výpočet jednotlivých zatěžovacích stavů jsem vytvořil ručně za pomoci tabulkového procesoru. Pro výpočet kombinací, průběhů vnitřních sil a posouzení ocelových profilů jsem použil program Scia Engineer 2011 a pro výpočet účinků větru na konstrukci modul Scia Engineer LTA.

Závěr

Ocelová konstrukce stožáru byla navržena a posouzena v souladu s platnými normami a vyhověla na mezní stav únosnosti i mezní stav použitelnosti. Sjednocení českých a evropských norem znamená pro ocelové příhradové stožáry zesílení konstrukce, větší bezpečnost, ale též nárůst hmotnosti konstrukce. A to zejména díky zatěžovacímu stavu 5b - zabezpečovací zatížení, podélná zatížení, kdy podle ČSN 333300 byl výztužný stožár zatížen dvěma třetinami jednostranného tahu vodičů. Avšak podle ČSN EN 50341-1 a ČSN EN 50341-3-19 dochází k úplnému uvolnění jednostranného tahu vodičů. Jako ztěžující okolnost při výpočtu a stanovení zatěžovacích stavů na stožár, se mi v průběhu zpracování této bakalářské práce jevila neuspořádanost nových norem oproti předchozí normě.

Seznam použitých zdrojů

ČSN EN 50341-1. *Elektrická venkovní vedení s napětím nad AC 45 kV - Část 1: Všeobecné požadavky - Společné specifikace*. Praha: Český normalizační institut, 2002.

ČSN EN 50341-3-19. *Elektrická venkovní vedení s napětím nad 45 kV AC Část 3: Národní normativní aspekty Oddíl 19: Národní normativní aspekty pro Českou republiku*. Praha: Český normalizační institut, 2003.

SCIA ENGINEER. *Tutorial - calculation of electricity pylons - LTA*. 2011.

SCIA ENGINEER. *Manual - Lattice towers analysis*. 2011.

ČSN 33 3300. *Elektrotechnické předpisy. Stavba venkovních silových vedení*. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1984.

LIST, Vladimír a Karel POCHOP. *Mechanika venkovních vedení*. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1955.

ČSN EN 1993-1-1. *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: Český normalizační institut, 2006.

ČSN EN 1090-2. *Provádění ocelových konstrukcí a hliníkových konstrukcí - Část 2: Technické požadavky na ocelové konstrukce*. Praha: Český normalizační institut, 2009.

ČSN EN 1991-1-1. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-1: Obecná zatížení - Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb*. Praha: Český normalizační institut, 2004.

ČSN EN 1991-1-4. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-4: Obecná zatížení - Zatížení větrem*. Praha: Český normalizační institut, 2007.

ČSN EN ISO 9223. *Koroze kovů a slitin – Korozní agresivita atmosfér – Klasifikace, stanovení a odhad*. Praha: Český normalizační institut, 2012.

Seznam použitých zkratek a symbolů

Použité značení je převzato z norem. V případě odlišnosti nebo pro upřesnění jsou vysvětlivky přímo v textu, a proto nebyl jejich zvláštní seznam sestavován.

Seznam příloh

Příloha č. 1: Statický výpočet

Příloha č. 2: Výkres „Schéma stožáru R+6“

Příloha č. 3: Výkres „Výrobní výkres dílu IV“

Příloha č. 4: Výkres „Schéma upevnění fázových vodičů“

Příloha č. 5: Výkres „Axonometrie stožáru“