



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

**FAKULTA STAVEBNÍ
KATEDRA SPECIÁLNÍ GEODÉZIE**

Zaměření průhybů vodičů vedení VVN (porovnání metod)

Measurement of wiring VVN deflections (comparison of methods)

DIPLOMOVÁ PRÁCE



Studijní program: Geodézie a kartografie

Studijní obor: Geodézie a kartografie

Vedoucí práce: Dr. Ing. Zdeněk Skořepa

Praha 2018

Ladislav Pexa





ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Bc. P E X A Jméno: Ladislav Osobní číslo: 424010Zadávací katedra: 11154 (speciální geodézie)Studijní program: GEODÉZIE A KARTOGRAFIEStudijní obor: GEODÉZIE A KARTOGRAFIE

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Zaměření průhybů vodičů vedení VVN (porovnání metod)Název diplomové práce anglicky: Measurement of wiring VVN deflections (comparison of methods)

Pokyny pro vypracování:

Porovnání měřických metod (bezhranolové měření délek, úhlové měření, skenování) z pohledu přesnosti, rychlosti a využitelnosti v daných podmínkách - spolupráce se spol. HRDLIČKA spol. s r.o.

Případně určení vlivu dalších zjišťovaných veličin na výsledný průhyb.

Seznam doporučené literatury:

/1/ HAMPACHER, M. - ŠTRONER, M. Zpracování a analýza měření v inženýrské geodézii. Praha: ČVUT, 2011. 312 s. ISBN 978-80-01-04900-6

/2/ SKOŘEPA, Z.: Geodézie 4. Dotisk 1. vydání. Praha: ČVUT, 2009. 162 s. ISBN 978-80-01-05481-9

/3/ Teorie chyb a vyrovnávací počet [přednášky]. Praha: ČVUT v Praze

/4/ Inženýrská geodézie 2, 3 [přednášky]. Praha: ČVUT v Praze

/5/ Prováděcí dokumentace vedení PS (geodetická část). Praha: ČEPS

Jméno vedoucího diplomové práce: Dr. Ing. Zdeněk SkořepaDatum zadání diplomové práce: 19. 2. 2018Termín odevzdání diplomové práce: 20. 5. 2018*Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku*

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

5.3.2018

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)



Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci s názvem zaměření průhybů vedení VVN vypracoval samostatně, za odborného vedení vedoucího diplomové práce Dr. Ing. Zdeňka Skořepy. Veškeré podklady, ze kterých jsem čerpal jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

V Praze dne ...20.5. 2018.....

.....

podpis



Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat především vedoucímu mé diplomové práce za odborné vedení a pomoc při zpracování této práce.

Dále bych chtěl poděkovat firmě HRDLIČKA spol. za poskytnutí tématu pro diplomovou práci a své rodině za podporu při studiu.



ABSTRAKT

V této diplomové práci jsou zkoumány metody zaměření vodičů z hlediska přesnosti a také z hlediska využitelnosti moderních přístrojových technik v geodézii. Zaměření proběhlo v jeden den všemi metodami současně pro případné další zpracování a porovnání dat. Naměřená data byla následně zpracována. Porovnání naměřených dat bylo vyhotoveno na základě geometrie zaměřených vodičů, a to tak že naměřená data byla prokládána kružnicí a parabolou. Pro seznámení je zde také uveden výpočet řetězovky. To je křivka, kterou vodič přirozeně zaujímá. V závěru práce jsou posouzeny metody zaměření a vlivy ovlivňující výsledný tvar vodiče. Také jsou zde uvedeny výsledky z prokládání měřených dat.

KLÍČOVÁ SLOVA

Vodiče, průhyb, kružnice, parabola, řetězovka

ABSTRACT

Wiring, camber, circle, parabola, catenary

KEYWORDS

This diploma thesis investigates methods of localizing the wires in terms of accuracy and from the point of view of usability of modern instrumentation techniques in geodesy. The localization was taking place in only one day and every investigative method due to following processing and comparison. Obtained data was then processed. The comparison of obtained data was made based on the geometry of the oriented wires and obtained data was fitting by a circle and a parabola. For the introduction, there are mentioned a calculation of catenary. This is the curve which is shaped naturally by wire. At the end of diploma thesis there are comprised every used localized method, influences which affects resulting shape and final results from fitting obtained data.



Obsah

Obsah	8
1. Úvod	10
1. Přenosové soustavy na území ČR	11
2. Obecné údaje o vedení	12
2.1 Stožáry vedení	12
2.2 Údaje o zaměřovaném vedení	12
3. Důvody zaměřování vedení	14
4. Geodetické referenční systémy	15
5. Sítě GNSS v ČR	15
5.1 VRS NOW	15
5.2 CZEPOS	16
6. Měření	17
7. Měřické přístroje a vybavení	20
8. Měřická síť	23
9. Způsoby zaměření vedení	28
9.1 Totální stanicí	29
9.1.1 Bezhranolového měření	29
9.1.2 Protínání z úhlů	31
9.2 Laserové skenování	33
9.3 Využití UAV	34
9.4 Úvaha o přesnosti	34
10. Výpočet podrobných bodů na vodiči	35
11. Definice měřených vodičů	37
12. Křivky	41
12.1 Kružnice	41
12.2 Parabola	44
13. Řetězovka	45
13.1 Souměrné pole	46
13.2 Nesouměrné pole	49
13.3 Stavová rovnice napnutého vodiče	52
13.4 Montážní tabulka	53
14. Určení klimatických podmínek	54
14.1 Meteostanice Davis Vantage Vue	54
14.2 Měření směru a rychlosti větru	55
14.3 Měření teploty a vlhkosti vzduchu	55
14.4 Příklad	56
15. Praktický výpočet křivek	57



15.1 Výpočet bodu na kružnici	57
15.2 Výpočet řetězovky (řetězovka vs. parabola)	60
16. Proložení měřených dat řetězovkou	64
Závěr	65
Použitá literatura	67
Seznam obrázků.....	68
Seznam tabulek	69
Seznam použitých zkratk	69
Seznam příloh.....	70



1. Úvod

Tato diplomová práce byla vytvořena za spolupráce s firmou HRDLIČKA spol. s r.o. Firma nabízí majitelům a správcům elektrických sítí mimo jiné geodetické práce a služby týkající se projektování nových sítí a zaměření stávajících vedení. Firma poskytla pro tuto diplomovou práci veškeré měřické vybavení, které jsem použil v této diplomové práci.

V první části této práce se věnuji metodám zaměření vedení. A to z hlediska časové náročnosti, přesnosti a použitelnosti. Dále uvádím seznámení s problematikou zaměřování vedení a postup výpočtů křivek prokládaných měřenými daty. Následně naleznete ukázky z praktického výpočtu křivek a jejich zhodnocení.

Určení průhybů vodičů je jednou z problematik geodetického zaměření vedení energetické přenosové soustavy (ČEPS). Průhyby vodičů se zjišťují vždy mezi dvojicí stožárů, a to na všech vodičích měřeného rozpětí, pokud není zadáno jinak.

Přesné určení průhybů vodičů je klíčové z hlediska bezpečnosti provozu pod těmito vedeními. Jelikož se jedná o nepřístupné objekty je potřeba využít různých nepřímých metod měření. Zároveň kromě vlastních měřických dat jsou pro určení průhybů potřebné další veličiny, jako je teplota, rychlost a směr větru, zatížení vodičů napětím při měření, které se poté používají k přepočtu skutečného průhybu na přesný normovaný průhyb. Pro takovéto přesné výpočty je potřeba znát nejen průběh měřeného vodiče jako křivky, ale i parametry použitého lana. Pro přepočty na normovaný průhyb je zapotřebí řešení stavové rovnice a zahrnutí i okolních vlivů na vodič, jako je např. ochlazování vlivem větru, ale např. také odrazivost slunečního záření od země.

Obecně je známo, že zavěšený vodič má tvar pružné řetězovky. Jelikož je řešení takovéto křivky poměrně složité, používá se pro výpočty nepružná řetězovka jejíž rovnice je rozvinuta v řadu kde se uvažuje jen její druhý člen což je parabola. V této diplomové práci jsou porovnány křivky vzhledem k zaměřovaným bodům na vodiči. Porovnána byla kružnice, parabola a řetězovka

1. Přenosové soustavy na území ČR

Přenosová soustava 400 a 220 kV slouží k rozvodu elektřiny z velkých elektráren na celé území ČR a je také součástí mezinárodního propojení Evropy. Napájí elektřinou distribuční soustavy, které ji rozvádějí až ke spotřebitelům. Na území ČR se můžeme setkat se třemi typy vedení.

Typ vedení	Přibližná délka vedení [km]
400 kV	2968
220 kV	1371
110 kV	56
Celkem	4395

Pro identifikaci vedení se používá atlas vedení ČR.



Obr. 1 Atlas vedení ČR- ukázka



2. Obecné údaje o vedení

Venkovní vedení jsou tvořena velkou škálou konstrukčních prvků, které se mohou v různých částech linky odlišovat. [8]

2.1 Stožáry vedení

Stožáry vedení dělíme podle funkce na tzv. stožáry kotevní nebo nosné.

- Kotevní stožáry jsou robustnější konstrukce a nacházejí se vždy v lomových bodech trasy a dále v místech, kde to vyžaduje statický výpočet. Jejich hlavním účelem je udržet tíhové zatížení vodičů, výslednice tahových reakcí ze sousedních úseků a výslednice sil v lomových bodech trasy. Z toho vyplývá, že čím větší bude úhel lomu trasy, tím robustnější musí být konstrukce kotevního stožáru.
- Nosné stožáry se nacházejí v přímých úsecích mezi lomovými body a jejich hlavním účelem je udržet tíhové zatížení vodičů. Nosné stožáry jsou proto lehčí konstrukce než stožáry kotevní.

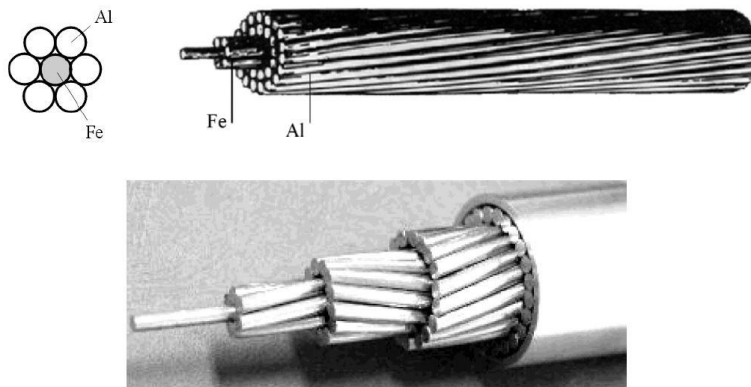
2.2 Údaje o zaměřovaném vedení

V zaměřovaném úseku vedení se vyskytuje jeden kotevní stožár typu „Donau“ a dále 3 nosné stožáry typu „Donau“ viz. *Příloha J*. Konkrétně proběhlo měření mezi stožáry číslo 010-009 na lince označené číslem V414/475 a mezi stožáry 046-047 na lince označené číslem V412/413. Na těchto linkách jsou použity různé druhy Lan viz tabulka 5. Jedná se o lana fázových vodičů (trojsvazek).

Označení fáze	Typ lana
V412	3x 350 AlFe 6
V413	3x 350 AlFe 6
V414	3x AlFe 450/52
V475	3x AlFe 450/52

Tab. 1 Druhy lan v rozpětí

V rozpětích jsou použita lana AlFe jedná se o lano, které má železné jádro (Fe) a jeho obal je tvořen z lan hliníku (Al). Lana typu AlFe jsou pro venkovní vedení nejrozšířenější.



Obr. 2 Lano AlFe

Další z prací geodeta při zaměřování vedení je získání dat elektrického napětí při zaměřování vodiče. Tyto data poskytuje dispečerský řídicí systém ve společnosti ČEPS. Hodnoty sdruženého elektrického napětí jsou potřeba pro přesné výpočty normovaných průhybů. Pro ukázkou zde přikládám tabulku s hodnotami sdruženého elektrického napětí, uvedeno ve sloupci *Value* a hodnoty elektrického napětí jsou uvedeny v *kV*.

Time	Ident	Value
2018-01-12 00:01:40.000	REP V413	418,941864
2018-01-11 23:55:10.000	REP V413	418,9179688
2018-01-11 23:50:20.000	REP V413	419,1457214
2018-01-11 23:41:35.000	REP V413	419,077301
2018-01-11 23:37:55.000	REP V413	419,0856323
2018-01-11 23:25:28.000	REP V413	419,1130371
2018-01-11 23:20:17.000	REP V413	419,1520081

Tab. 2 Ukázka hodnot sdruženého napětí



3. Důvody zaměřování vedení

Vedení VVN se zaměřují na základě objednávek od společností, která vedení spravují. Vedení se mohou zaměřovat po realizaci nových sítí nebo opravách stávajících vedení či jako podklad pro projekt nebo zjištění skutečného stavu. Na realizovaná vedení působí mechanické síly a klimatické podmínky, které vedení v čase mění. Vzhledem k časové změně vodičů dochází k trvalému prodloužení. Tento jev je zapotřebí včas zaznamenat, protože může dojít ke zvětšení průhybu na vedení a může dojít k narušení ochranného pásma a následně k ohrožení života. [8]

- **Trvalé prodloužení vodiče** – Na vodičích dochází nejen k pružným změnám, ale také k trvalým.
 - Prodloužení závislé na času působením mechanického napětí. Způsobené metalurgickým tečením hliníkových drátů.
 - Prodloužení podmíněné velikostí působícího mechanického napětí zapříčeno geometrickým sedáním drátů jednotlivých vrstev vodiče, není závislé na času a je funkcí mechanického zatížení.
 - Prodloužení v důsledku působení mechanického napětí v bodech překřížení drátů nad sebou ležících vrstev vodiče.

Vlivy, které působí na vodiče může rozdělit na dvě části, a to jako venkovní faktory a vnitřní faktory

- Venkovní faktory – jsou nezávislé na vodiči a jsou způsobené venkovními vlivy: mechanickým zatížením, teplotou, strojovým zařízením a technologickými postupy napínání vodičů.
- Vnitřní faktory – zahrnují charakteristiky vodičů: druh materiálu, typ vodiče, způsob výroby vodičů. [8]

4. Geodetické referenční systémy

Při dokumentaci vedení přenosové soustavy se zásadně používá souřadnicový systém S-JTSK a výškový systém Bpv. Přesnost bodů digitální mapy je podle [3] charakterizována 3. třídou přesnosti kde $\sigma_{XY} = 0,14 \text{ m}$ [3] v katastru nemovitostí odpovídá kódu kvality 3.

5. Síť GNSS v ČR

Na území České republiky je několik poskytovatelů korekcí k měření metodou GNSS. Jedním z hlavních jsou CZEPOS (Zeměměřický úřad) a VRS NOW (Trimble).

5.1 VRS NOW

Jedná se o síť referenčních stanic, která poskytuje korekce všem GNSS přijímačům bez ohledu na značku přístroje. Tato síť je v České republice provozována firmou TRIMBLE. Na území ČR je momentálně 29 referenčních stanic rovnoměrně rozmístěných tak, aby koncoví uživatelé měli zajištěn kvalitní příjem RTK korekcí. Navíc s překryvem do Německa a Rakouska. Síť VRS NOW je schválena pro práce v katastru nemovitostí a při měření tak není nutné provádět ověřovací měření dle ustanovení bodu 9.10 písm. c) přílohy k vyhlášce č. 31/1995 Sb. [7]



Obr. 3 Stanice VRS NOW



5.2 CZEPOS

Jedná se o síť pevných referenčních stanic jejíž budování a údržbu zajišťuje a financuje Zeměměřický úřad jako součást geodetických základů České republiky. CZEPOS poskytuje svým uživatelům globálních navigačních systémů korekční data pro přesné určení pozice. Síť je také schválena pro práce v katastru nemovitostí. [6]



Obr. 4 Stanice CZEPOS



6. Měření

Dne 11.1.2018 proběhlo zaměření průhybů na zadaném úseků vedení. Zároveň během měření totální stanicí proběhlo skenování vedení a snímkování pomocí UAV

Měření proběhlo v katastrálním území Ořech (okres Praha-západ), nedaleko rozvodny ČEPS Řeporyje.

Počasí: zataženo 3,6 °C, vítr 1 m/s, 1016 hPa

Postup prací: V zájmovém území byla nejprve provedena rekognoskace zaměřovaného vedení a okolního terénu. Poté byly stabilizovány body pomocné měřické sítě a to pomocí měřických hřebů, dřevěných kolíků, roxorem a reflexní folií. Body byly následně zaměřeny pomocí GNSS s 15 sekundovou observací s dvojitou observací v rozmezí dnů. Byl proveden výpočet „nebezpečného času“ pro observaci po 39 dnech pro systémy GPS- NAVSTAR a GLONASS podle bodu 9.5 přílohy k vyhlášce č. 31/1995 Sb.

Systém	Nebezpečný čas pro měření	Doba měření
GPS-NAVSTAR	10 h 54 minut až 12 h 54 minut	14 h 20 minut až 16 h 10 minut
GLONASS	4 h 0 minut až 6 h 0 minut	13 h 00 minut až 16 h 03 minut

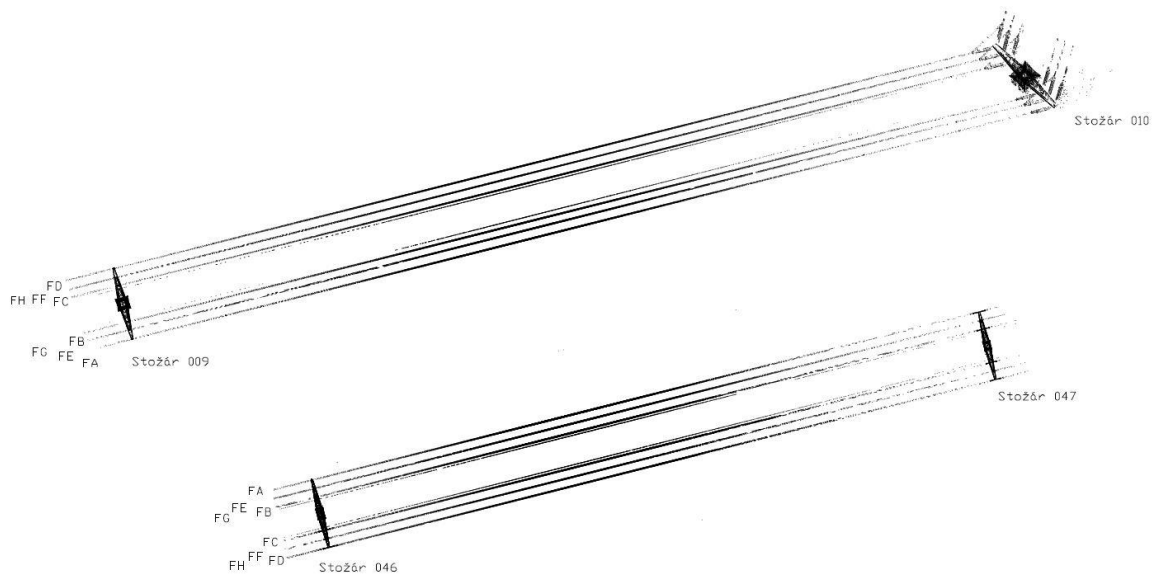
Tab. 3 Výpočet nebezpečného času

Následně z bodů měřické sítě proběhlo geodetické zaměření refl. folií. Tím byly vytvořeny pomocné měřické body sítě. Délka rajónu nepřekračuje délku nejdelší orientace. Protože délka rajónu nepřekračuje 800 m byly směry měřeny v 1. skupině.

Podrobné měření proběhlo z volného polárního stanoviska (přechodného), tak aby bylo možné pomocí bezhranolového měření cílit na úchyty vodičů. Vzhledem ke vzdálenosti přístroje od stožárů nebylo možné měřit všechny potřebné body, a tak bylo zapotřebí zvolit další volné polární stanovisko. Přístroj byl na stanoviskách orientován na co nejvíce viditelných orientačních bodů. Během měření podrobných bodů na vodiči bylo využito kódování k rozlišení jednotlivých vodičů a k zaznamenávání času měření s přesností na minuty. V zájmovém prostoru byla instalována meteorologická stanice a vyhotoven záznam dat na stanici Výpočet volného stanoviska proběhl při zpracování v programu GROMA.

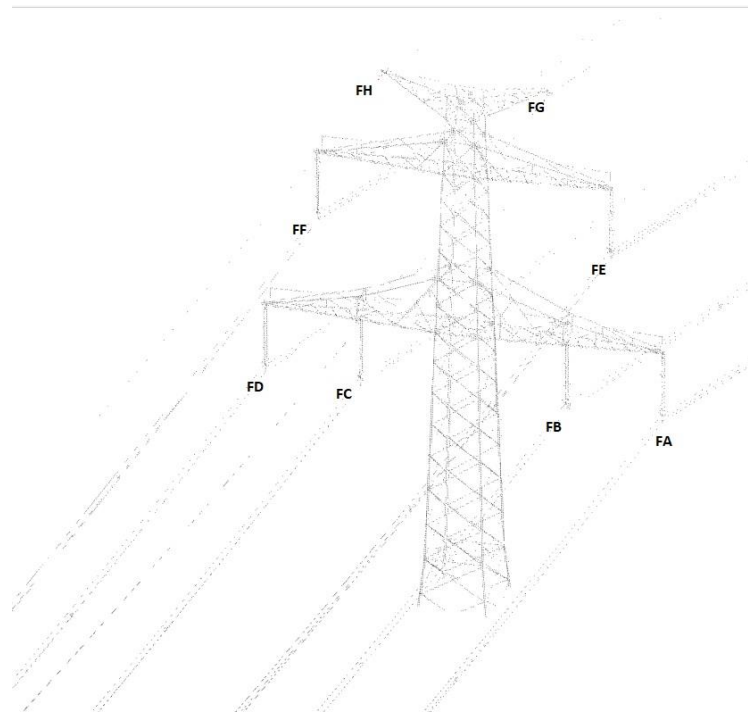


Postup výpočtu: Zápisník byl nahrán do programu GROMA, byly opraveny případné chyby v kódování. Následně byla zpracována měření v obou polohách dalekohledu. Po zpracování zápisníku byl proveden výpočet stanovisek pomocí funkce „volné stanovisko“ v programu GROMA. Výpočet je proveden pomocí podobnostní transformace-Helmertova transformace. Po výpočtu souřadnic stanovisek byly vypočítány podrobné body měření. Byly vypočítány polární metodou body úchyťů vodičů. Následně pro každý vodič zvlášť byl proveden výpočet podrobných bodů pomocí „průsečíku přímky a směru“, kde byly vloženy body jedné přímky jako úchyťové body na vodiči a druhou přímku tvořilo stanovisko a změřený směr. Výšky podrobných bodů byly vypočítány trigonometricky. Zápisníky měření a protokoly o výpočtech jsou uvedeny v elektronické příloze.



Obr. 5 Přehled situace a označení kódů

Na obrázku 5 je znázorněno označení stožárů a označení jednotlivých lan v rozpětí.



Obr. 6 Kódy na jednotlivých lanech

Na obr.6 je uvedeno označení jednotlivých lan v kódování při měření.

Výpočetní protokoly a surová měřená data jsou součástí elektronické přílohy.

7. Měřické přístroje a vybavení

Při budování sítě pomocných měřických bodů a podrobném měření vodičů byl použit přístroj Trimble S5 jedná se o robotizovanou totální stanici s pulzním laserovým dálkoměrem s dosahem měření vzdálenosti na materiál o odrazivosti 90 % 2 200 m. Rozptyl laserového paprsku je udáván výrobcem v hodnotách horizontální rozptyl 4 cm/100 m a ve vertikálním směru 8 cm/100 m. Přesnost měření úhlů $\sigma_{HZ} = 0,6 \text{ mgon}$ a přesnost měření délky na reflexní fólii je $\sigma_d = 2 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}$ v režimu standard. Přesnost měření délky na hranol $\sigma_d = 1 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}$ v režimu standard. [7]



Obr. 7 Trimble S5

Pro GNSS měření byl použit přijímač Trimble R6, R4 s korekcemi VRS NOW.



Skenování vodičů bylo provedeno multistanicí Trimble SX10, přístroj byl v poli zorientován na vytvořené bodové pole samotný sken byl proveden pouze z jednoho stanoviska. Stanice je vybavena pulzním dálkoměrem. Pro skenování je využit princip liniového laserového skenování pomocí rotačního zrcátka v objektivu. Vzdálenosti jsou při skenování měřeny na principu měření doby dráhy ultrarychlého pulzu pomocí technologie Trimble Lightning. [7]

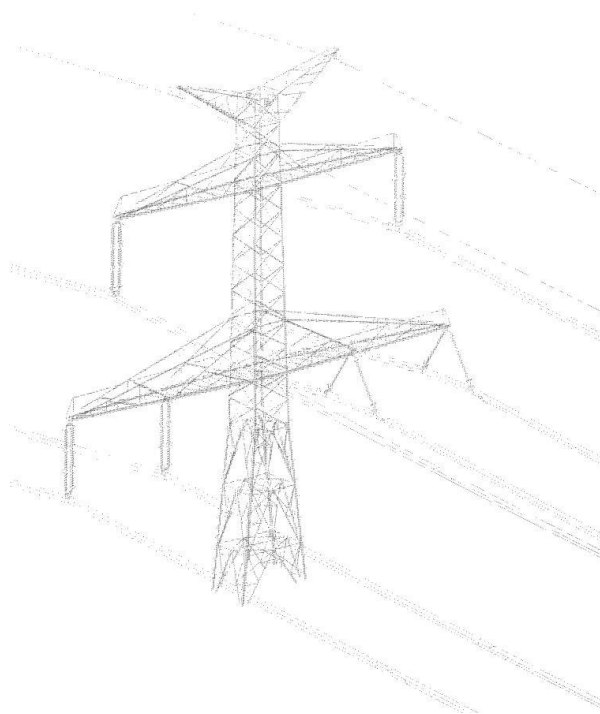
Přesnost přístroje SX 10 udávaná výrobcem	
Přesnost TS	
měření úhlu	0,3 mgon
měření vzdálenosti hranol	1 mm+1,5 ppm
vzdálenost reflexní folie	2 mm+1,5 ppm
Přesnost skenování	
úhlová	1,5 mgon
3D přesnost bodu 100m	2,5 mm

Tab. 4 Přesnost přístroje SX10

Skenovalo se v režimu standart s hustotou bodů 12,5 mm na 50 m, aby výsledné mračno nebylo příliš velké bylo v přístroji vymezené zájmové území. Velikost laserové stopy přístroje je 14 mm na 100 m. Tato TS nemá jako klasické přístroje okulár, veškeré ovládání je zde provozováno přes kompatibilní odolný tablet. [7]



Obr. 8 Trimble SX10



Obr. 9 Ukázka skenovaných dat

V rámci pokusu v této diplomové práci bylo zadané rozpětí nasnímáno firmou DJI dronem Matrice 210 RTK. Tento dron disponuje kamerou DJI X5S s objektivem 12 mm.

Pořízené snímky mají rozlišení 2,6 cm/ px. Zájmové území bylo nalítáno v 5 různých výškových úrovních.



Obr. 10 DJI Matrice 210 RTK

Pro vyhodnocení dat z dronu byly v zájmovém území rozmístěny vlíčovací body. Tyto body byly signalizovány pomocí nastříkaného barevného kříže. Souřadnice vlíčovacích bodů (měřický hřeb) byly určeny pomocí GNSS.



Obr. 11 Vlíčovací bod

8. Měřická síť

Body měřické sítě byly rozmístěny s ohledem na okolní terén v zaměřovaném území viz. schéma měřické sítě.



Obr. 12 Měřická síť

Body pomocné měřické sítě byly stabilizovány měřickými hřeby, reflexní folií, popřípadě dřevěnými kolíky. Souřadnice bodů byly určeny metodou GNSS nebo dvakrát rajónem (ze dvou různých stanovisek). Body byly v terénu stabilizovány různě viz tabulka 4



Seznam souřadnic				
Bod	Y [m]	X [m]	H [m]	Stabilizace
4000	753015,560	1050917,378	353,513	ROXOR
4005	752853,344	1050989,488	352,471	HREB
4006	752857,161	1050856,685	355,708	HREB
4008	752985,834	1050728,827	359,103	KOLIK
4009	753002,126	1050833,855	355,217	HREB
9001	752942,620	1050969,425	350,695	KOLIK
9002	752947,164	1050901,473	351,679	KOLIK
S1	753114,683	1050899,670	359,256	STITEK
S2	753124,500	1051010,444	356,617	STITEK
S3	753091,848	1051047,929	353,414	STITEK
S4	752861,514	1050981,079	354,002	STITEK
S5	752851,325	1050839,630	358,198	STITEK

Tab. 5 Seznam souřadnic S-JTSK a výšek Bpv



Obr. 13 Stabilizace bodu-měřický hřeb



Obr. 14 Stabilizace bodu- refl. fólie

Souřadnice bodů byly určeny pomocí GNSS s využitím služby VRS NOW od poskytovatele Trimble.



Souřadnice reflexních folií byly určeny dvakrát rajónem ze dvou různých stanovisek. V terénu byly zvoleny dva body tak a by bylo vidět na určované body a na co nejvíce bodů pomocné měřické sítě. Souřadnice bodů byly vypočteny pomocí volného polárního stanoviška.

Kontrola bodů 9001 a 9002 vypočtené volným stanoviškem			
body	Délka ze souřadnic [m]	Délka měřená [m]	rozdíl [m]
9001-9002	68,104	68,104	0,000

Tab. 6 Kontrola bodů

Takto vybudovaná síť se využije pro podrobné měření bodů na vodiči z volného polárního stanoviška. Pro kontrolu souřadnic bodů určených GNSS byly vypočteny délky a převýšení mezi body sítě tyto hodnoty byly porovnány s hodnotami naměřenými pomocí totální stanice viz tab.5. V terénu byly zaměřeny šikmé délky, ty byly redukovány na délky vodorovné pomocí vztahu. Vodorovné délky byly dále zredukovány pomocí měřítka zobrazení m_{JTSK} do systému S-JTSK, měřítka zobrazení m_{JTSK} bylo vypočteno v programovém systému GROMA. Výsledná vodorovná délka pro porovnání s délkou určenou z GNSS měření je dána vztahem (8.2)

$$d_h = d_s \cdot \sin(z) , \quad (8.1)$$

kde d_s je měřená šikmá délka

z je výsledný zenitový úhel.

Redukce z nadmořské výšky a do zobrazovací roviny S-JTSK

$$\begin{aligned} d &= d_h \cdot m & (8.2) \\ m &= m_h \cdot m_{JTSK} \\ m &= \frac{R}{R + H} \cdot m_{JTSK}, \end{aligned}$$

kde $R=6380$ km (poloměr Země) a H je nadmořská výška bodu.



Kde výsledné měřítko $m = 0,999844936345$ zahrnuje redukcí z nadmořské výšky a zobrazovací roviny S-JTSK. Vztažené k bodu pomocné měřické sítě č. 4000.

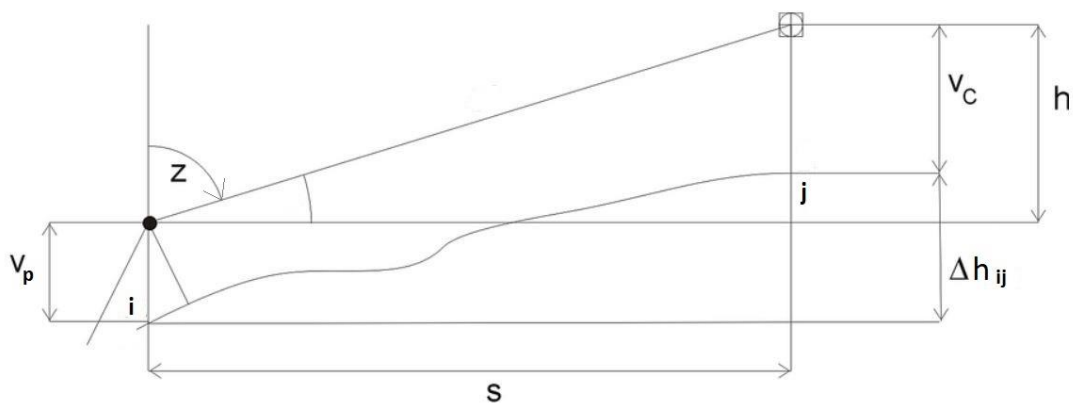
Vodorovná délka ze souřadnic GNSS měření byla vypočtena vztahem (8.3)

$$d_{ij} = \sqrt{(X_j - X_i)^2 + (Y_j - Y_i)^2}. \quad (8.3)$$

Porovnání měřených délek			
body	z GNNS [m]	Z TS [m]	rozdíl [m]
4000-4009	84,596	84,596	0,000
4000-4005	177,521	177,530	0,009
4000-4006	169,629	169,635	0,006
4000-4008	190,880	190,882	0,002
4005-4006	132,858	132,859	0,001

Tab. 7 Porovnání délek

Pro porovnání měřených převýšení totální stanicí byl použit vztah (8.4). Výsledné hodnoty rozdílů v určení převýšení jsou uvedeny v tabulce 6.



Obr. 15 Trigonometrické určení výšky

$$\Delta h_{ij} = s \cdot \cotg z + v_p - v_c, \quad (8.4)$$

kde s vodorovná délka

v_p výška přístroje

v_c výška cíle

z zenitový uhel



Porovnání měřených převýšení			
body	převýšení GNSS [m]	převýšení TS [m]	rozdíl [m]
4000-4009	1,704	1,689	-0,015
4000-4005	-1,042	-1,039	0,003
4000-4006	2,195	2,204	0,009
4000-4008	5,590	5,599	0,009
4005-4006	3,237	3,245	0,008

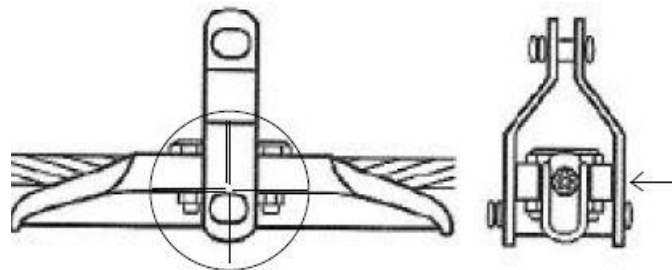
Tab. 8 Porovnání převýšení

Z výsledných hodnot rozdílů mezi měřenými délkami nebo převýšeními vidíme že souřadnice bodů určených pomocí GNSS vyhovují pro další měření.

9. Způsoby zaměření vedení

V této diplomové práci bylo provedeno testování různých způsobů zaměření stávajícího vedení. Použité metody byly posouzeny z hlediska časové výhodnosti, a to i s následným zpracováním naměřených dat.

Pro zjištění průhybů na vedeních je zapotřebí správně určit souřadnice bodů na nosných závěsech. Na sledovaném vedení je vodič ukotven k izolátoru pomocí výkyvné nosné svorky a kotevním nosným závěsem pro 400 kV. Tyto svorky sledují pohyb vodiče a tím snižují dynamické namáhání ve vodiči, které vzniká při výstupu vodiče ze svorky.



Obr. 16 Svorka

Protože nejsou používány na vedeních jen nosné svorky výkyvné, ale typů uchycení vodiče je několik jsou v následující kapitole č. 11 znázorněny různé typy kotevních závěsů.

Aby se při zaměřování poloha kotvicích bodů co nejméně změnila je potřeba provést zaměření co možná nejrychleji a při dodržení určitých klimatických podmínek. To samé platí i při zaměřování bodů na samotném vodiči. Tyto body je potřeba rozmístit rovnoměrně v daném rozpětí. Pro zachycení průběhu vodiče je zapotřebí zaměření nejméně tří bodů na vodiči.

Vzhledem k velikosti nosných svorek je potřeba dbát na pečlivost cílení při určování polohy bodu a zamezit tak vzniku hrubých chyb, které nám mohou negativně ovlivnit výsledek.



9.1 Totální stanicí

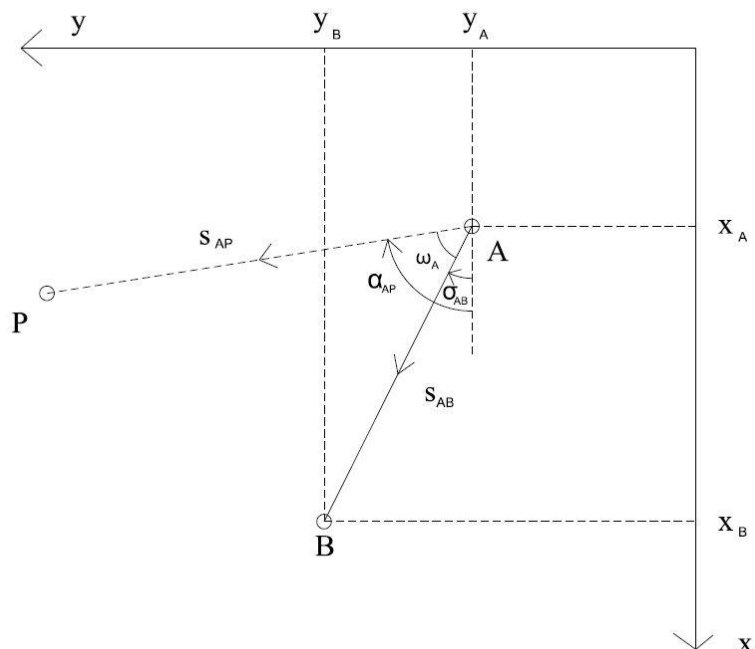
9.1.1 Bezhranolového měření

Jedná se o metodu elektrooptického měření délek, která využívá elektromagnetické záření ve viditelné části spektra. Principem určení vzdálenosti může být změření fázového rozdílu (fázový dálkoměr) nebo tranzitního času (pulsní dálkoměr). Bezhranolové dálkoměry umožňují změřit vzdálenost s využitím odrazu od difúzního povrchu. Elektronické dálkoměry měří šikmou délku, tzn. délku přímé spojnice přístroj cíl které se dále redukují na vodorovné. [2]

Bezhranolového měření délek bylo využito v této diplomové práci pro změření vzdálenosti na úchyty vodiče k izolátoru. Vzhledem k tomu že paprsek vysílaný z přístroje má určitou hodnotu rozptylu záleží na použitém přístroji, obvykle tuto hodnotu uvádí výrobce na vzdálenost 100 m délky. Je tedy vhodné stát s přístrojem tak, aby bylo možné změřit vzdálenost na všechny závěsy vodiče na daném rozpětí. Pro zaměření podrobných bodů na vodiči lze využít bezhranolové měření délek, avšak vzhledem k průměru vodiče a velikosti rozptylu paprsku nemusí měření být správné. Podrobné body na vodiči je přesnější určit uhlovým měřením. Body na vodiči se při zpracování počítají jako průsečík přímky a změřeného směru.



Souřadnice bodů určených pomocí bezhranolového měření se určují pomocí rajónu.



Obr. 17 Rajón

Kde máme měřené směry ψ_{AB} , ψ_{AP} a délku s_{AP} dále známe souřadnice bodů A, B.

Výpočtem určíme souřadnice bodu P pomocí následujících vztahů

$$y_P = y_A + s_{AP} \sin \alpha_{AP}$$

$$x_P = x_A + s_{AP} \cos \alpha_{AP}$$

Kde jižník α_{AP}

$$\alpha_{AP} = \psi_{AP} + (\sigma_{AB} - \psi_{AB})$$

Přesnost souřadnic bodu P pokud uvážíme jen vliv měření je charakterizována směrodatnou odchylkou

$$\sigma_{xy} = \sqrt{\frac{1}{2}(\sigma_d^2 \sin^2 z + \sigma_{Hz}^2 d_s^2)}$$



Uvážíme tedy příklad kde $z = 90 \text{ gon}$, $d_s = 200 \text{ m}$ (š. d.), $\sigma_{HZ} = 0,6 \text{ mgon}$, $\sigma_d = 2 \text{ mm}$

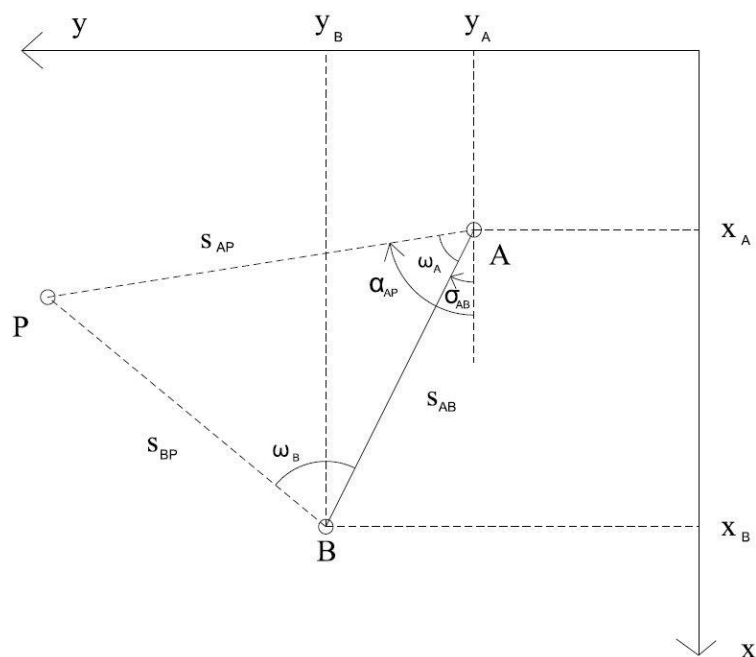
$$\sigma_{xy} = \sqrt{\frac{1}{2} (2^2 \sin^2(90) + (2 \cdot 10^5)^2 (0,0006 \frac{\pi}{200})^2)} = 10,6 \text{ mm}$$

Dostaneme výsledek, že přesnost souřadnic bodu P určená rajónem použitým přístrojem je přibližně 11 mm. [1]

Při vhodném postavení přístroje lze takto dané rozpětí velice rychle zaměřit což je z ekonomického hlediska výhodné. Při delších vzdálenostech od stožárů se nám nemusí podařit změřit délku. Je potřeba zvolit vhodnější postavení přístroje nebo využít metodu protínání z úhlů. Vzhledem k dnešním přesnostem používaných dálkoměrů jsou tyto metody svojí přesností velice podobné a pro účely takovýchto měření vyhovující

9.1.2 Protínání z úhlů

Metoda protínání z úhlů se dá spolehlivě použít pro určení souřadnic bodů uchycení vodiče. Vzhledem k tomu, že se neurčuje pouze jeden vodič, ale všechny v daném rozpětí narůstá nám touto metodou dvojnásobek práce oproti využití bezhranolového měření (měří se ze dvou stanovisek). A je zde také nutná určitá zkušenost měřiče, protože je potřeba při zaměření z druhého stanoviska základny cílit na totožný bod. Vzhledem k podmínkám kudy vedení na území ČR prochází např. zalesněné okolí nemusí být tato metoda vždy použitelná, jelikož by měl být dodržen úhel protnutí 30-170 g na určovaných bodech. Co se týče přesnosti metody, jedná se o přesnou metodu určení bodů uchycení vodičů. Vzhledem k nutnosti měřit body z obou základen se jedná o časově náročnou metodu.



Obr. 18 Protínání z úhlů

Pokud máme více směrů v orientacích na bodě A nebo B vypočítáme výsledný orientační posun o a výsledný směrnik $\alpha_{AP} = o_{AP} + \psi_{AP}$).

Při protínání z úhlů máme dány souřadnice bodů A, B a měříme úhly ω_A, ω_B cílem je určit souřadnice bodu P . Nejprve je zapotřebí pomocí sinové věty vypočítat vzdálenosti.

Výpočet vzdálenosti s podle sinové věty

$$\frac{S_{AP}}{\sin \omega_B} = \frac{S_{AB}}{\sin(200 - (\omega_A + \omega_B))} \rightarrow S_{AP} = S_{AB} \frac{\sin \omega_B}{\sin(\omega_A + \omega_B)}$$

Výpočet souřadnic bodu P určeno rajónem

$$\begin{aligned} y_P &= y_A + S_{AP} \sin \alpha_{AP} \\ x_P &= x_A + S_{AP} \cos \alpha_{AP}, \end{aligned}$$

kde jižník α_{AP}

$$\alpha_{AP} = \psi_{AP} + (\sigma_{AB} - \psi_{AB}).$$

Obdobně je proveden výpočet z bodu B kontrolou je, že výsledné souřadnice jsou stejné



Přesnost bodu P určeného protínáním z úhlů, pokud uvážíme jen závislost na měření je

$$\sigma_{xy} = \frac{\sigma_{HZ}}{\sin \omega_P} \sqrt{s_{AP}^2 + s_{BP}^2}$$

Příklad pro

$$s_{AP} = 150 \text{ m}, s_{BP} = 200 \text{ m}, \omega_P = 30 \text{ gon} \text{ a } \sigma_{HZ} = 0,6 \text{ mgon}$$

$$\sigma_{xy} = \frac{0,0006 \cdot \pi}{200 \cdot \sin 30} \sqrt{150^2 + 200^2} \cong 5,2 \text{ mm}$$

Pro různé hodnoty ω_P

ω_P [gon]	30	50	70	100	120	140	170
σ_{xy} [mm]	5,2	3,3	2,6	2,4	2,5	2,9	5,2

Tab. 9 Protínání z úhlů – přesnosti podle velikosti úhlu

Zpracováno podle [1].

9.2 Laserové skenování

Jedná se o prostorovou polární metodu, kde výsledkem je mračno bodů. Tato metoda nemusí sloužit jen pro zaměření sledovaných průhybů, ale i pro zaměření okolního terénu, který se při zpracování kompletní provozní dokumentace vedení zaměřuje. Tato práce se však zabývá pouze zaměřením samotných vedení. Pro takové měření lze laserové skenování využít, pokud mračno bodů bude dostatečně husté v okolí uchycení vodičů. Na samotném vodiči nemusí být mračno bodů tak husté vzhledem k tomu, že je dostatečné určit minimálně 3 body na samotném vodiči. Pokud se jedná jen o zachycení podrobných bodů na vodiči, jedná se o pře-určenou metodu. Nicméně při použití kvalitního skeneru lze dosáhnout stejného časového výsledku, jako při klasickém geodetickém měření. Co se týče přesnosti určení souřadnic bodu jedná se o stejný případ jako při využití bezhranolového měření totální stanicí. Souřadnice zaměřovaných bodů jsou vypočítány pomocí rajónu. Pro dobrou interpretaci výsledků zde záleží na hustotě skenovaného mračna a odečtením bodu úchyty (konců vodičů) z mračna bodů.



9.3 Využití UAV

V rámci této diplomové práce bylo vyzkoušeno také snímání průběh vedení pomocí dronu firmy DJI. Létalo se v pěti výškových úrovních a to 4 lety po okrajích vedení v ochranném pásmu od vedení a jeden let přímo nad vedením. Po vyhodnocení snímků softwarem Agisoft PhotoScan bylo zjištěno, že pro zjišťování průběhu vedení je použití dronu nemožné, nicméně pořízené snímky lze využít pro výpočet digitálního modelu povrchu (DMP) v okolí vedení. Výsledky se dají použít pro tvorbu 3D vektorové mapy, odpadá tak značná práce geodeta, který musí pod vedením zaměřovat body v pravidelném čtvercové síti. Na geodeta zbývá tak sběr dat, které z DMP nelze vyhodnotit. Zda je tato metoda ekonomicky výhodná nemohu posoudit.

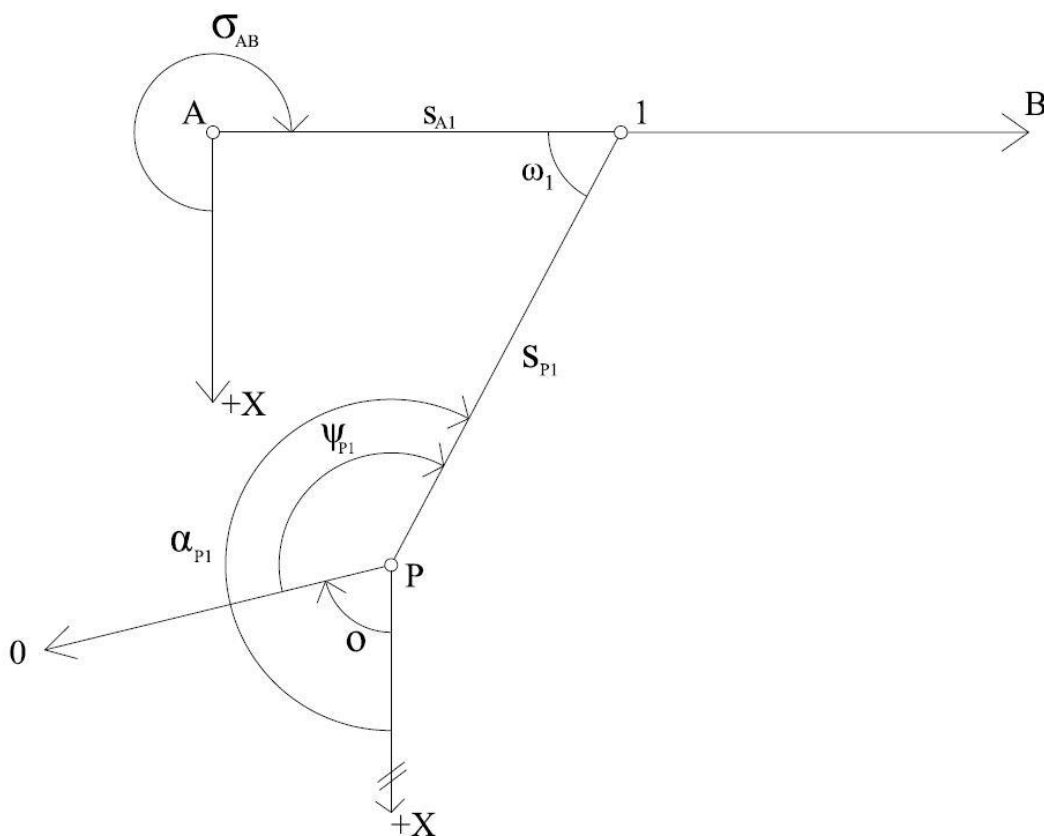
9.4 Úvaha o přesnosti

Vzhledem k použitým metodám v diplomové práci se jeví z hlediska přesnosti zjišťování průběhu vodiče a jeho určení závěsných bodů vodiče, jako nejpřesnější metoda protínání z úhlů s kombinací měření úhlů na určované body na vodiči, a to vzhledem ke kontrole určení bodu z druhého stanoviska. Metoda s využitím bezhranolového měření s měřením úhlů na určované body vodiče je přesnější než laserové skenování v jasném definování počátku vodiče. Laserové skenování dosahuje přibližně stejné přístrojové přesnosti, avšak na kvalitě výsledku záleží zvolená hustota mračna bodů. To se však může značně projevit v časové náročnosti měření. Přesnost měřených dat formálně zajišťuje přesnost použitého přístroje.

Vzhledem k tomu, že geodetické měření totální stanicí není náročné na následné zpracování z hlediska kancelářského vybavení, jedná se o velice efektivní metody. Laserové skenování je rychlé ve sběru měřených dat, ale značně přibývá kancelářské práce a nákladů na vybavení kvalitním softwarem a hardware, na které je mračno zpracováváno. Pro zaměření průhybu na vodičích se jeví jako nejvíce efektivní metoda bezhranolového měření, a to jak z hlediska přesnosti, tak ekonomie. Metoda s využitím UAV je pro určování průhybů na vodiči nevhodná.

10. Výpočet podrobných bodů na vodiči

Vzhledem k tomu, že se při výpočtech uvažují podrobné body na vodiči ve svislé rovině, která je definována úchyty vodičů, jsou podrobné body zaměřovány pouze úhlově a neuvažuje se tedy vychýlení bodu vlivem větru. Aby vychýlení, neovlivňovalo výsledek měření je potřeba zaměřovat vodiče do rychlosti větru 1,6–3,3 m/s (podle Beaufortovi stupnice síly větru do stupně č. 2). Podrobné body jsou pak počítány jako průsečík svislé roviny se směrem. V této diplomové práci byly podrobné body vypočítány v programovém systému GROMA. Přímka je tvořena dvěma úchyty body A, B a druhá přímka je tvořena stanoviskem přístroje P a měřeným směrem viz obr.19. Výška určených bodů je vypočítána trigonometricky.



Obr. 19 Výpočet bodu na přímce



Nejprve vypočítáme směrnik na určovaný bod. Vzhledem k tomu, že ze stanoviska je měřeno více bodů orientace je zapotřebí vypočítat orientační posun o .

$$\alpha_{p1} = o + \psi_{p1}.$$

Dále si určíme rovnici přímky z bodu P pro výpočet souřadnice bodu č.1 na vodiči

$$\begin{pmatrix} X_1 \\ Y_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_p \\ Y_p \end{pmatrix} + s_{p1} \mathbf{n}_p,$$

kde směrový vektor přímky $\mathbf{n}_p = (\cos \alpha_{p1}, \sin \alpha_{p1})^T$.

Rovnice přímky z bodu A

$$\begin{pmatrix} X_1 \\ Y_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_A \\ Y_A \end{pmatrix} + s_{A1} \mathbf{n}_A,$$

kde směrový vektor přímky $\mathbf{n}_A = (\cos \sigma_{AB}, \sin \sigma_{AB})^T$.

Z rovnosti levých stran rovnic vyplývá rovnost pravých stran.

$$\mathbf{X}_p + s_{p1} \mathbf{n}_p = \mathbf{X}_A + s_{A1} \mathbf{n}_A$$

$$\mathbf{X}_A - \mathbf{X}_p = s_{p1} \mathbf{n}_p - s_{A1} \mathbf{n}_A$$

$$\begin{pmatrix} \Delta X_{pA} \\ \Delta Y_{pA} \end{pmatrix} = s_{p1} \begin{pmatrix} \cos \alpha_{p1} \\ \sin \alpha_{p1} \end{pmatrix} - s_{A1} \begin{pmatrix} \cos \sigma_{AB} \\ \sin \sigma_{AB} \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{M} = \begin{pmatrix} \cos \alpha_{p1} & -\cos \sigma_{AB} \\ \sin \alpha_{p1} & -\sin \sigma_{AB} \end{pmatrix}, \quad \mathbf{x} = \begin{pmatrix} s_{p1} \\ s_{A1} \end{pmatrix}, \quad \mathbf{X}_{AB} = \begin{pmatrix} \Delta X_{pA} \\ \Delta Y_{pA} \end{pmatrix}.$$

Neznáme délky určené vektorem $\mathbf{x} = (s_{p1}, s_{A1})^T$ vypočteme z rovnice \mathbf{x}

$$\mathbf{x} = \mathbf{M}^{-1} \mathbf{X}_{AB}.$$

Následně můžeme vypočítat souřadnice podrobného bodu pomocí rajónu, buď z bodu P nebo z bodu A kde úhel protnutí $\omega_1 = \alpha_{p1} - \sigma_{AB}$ Kde úhel protnutí leží v intervalu 30-170 gon viz tab. 9.

$$y_1 = y_A + s_{A1} \sin \sigma_{AB}$$

$$x_1 = x_A + s_{A1} \cos \sigma_{AB}.$$

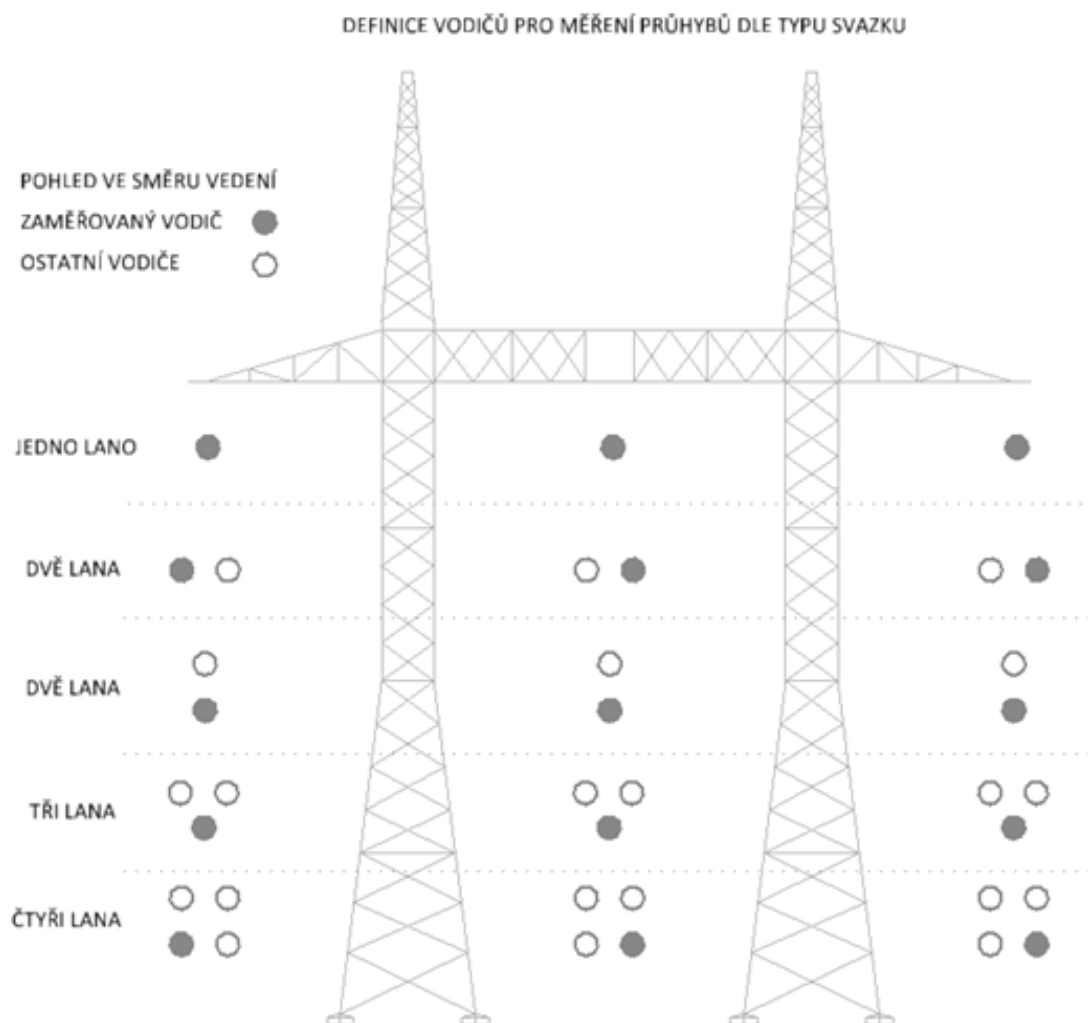
Zpracováno podle [1].



11. Definice měřených vodičů

Zpracováno podle [3]. Pro zakres vlastního vedení do podélných profilů je potřeba, pro zpracovatele technické části zaměřit body na vlastním vedení pro všechny vodiče a všechna instalovaná zemnicí lana a kotvící zemnicí lana. Pro určení průběhu je třeba zaměřit dle TN45 minimálně tři body v jednom rozpětí, a to rovnoměrně rozmístěné. Navíc se také měří místa závěsů, které se do těchto bodů nepočítají. U jednotlivých měřených rozpětí je třeba definovat rozpětí číslem počátečního a koncového podpěrného bodu v případě souběhů více vedení je potřeba uvést i číslo vedení. Dále je důležité uvést datum a čas měření, teplotu, rychlost a směr větru, počasí při měření (např. jasno, zataženo, polojasno atd.), proudové zatížení linky v době měření a označení vodičů. Měření teploty, rychlosti a směru větru bude provedeno s umístěním měřicího stanoviště ideálně co nejvýše pod danou linkou, ale tak aby nedošlo k ohrožení života a bezpečnosti práce. Teplota by měla být měřena tak, aby nedocházelo k ovlivnění dopadajícím slunečním zářením (ideálně za použití aspiračního radiačního štítu).

Rychlost větru je měřena v m/s s přesností na jedno desetinné místo. Směr větru je určen jako orientovaný úhel od severu po směru hodinových ručiček. Naměřené hodnoty dostávají jako průměrné 10-ti minutové popřípadě 15-ti minutové (při větší proměnlivosti směru) hodnoty. Směr větru se zapisuje po desítkách stupňů ve tvaru např. 170°.

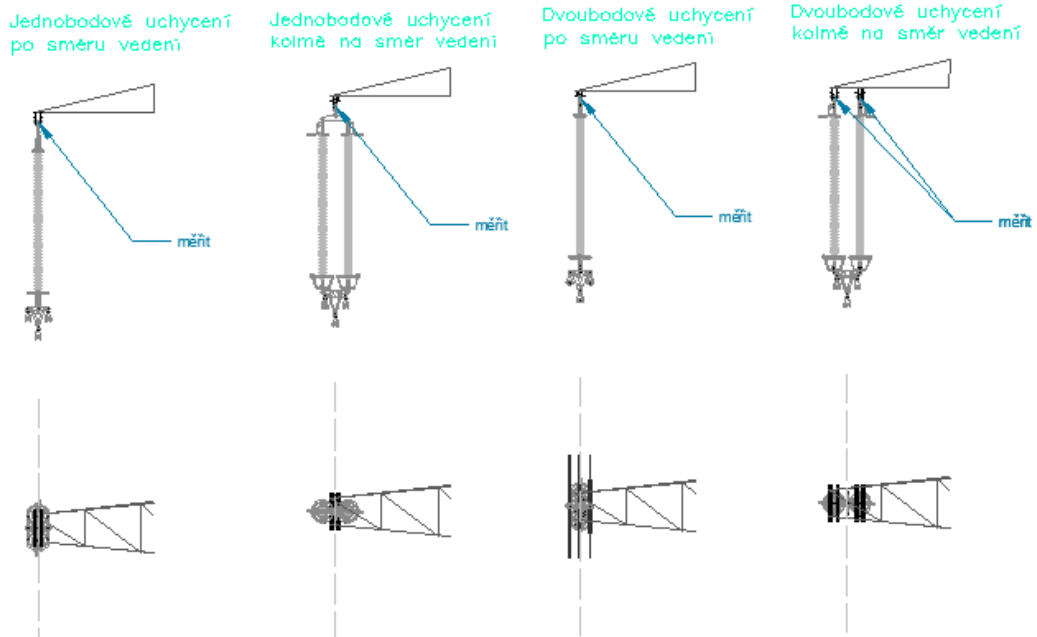


Obr. 20 Definice vodičů pro měření dle typu svazku

Pro potřeby konstrukce ochranného pásma vedení se zaměřují uchycení izolátorových závěsů na krajních vodičích v rámci celého rozsahu zpracovávaného vedení. V každém rozpětí se zaměří vždy dva krajní body po obou stranách. Definice bodů pro různé druhy použitých technologií je zobrazena na obrázku č. 20 a 21.

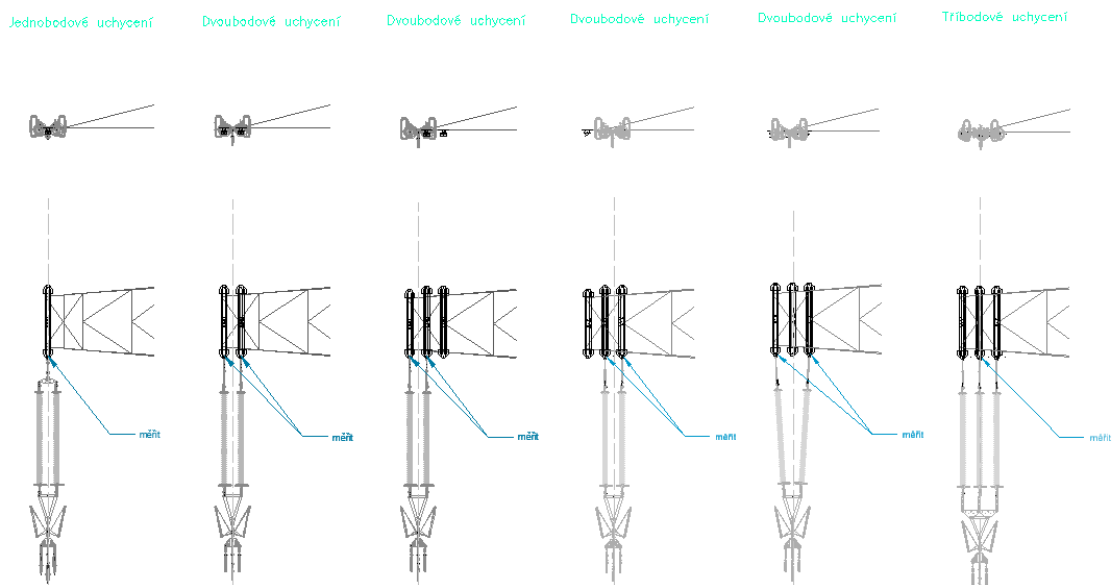


TYPY UCHYCENÍ NOSNÝCH ZÁVĚSŮ



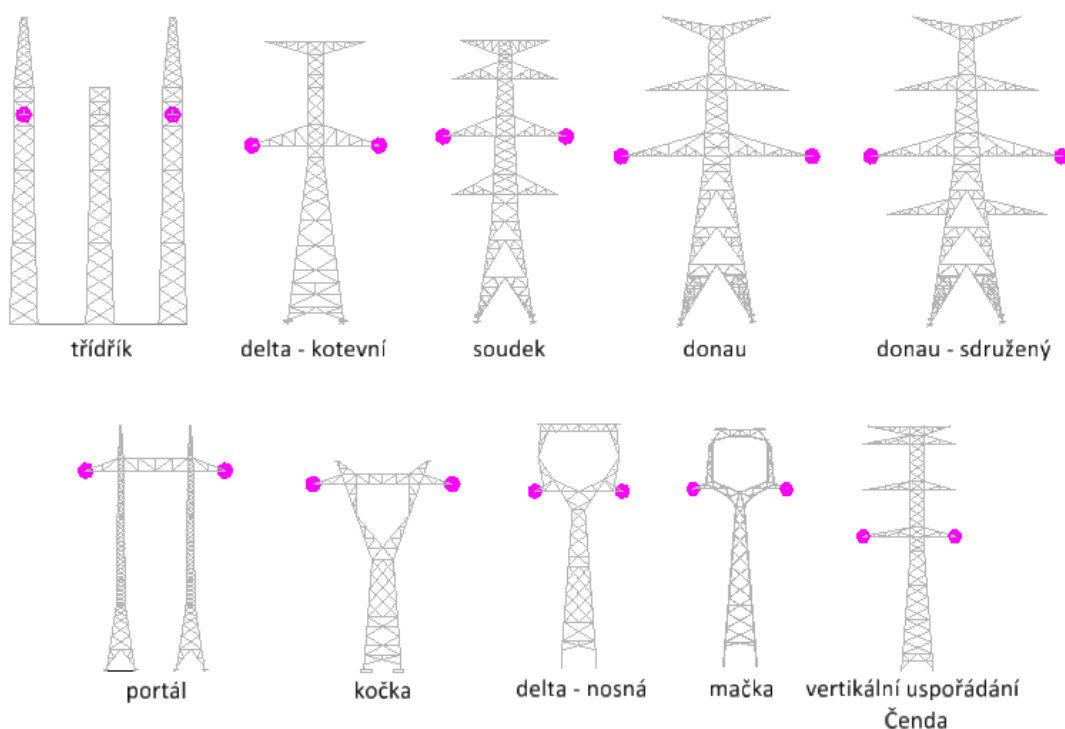
Obr. 21 Typy uchycení nosných závěsů

TYPY UCHYCENÍ KOTEVNÍCH ZÁVĚSŮ



Obr. 22 Typy uchycení kotevních závěsů

DEFINICE MÍST PRO MĚŘENÍ KRAJNÍCH VODIČŮ



Obr. 23 Definice míst pro měření krajních vodičů

Krajní body vodičů slouží pro stanovení ochranného pásma vedení. Ochranná pásma venkovních vedení jsou stanovena zákonem č. 458/2000 Sb., energetický zákon, v platném znění. Pro vedení 400 kV je ochranným pásmem prostor vymezený svislými rovinami vedenými po obou stranách vedení ve vodorovné vzdálenosti 20 m od krajního vodiče.

Napět'ová hladina	[kV]	1 - 35	35 - 110	110 - 220	220 - 400	> 400
Šířka ochr. pásma	[m]	7	12	15	20	30

Tab. 10 Ochranná pásma

Podmínky v ochranném pásmu jsou dány výše uvedeným zákonem č. 458/2000. Ten předepisuje, že v ochranném pásmu venkovních vedení je zakázáno bez souhlasu vlastníka vedení zřizovat stavby či zřizovat konstrukce, skladovat výbušné nebo hořlavé látky, provádět zemní práce, dále je zakázáno vysazovat chmelnice, nenechávat vyrůst porosty nad výšku 3 m, provádět činnost ohrožující spolehlivost a bezpečnost provozu vedení nebo životy, zdraví a majetek osob a činnost znesnadňující samotný přístup k vedení.



12. Křivky

Jedním z cílů této diplomové práce je porovnání křivek, kterými lze aproximovat měřené průhyby na vedeních. Jako zvolené možnosti byly vybrány křivky: kružnice, parabola a řetězovka. Kružnice a parabola byla porovnána s měřenými body. Při výpočtu řetězovky se jedná o velmi rozsáhlý výpočet, do kterého vstupuje několik fyzikálních veličin. Nejedná se tedy jen o posouzení v rámci geometrie, ale vstupuje do výpočtu podstatná část z problematiky mechaniky. Řetězovka byla vypočítána pouze na modelovém příkladu a výsledná křivka byla porovnána s parabolou a kružnicí.

12.1 Kružnice

Geometrie souřadnic zaměřených bodů netvoří kružnici, ale z tvaru usuzujeme, že vhodnou aproximací je kružnice. Pokud se úchyty vodičů nacházejí v přibližně stejných nadmořských výškách, je možné proložit určené body na laně částí kružnicového oblouku. Použití kružnicového oblouku je vhodné pro zjištění odlehlých měření, a tak je možné určit hrubé chyby v měření. V této práci byla prokládána měřená data částí kružnicového oblouku za použití metody nejmenších čtverců (MNC). Vycházelo se z rovnice kružnice, která je určena třemi body. Nejprve byl vypočten přibližný střed kružnice a její poloměr ze tří bodů, a to pomocí vlastního skriptu v programovacím systému Matlab. Přibližné hodnoty souřadnic středu kružnice a poloměr byly využity pro výpočet vyrovnání bodů na kružnici. Vzhledem k velkým poloměrům kružnic a poměrně malé části kružnice bylo nutné provést alespoň jednu iteraci výpočtu.

Středová rovnice kružnice se středem v bodě S má tvar

$$(x - x_s)^2 + (y - y_s)^2 = r^2.$$

Neznámé jsou souřadnice x_s, y_s středu kružnice a její poloměr r . Po úpravě je

$$x^2 + y^2 + Dx + Ey + F = 0,$$

kde $D = -2x_s, E = -2y_s$, souřadnice středu jsou $x_s = -\frac{D}{2}, y_s = -\frac{E}{2}$.

Dále je
$$F = x_s^2 + y_s^2 - r^2 = \frac{1}{4}(D^2 + E^2) - r^2,$$



poloměr je
$$r = \frac{1}{2}\sqrt{D^2 - 4F + E^2}.$$

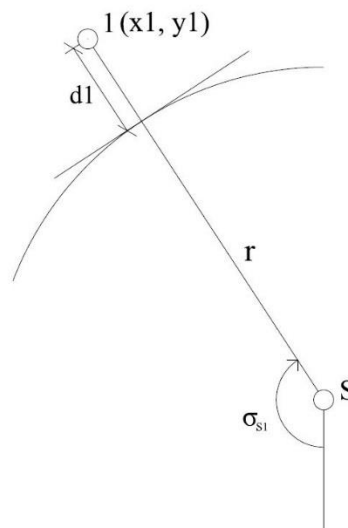
Kružnice je jednoznačně určena 3 body (1, 2, 3) u kterých známe souřadnice. Neznámé koeficienty D, E, F se určí řešením tří lineárních rovnic. Jejich maticový zápis je

$$\begin{bmatrix} x_1 & y_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & 1 \\ x_3 & y_3 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} D \\ E \\ F \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} x_1^2 + y_1^2 \\ x_2^2 + y_2^2 \\ x_3^2 + y_3^2 \end{bmatrix},$$
$$\mathbf{Ax} = \mathbf{b},$$

řešení

$$\mathbf{x} = \mathbf{A}^{-1}\mathbf{b}.$$

Determinant matice hořejší soustavy je roven výměře trojúhelníku (1, 2, 3) - jedná se o štíhlý trojúhelník z toho vyplývá numericky špatně podmíněná soustava



Obr. 24 Kružnice

Body určené z měření leží obecně mimo kružnici viz obr. 23. Vektor reziduí (oprav) $\mathbf{v} = \mathbf{A}\hat{\mathbf{x}} - \mathbf{b}$, $\mathbf{A}^T \mathbf{v} = 0$. Opravy dostanou jednotlivé čtverce průvodičů zaměřených bodů, tak aby ležely na kružnici.



Z předchozího výpočtu známe přibližné hodnoty středu kružnice x_s^0 , y_s^0 a poloměr r_0 .

Vzdálenost bodu od kružnice je

$$d = d(r, x_s, y_s) = r - \sqrt{(x_1 - x_s^0)^2 + (y_1 - y_s^0)^2}.$$

Po linearizaci

$$d = d_0 + 1dr + \frac{x_1 - x_s^0}{\sqrt{(x_1 - x_s^0)^2 + (y_1 - y_s^0)^2}} dx_s + \frac{y_1 - y_s^0}{\sqrt{(x_1 - x_s^0)^2 + (y_1 - y_s^0)^2}} dy_s,$$

$$d_1 = d_{01} + dr + \cos \sigma_{s1} dx_s + \sin \sigma_{s1} dy_s.$$

Neznámé d_r , dx_s , dy_s , se řeší podle podmínky MNČ

$$\mathbf{d}^T \mathbf{d} = \min.$$
$$\begin{bmatrix} d_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ d_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_{01} \\ \cdot \\ \cdot \\ d_{0n} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & \cos \sigma_{s1} & \sin \sigma_{s1} \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ 1 & \cos \sigma_{sn} & \sin \sigma_{sn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} dr \\ dx_s \\ dy_s \end{bmatrix},$$

Matice parciálních derivací A je $n \times 3$, kde n je počet zaměřených bodů

$$\mathbf{d} = \mathbf{d}_0 + \mathbf{A}\mathbf{x},$$

$$\mathbf{d}^T \mathbf{d} = (\mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{d}_0)^T (\mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{d}_0) = \min,$$

$$\mathbf{x}^T \mathbf{A}^T \mathbf{A} \mathbf{x} + 2\mathbf{x}^T \mathbf{A}^T \mathbf{d}_0 + \mathbf{d}_0^T \mathbf{d}_0 = \min,$$

$$(\mathbf{A}^T \mathbf{A})\mathbf{x} = -\mathbf{A}^T \mathbf{d}_0,$$

$$\mathbf{x} = -(\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{d}_0.$$

Výsledné vyrovnané souřadnice středu kružnice a poloměr jsou:

$$r = r_0 + dr$$

$$x_s = x_{s0} + dx_s$$

$$y_s = y_{s0} + dy_s$$

kde r , x_s , y_s jsou poloměr a souřadnice středu kružnice. Výpočet probíhá iteračně. Zpracováno podle [1].



12.2 Parabola

Jako jedna z dalších křivek, která se zdá být vhodná pro aproximaci naměřených souřadnic bodů na vodiči je parabola. Jedná se křivku druhého stupně. Rovnice paraboly je .

$$y = ax^2 + bx + c, \quad a \neq 0,$$

Neznámé parametry jsou a, b, c .

Do výpočtu vstupují jednotlivé body, matice A je $n \times 3$

$$A = \begin{bmatrix} x_1^2 & x_1 & 1 \\ x_2^2 & x_2 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ x_n^2 & x_n & 1 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{x} = \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix}.$$

Rovnice oprav jsou

$$\mathbf{x} = (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{y},$$

$$\mathbf{y} + \mathbf{v} = \mathbf{A} \mathbf{x},$$

$$\mathbf{v} = \mathbf{A} \mathbf{x} - \mathbf{y}.$$

Podle MNČ je $\mathbf{v}^T \mathbf{v} = \min$

$$\mathbf{x} = (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{y}.$$



13. Řetězovka

Tato kapitola je zpracována podle [4], protože souvisí s mechanikou venkovních vedení a nemá nic společného s geodézií. Tvar křivky vodiče zavěšeného mezi dvěma úchyty body je pružná řetězovka. Rovnice takovéto křivky má komplikovaný tvar a v praxi nemá velké uplatnění. Používá se pro přesné výpočty, když je potřeba zahrnout pružnost vodiče. Pružnost vodiče způsobuje změnu jeho délky, která má značný vliv na velikost mechanického napětí, a to tím více, čím je vodič kratší. Pro zjednodušení výpočtů se používá nepružná řetězovka. Při výpočtech nepružné řetězovky se předpokládá rovnoměrné rozdělení tíhy vodiče a přídatného zatížení (např. námrazy) po celé délce vodiče. Odvození analytického vyjádření tvaru průhybové křivky pak vychází z podmínek mechanické rovnováhy.

Konečný tvar rovnice nepružné řetězovky je

$$y = c \cdot \cosh \frac{x}{c}, \quad (13.1)$$

kde hyperbolická funkce $\cosh x$ je definována

$$\cosh x = \frac{e^x + e^{-x}}{2},$$

kde c je parametr řetězovky.

Pokud uvážíme přetížení z , lze parametr c zapsat

$$c = \frac{F_H}{(q_1 + q_2)} = \frac{\sigma_H}{\gamma z},$$

kde...
 q_2 ... tíha přídatného zařízení
 γ ... měrná tíha nezatíženého vodiče
 z ... přetížení od námrazy
 σ_H ... dovolené mechanické namáhání.

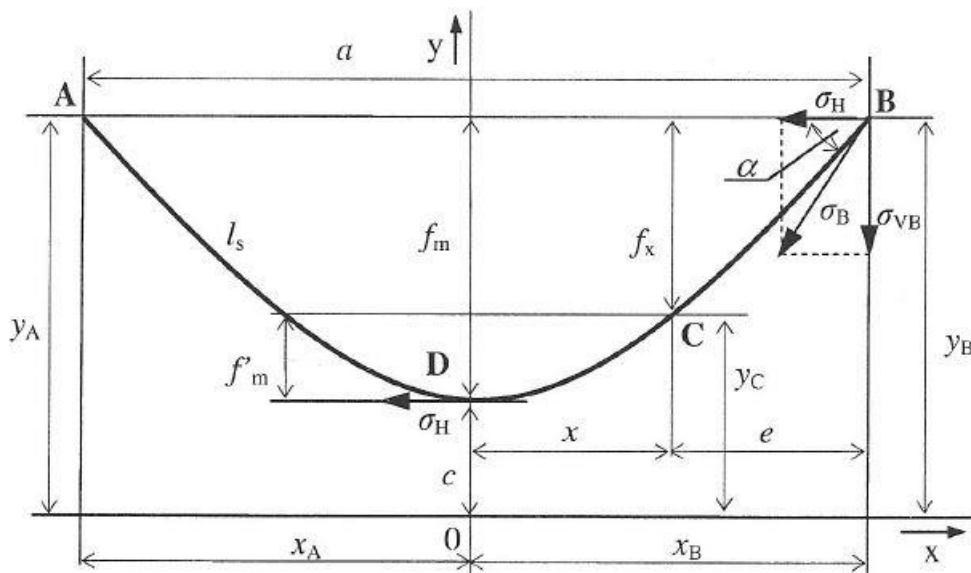
Pokud rozvineme (13.1) rovnici řetězovky v řadu s uvážením jen prvních dvou členů výrazu, získáme parabolické vyjádření průhybové křivky zavěšeného vodiče

$$y = c \cdot \cosh \frac{x}{c} = c \left(1 + \frac{x^2}{2!c^2} + \frac{x^4}{4!c^4} + \dots \right) = c + \frac{x^2}{2!c^2}$$



13.1 Souměrné pole

Souměrné pole (vodorovné) je dáno tím, že závěsné body A a B vodičů jsou ve stejných výškách a vrchol průhybové křivky leží ve středu rozpětí a (obr. 25).



Obr. 25 Řetězovka-souměrné pole

Poté podle obr. 25 platí

$$x_A = x_B = \frac{a}{2}; \quad y_A = y_B.$$

Odvození dalších vztahů pro výpočet řetězovky.

Maximální průhyb f_m vodiče nastává, pokud je platná předchozí podmínka

$$f_m = y_B - c = c \cdot \cosh \frac{x_B}{c} - c = c \cdot \cosh \frac{a}{2c} - c = c \left(\cosh \frac{a}{2c} - 1 \right) \quad (13.2)$$



Délka vodiče l_s , délka vodiče je dána následujícím výrazem

$$l_s = 2c \cdot \sinh \frac{a}{2c}$$
$$l_s = \int_{-\frac{a}{2}}^{\frac{a}{2}} \sqrt{(1 + y'^2)} dx,$$

kde $y = c \cdot \cosh \frac{x}{c}$, $y' = \sinh \frac{x}{c}$

Celkové mechanické napětí σ_B v závěsném bodě B (obr.24) je dané vektorovým součtem horizontální složky mechanického napětí σ_H , která je stejná v každém bodě průhybové křivky a vertikální složky mechanického napětí σ_{VB} , jejíž velikost je dána místem, ve kterém se uvažuje. Vertikální složka mechanického napětí je minimální ve vrcholu průhybové křivky (nula) a maximální v závěsném bodě (A, B). Je dána tíhou vodiče příslušné délky počítané od vrcholu průhybové křivky. Výsledné mechanické napětí v závěsném bodě je rozhodující pro mechanický výpočet vodiče.

Podle obr.25 platí pro závěsný bod B

$$\sigma_B = \frac{\sigma_H}{\cos \alpha}.$$

Na základě goniometrických vztahů, postupných úprav, a nakonec s použitím výše uvedeného vztahu, upravíme výraz:

$$\sigma_B = \frac{\sigma_H}{\cos \alpha} = \sigma_H \cosh \frac{a}{2c} = \sigma_H \frac{y_B}{c} = y_B \cdot \gamma \cdot z.$$

Použitím vztahu (13.2) dostaneme

$$\sigma_B = \frac{\sigma_H}{\cos \alpha} = \sigma_H \cdot \cosh \frac{a}{2c} = \sigma_H \left(\frac{f_m}{c} + 1 \right) = \sigma_H + f_m \cdot \gamma \cdot z.$$



Pro určení celkového tahu ve vodiči v závěsném bode B se mechanické napětí vynásobí průřezem S a upraví do tvaru

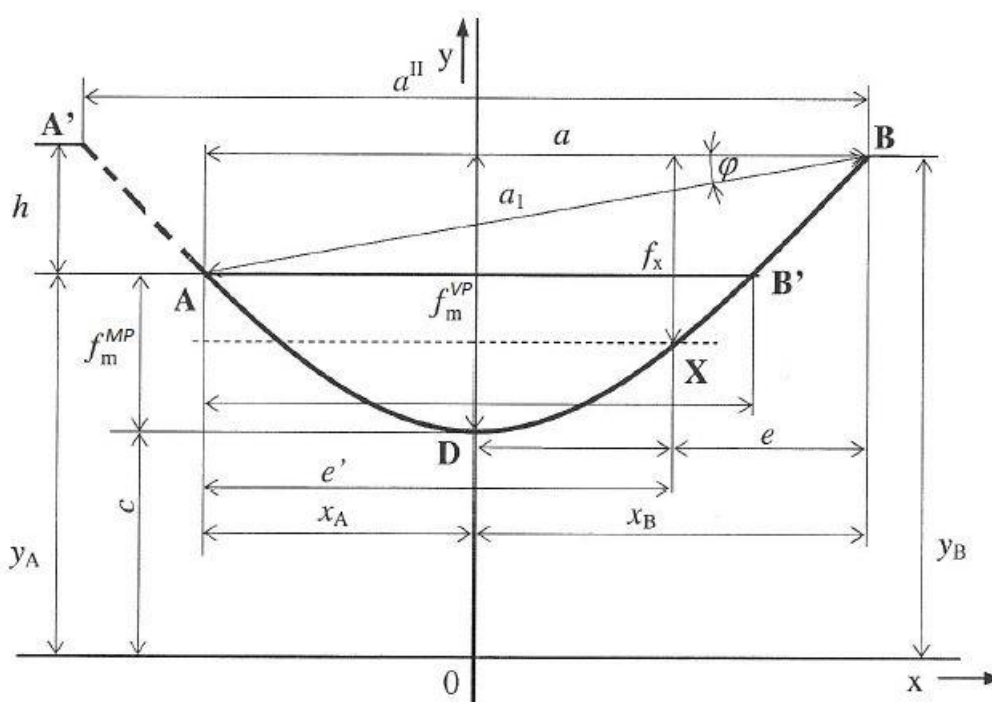
$$F_B = \sigma_B S = y_B (q_1 + q_2) = F_H + f_m (q_1 + q_2).$$

Ze vztahu vyplývá, že celkový tah v bodě B je roven vlastní tíze vodiče q_1 s přídavným zatížením q_2 délky y_B , nebo horizontálnímu tahu ve vrcholu průhybové křivky F_H a tíze vodiče s přídavným zatížením délky rovné maximálnímu průhybu vodiče f_m .

13.2 Nesouměrné pole

Nesouměrně zavěšený vodič je takový vodič, u kterého závěsné body A, B nejsou ve stejných nadmořských výškách a vrchol průhybové křivky neleží ve středu rozpětí a . Jde o nesouměrné pole, pro které platí

$$x_A \neq x_B, \quad y_A \neq y_B.$$



Obr. 26 Řetězovka – Nesouměrné pole

Prvním krokem při řešení nesouměrného pole je určit souřadnice bodů x_A, x_B vrcholu průhybové křivky vzhledem v závěsným bodům. Uvedeme pouze výsledné vztahy

$$x_A = \frac{a}{2} - c \frac{h}{a}, \quad x_B = \frac{a}{2} + c \frac{h}{a},$$

kde h je výškový rozdíl závěsných bodů A, B .

Hodnota x -ové souřadnice vyššího ze závěsných bodů (v daném případě x_B) je vždy kladná, $x_B > 0$. Hodnota x -ové souřadnice nižšího závěsného bodu, v tomto případě x_A , může nabývat kladných i záporných hodnot nebo může být rovna nule. Pokud je $x_A > 0$ pak vrchol



průhybové křivky je mezi závěsnými body A, B . Pokud $x_A = 0$, pak nižší závěsný bod leží ve vrcholu řetězovky. V posledním případě, kdy $x_A < 0$, vrchol řetězovky neleží mezi závěsnými body A, B , ale závěsné body leží na stejné straně průhybové křivky.

V další části je ukázka odvození vztahů pro průhyb, délku a mechanické napětí vodiče.

- Maximální průhyb ($f_m^{VP,MP}$)

Maximální průhyb vodiče se určuje pro tzv. ideální pole velké (spojnice fiktivního bodu A' a závěsného bodu B) a ideální pole malé (spojnice závěsného bodu A a fiktivního bodu B). Pro maximální průhyb velkého pole v metrech platí

$$f_m^{VP} = y_B - c = c \cdot \cosh \frac{x_B}{c} - c = c \left(\cosh \frac{x_B}{c} - 1 \right).$$

Analogicky maximální průhyb malého pole

$$f_m^{MP} = y_A - c = c \cdot \cosh \frac{x_A}{c} - c = c \left(\cosh \frac{x_A}{c} - 1 \right).$$

Kromě průhybů těchto ideálních polí se pro šikmé pole také uvádí i tzv. průhyby charakteristické či viditelné.

- **Charakteristický průhyb**

Charakteristický průhyb f_k je definovaný jako délka svislice mezi středem spojnice závěsných bodů a vodičem. Je určen vztahem

$$f_k = f_m \cosh \frac{x_B - x_A}{2c}.$$

- **Viditelný průhyb**

Viditelný průhyb f_v je definován jako svislá vzdálenost mezi spojnicí závěsných bodů a tečnou k vodiči rovnoběžnou se spojnicí závěsných bodů

$$f_v = y_B - y_v - h',$$

kde y_B, y_v jsou souřadnice bodů B a v (pro x_B, x_v),

h' výškový rozdíl pro místo viditelného průhybu.



Pro vzdálenost x_v viditelného průhybu od počátku souřadnicové soustavy platí:

$$x_v = c \cdot \arcsin \frac{h}{a}.$$

Výškový rozdíl připadající na místo viditelného průhybu je pak dán výrazem:

$$h' = (x_B - x_v) \frac{h}{a}.$$

Pro rozpětí do 400 m a úhlu $\varphi < 30^\circ$ je možné ztotožnit charakteristický průhyb s průhybem viditelným, tj $f_k \approx f_v$.

- **Délka vodiče**

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

$$l_n^2 - l_s^2 = h^2.$$

- **Mechanické napětí ve vodiči**

Při určování celkového mechanického napětí σ v závěsných bodech A , B platí podobné vztahy jako při souměrném poli s tím rozdílem, že mechanické napětí v závěsných bodech není stejné

$$\sigma_A = y_A \cdot \gamma \cdot z \quad \text{resp.} \quad \sigma_B = y_B \cdot \gamma \cdot z \quad [N \cdot m^2].$$

Pro tahy ve vodičích platí:

$$F_A = y_A(q_1 + q_2) \quad \text{resp.} \quad F_B = y_B(q_1 + q_2) \quad [N].$$



13.3 Stavová rovnice napnutého vodiče

Při změně teplot a přetížení vodiče (větrem nebo námrazou) se mění mechanické napětí v daném vodiči a tím i jeho průhyb. Pro odhady mechanického napětí se velmi často používá klasická stavová rovnice napnutého vodiče. Tato rovnice vyjadřuje vzájemnou závislost mezi mechanickým napětím, teplotou, zatížením a rozpětím. Nicméně neuvažuje přitom s mechanickými podmínkami v sousedním rozpětí. Výpočet se obvykle provádí pro nejméně příznivý případ, který může nastat tzn. pro takové klimatické podmínky, při kterých vzniká maximální průhyb, tj. nejmenší vzdálenost vodiče od země resp. od křižovaných objektů.

Vodič se při montáži musí napnout na takové mechanické napětí a průhyb, aby při předpokládaných nepříznivých klimatických podmínkách nenastalo větší mechanické namáhání, než jak to dovolují předpisy. Pokud se vodiče montují při různých klimatických podmínkách, je důležité sestrojít montážní tabulku, ve které se uvádí mechanická namáhání a k tomu příslušné hodnoty průhybů v závislosti na teplotě, a to v intervalu přibližně od $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ až do $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ a pro $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ a přetížení námrazou. Montážní tabulka se sestrojuje na základě řešení stavové rovnice.

Stavová rovnice je odvozena za předpokladů, že vedení je bez výškových rozdílů (soutměrné pole), s pevnými izolátorovými závěsy a zavěšený vodič má tvar paraboly. Stavovou rovnici uvádím vzhledem ke složitosti bez jednotlivých kroků vedoucí k jejímu výslednému tvaru. Indexem 0 se značí počáteční (základní stav), indexem 1 pak stav montážní neboli hledaný.

$$\sigma_{H1}^3 + \sigma_{H1}^2 \left[\frac{\gamma^2 E}{24} \left(\frac{\alpha Z_0}{\sigma_{H0}} \right)^2 + \alpha E (T_1 - T_0) - \sigma_{H0} \right] = \frac{\gamma^2 E}{24} (\alpha Z_1)^2,$$

kde

γ ... je měrná tíha vodiče

E ... modul pružnosti vodiče

T_1, T_0 ... teplota okolí ve stavu 1 resp. ve stavu 0

α ... součinitel tepelné roztažnosti vodiče

Z_1, Z_0 ... přetížení vodiče ve stavu 1 resp. 0

c_1, c_0 ... parametr řetězovky ve stavu 1 resp. 0.

Stavová rovnice se používá kromě určení tzv. montážní tabulky i k stanovení dalších dvou údajů, které jsou důležité při návrhu a montáži venkovních vedení. Je to kritické rozpětí a kritická teplota. Jelikož tyto výpočty jsou jíž mimo rámec diplomové práce tak je neuvádím.



Výpočet stavové rovnice se používá pro určení mechanického napětí v okamžiku zaměřování vedení. Tato hodnota je důležitá ke zjištění průhybů vztažených ke klimatickým podmínkám určených během měření. Dále se uvažují další vlivy, které výsledek ovlivňují jako je např. proudové zatížení vodiče.

13.4 Montážní tabulka

Pro montáž vodiče se sestrojuje tzv. montážní tabulka (tab. 11.) Vodič se při montáži musí napnout na takové mechanické napětí a takový průhyb, aby i při předpokládaných nejnepriznivějších povětrnostních podmínkách nenastalo větší mechanické napětí a průhyb, než jak to povolují předpisy. Jelikož se vodiče montují při různých klimatických podmínkách, je zapotřebí sestroit montážní tabulku, ve které jsou uvedeny hodnoty mechanického namáhání a k tomu příslušné hodnoty průhybů v závislosti na teplotě. Na základě parametru c se stanovuje maximální průhyb.

ϑ (°C)	-30	-20	-10	-5	-5*	0	10	20	30	40
σ_H (MPa)	35,09	34,24	33,45	33,08	93,48	32,71	32,02	31,36	30,75	30,16
f_m (m)	10,99	11,26	11,52	11,66	12,79	11,79	12,04	12,29	12,54	12,78

Tab. 11 Montážní tabulka – ukázka

14. Určení klimatických podmínek

Určení klimatických podmínek během zaměřování vedení má významný vliv na výsledný průhyb a délku vodičů. Při zaměřování hodnot do této diplomové práce byla použita meteostanice Davis Vantage Vue. Pro určení výsledných průhybů vodiče je zejména důležité správné určení teploty vzduchu a určení směru a rychlosti větru.

14.1 Meteostanice Davis Vantage Vue

Jedná se o meteostanici (obr.26), která se svými parametry řadí mezi profesionální meteostanice. Stanice komunikuje s ovladačem do vzdálenosti 300 m a s aktualizací dat každých 2,5 s. Stanice dokáže poskytovat řadu údajů jako jsou venkovní teplota, rychlost a směr větru, tlak vzduchu, vlhkost vzduchu, srážky. Meteostanice obsahuje radiační štít, pro měření správné teploty je tento štít velice důležitý, jelikož dokonale chrání senzor teploty a vlhkosti vzduchu proti slunečnímu záření a dalšími zdroji sálavého tepla [5]. Výstup měření z meteostanice je uveden v elektronické příloze.



Obr. 27 Meteostanice



14.2 Měření směru a rychlosti větru

Určení správného směru a rychlosti větru má vliv na výsledné průhyby vodičů, jelikož ovlivňují teplotu přímo vodiče, a to tak, že vodič ochlazuje. Nejvíce je vodič ochlazován při vyšší síle větru a směrem větru kolmo k vodiči. Naopak nejméně ovlivňuje vodič vítr, který fouká přímo ve směru vodičů. Samotné zaměřování vodičů by mělo probíhat do rychlosti větru podle Beaufortovi stupnice síly větru do stupně č. 2 to odpovídá rychlosti větru 1,6–3,3 m/s. Vzhledem k tomu že při silnějším větru nelze zachytit přesně polohu vodičů a jejich ukotvení, protože vzhledem k působení větrů nejsou v klidné poloze.

14.3 Měření teploty a vlhkosti vzduchu

Měření teploty v okolí zaměřovaného vedení je dalším důležitým faktorem ovlivňující průhyb samotných vodičů. Pro správné určení teploty a vlhkosti vzduchu je potřeba mít stanici vybavenou radiačním štítem tento štít ochraňuje senzory teploty a vlhkosti vzduchu proti slunečnímu záření a dalšími zdroji sálavého tepla. Pro co nejlepší sbíraná data v okolí vodičů by měla být snímací stanice umístěna přibližně v prostředku zaměřovaných rozpětí a přibližně 4 m nad terénem. Pokud se jedná o špatně přístupná místa nebo jsou místa výrazně odlišná (zalesnění, údolí atd.) bude probíhat měření v ochranném pásmu vedení.



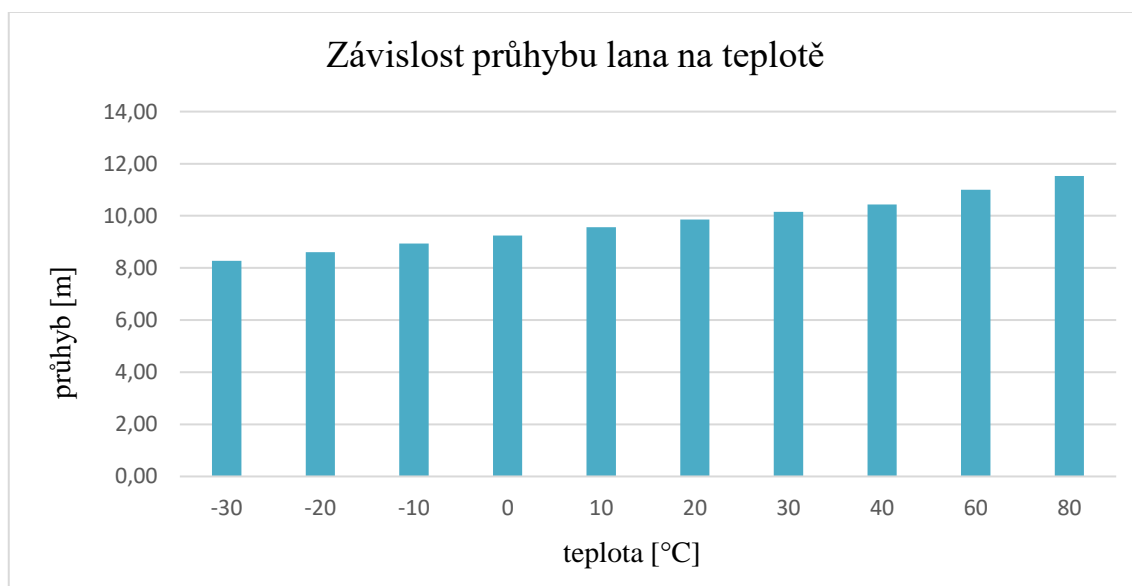
14.4 Příklad

Tento příklad poukazuje na to, jak se mění průhyb vodičů při různých teplotách. Zadáání: vodiče 350 AlFe 6 v námrazové oblasti ČSN 34 1100/64 – III (příloha K) pro rozpětí 300 m.

T [°C]	-30 [°C]	-20	-10	0	10	20	30	40	60	80 [°C]
300 m	8,28 [m]	8,61	8,94	9,25	9,56	9,86	10,15	10,44	11,00	11,53[m]

Tab. 12 Závislost okolní teploty na průhyb

Uvedené hodnoty jsou hodnoty maximálního průhybu. Je vidět, že rozdíl v průhybu pro teploty -30 °C a $+80\text{ °C}$ činí 3,25 m. Příklad je pro vybranou námrazovou oblast dle normy z roku 1964. Na principu to však nic nemění. Obecně lze konstatovat, že v nižších námrazových oblastech bude rozdíl průhybu v krajních mezních teplotách (-30 °C a $+80\text{ °C}$) vyšší než ve vyšších námrazových oblastech.





15. Praktický výpočet křivek

Jednou z dalších částí této diplomové práce je porovnání proložených křivek podrobnými body na vodiči. Veškeré výpočty proběhly v programovacím systému Matlab pomocí nástroje funtool (slouží k prokládání křivek empirickými daty). Výpočetní skripty jsou uvedeny v elektronické příloze. Porovnávají jsou data z měření totální stanicí a z laserového skenování.

15.1 Výpočet bodu na kružnici

Pro zjištění průběhu zaměřovaných vodičů byla naměřená data (souřadnice) vyrovnána pomocí MNČ na kružnici. Z vypočtených výsledků je vidět, že se data velice dobře přibližují kružnici. V následující tabulce jsou uvedeny odchylky měřených bodů od kružnice.

FA 046_047	
Odchylky měřených bodů od kružnice	odchylky [m]
	0,007
	0,002
	-0,008
	-0,005
	-0,003
	-0,004
	0,008
	0,002
	0,004
	0,003
	-0,008

Tab. 13 Odchylky od kružnice

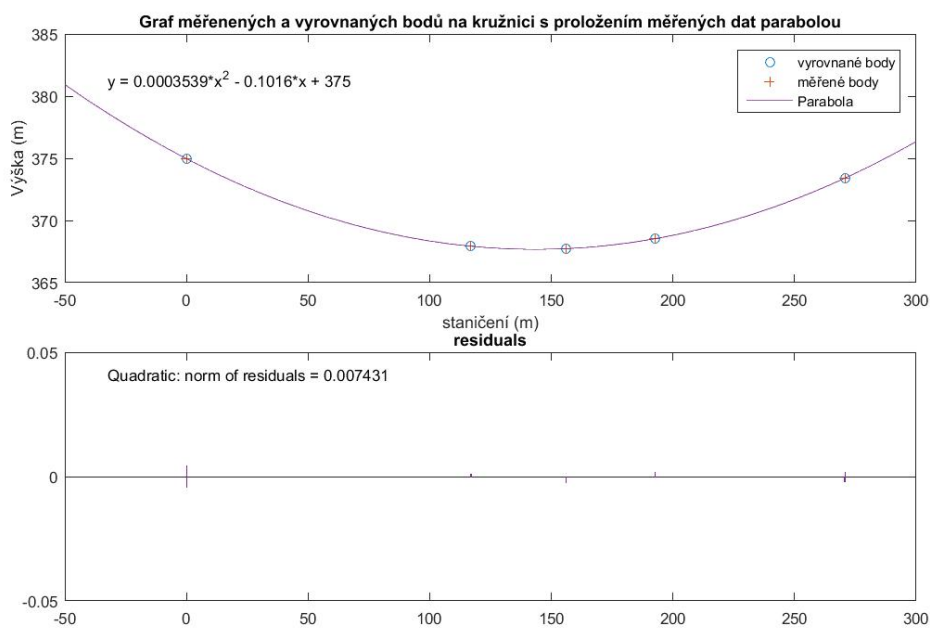
Pro ostatní data jsou výsledné hodnoty odchylek uvedeny v příloze E-G.

Pro prezentování výsledků byly vytvořeny grafy (příloha A-D), kde jsou naměřené body a vyrovnané na kružnici. Měřené body byly dále aproximovány parabolou s určením odchylek měřených bodů od paraboly.

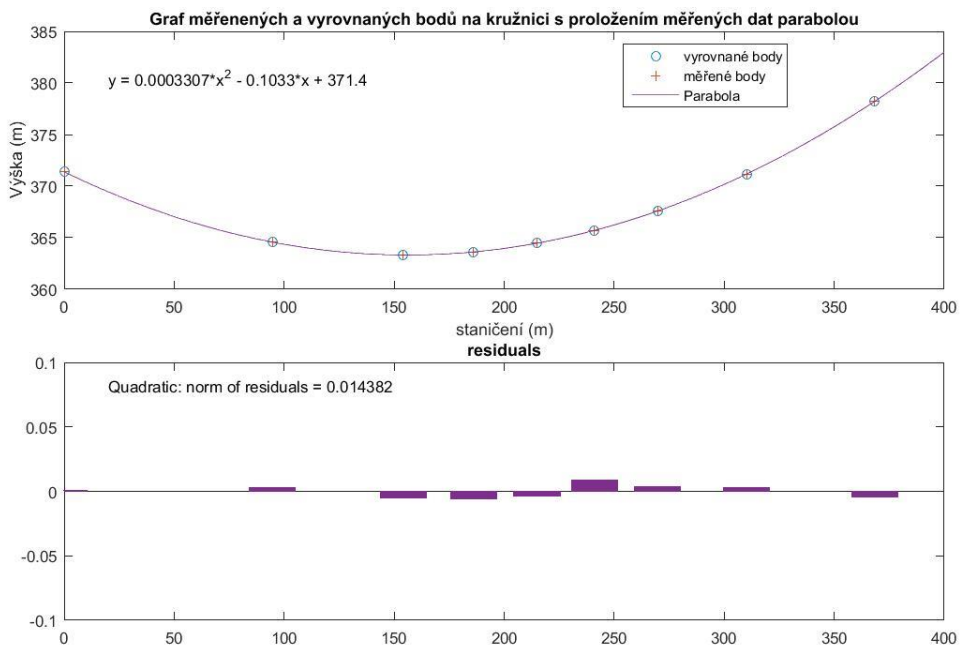
V následujících grafech (Obr.28-31) jsou zobrazeny měřené body (+), vyrovnané body na kružnici (o) a proložení měřených bodů parabolou. Výpočtem se určí rovnice paraboly a residua v [m] od měřených bodů a paraboly.



1. Výsledky pro data naměřená totální stanicí (obr. 4)



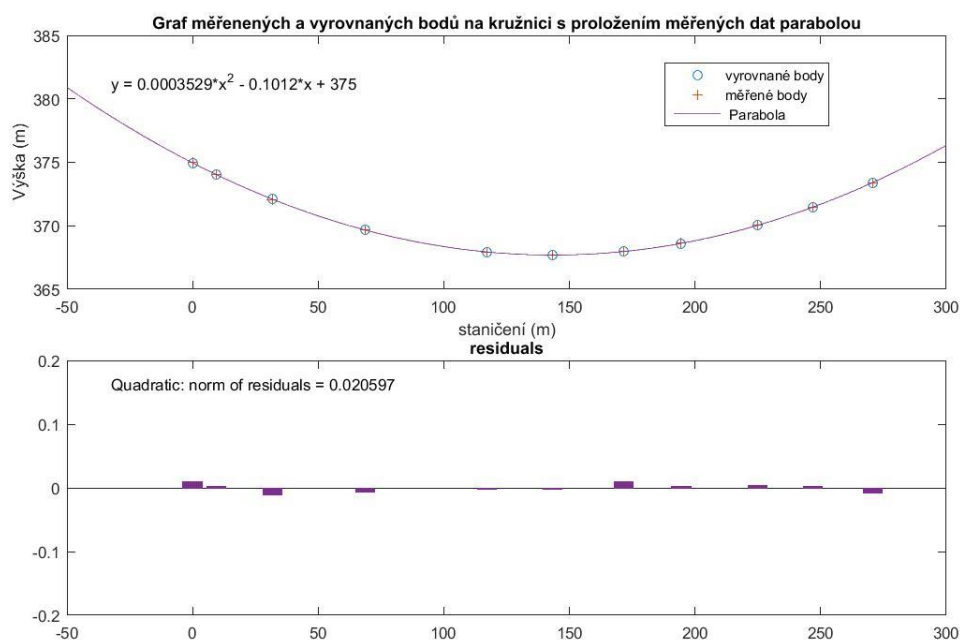
Obr. 28 Rozpětí 046_047



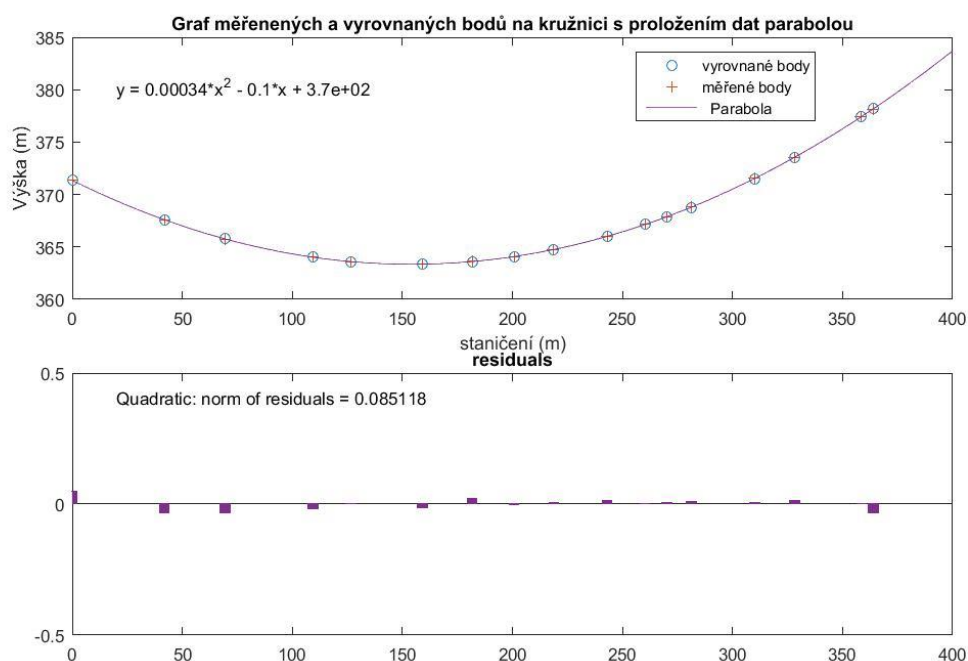
Obr. 29 Rozpětí 009_010



2. Výsledky pro souřadnice určené laserovým skenováním (obr. 4)



Obr. 30 Rozpětí 046_047 laserové skenování



Obr. 31 Rozpětí 009_010 laserové skenování



Z ukázky výsledků je patrné že geometrie zaměřených bodů jak totální stanicí nebo laserovým skenerem dobře aproximuje parabolu (pro stejný den a okamžik měření). Výsledky z laserového skenování jsou závislé na určení koncového bodu vodiče. Z totální stanice je přesnost několika násobně větší.

15.2 Výpočet řetězovky (řetězovka vs. parabola)

Výpočet řetězovky proběhl na základě mechaniky daného vodiče, protože parametr c je vyjádřen

$$c = \frac{F_H}{(q_1 + q_2)} = \frac{\sigma_H}{\gamma z}.$$

Výpočetní skript je součástí elektronické přílohy. Cílem výpočtu bylo určení průhybu na zaměřovaném vedení v zaměřovaných bodech. Výpočty řetězovky vychází z údajů o vodiči, nikoliv na základě geometrie křivky. [8]

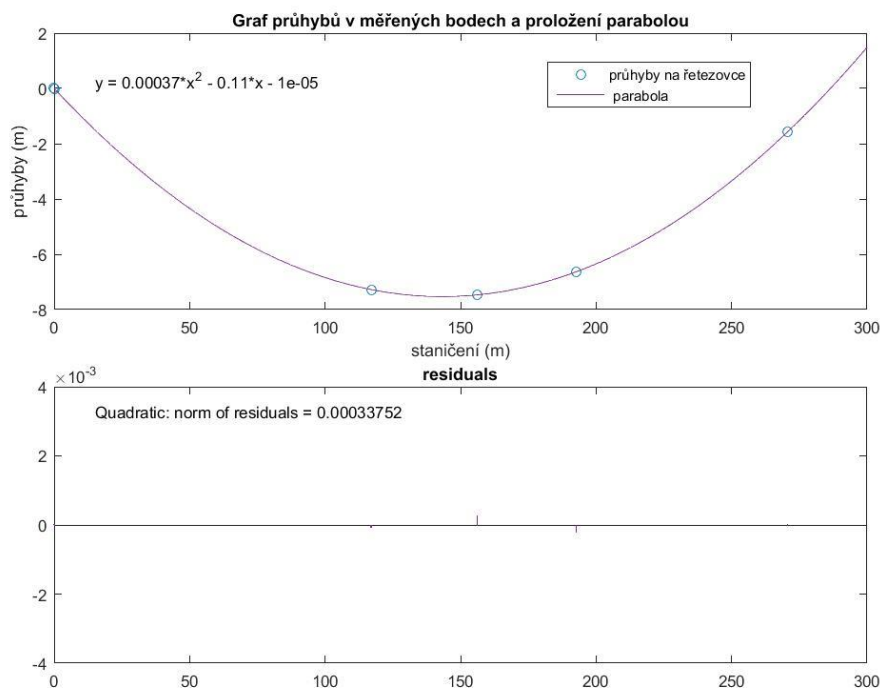
Vstupní údaje	Jednotky	Hodnota	
Průměr (d)	(mm)	26,50	Parametry lana 350 AlFe 6
Průřez (S)	(mm^2)	410,76	
hmotnost (m)	($kg \cdot m^{-1}$)	1,4726	
Tepl. souč. (α)	(K^{-1})	18,85E-06	
Měrná tíha (γ)	($N \cdot cm^{-3}$)	0,03516	
Modul pruž. (E)	(MPa)	74639	
Dov. Nam. (σ_{DOV})	(MPa)	111,48	
Základní nam. (σ)	(MPa)	88,37	
Pevnost(t_p)	(kN)	120,50	
Hmotnost NN (q_{NN})	($N \cdot m^{-1}$)	8,1	ČSN 4 1100 Klimat. Stavý
Hmotnost ZN (q_{ZN})	($N \cdot m^{-1}$)	9,611	
Zatížení větrem (W)	($N \cdot m^{-1}$)	13,614	

Tab. 14 Parametry lana 350 AlFe 6

Výpočet byl proveden pro všechna lana daného typu v daném rozpětí. Byly vypočteny hodnoty průhybů v měřených bodech z totální stanice (z hodnot staničení). Výsledné průhyby,



které plynou z řetězovky, byly aproximovány parabolou (Obr.31). V grafu nalezneme rovnici paraboly, znázornění velikosti průhybů z rovnice řetězovky, křivku paraboly a velikost residuí. Nebyly vypočítány hodnoty průhybů pro zemnicí lana, jelikož jsou vyráběna z jiného materiálu než vodiče. Výsledky pro data z laserového skeneru vychází obdobně.



Obr. 32 Průhyby 350 AlFe 6

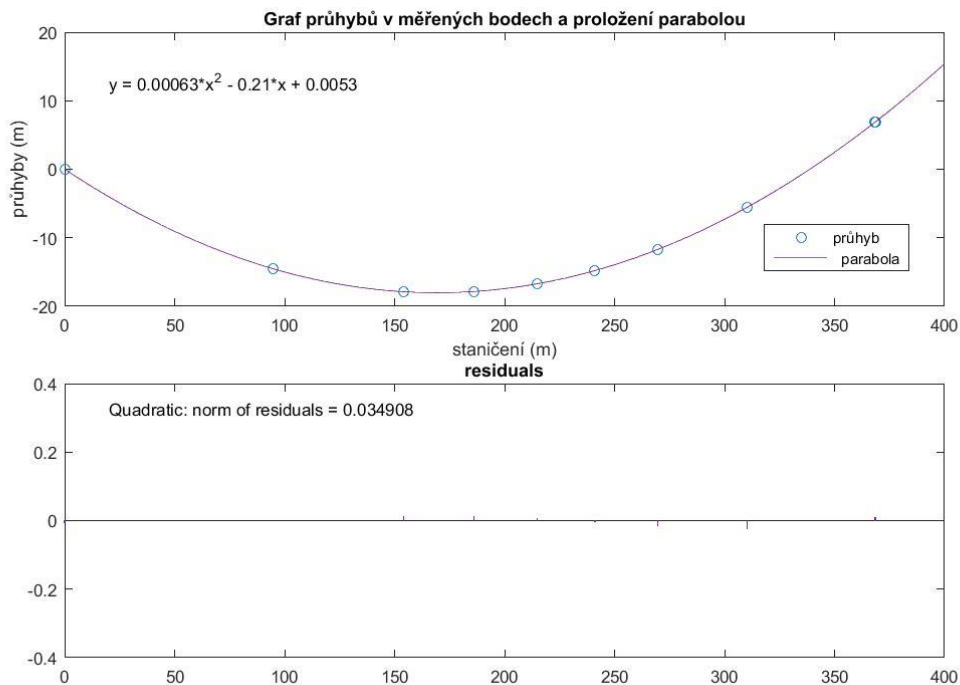
Ve spodní části grafu vidíme residua, která nám ukazují, jak se vypočítané hodnoty průhybů řetězovky v zaměřených bodech odchylojí od paraboly. Vzhledem k tomu že velikost těchto residuí se pohybuje v řádech milimetrů můžeme pro výpočty počítat s parabolou. Takto malá odchylka je zde způsobena také tím že v zaměřovaném rozpětí leží úchytné body vodičů v podobných nadmořských výškách, a tak je vodič souměrněji prohnutý. Takto malé hodnoty nelze podchytit ani samotným geodetickým měřením, jelikož vodič, který se zaměřuje je neustále v pohybu. Je proto důležité při geodetickém zaměření měřit i ostatní veličiny jako je např. správná teplota, která ovlivňuje velikosti měřených průhybů.



Vstupní údaje pro výpočet průhybů na rozpětí 010-009. [8]

Vstupní údaje	Jednotky	Hodnota	
Průměr (d)	(mm)	29,31	Parametry lana 450/52 AlFe
Průřez (S)	(mm^2)	500,46	
hmotnost (m)	($kg \cdot m^{-1}$)	1,66742	
Tepl. souč. (α)	(K^{-1})	19,759E-06	
Měrná tíha (γ)	($N \cdot cm^{-3}$)	0,03267	
Modul pruž. (E)	(MPa)	69901	
Dov. Nam. (σ_{DOV})	(MPa)	91,475	
Základní nam. (σ)	(MPa)	-	
Pevnost (t_p)	(kN)	-	
Hmotnost NN (q_{NN})	($N \cdot m^{-1}$)	8,1	
Hmotnost ZN (q_{ZN})	($N \cdot m^{-1}$)	9,611	
Zatížení větrem (W)	($N \cdot m^{-1}$)	13,614	

Tab. 15 Parametry lana 450/52 AlFe



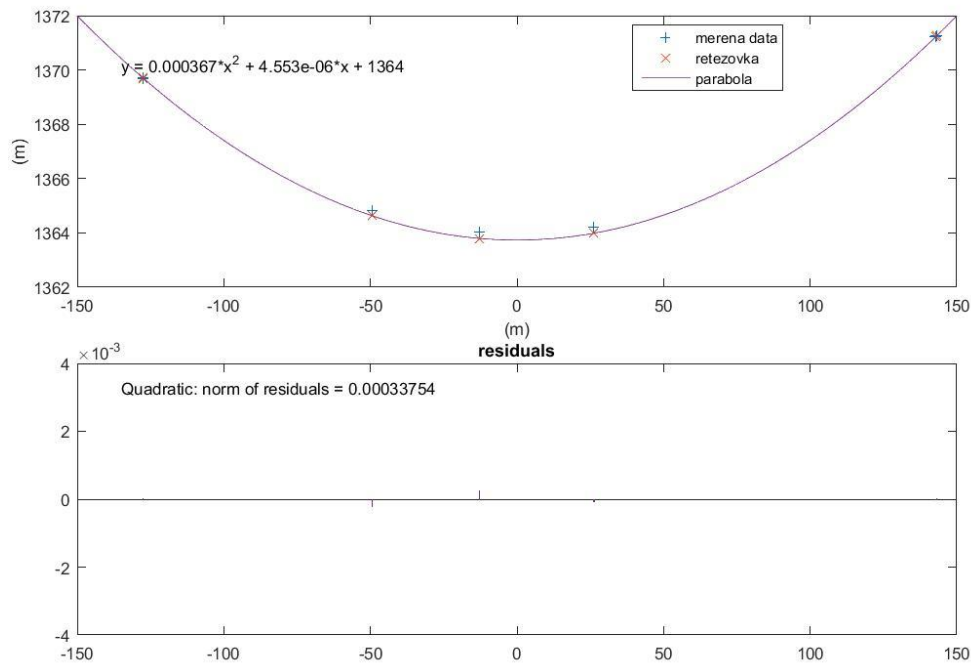
Obr. 33 Průhyby 450/52 AlFe



V grafu jsou znázorněny průhyby v zaměřovaných bodech tyto body byly proloženy parabolou. Ve spodní části grafu vidíme opět residua. Tyto residua se již pohybují v řádech centimetrů je to způsobeno tím, že v daném rozpětí je vyšší převýšení v bodech úchytu vodiče, řetězovka se více odchyluje od paraboly. Z toho vyplývá že při větších převýšeních parabola méně aproximuje řetězovku.

16. Proložení měřených dat řetězovkou

Řetězovka (proložená parabolou) nebyla porovnáována s měřenými daty, protože došlo k velkým rozdílům viz. obr. 34 přibližně do 0,25 cm u různých lan v rozpětí, což může být způsobeno několika faktory. Výsledky jsou obdobné i pro data z laserového skenování.



Obr. 34 Řetězovka v porovnání s měřením

Jako příčinu lze vidět špatný výpočet řetězovky (nezahrnutí teploty, zatížení proudem atd.) nebo vzhledem k časové změně lan. Z výpočtu řetězovky však vyplývá, že se velice málo odchyluje od paraboly, a proto je možné využívat při výpočtech parabolu. Nesoulad by mohl nastat při extrémně převýšených stožárech ty se v linkách 400 kV vyskytují výjimečně spíše v horském terénu.

Při výpočtech řetězovky by se mělo vycházet z očekávaných hodnot mechanického napětí, které získáme řešením stavové rovnice. Protože se mechanické napětí mění vlivem klimatických podmínek a proudového zatížení v době měření. Vzhledem k projektovaným hodnotám, které jsou vztaženy k určité teplotě.



Závěr

V této diplomové práci byla zjišťována vhodná metoda pro zaměřování lan vedeních VVN. Metody zaměřování byly porovnány vzhledem k využitelnosti, přesnosti, ekonomické a pracovní náročnosti.

První část DP se věnuje obecným informacím o vedeních a informacím o zaměřovaném rozpětí vedení. Dále je zde uvedena tvorba měřické sítě a podrobné měření bodů. Zde se také můžeme seznámit s definicemi zaměřovaných úchyťových bodů lan ke stožáru či k izolátorům.

Druhá část diplomové práce se zabývala odvozením použitých křivek. Dále zjišťováním ideální křivky na proložení měřenými daty. Křivky byly porovnávány na základě odchylek od měřených bodů. Využito bylo proložení částí kružnicového oblouku, parabolou a řetězovkou. V DP jsou uvedeny praktické ukázky z výpočtu křivek v podobě grafů.

Vzhledem k uvedenému příkladu je vidět, že výsledné průhyby ovlivňuje měřená teplota v okolí vodičů je proto důležité zejména v otevřeném terénu a při slunečném počasí určit čas měření, přesnou teplotu vzduchu pomocí stanice s radiačním štítem a směr větru. Při výpočtu normovaných průhybů se započítávají také vlivy z odrazivosti povrchu pod vedením, přepočtená teplota vodiče v závislosti na proudovém zatížení, okolní teplotě a směru větru. Tyto vlivy nepůsobí nejen na vodiče, ale také na stožáry vedení. Hodnoty se poté při kontrole uvádějí do výpočtu a mají značný vliv na výsledek normovaných průhybů a mechanických napětí v závěsných bodech, které je důležité kontrolovat vzhledem k možnému přetížení stožárů.

V terénu bylo v zadaném rozpětí provedeno zaměření všech vodičů a zemnicích lan v daných rozpětích. Zároveň byla pořízena data z laserového skeneru a z UAV. Následně byly provedeny veškeré výpočty souřadnic bodů.

Byly porovnány metody zaměření vedeních. Jako nejvhodnější metoda pro měření průhybů na vodičích se ukázala metoda bezhranolového určení délky na úchyťové body vodičů k izolátorům, popř. stožárům. Laserové skenování je možné také pro vyhodnocení použít jedná se ovšem o předimenzovanou metodu a vyžaduje drahou techniku.



Metoda s využitím UAV se nedá pro určování průhybů na vedeních použít. Bezpilotní letouny se dají vhodně využít pro inspekci vedení.

Při prokládání měřených dat různými křivkami bylo zjištěno že pokud by stožáry byly ve stejných nadmořských výškách tak napnutý vodič se velice přibližuje kružnici. Lepší je však použít jako aproximaci naměřených dat parabolu. Ta se velice dobře podobá v daném rozpětí řetězovce.

V grafech v přílohách jsou znázorněny jednotlivá proložení měřených dat jak z totální stanice nebo laserového skeneru křivkou paraboly. Ta, jak je vidět z grafů velice dobře zachycuje geometrii zavěšených vodičů v rozpětí jelikož jsou vodiče při zaměřování neustále v pohybu postačují zde výsledky s přesností na cm. Naměřená data byla zobrazena společně s body vypočtenými na řetězovce ve stejném staničení jako měřené body, zde nastal nesoulad ve výšce měřených bodů a bodů vypočtených na základě mechaniky vodičů z řetězovky. Pokud vyloučíme špatný výpočet řetězovky, může být tento rozdíl způsoben neuvážením dalších vlivů, které ovlivňují vodič, nedodržením hodnot z montážní tabulky při realizaci, špatnými výchozími hodnotami pro výpočet řetězovky nebo časovou změnou lan.

Z diplomové práce tedy vyplývá, že geometrie zaměřovaného vodiče v terénu dobře aproximuje parabolu. Dále na výsledné průhyby nemá vliv jen přesnost zaměření bodů, ale také klimatické podmínky, které je nutné při zaměřování správně určovat.



Použitá literatura

- [1] SKOŘEPA, Zdeněk. *Geodézie 40*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002. ISBN 80-01-02566-7.
- [2] *Speciální geodézie* [online]. Dostupné z: http://k154.fsv.cvut.cz/~storer/SGE/pred_5_Mereni_delek.pdf
- [3] Prováděcí dokumentace vedení PS (geodetická část) TN45/2017. Praha: ČEPS
- [4] Otčenášová, A.: *Mechanika vonkajších silových vedení*. EDIS ŽU v Žiline, 2010. ISBN 978-80-554-0181-2.
- [5] Dostupné z: <https://www.meteoshop.cz/produkt/meteostanice-davis-vantage-vue/466/>
- [6] Dostupné z: <http://czeapos.cuzk.cz/>
- [7] GEOTRONICS PRAHA - Váš GEOSHOP. *GEOTRONICS PRAHA - Váš GEOSHOP* [online]. Dostupné z: <http://geotronics.cz/>
- [8] PATERA, Michal. *Vliv nových trendů na návrh venkovních vedení*. Praha, 2015. Diplomová práce. ČVUT FEL.



Seznam obrázků

Obr. 1 Atlas vedení ČR- ukázka	11
Obr. 2 Lano AIFe.....	13
Obr. 3 Stanice VRS NOW	15
Obr. 4 Stanice CZEPOS	16
Obr. 5 Přehled situace a označení kódů	18
Obr. 6 Kódy na jednotlivých lanech	19
Obr. 7 Trimble S5.....	20
Obr. 8 Trimble SX10.....	21
Obr. 9 Ukázka skenovaných dat.....	21
Obr. 10 DJI Matrice 210 RTK.....	22
Obr. 11 Vlíčovací bod	22
Obr. 12 Měřická síť	23
Obr. 13 Stabilizace bodu-měřický hřeb	24
Obr. 14 Stabilizace bodu- refl. fólie	24
Obr. 15 Trigonometrické určení výšky.....	26
Obr. 16 Svorka.....	28
Obr. 17 Rajón.....	30
Obr. 18 Protínání z úhlů	32
Obr. 19 Výpočet bodu na přímce.....	35
Obr. 20 Definice vodičů pro měření dle typu svazku	38
Obr. 21 Typy uchycení nosných závěsů	39
Obr. 22 Typy uchycení kotevních závěsů	39
Obr. 23 Definice míst pro měření krajních vodičů.....	40
Obr. 24 Kružnice	42
Obr. 25 Řetězovka-souměrné pole.....	46
Obr. 26 Řetězovka – Nesouměrné pole.....	49
Obr. 27 Meteostanice	54
Obr. 28 Rozpětí 046_047	58
Obr. 29 Rozpětí 009_010.....	58
Obr. 30 Rozpětí 046_047 laserové skenování	59
Obr. 31 Rozpětí 009_010 laserové skenování	59
Obr. 32 Průhyby 350 AIFe 6.....	61
Obr. 33 Průhyby 450/52 AIFe	62
Obr. 34 Řetězovka v porovnání s měřením	64



Seznam tabulek

Tab. 1 Druhy lan v rozpětí	12
Tab. 2 Ukázka hodnot sdruženého napětí	13
Tab. 3 Výpočet nebezpečného času	17
Tab. 4 Přesnost přístroje SX10	21
Tab. 5 Seznam souřadnic S-JTSK a výšek Bpv	24
Tab. 6 Kontrola bodů	25
Tab. 7 Porovnání délek	26
Tab. 8 Porovnání převýšení	27
Tab. 9 Protínání z úhlů – přesnosti podle velikosti úhlu	33
Tab. 10 Ochranná pásma	40
Tab. 11 Montážní tabulka – ukázka	53
Tab. 12 Závislost okolní teploty na průhyb	56
Tab. 13 Odchytky od kružnice	57
Tab. 14 Parametry lana 350 AIFe 6	60
Tab. 15 Parametry lana 450/52 AIFe	62

Seznam použitých zkratk

VVN Vedení vysokého napětí.

ČEPS- Česká energetická přenosová soustava.

UAV- Unmanned Aerial Vehicle. (dron)

DMP – Digitální model povrchu.

RTK- Real time kinematic

GNSS-Global navigation satellite system

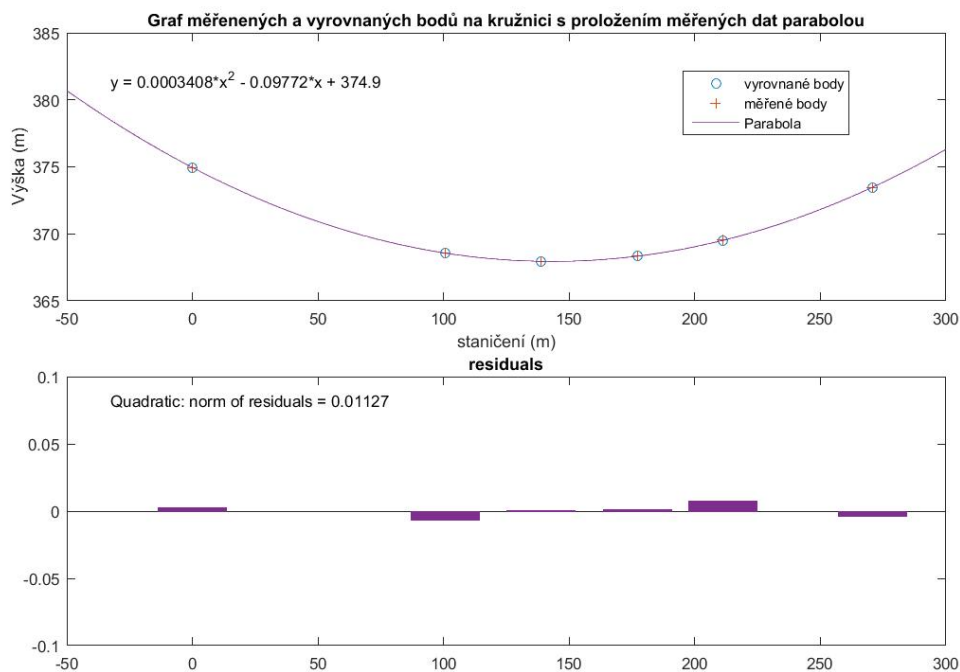
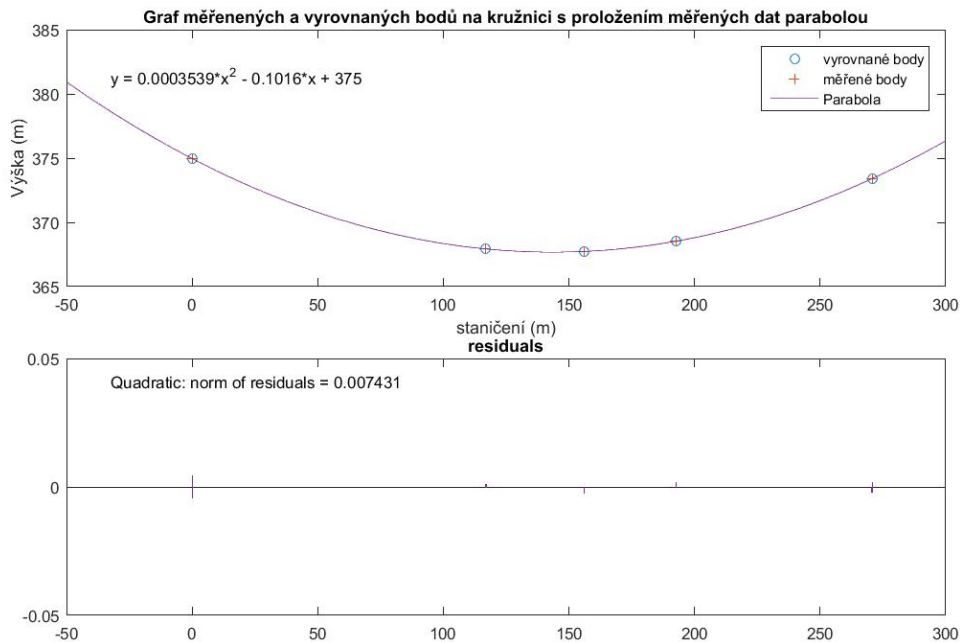


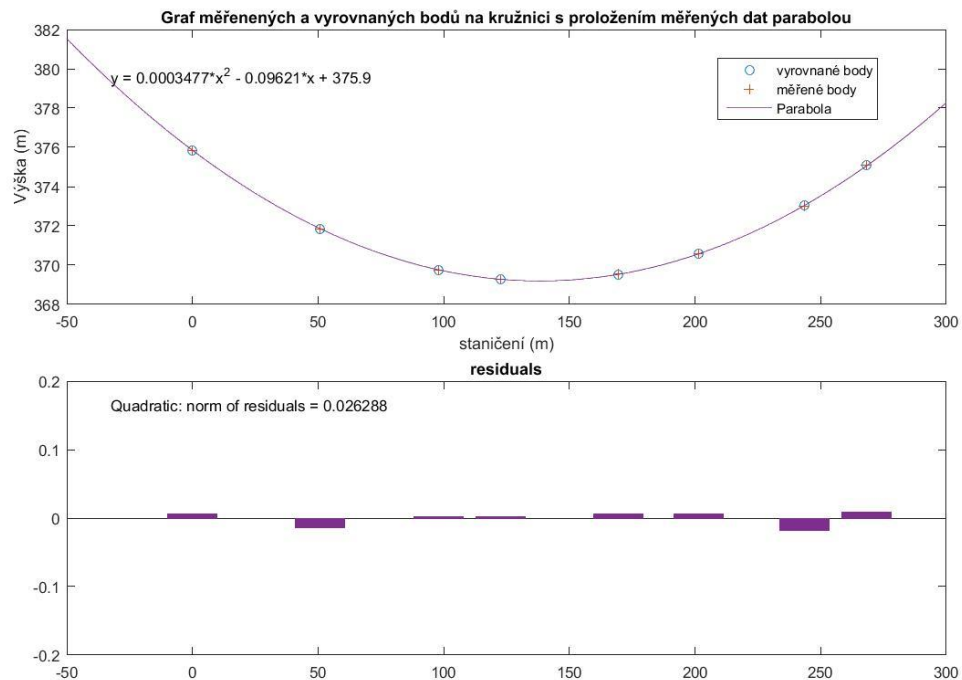
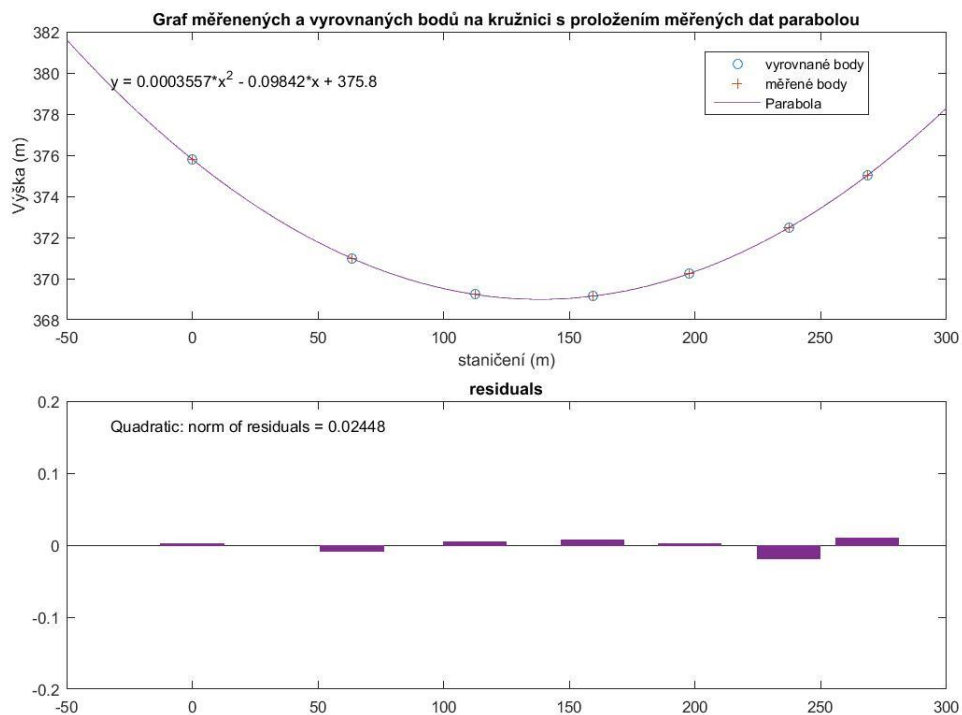
Seznam příloh

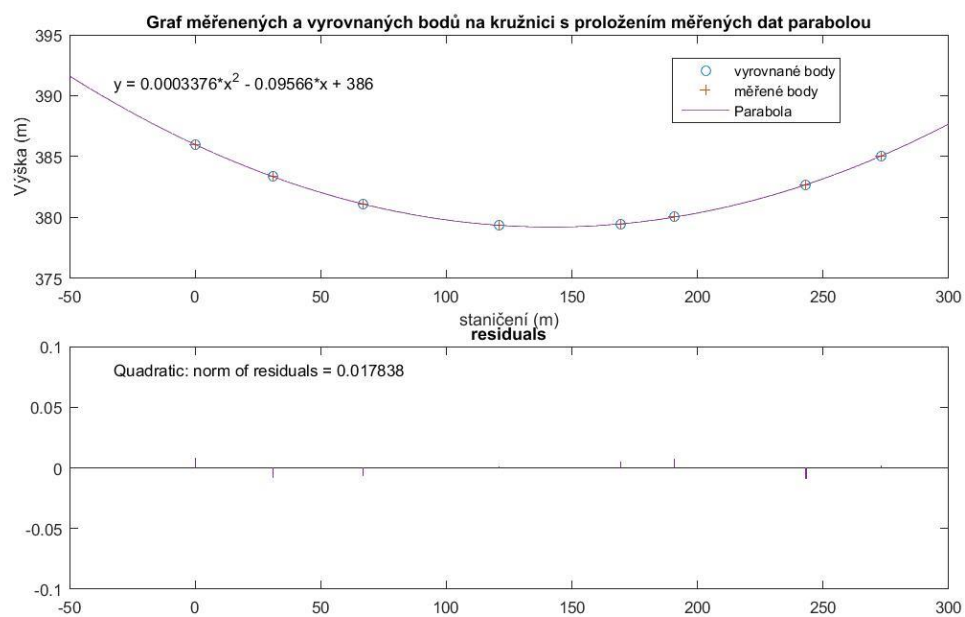
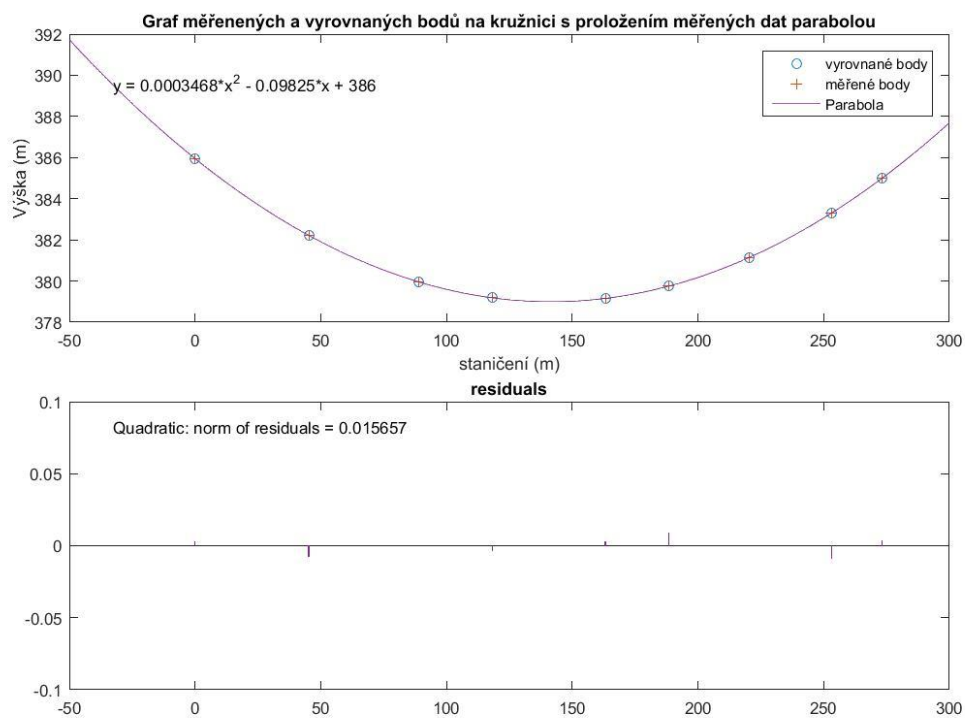
Příloha A proložení měřených dat TS parabolou v rozpětí 046_047	Příloha A	71
Příloha B proložení měřených dat TS parabolou v rozpětí 009_010		75
Příloha C proložení měřených dat LS parabolou v rozpětí 046_047		79
Příloha D proložení měřených dat LS parabolou v rozpětí 009_010		83
Příloha E Odchyšky bodů z laserového skeneru na vodiči od kružnice v rozpětí 009-010.		87
Příloha F Odchyšky bodů z laserového skeneru na vodiči od kružnice v rozpětí 046-047.		89
Příloha G Odchyšky měřených bodů totální stanicí na vodiči od kružnice v rozpětí 009-010		91
Příloha H Odchyšky měřených bodů totální stanicí na vodiči od kružnice v rozpětí 046-047		93
Příloha I Porovnání délek určených v softwaru microstation a matlabu.		94
Příloha J Parametry stožárů v rozpětí		95
Příloha K Mapa námrazových oblastí ČR.		97

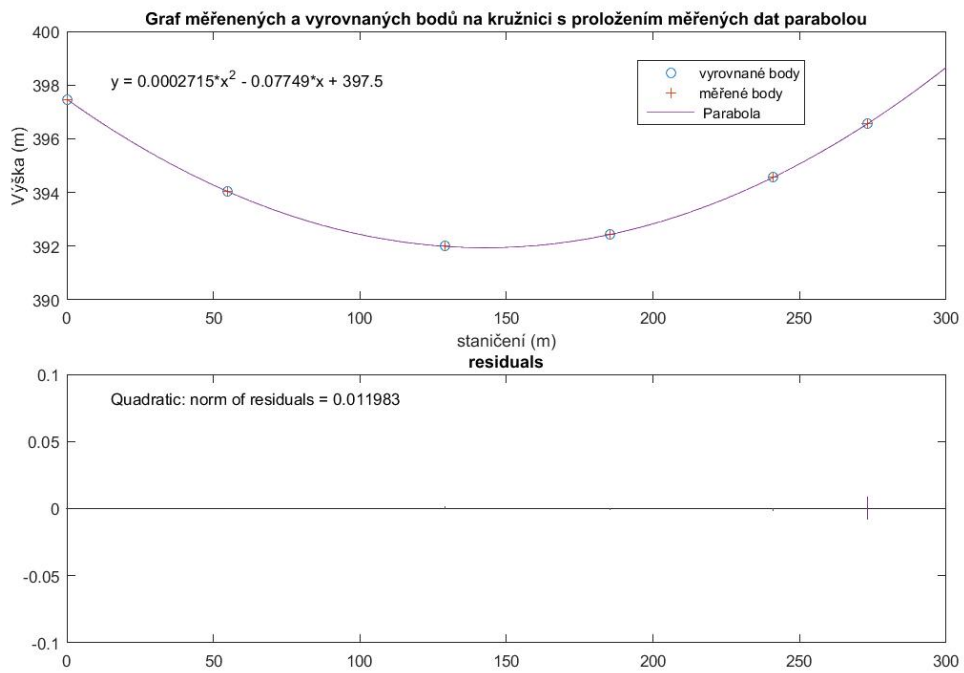
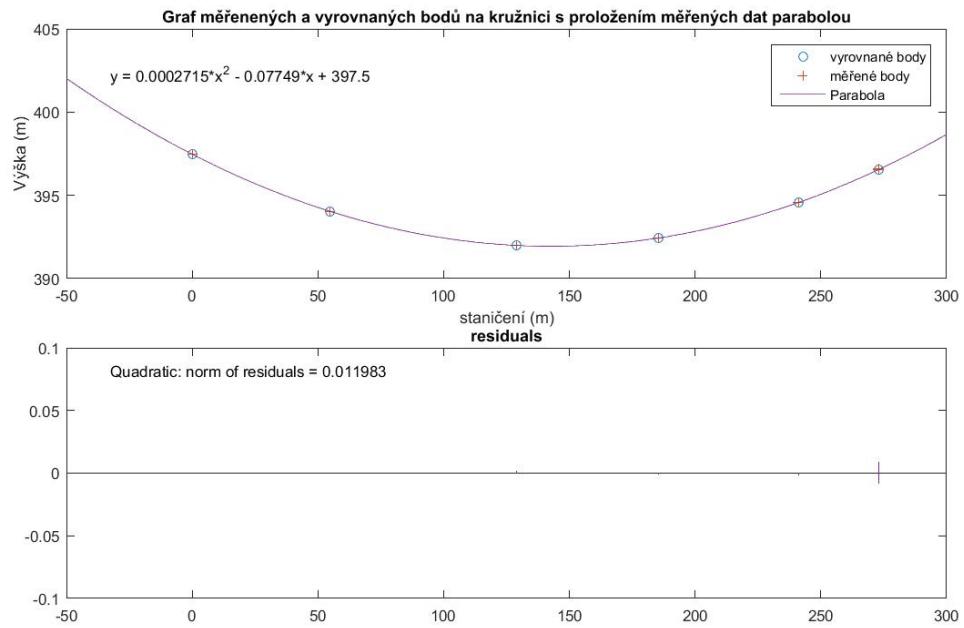


Příloha A proložení měřených dat TS parabolou v rozpětí 046_047



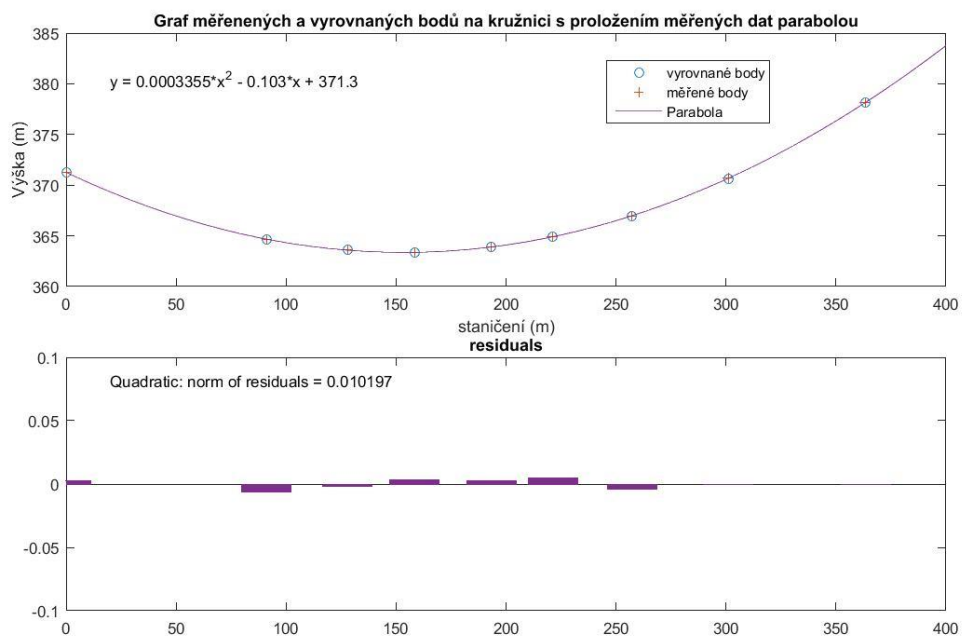
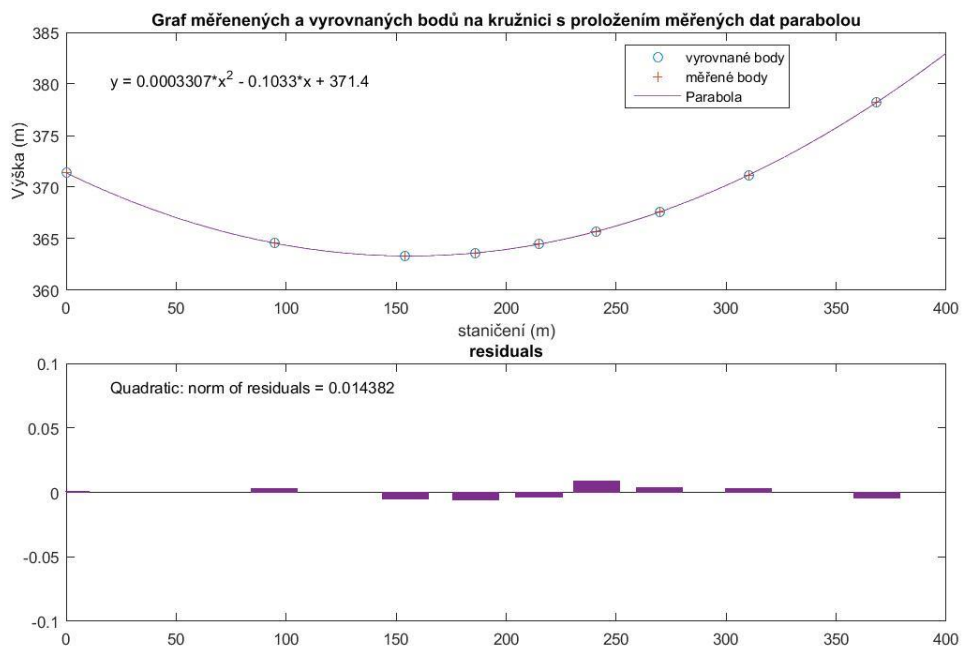


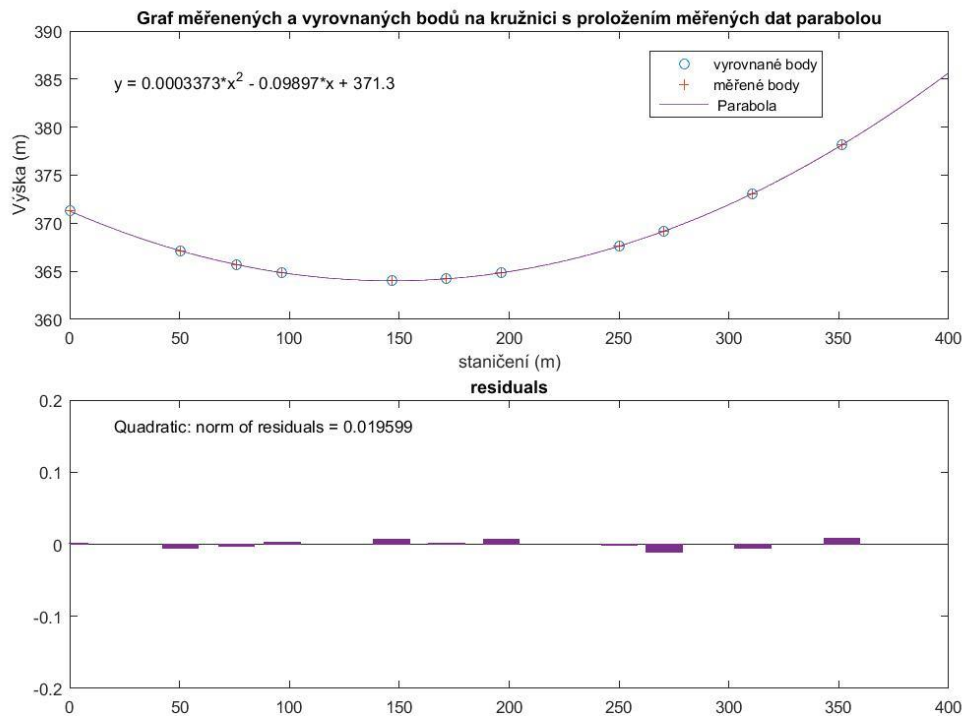
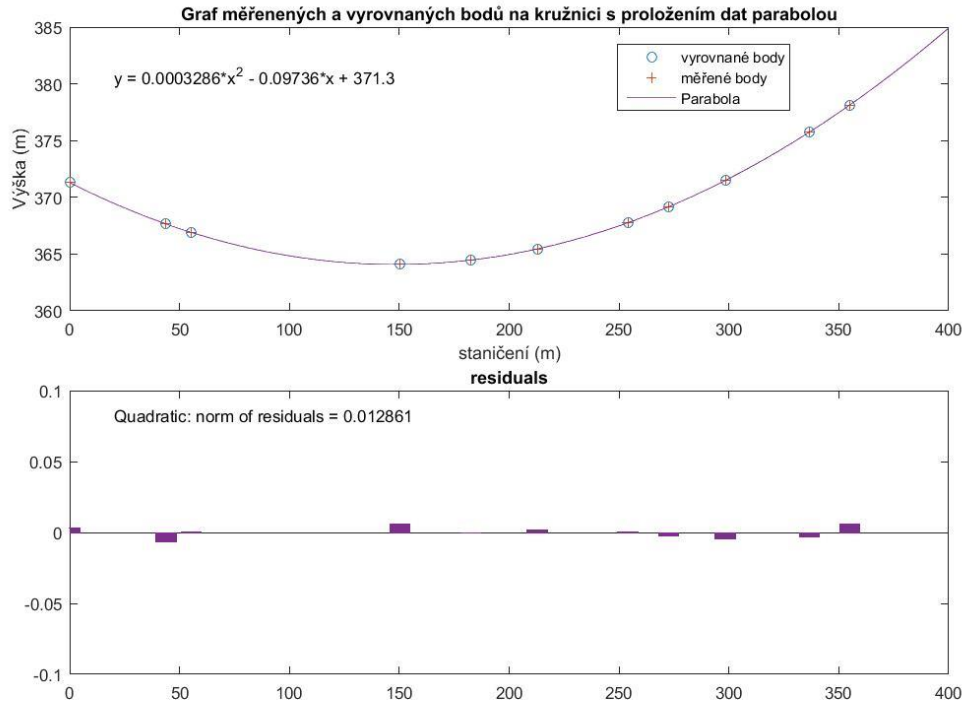


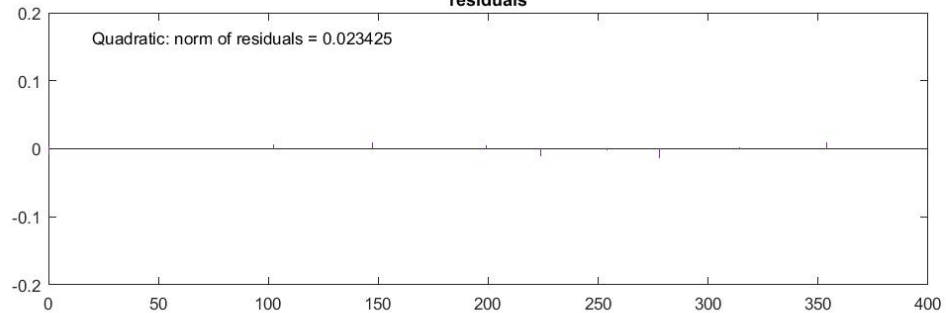
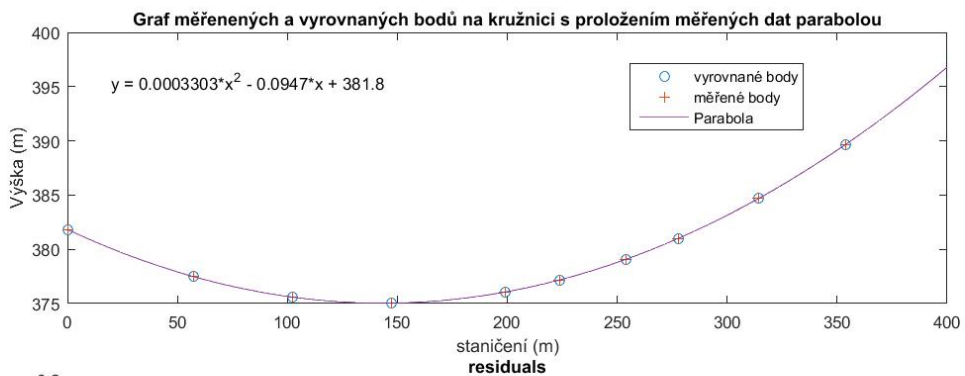
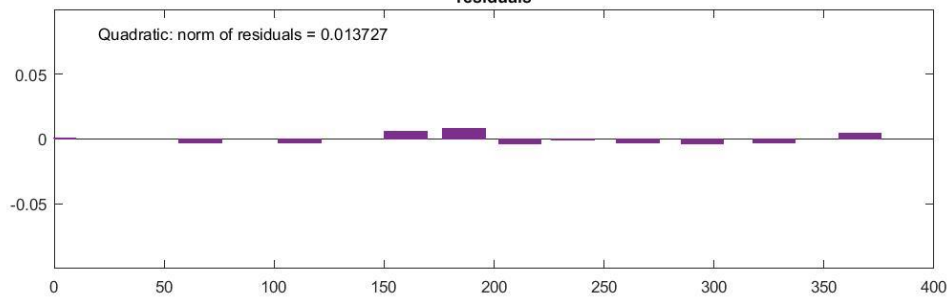
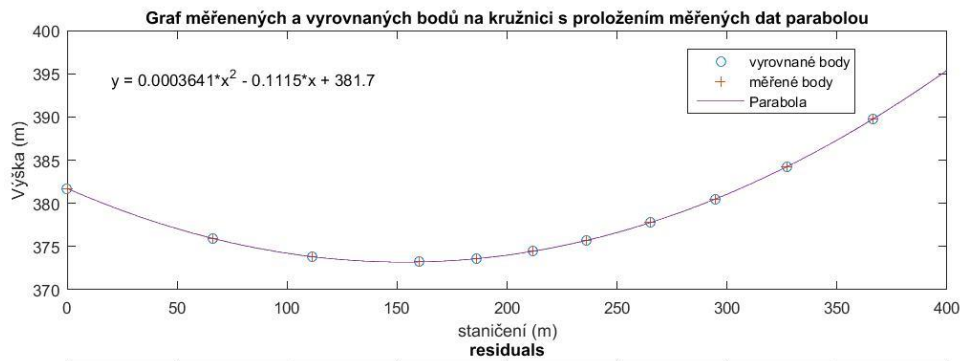


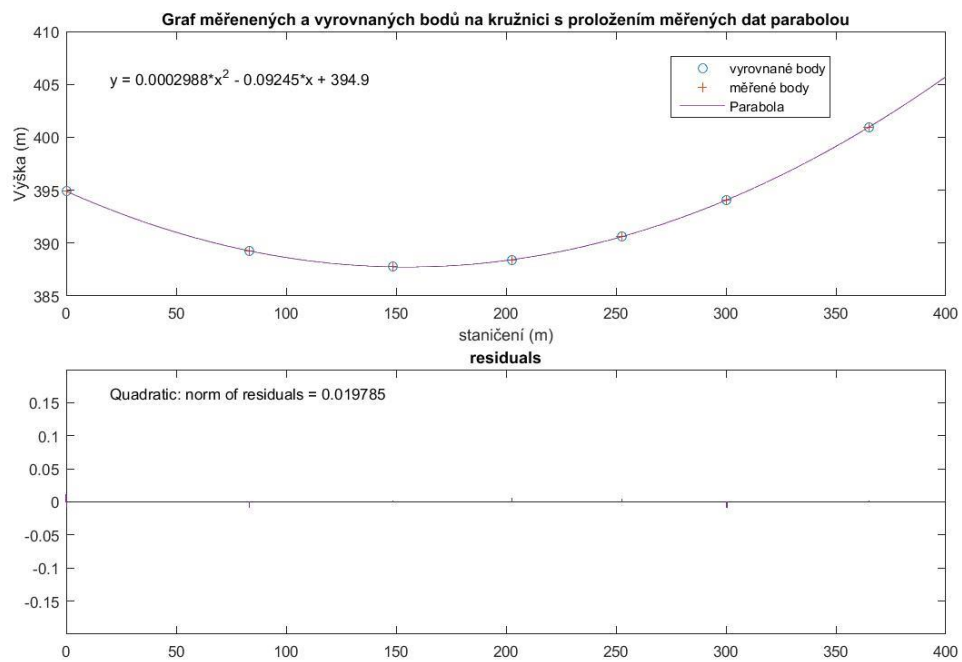
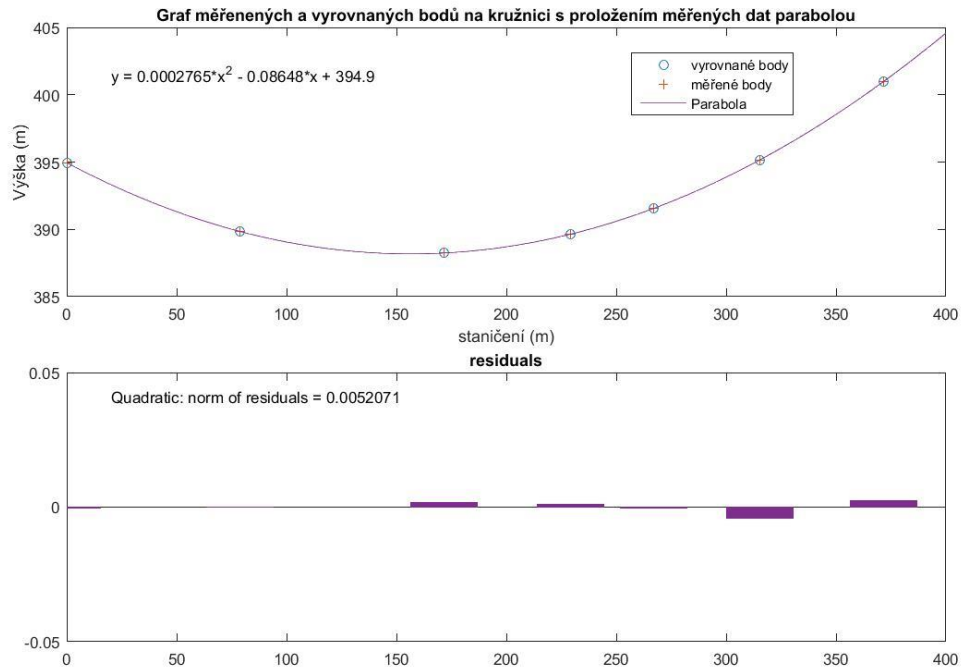


Příloha B proložení měřených dat TS parabolou v rozpětí 009_010



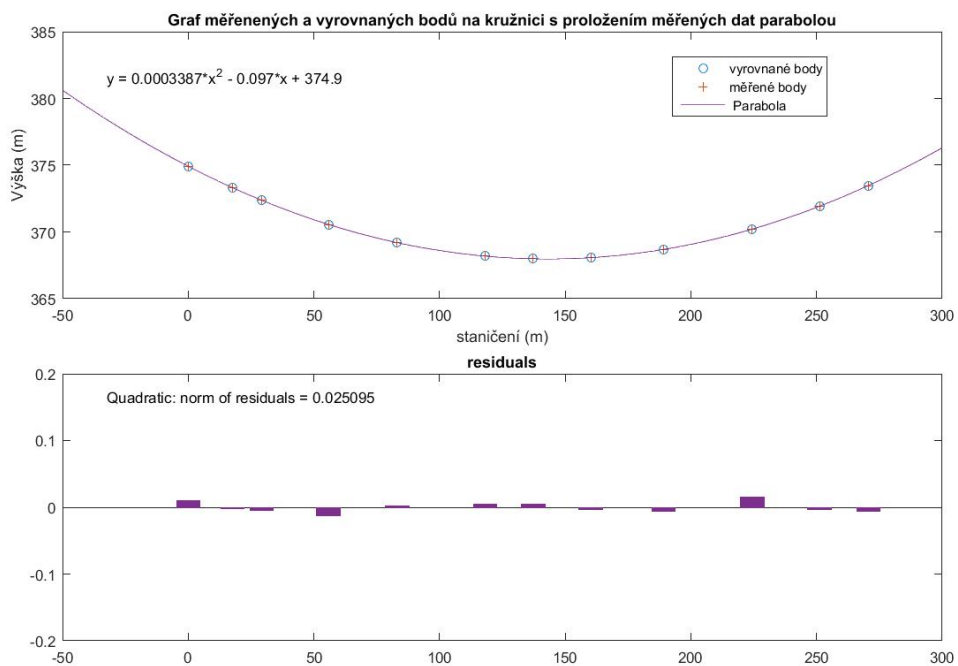
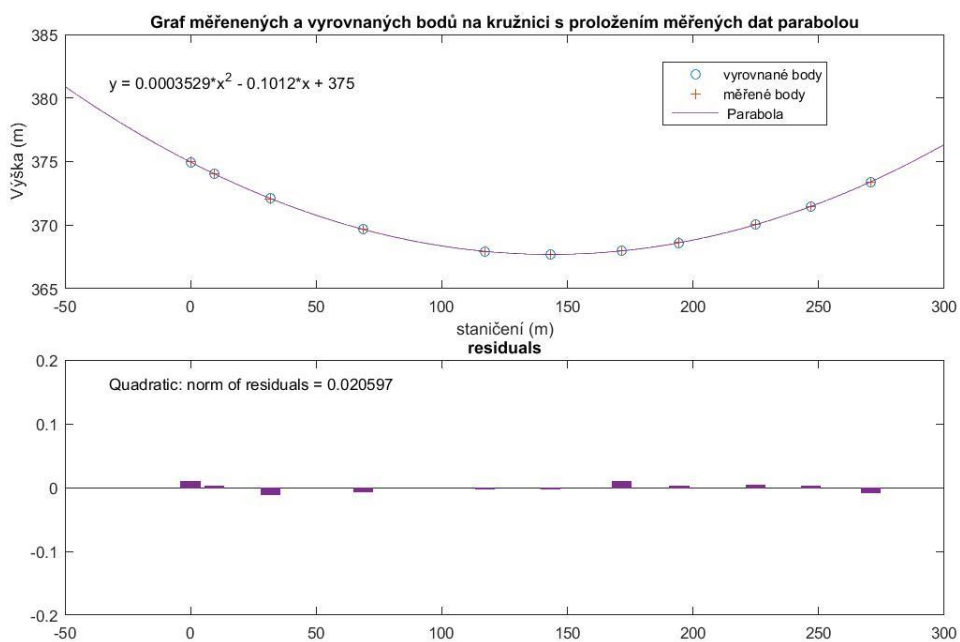


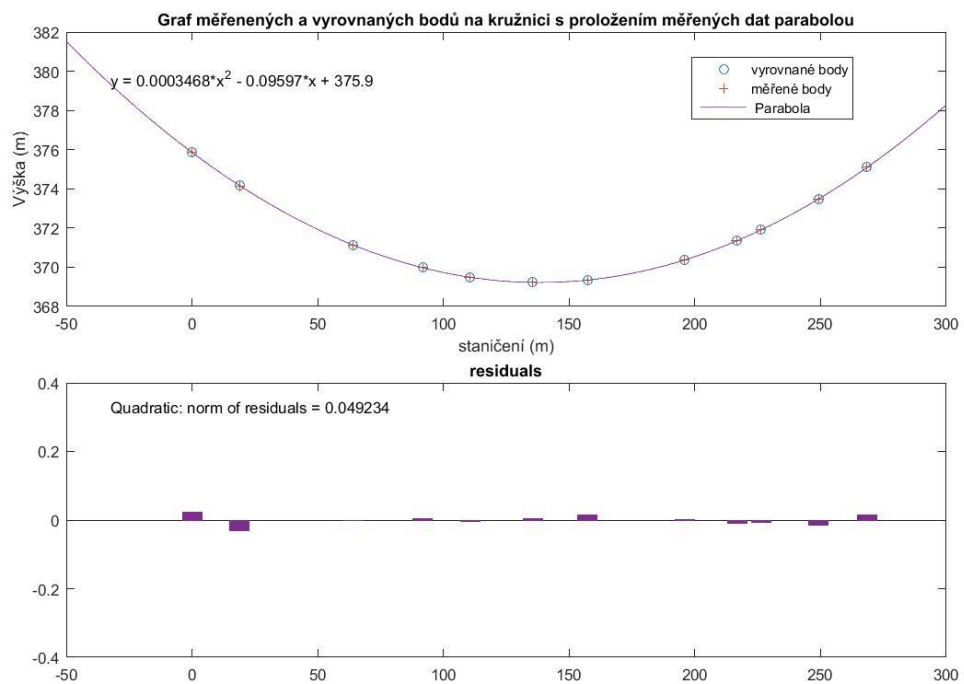
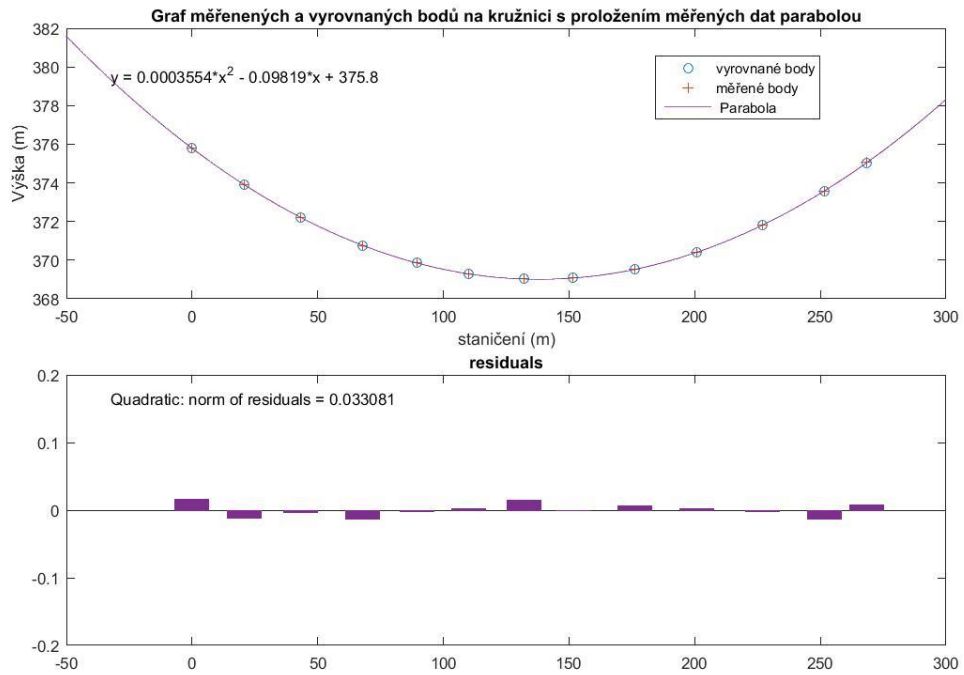


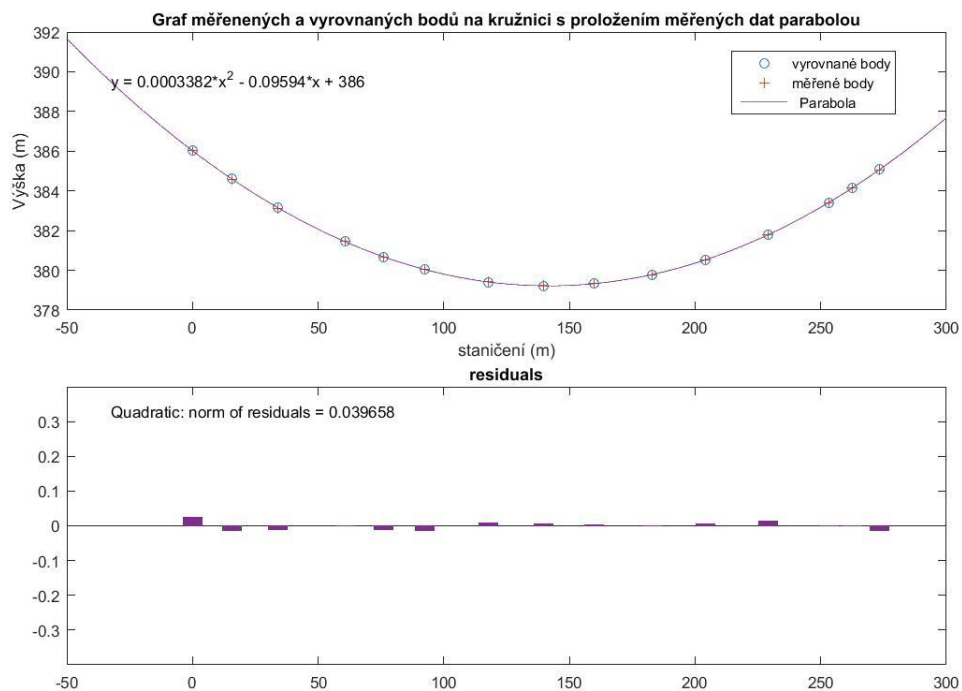
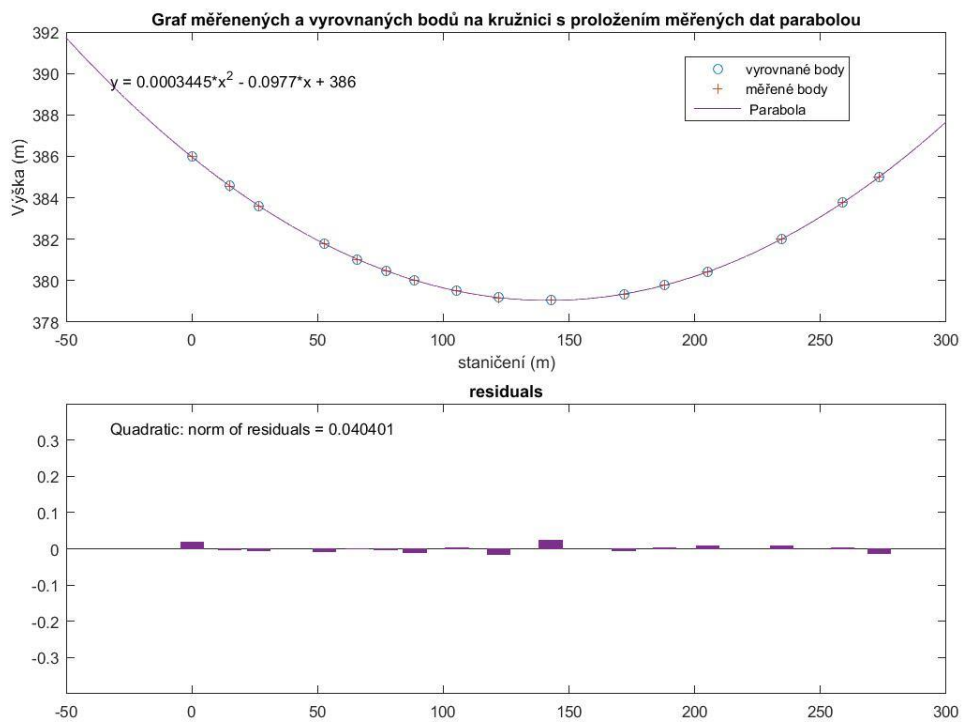


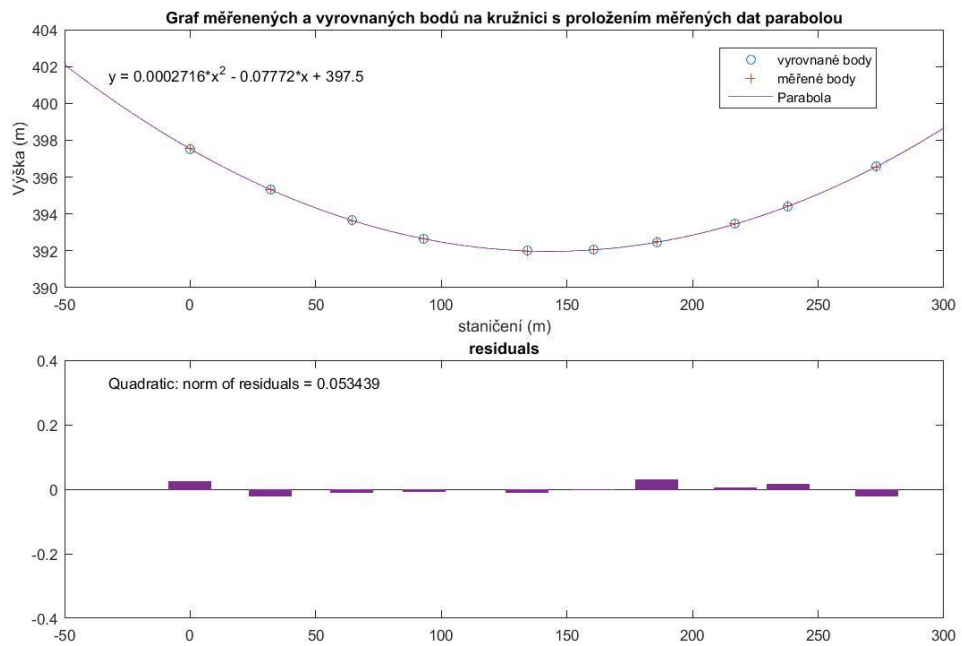
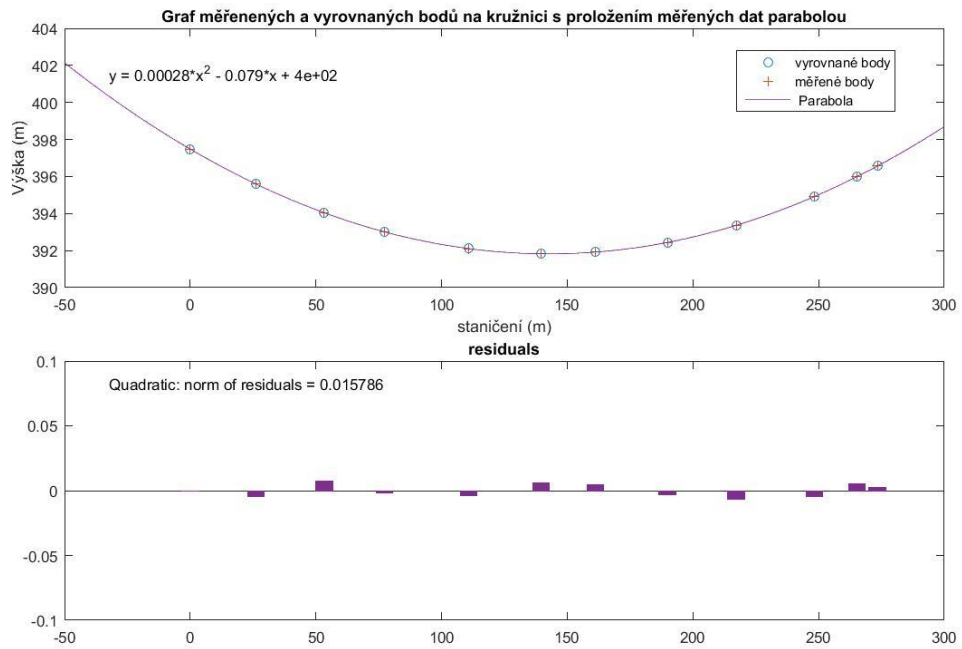


Příloha C proložení měřených dat LS parabolou v rozpětí 046_047



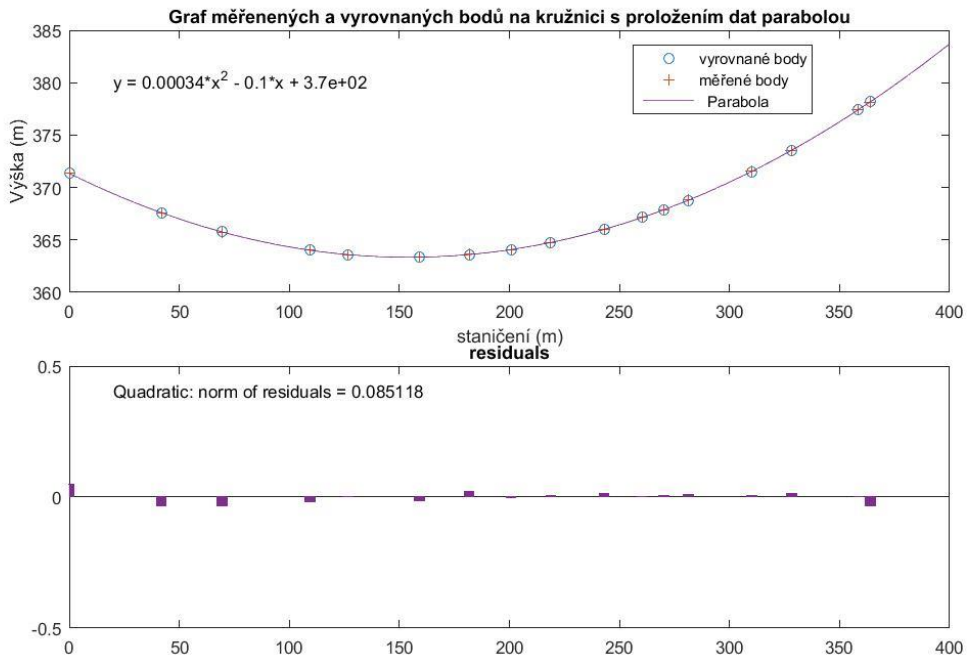
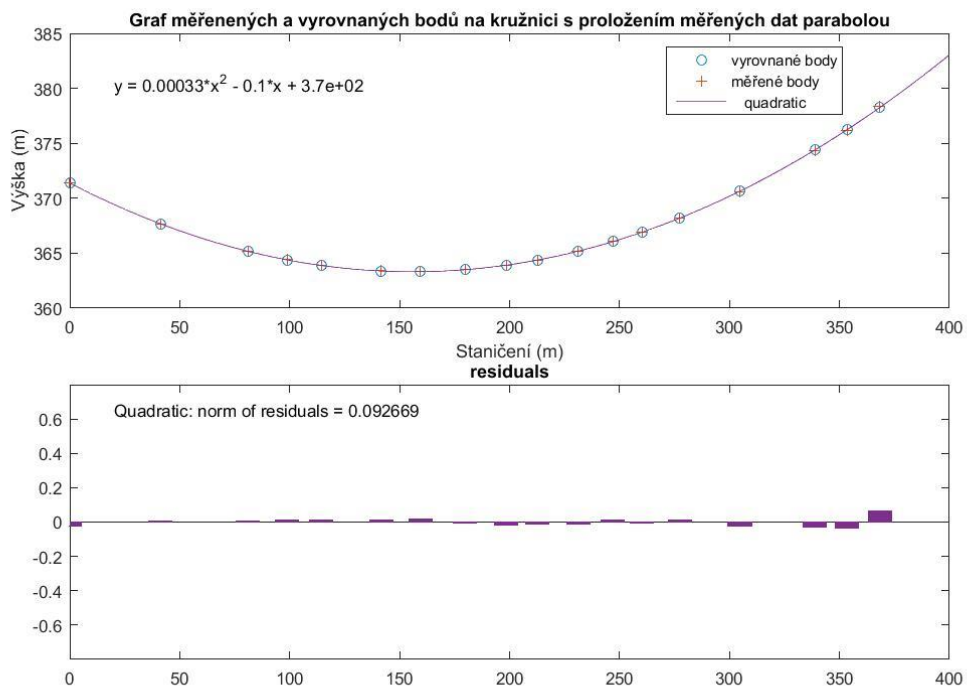


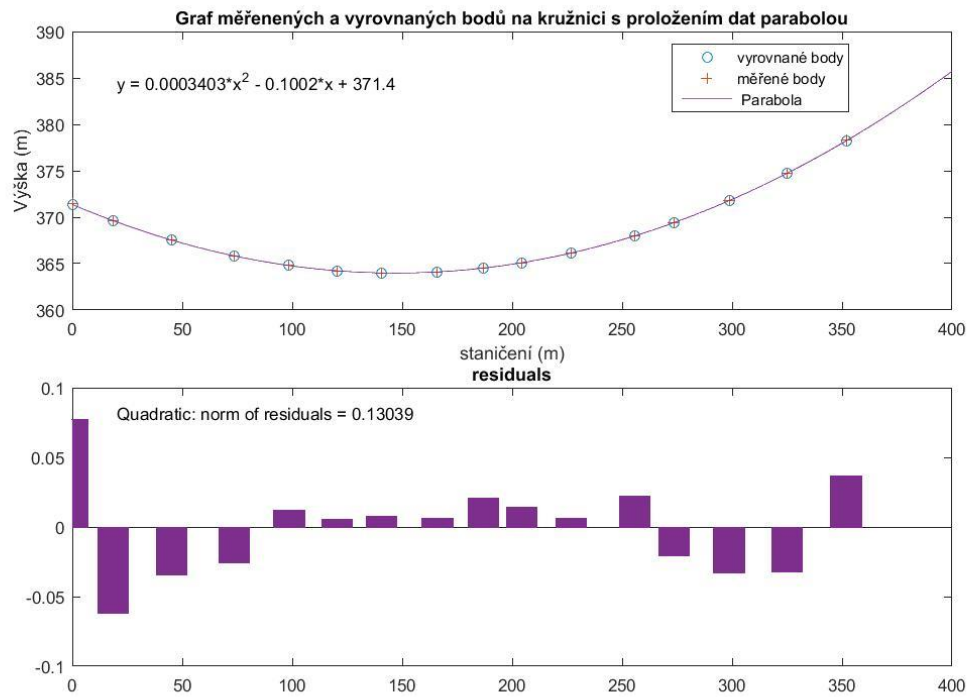
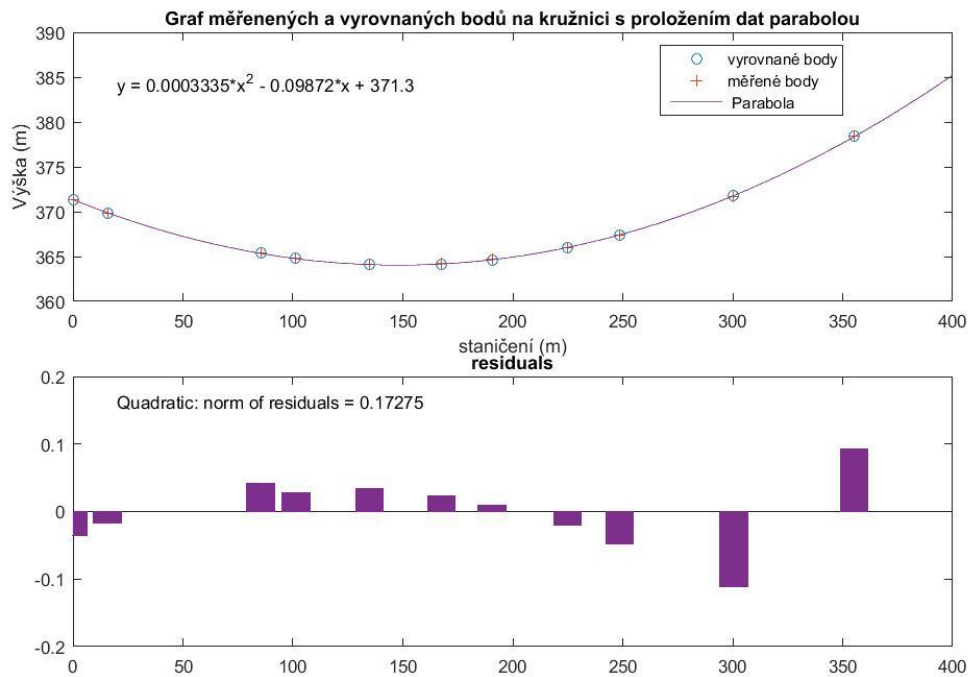


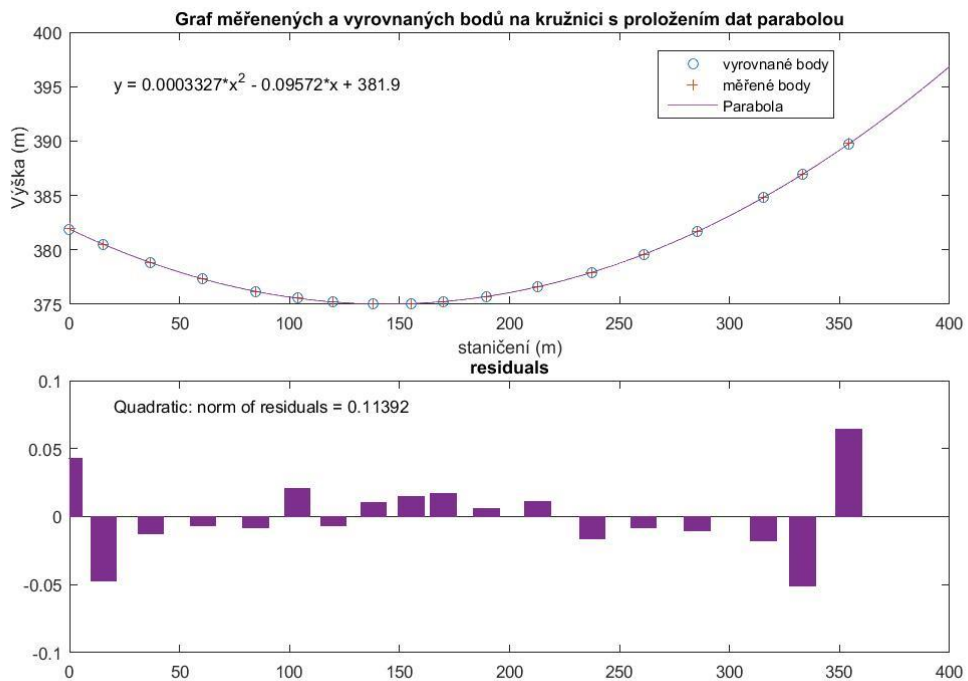
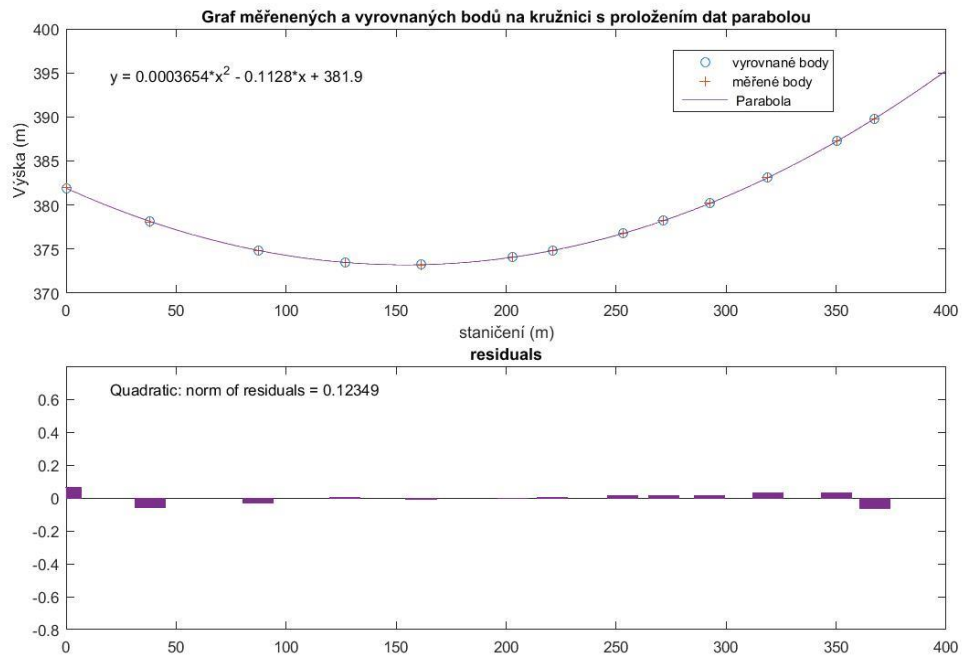


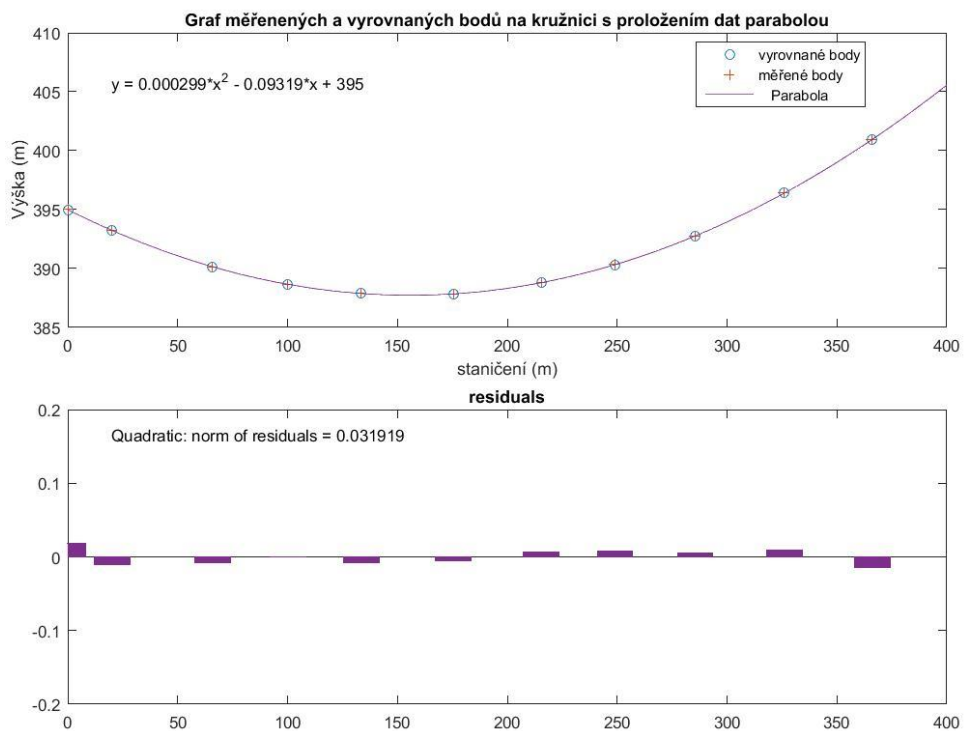
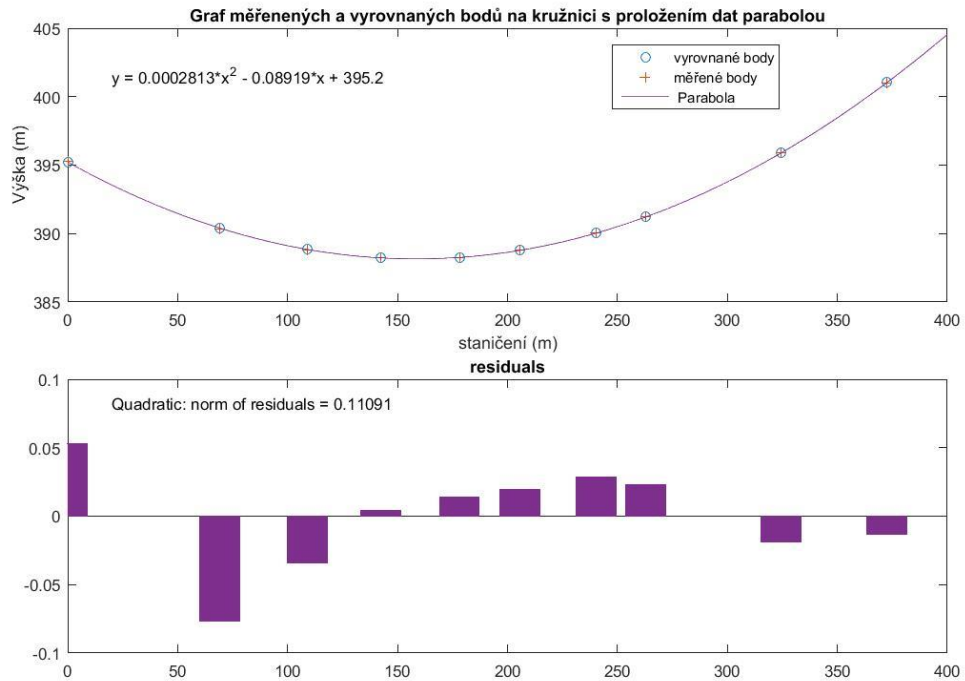


Příloha D proložení měřených dat LS parabolou v rozpětí 009_010









**Příloha E Odchyly bodů z laserového skeneru na vodiči od kružnice v rozpětí 009-010.**

FA 009_010	
Odchyly měřených bodů od kružnice	odchyly [m]
	-0,017
	0,010
	0,005
	0,007
	0,008
	0,008
	0,011
	-0,011
	-0,021
	-0,013
	-0,007
	0,017
	0,004
	0,019
	-0,011
	-0,025
-0,036	
0,052	

FB 009_010	
Odchyly měřených bodů od kružnice	odchyly [m]
	0,054
	-0,028
	-0,032
	-0,021
	-0,006
	-0,020
	0,017
	-0,006
	0,005
	0,018
	0,010
	0,012
	0,017
	0,014
	0,019
	-0,006
-0,046	

FC 009_010	
Odchyly měřených bodů od kružnice	odchyly [m]
	-0,034
	-0,013
	0,040
	0,025
	0,029
	0,019
	0,008
	-0,016
	-0,040
	-0,101
	0,083



FD 009_010	
Odchylky měřených bodů od kružnice	odchylky [m]
	0,079
	-0,058
	-0,032
	-0,026
	0,008
	0,000
	0,002
	0,001
	0,018
	0,014
	0,009
	0,029
	-0,012
	-0,025
	-0,030
0,023	

FE 009_010	
Odchylky měřených bodů od kružnice	odchylky [m]
	0,069
	-0,056
	-0,032
	-0,007
	-0,021
	-0,005
	0,001
	0,020
	0,024
	0,026
	0,039
	0,026
-0,083	

FF 009_010	
Odchylky měřených bodů od kružnice	odchylky [m]
	0,045
	-0,044
	-0,010
	-0,006
	-0,011
	0,017
	-0,012
	0,005
	0,010
	0,014
	0,004
	0,013
	-0,011
	0,001
	-0,001
-0,012	
-0,051	
0,049	

FG 009_010	
Odchylky měřených bodů od kružnice	odchylky [m]
	0,055
	-0,076
	-0,036
	0,001
	0,011
	0,018
	0,031
	0,028
	-0,013
	-0,020

FH 009_010	
Odchylky měřených bodů od kružnice	odchylky [m]
	0,019
	-0,008
	-0,008
	-0,003
	-0,013
	-0,010
	0,006
	0,012
	0,013
0,014	
-0,022	

**Příloha F Odchyly bodů z laserového skeneru na vodiči od kružnice v rozpětí 046-047.**

FA 046_047	
Odchyly měřených bodů od kružnice	odchyly [m]
	0,007
	0,002
	-0,008
	-0,005
	-0,003
	-0,004
	0,008
	0,002
	0,004
	0,003
	-0,008

FB 046_047	
Odchyly měřených bodů od kružnice	odchyly [m]
	0,007
	-0,001
	-0,004
	-0,010
	0,003
	0,003
	0,003
	-0,005
	-0,006
	0,016
	-0,002
	-0,006

FC 046_047	
Odchyly měřených bodů od kružnice	odchyly [m]
	0,014
	-0,010
	-0,002
	-0,012
	-0,002
	0,001
	0,013
	-0,002
	0,006
	0,002
	-0,001
	-0,012
0,006	

FD 046_047	
Odchyly měřených bodů od kružnice	odchyly [m]
	0,022
	-0,030
	0,001
	0,005
	-0,004
	0,003
	0,014
	0,002
	-0,007
	-0,005
	-0,013
	0,014

FE 046_047	
Odchyly měřených bodů od kružnice	odchyly [m]
	0,015
	-0,004
	-0,005
	-0,006
	0,001
	-0,001
	-0,009
	0,001
	-0,016
	0,021
	-0,006
	0,002
	0,009
	0,009
0,003	
-0,015	

FF 046_047	
Odchyly měřených bodů od kružnice	odchyly [m]
	0,022
	-0,013
	-0,008
	0,002
	-0,009
	-0,012
	0,007
	0,004
	0,001
	-0,001
	0,005
	0,014
	0,001
	0,000
-0,014	



FG 046_047	
Odchylky měřených bodů od kružnice	odchylky [m]
	-0,002
	-0,004
	0,008
	-0,001
	-0,005
	0,005
	0,003
	-0,003
	-0,006
	-0,004
	0,005
	0,002

FH 046_047	
Odchylky měřených bodů od kružnice	odchylky [m]
	0,024
	-0,021
	-0,009
	-0,006
	-0,011
	-0,003
	0,028
	0,006
	0,015
	-0,023

**Příloha G Odchytky měřených bodů totální stanicí na vodiči od kružnice v rozpětí 009-010**

FA 009_010	
Odchytky měřených bodů od kružnice	odchytky [m]
	0,005
	0,000
	-0,012
	-0,011
	-0,005
	0,012
	0,012
	0,014
	-0,015

FB 009_010	
Odchytky měřených bodů od kružnice	odchytky [m]
	0,007
	-0,008
	-0,007
	-0,002
	0,000
	0,006
	0,004
	0,011
	-0,010

FC 009_010	
Odchytky měřených bodů od kružnice	odchytky [m]
	0,005
	-0,006
	0,000
	-0,002
	-0,006
	0,000
	0,005
	0,005
	0,003
-0,003	
-0,004	

FD 009_010	
Odchytky měřených bodů od kružnice	odchytky [m]
	0,005
	-0,004
	-0,004
	-0,001
	0,001
	-0,003
	0,005
	0,005
	-0,002
	0,001
	-0,002

FE 009_010	
Odchytky měřených bodů od kružnice	odchytky [m]
	0,007
	-0,002
	-0,010
	-0,003
	0,002
	-0,005
	0,003
	0,007
	0,009
	0,005
	-0,012

FF 009_010	
Odchytky měřených bodů od kružnice	odchytky [m]
	-0,004
	0,005
	-0,001
	0,000
	0,002
	0,002
	-0,008
	0,006
	-0,005
	0,007
	-0,004



FG 009_010	
Odchylky měřených bodů od kružnice	odchylky [m]
	0,002
	-0,002
	-0,004
	0,001
	0,004
	0,002
	-0,003

FH 009_010	
Odchylky měřených bodů od kružnice	odchylky [m]
	-0,007
	0,013
	-0,010
	-0,005
	0,004
	0,009
	0,000
	-0,004

**Příloha H Odchyly měřených bodů totální stanicí na vodiči od kružnice v rozpětí 046-047**

FA 046_047	
Odchyly měřených bodů od kružnice	odchyly [m]
	0,004
	-0,004
	0,001
	-0,003
	0,002
	-0,002
	0,002

FB 046_047	
Odchyly měřených bodů od kružnice	odchyly [m]
	0,002
	-0,006
	-0,001
	0,001
	0,008
	-0,004

FC 046_047	
Odchyly měřených bodů od kružnice	odchyly [m]
	0,001
	-0,006
	0,004
	0,006
	0,002
	-0,017
	0,009

FD 046_047	
Odchyly měřených bodů od kružnice	odchyly [m]
	0,005
	-0,011
	0,002
	0,001
	0,004
	0,007
	-0,016
0,008	

FE 046_047	
Odchyly měřených bodů od kružnice	odchyly [m]
	0,002
	0,001
	-0,004
	0,001
	-0,005
	0,001
	0,008
	0,001
	-0,007
	0,002

FF 046_047	
Odchyly měřených bodů od kružnice	odchyly [m]
	0,007
	-0,001
	-0,005
	-0,005
	-0,001
	0,003
	0,007
	-0,007
0,001	

FG 046_047	
Odchyly měřených bodů od kružnice	odchyly [m]
	-0,002
	0,002
	0,002
	0,000
	0,004
	-0,005
	-0,011
	0,023
	-0,013

FH 046_047	
Odchyly měřených bodů od kružnice	odchyly [m]
	-0,001
	0,001
	0,000
	-0,001
	0,000
	-0,008
	0,009

**Příloha I Porovnání délek určených v softwaru microstation a matlabu.**

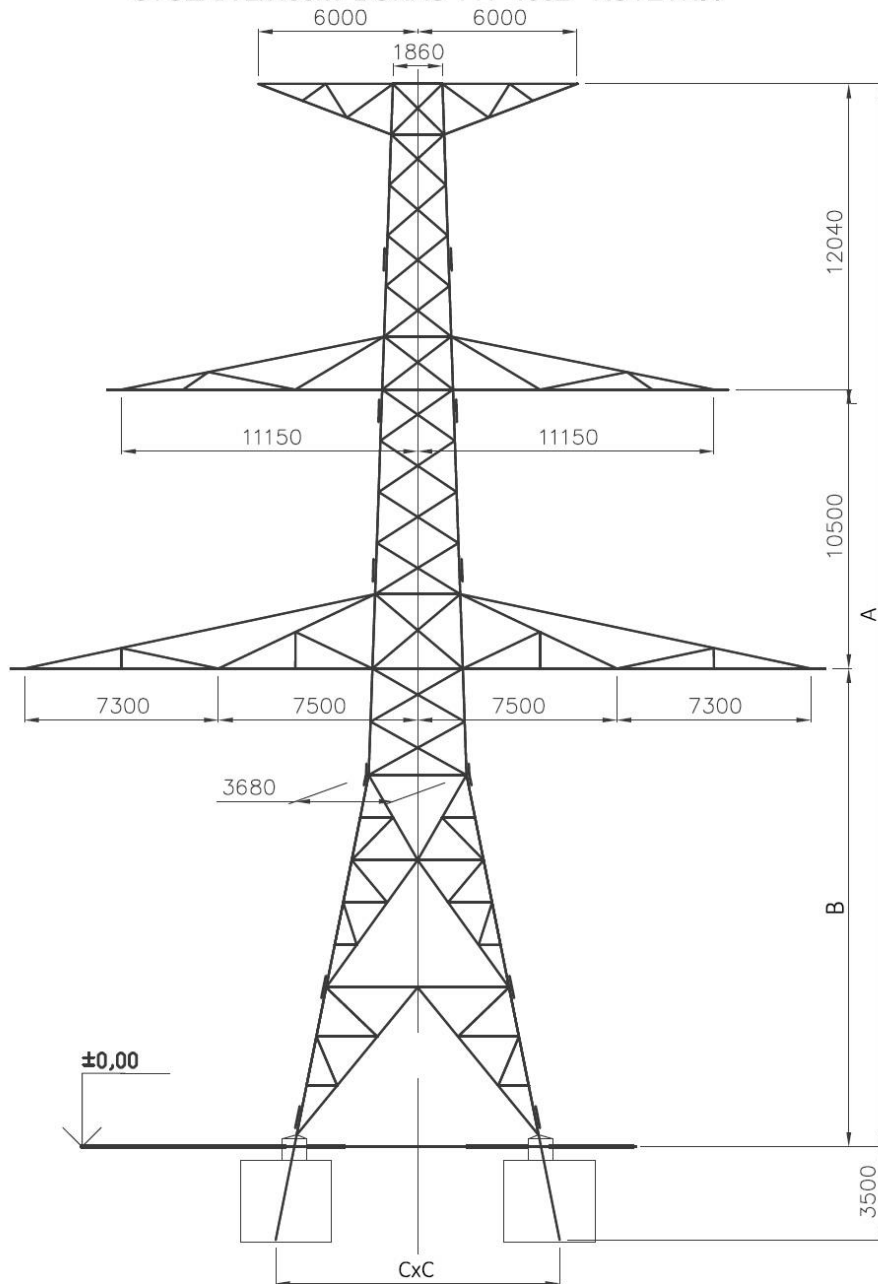
046-047					
porovnání TS a LS 11.1 2018					
vodič	délka TS	délka LS	rozdíl TS-LS	matlab	rozdíl M-TS
FA	271,167	271,151	0,016	271,167	0,000
FB	271,039	270,991	0,047	271,035	-0,004
FC	268,870	268,864	0,007	268,872	0,002
FD	268,793	268,765	0,029	268,794	0,001
FE	273,695	273,664	0,031	273,696	0,001
FF	273,593	273,567	0,026	273,593	0,000
FG	273,552	273,527	0,025	273,553	0,001
FH	273,408	273,421	-0,013	273,408	0,000

010-009					
porovnání TS a LS 11.1 2018					
vodič	délka TS	délka LS	rozdíl	matlab	rozdíl M-TS
FA	369,391	369,425	-0,034	369,401	0,010
FB	364,483	364,479	0,004	364,482	-0,001
FC	355,996	356,004	-0,008	355,996	0,000
FD	352,389	352,379	0,009	352,39	0,001
FE	367,441	367,458	-0,018	367,444	0,003
FF	354,614	354,633	-0,020	354,616	0,002
FG	372,324	372,318	0,006	372,325	0,001
FH	365,723	365,739	-0,016	365,727	0,004

010-009				046-047			
Délky z LS s výsledky z matlabu data z 11.1 2018				Délky z LS s výsledky z matlabu data z 11.1 2018			
vodič	délka LS	delka Matlab	rozdíl LS-M	vodič	délka LS	delka Matlab	rozdíl LS-M
FA	369,425	369,424	0,001	FA	271,151	271,149	0,002
FB	364,479	364,475	0,004	FB	270,991	270,994	-0,003
FC	356,004	356,006	-0,002	FC	268,864	268,860	0,004
FD	352,379	352,380	-0,001	FD	268,765	268,763	0,002
FE	367,458	367,460	-0,002	FE	273,664	273,665	-0,001
FF	354,633	354,631	0,002	FF	273,567	273,565	0,002
FG	372,318	372,315	0,003	FG	273,527	273,521	0,006
FH	365,739	365,737	0,002	FH	273,421	273,419	0,002

**Příloha J Parametry stožárů v rozpětí**

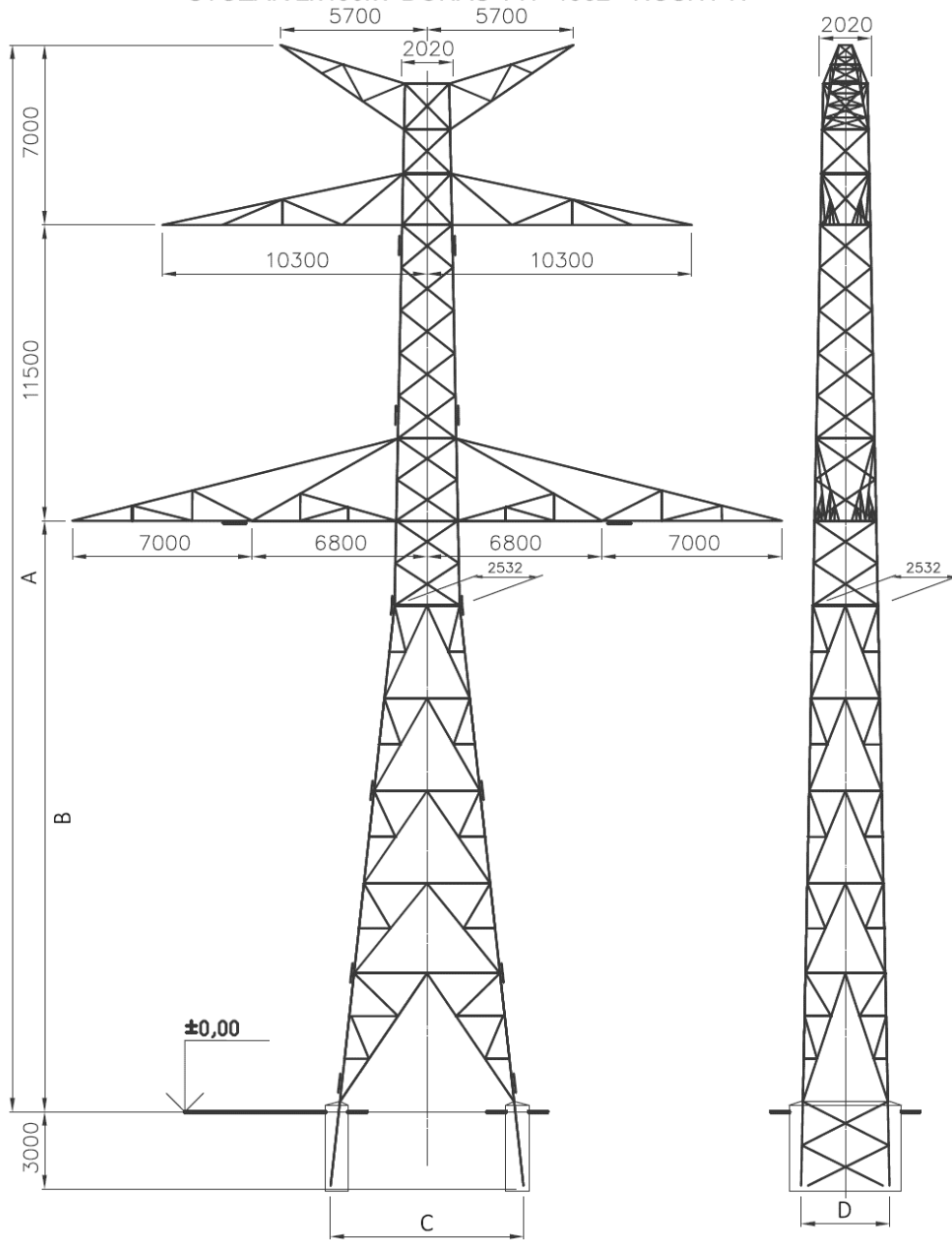
STOŽÁR 2x400kV DONAU TYP 1962 - KOTEVNÍ I



HLAVNÍ ROZMĚRY		
ROZMĚR	I=0	I=4
A	40000	44000
B	18000	22000
C	10680	12280



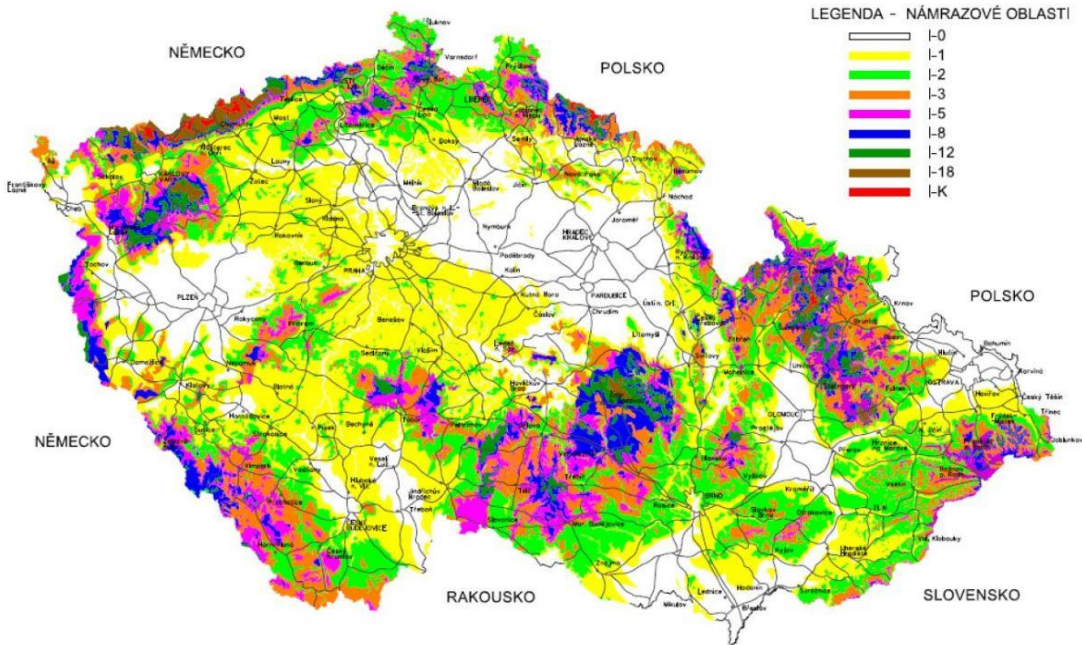
STOŽÁR 2x400kV DONAU TYP 1962 - NOSNÝ N



ROZMÉR	HLAVNÍ ROZMĚRY			
	N+0	N+4	N+8	N+12
A	41500	45500	49500	53500
B	23000	28000	32000	36000
C	7526	8406	7846	8726
D	3440	3600	3760	3920



Příloha K Mapa námrazových oblastí ČR.





Struktura přiloženého DVD

- Fotodokumentace
 - Obsahuje snímky zaměřovaného vedení jedná se o snímky pořízené dronem.
- Grafy
 - Ve složce jsou uloženy výsledné grafy z výpočetních skriptů. Podle rozpětí.
- Měření
 - Laserové skenování – Mračno bodů z přístroje TRIMBLE SX10.
 - Meteostanice – výstup dat z meteostanice.
 - Protokoly – protokoly o výpočtech a z měření pomocí GNSS
 - Souřadnice - seznamy souřadnic.
 - Zápisníky- složka obsahuje měřená surová data.
- Skripty
 - Zde jsou uvedeny veškeré výpočetní skripty s rozdělením pro výpočty dat z TS a LS, a podle rozpětí pro jednotlivá lana.
- TN_45_2017
 - Obsahuje technickou normu- Provozní dokumentace vedení PS.