

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

PROGRAM GEODÉZIE A KARTOGRAFIE

OBOR GEODÉZIE, KARTOGRAFIE A GEOINFORMATIKA



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Testování lokátorů pro vyhledávání inženýrských sítí

Vedoucí práce: Ing. Zdeněk Vyskočil Ph.D

Katedra Geomatiky

Červen 2017

David Zahradník



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební


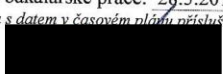
Thákuřova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE



I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: <u>Zahradník</u>	Jméno: <u>David</u>	Osobní číslo: <u>439248</u>
Zadávací katedra: <u>Katedra geomatiky</u>		
Studijní program: <u>Geodézie a kartografie</u>		
Studijní obor: <u>Geodézie, kartografie a geoinformatika</u>		

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: <u>Testování lokátorů pro vyhledávání inženýrských sítí</u>	
Název bakalářské práce anglicky: <u>Testing of public utilities locators</u>	
Pokyny pro vypracování: 1. Stanovení technologických postupů testování 2. Geodetické zaměření vyhledávaného vedení 3. Lokace pomocí tří různých vyhledávačů 4. Vyhodnocení pomocí podélných profilů a detailního plánu.	
Seznam doporučené literatury:	
Jméno vedoucího bakalářské práce: <u>Ing. Zdeněk Vyskočil, Ph.D.</u>	
Datum zadání bakalářské práce: <u>20.2.2017</u>	Termín odevzdání bakalářské práce: <u>28.5.2017</u> <small>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příštího ak. roku</small>
 Podpis vedoucího práce	 Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

<i>Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské 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“.</i>	
 Datum převzetí zadání	 Podpis studenta(ky)

Prohlášení

Prohlašuji, že bakalářskou práci na téma *Testování lokátorů pro vyhledávání inženýrských sítí* jsem vypracoval samostatně pod vedením Ing. Zdeňka Vyskočila, Ph.D a za využití zdrojů, které uvádím v seznamu literatury.

V Praze dne

Podpis

Poděkování

Chtěl bych poděkovat Ing. Zdeňku Vyskočilovi Ph.D. za pomoc a rady při zpracování této bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat firmě Aritmet s. r. o. za zapůjčení přístrojů a Tomášovi Moláčkovi z firmy Alstap s. r. o. za ochotu mi pomoci při měřických pracích na stavbě vodovodu v Březnici.

Abstrakt

Tato bakalářská práce popisuje testování lokátorů pro vyhledávání podzemních vedení pomocí elektromagnetické metody. K testování byla použita stavba vodovodu v Březnici u Příbrami a improvizované vedení v laboratoři na Fakultě stavební ČVUT v Praze.

Klíčová slova

Lokátor, střídavý proud, frekvence, magnetické pole, maximum, minimum, vedení

Abstract

This bachelor thesis describes the testing of locators for searching underground cables using the electromagnetic method. The water main under construction in Březnice near city Příbram and improvised line in a laboratory at the Faculty of Civil Engineering Czech Technical University in Prague was used for testing.

Keywords

Locator, alternating current, frequency, magnetic field, maximum, minimum, line

Obsah

1. Úvod.....	7
2. Rešerše.....	8
3. Rozdělení metod vyhledávání.....	8
4. Elektromagnetická metoda.....	9
4.1 Střídavý proud a magnetické pole	9
4.2 Princip elektromagnetického vyhledávání inženýrských sítí	10
4.3 Vlivy ovlivňující vyhledávání inženýrských sítí	11
5. Lokátory podzemního vedení	12
5.1 Druhy připojení na vedení.....	12
5.2 Rozdělení lokátorů	15
5.2.1 Rozdělení lokátoru podle konstrukce.....	15
5.2.2 Popis módu a používaných frekvencí střídavého proudu	16
5.3 Způsoby určování hloubky.....	17
5.4 Popis použitých lokátorů.....	18
5.4.1 Geoton F19	18
5.4.2 Leica DigiCAT 200	19
5.4.3 Radiodetection RD 8000.....	19
6. Měření vodovodu v Březnici	20
6.1 Měření a vyhledávání.....	20
6.1.1 Vodovod	21
6.1.2 Měření skutečného stavu vodovodu.....	21
6.1.3 Vyhledání trasy vodovodu.....	21
6.2 Zhodnocení práce s vysílači.....	22
<i>Radiodetection TX 10</i>	22
<i>Leica DigiTex 8/33</i>	22

<i>Geoton F19</i>	23
6.3 Zhodnocení práce s přijímači	23
<i>Geoton F19</i>	23
<i>Radiodetection RD8000</i>	24
<i>Leica DigiCat 200</i>	24
6.4 Analýza dat	25
6.5 Testované závislosti	26
6.6 Zhodnocení způsobů vyhledávání	29
7. Měření v laboratoři	30
7.1 Měření na improvizovaném vedení	31
7.2 Souběh dvou vedení s opačnou polaritou	34
7.3 Křižovatka vedení	36
8. Závěr	37
9. Seznam zdrojů	38
10. Seznam obrázků	39
11. Seznam tabulek	39
12. Seznam grafů	40
13. Seznam příloh	40

1. Úvod

V současné době, kdy každá budova má přívod elektřiny, plynu a vody, je nutno dbát při výstavbě nové budovy či silnice na polohu těchto podzemních sítí, aby nedošlo k poškození vedení nebo zranění pracovníka. Proto je důležité v zájmové oblasti nové výstavby znát polohu všech podzemních sítí. Tyto podzemní sítě se nazývají inženýrské sítě, kde mimo podzemních sítí jsou i nadzemní sítě. Druhy inženýrských sítí jsou elektrické vedení, kanalizace, vodovod, telekomunikační sítě, plynovod a horkovod.

Poloha inženýrských sítí je určena geodeticky (geodetickým měřením), nebo je zakreslena a vymezena stavebními kótami od identifikovatelných objektů polohopisu, či není zaměřena ani zakreslena. Před zahájením stavby musí zhotovitel stavby požádat o vyjádření inženýrských sítí provozovatele konkrétních sítí, zhotovitel od provozovatele dostane dokument (Vyjádření k existenci sítě), který potvrzuje existenci sítě nebo ji zavrhuje. Obsahuje-li zájmová oblast inženýrské sítě, musí se vytyčit (vyznačit jejich polohu ve skutečnosti). Vytyčení se provádí geodeticky nebo pomocí lokátorů (vyhledávání podzemního vedení).

Vyhledávání podzemního vedení lze provádět pomocí různých metod, každá metoda má svá specifika a každá se používá na různé typy objektů (vedení).

V této bakalářské práci budou testovány tři lokátory podzemního vedení. Lokátory budou testovány podle způsobu připojení, metody a použité frekvence na jednoduchém případě v terénu s minimálními rušivými vlivy. Dále budou testovány v laboratoři na jednoduchém případě s rušivými vlivy, souběhu vedení a v T - křižovatce. V laboratoři bude měřeno odděleně metodou minima a maxima pro zkoumání odlehlostí těchto metod v okolí s rušivými vlivy.

2. Rešerše

V této kapitole je sepsána literatura popisující teorii vyhledávání vedení a manuály pro používání jednotlivých lokátorů.

Teorii vyhledávání vedení líčí příručka *Hledače kabelů a potrubí, elektrická odporová metoda, metoda akustickomechanické rezonance* od Jaroslava Flegra [2]. V této příručce není napsaná jen teorie, ale i praktické návody.

Popis lokátorů a zacházení s nimi je vysvětlen v dílčích manuálech *Návod k obsluze víceúčelové měřicí soupravy Geoton F19* od Jaroslava Flegra [3], *DigiCat_UserManual_cs* od firmy Leica Geosystems [4] a *Prospekt_RD8100_web* od firmy Radeton [5].

Mezi bakalářskými a diplomovými pracemi jsem nenašel žádnou s podobným tématem.

3. Rozdělení metod vyhledávání

Elektromagnetická metoda funguje na principu vysílač - přijímač. Vysílač produkuje střídavý proud určité frekvence do vedení, přijímač hledá magnetické pole použité frekvence. Používá se na vyhledávání podzemních sítí, které obsahují elektrický vodivé materiály (kovy).

Georadarová metoda funguje na principu zkoumání vodivosti a permitivity materiálu (podloží) pomocí vysokofrekvenčních magnetických impulzů. Vysílač vyše impulz do podloží a přijímač zkoumá odezvu vyslaného impulzu a časové rozestupy mezi impulzy. Používá se pro vyhledávání změny podloží např. výkopy.

Akustická trasovací metoda slouží k vyhledávání dutých částí v pevném celku (kanalizace, podzemní jeskyně, archeologické naleziště). Princip spočívá v tom, že reproduktor umístíme do přístupného místa zkoumané dutiny (kanalizace). Reproduktorem generujeme zvukové vlny, které rozkmitají vzduch v dutině (kanalizace) a na povrchu geofonem zkoumáme amplitudu chvění.

Odporová metoda využívá měření měrného odporu země pomocí elektrod. Pomocí této metody vyhledáváme objekty, které se liší složením od okolního podloží (studny, štoly, výkopy).

4. Elektromagnetická metoda

4.1 Střídavý proud a magnetické pole

Elektrický proud je definován jako uspořádaný průtok elektronů ve vodivém prostředí. Směr elektronů je od záporného ke kladnému pólu. Elektrický proud je celkový elektrický náboj, který proteče průřezem vodiče za jednotku času. Elektrické napětí je rozdíl dvou elektrických potenciálů, neboli práce, která je potřeba k překonání trasy elektrického náboje mezi dvěma body ve vodiči. Elektrický odpor je vlastnost vodiče, vést elektrický proud, závisí na materiálu, tvaru a teplotě [9]

Kolem každého vedení, ve kterém proudí elektrický proud, vzniká magnetické pole. Je-li permitivita prostředí okolo vedení rovna permitivitě vakua, indukční čáry jsou kružnice okolo vedení. Indukční čáry značí směr od severního pólu magnetického pole k jižnímu. Pokud do magnetického pole vložíme cívku, v cívce začne vznikat sekundární magnetické pole v závislosti na poloze cívky vůči magnetickému poli vedení. Nejsilnější sekundární magnetické pole vznikne, když osa cívky je kolmá na osu vedení a indukční čáry vstupují do cívky přes její póly. Je-li osa cívky rovnoběžná s osou vedení tedy, když indukční čáry nevstupují do cívky, nevzniká sekundární magnetické pole.

Trasu vedení lze vyhledat pomocí intenzity magnetického pole, která je popsána podle Biotova-Savartova zákona. Ten popisuje, že intenzita magnetického pole přímo úměrně závislá na velikosti elektrického proudu a nepřímo na vzdálenosti od vedení. Vzdálenost od vedení se nedá ovlivnit, protože vedení je položeno v určité hloubce. Pokud je při vyhledávání použit generátor, lze ovlivnit intenzitu magnetického pole. K vedení je připojen generátor se střídavým proudem s určitou frekvencí, u kterého můžeme redukovat elektrický proud.

Pro určování intenzity magnetického pole je používána indukční metoda. Jedná se o nejpoužívanější metodu určování intenzity magnetického pole. Funguje na principu vzniku indukovaného sekundárního magnetického pole v cívce v blízkosti magnetického pole. V elektrickém obvodu s cívkou je zapojen balistický galvanometr. Balistický galvanometr měří elektrické napětí obvodu. Pohybujeme-li s cívkou vůči vedení (magnetickému poli), nebo se magnetické pole mění s časem, změní se v cívce

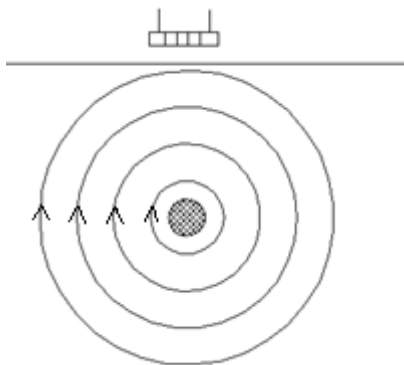
magnetický indukční tok, který má za následek vznik indukovaného elektromotorického napětí v obvodu. Balistický galvanometr zaznamená změnu indukovaného elektromotorického napětí a odešle tuto informaci dále do přijímače [1].

Nepohybujeme-li s cívkou, mění se nám magnetické pole. Vlivem střídavého proudu magnetické pole mění svoji polaritu. Magnetické pole se mění s časem v závislosti na frekvenci, je-li frekvence střídavého proudu 50 Hz, interval změny je 0,02 vteřiny.

Podle změny magnetického pole určujeme hledané vedení (magnetické pole, které se mění s určitou frekvencí). Pokud vedením proudí střídavý proud o jiné frekvenci, než je nastaveno na přijímači, vedení nelze vyhledat.

Pokud pohybujeme s cívkou kolmo k vedení, mění se intenzita sekundárního magnetického pole.

Nad vedením proudí skrze cívku nejvyšší počet indukčních čar, tedy magnetická intenzita je největší.



Obrázek 1: Osa cívky ve směru indukčních čar a nad vedením

4.2 Princip elektromagnetického vyhledávání inženýrských sítí

Jak už bylo zmiňováno, pro vyhledávání vedení elektromagnetickou metodou jsou potřeba dvě pomůcky, vysílač a přijímač.

Vysílač produkuje střídavý proud, který prochází obvodem do hledaného vedení nebo produkuje střídavý proud do vlastní cívky (rámové antény), která vytváří magnetické pole, jenž se indukuje do hledaného vedení. Vysílač je generátor střídavého elektrického proudu, u kterého je možno regulovat frekvenci (50 Hz až 480

kHz) a intenzitu elektrického proudu. Za pomoci přijímače hledáme magnetické pole, které vzniklo z vysílaného střídavého elektrického proudu. Nejjednodušší přijímač je cívka, která v blízkosti magnetického pole absorbuje vytvořené magnetické pole a tvoří vlastní (sekundární) magnetické pole. V přijímači je přístroj, který měří sekundární magnetické pole cívky pomocí indukční metody. Následně přijímač ukazuje změnu intenzity magnetického pole přes obraz nebo zvukovou stopu.

V homogenním prostředí magnetického pole okolo vedení jsou siločáry kružnice. Oproti tomu magnetické pole v nehomogenním prostředí nevytváří kružnice ale elipsy, které mohou způsobit nesprávné vyhledání trasy vedení.

Vyhledávání trasy vedení se provádí v profilech (kolmo k vyhledávanému vedení). Jsou dvě metody vyhledávání, metoda maxima a metoda minima.

Metoda maxima spočívá v tom, že hledáme nejvyšší hodnotu intenzity magnetického pole. Kde je signál největší, tam je hledané vedení. Prakticky to vypadá tak, že osa cívky je kolmá na osu trasy vedení. Pomalu pohybujeme cívku k trase vedení. Když se cívka blíží nad vedení, intenzita magnetického pole se zvětšuje. Logicky při oddalování cívky od vedení se intenzita snižuje. Intenzita magnetického pole se snižuje i se vzdáleností vysílače a přijímače, není-li v celém elektrickém obvodu odpor konstantní.

Metoda minima funguje na opačném principu, hledáme nejnižší hodnotu intenzity signálu. Opět se s cívku pohybujeme kolmo k trase vedení, ale osa cívky směřuje k zemi. Proto do cívky, když je nad vedením, nevstupují žádné indukční čáry.

Při metodě maxima obecně platí, že interval, kde se vyskytuje maximální intenzita signálu, je v rozmezí až decimetrů. Oproti tomu při metodě minima je interval v rozmezí centimetrů, lze říci, že se jedná o bod.

4.3 Vlivy ovlivňující vyhledávání inženýrských sítí

Vyhledávání podzemního vedení ovlivňuje mnoho faktorů. Nejvíce ovlivňuje vyhledávání materiál a návaznost vedení. Pro vyhledání jsou potřebné materiály, které vedou elektrický proud (vodiče - kovy).

Pokud podzemní vedení není vodivé (plastový vodovod), je potřeba k němu přimontovat vodící drátek. Pro výrobu vodících drátků se nejčastěji používá měď,

kteřá je izolována plastem, nebo ocelové lanko, které není izolované. Když vodičí drátek není izolovaný, střídavý elektrický proud generovaný vysílačem prochází místy nejmenšího odporu, do okolního prostředí (půdy), a intenzita magnetického pole směrem od vysílače výrazně klesá.

V praxi se mi stalo, že když generátor byl kombinovaně galvanicky připojen (generátor byl uzemněn) a k vodovodu byl přimontován vodičí drátek z oceli a bez izolace, intenzita magnetického pole, podle které se dala ještě vyhledat poloha trasy vedení, skončila ve vzdálenosti 100 metrů od vysílače.

Další problém, který nastává, je s napojením vedení a vodičích drátků. Při nedodržení správného postupu napojení se stává, že spoj není kompletní (poruší se vazby) a střídavý proud neprojde do dalšího dílu (kusu) vedení (vodičího drátku), takže se podaří vyhledat jen část vedení, kudy proudí střídavý proud.

Dalším důležitým faktorem, který ovlivňuje měření, je materiál podloží, respektive jeho vlastnosti. Pokud je podloží vlhké a vedení není izolováno, elektrický proud generovaný vysílačem prochází místy nejmenšího odporu, do okolního prostředí (půdy) a intenzita magnetického pole směrem od vysílače výrazně klesá.

Pokud je v okolí vedení, které má lepší vodivost, stane se, že magnetické pole se indukuje do toho vedení a vznikne sekundární magnetické pole. Pak můžete vyhledat sekundární magnetické pole bez povšimnutí, že se nejedná o prvotní (tam, kde je napojen vysílač).

5. Lokátory podzemního vedení

5.1 Druhy připojení na vedení

Přímé galvanické připojení

Pro přímé galvanické připojení je nutno mít dvě přístupová místa k vedení (u vodovodu šoupátka), kde je možné připojit vysílač. Místa musí být od sebe v dostatečné vzdálenosti, aby se magnetické pole vedení nedeformovalo, aby se tvořily indukční čáry ve tvaru kružnice. Když propojíme vysílač s vedením, vytvoří se elektrický obvod, ve kterém prochází střídavý proud. Střídavý proud vytváří magnetické pole, které za pomoci přijímače vyhledáváme. V praxi se nejčastěji

používá tento způsob připojení pro vyhledávání krátkých vedení (domovní přípojky), kde je trasa vedení v rozmezí několika desítek metrů.

Nepřímé galvanické připojení

Když není v blízkosti trasy vedení možnost se napojit přímo, lze se připojit za použití dvou zemních kolíků. Zemní kolíky zapíchneme do země nad vedení (víme, že zhruba v tom místě leží vedení) v dostatečné vzdálenosti od sebe jako u přímého připojení. Připojíme vysílač na zemní kolíky, protože střídavý proud prochází místy nejmenšího elektrického odporu. Střídavý proud projde do vedení, kde vytvoří magnetické pole. V blízkosti zemních kolíků bude vyhledávání ovlivňovat i magnetické pole mezi zemním kolíkem a vedením. Proto je vhodné nevyhledávat trasu vedení ve vzdálenosti menší než 2 metry od zemních kolíků. Metoda se používá jen v podloží s jedním vedením. Je-li v podloží více než jedno vedení, střídavý proud může procházet jiným vedením, než které chceme vyhledat.

Kombinované galvanické připojení

Jedná se o kombinaci přímého a nepřímého připojení. Máme-li jenom jedno přístupové místo k vedení, použijeme tuto metodu. Zemní kolík uzemníme (zavrtáme do země), nejlépe kolmo k trase vedení. Kolmo kvůli zpětnému střídavému proudu, který se vrací zpátky podložím do vysílače. Mezi střídavým proudem a zpětným střídavým proudem musí být vzdálenost, která nebude ovlivňovat vyhledávání trasy vedení, proto uzemníme obvod co nejdále od přístupového místa. Připojíme vysílač na zemní kolík a pak na přístupové místo (u vedení pod proudem nikdy naopak, mohlo by dojít ke zkratu). Celkový obvod je spojen podložím, což někdy způsobuje problémy s vyhledáním trasy vedení (Jednostranné minimum, při kterém se elektrický proud indukuje do jiného vedení). Trasa vedení se na jedno připojení podaří vyhledat na vzdálenost několika stovek metrů, záleží na klesající intenzitě magnetického pole s rostoucí vzdáleností od vysílače. Kombinované galvanické připojení je nejčastěji používaná metoda.

Kombinované galvanické připojení s uzemněním

Jedná se o stejnou metodu připojení jako kombinované galvanické připojení s rozdílem, že vedení se uzemní na druhém konci. Například při vyhledání trasy

veřejného osvětlení se generátor připojí do lampy a v následující lampě se vedení uzemní zemnicím kolíkem. Potom odpor mezi vedením a podložím je menší, což zmírní klesající intenzitu magnetického pole.

Induktivní připojení

Induktivní připojení použijeme v případě, že není přístupové místo k vedení. Vysílač má v sobě zabudovanou rámovou anténu, kterou dokáže vytvářet střídavé magnetické pole. Pokud je v blízkosti magnetického pole vodič, magnetické pole se do něho indukuje a vznikne sekundární magnetické pole. Celkový elektrický obvod je spojen podložím. Pro použití připojení je potřeba znát přibližnou polohu podzemního vedení. V místě se známou přibližnou polohu trasy vedení, umístíme vysílač a necháme magnetické pole indukovat. Vedení se vyhledává obdobným postupem jako při jiných způsobech připojení, ale musí se znát jisté zásady. Vyhledat trasu vedení nelze ve vzdálenosti do 30 metrů od vysílače, jelikož magnetické pole rámové značky (primární) je v této vzdálenosti silnější než magnetické pole vedení (sekundární).

Zpětné proudy, které uzavírají obvod, mají tendenci se vracet místy s nejmenším odporem (podložím). Pokud je vysílač excentricky nad vedením, řekněme vpravo od vedení, větší část zpětných paprsků bude procházet vpravo od vedení. Následek toho bude, že ve větší vzdálenosti od vysílače se vyhledávaná trasa vedení bude odkloňovat (doprava) od skutečné trasy vedení. S nabývajícím vzdáleností od vysílače, klesá intenzita signálu, což má za následek rozšíření intervalu minima. Proto je tato metoda použitelná podle mých zkušeností do 400 metrů. Jde bez problému vysílač přemístit, k poslednímu vyhledanému místu trasy a pokračovat s vyhledáváním dále. Problém také nastává v oblastech s větší hustotou podzemního vedení (inženýrských sítí). Magnetické pole se indukuje do vedení s nejmenším odporem. Proto je metoda v těchto oblastech nepoužitelná. Lze vyhledat jen vedení, které není opatřeno ochranou (izolantem).

Induktivní kleště

Metoda připojení fungující na stejném principu jako induktivní připojení přes rámovou značku, s rozdílem, že střídavé magnetické pole vzniká uvnitř toroidu. Pro připojení musíme mít jedno připojovací místo, kde stačí kleštěmi obejmout

hledané vedení a magnetické pole se naindukuje do vedení. Také je možno vyhledávat trasu vedení i v blízkosti připojení, protože, jak už bylo zmiňováno, vzdálenost mezi zdrojem magnetického pole a vedením je malá.

5.2 Rozdělení lokátorů

5.2.1 Rozdělení lokátoru podle konstrukce

Lokátory se dělí podle počtu měřících cívek. Mohou být jednocívkové systémy nebo vícecívkové systémy. Podle počtu cívek se liší postupy prací s lokátory (hlavně měření hloubky vedení).

Jednocívkové systémy

Lokátor je tvořen jednou otočnou cívkou a zařízením pro měření intenzity magnetického pole. Polohu vedení určujeme pomocí metody maxima a minima, které jsou popsány v předchozích kapitolách.

Vícecívkové systémy

Vícecívkové systémy se dále dělí podle vzájemné polohy cívek. Jedná se o dvoucívkové lokátory s cívkami, které mají rovnoběžné osy cívek. Pomocí dvoucívkového lokátoru lze vyhledat vedení jen pomocí metody maxima.

T-cívkový systém má první cívku umístěnou vodorovně a druhou svisle. Pomocí T-cívkový lze měřit najednou metoda maxima i minima. Měří i fázi přijímaného signálu, který pomáhá určovat polohu přijímače vůči vedení (vlevo nebo vpravo).

Další vícecívkové systémy jsou kombinace dvoucívkového a T-cívkového systému. Díky těmto systémům lze určovat i směr vedení, určuje stočení osy cívkového systému vůči vedení (při metodě maxima má být osa cívky kolmá na osu vedení).

5.2.2 Popis módu a používaných frekvencí střídavého proudu

Aktivní mód

Aktivní mód využíváme při vyhledávání vedení za použití střídavého proudu generovaného vysílačem. Pro přenos střídavého proudu do vedení je potřeba připojit vysílač k vedení.

Nízké frekvence 98 Hz – 1450 Hz

Nízké frekvence lze použít jen v případě, že vedení má dobrou vodivost s malým odporem, a okolí (podloží) má malou vodivost. Vysílač je nutné připojit galvanicky napřímo. Nízké frekvence se nejčastěji používají pro nalezení poruchy vedení např. zkrat.

Střední frekvence 4 kHz-33 kHz

Jsou často používané frekvence při vyhledávání vedení (8 kHz a 33 kHz). Vlnění s touto frekvencí není tak ovlivňováno okolím (podložím). Vysílač připojujme galvanicky napřímo nebo kombinovanou metodou. Při použití frekvence 33 kHz můžeme připojit i induktivně.

Vysoké frekvence 65 kHz- 480 kHz

Používají se pro vedení s velkým odporem a tam, kde při napojování dílčích prvků vedení není použit vodič (litinové vodovodní potrubí, používá se gumové těsnění, není zde styk trubek).

Pasivní mód

Jedná se o módy vyhledávání, při kterých nepoužíváme vlastní vysílač. Vyhledáváme za pomoci určitých vlastností vedení a elektromagnetických vlnění vytvářejících správci sítí. Protože se jedná o slabé signály vyzařované vedením, pro vyhledávání se používá jen metoda maxima. [5]

POWER

Vyhledáváme elektromagnetické vlnění o frekvenci 50 Hz, které proudí v podzemních vedení, které slouží pro přívod elektřiny. Jedná se nejčastěji o silové kabely nízkého a vysokého napětí, popř. kabely veřejného osvětlení (pokud je zapnuté). [5]

RADIO

V rozvodnách nebo u přípojných elektrické sítě jsou instalovány vysílače, které slouží k vyhledávání vedení. Tyto vzdálené vysílače vysílají elektromagnetické vlnění do vedení. Frekvence vlnění je od 15 kHz až po 30 kHz. Používá se pro vedení optických sítí. [5]

CPS

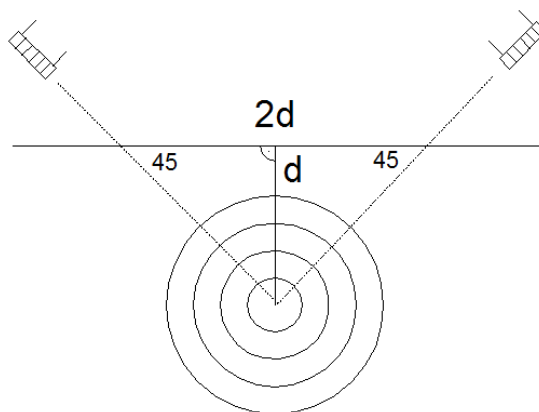
Používá se pro vedení, které je opatřeno katodickou ochranou. Jedná se o ochranu elektrickým proudem proti korozi potrubí. Elektrický proud má frekvenci 100 Hz. Katodická ochrana se používá pro plynové vedení (vysokotlak a středotlak – jen na některém vedení). [5]

CATV

Používá se pro vyhledávání vedení telekomunikační sítě. [5]

5.3 Způsoby určování hloubky

Při jednocívkových systémech určujeme hloubku pomocí metody minima. Cívku nakloníme vůči zemi pod úhlem 45 stupňů a hledáme obě postranní minima. Vzdálenost mezi postranními minimy je rovna dvojnásobku hloubky vedení. Odvození je patrné z obrázku. [2]



Obrázek 2: Měření hloubky jednocívkovým lokátorem

Při vícecívkových systémech určujeme hloubku pomocí dvou cívek, namontovaných vodorovně nad sebou. Cívky jsou namontované v určité vzdálenosti vůči sobě. Každá dílčí cívka měří intenzitu magnetického pole a přes poměr měřených

hodnot na dílčích cívkách, přístroj vyhodnotí hloubku vedení. Proto při vyhledávání musí být trasovač ve svislé poloze. Při hledání hloubky vedení u vícecívkových systémů je dobré pro kontrolu měření, zvednout přijímač. Pokud rozdíl v měřené hloubce je totožný s rozdílem zvednutí, měření proběhlo v pořádku. Kontrolu zvednutí přijímače je dobré udělat při vyhledávání vedení, u kterého si nejsme jisti, zda jej vyhledáváme správně. Pokud by přijímač nebyl nad vyhledávaným vedením, hodnota rozdílu by byla nesmyslná.

5.4 Popis použitých lokátorů

5.4.1 Geoton F19

Jednocívkový lokátor vyrobený v roce 2000 Ing. Jaroslavem Flegrem.



Obrázek 3: Geoton F19

5.4.2 Leica DigiCAT 200

Vícecívkový lokátor se soustavou dvou cívek distribuovaný firmou Leica Geosystems. Lokátor byl vyroben v roce 2011.



Obrázek 4: Leica DigiCat 200

5.4.3 Radiodetection RD 8000

Vícecívkový lokátor se soustavou pěti cívek vyrobený firmou Radiodetection a distribuovaný firmou Radeton. Lokátor byl vyroben v roce 2015.

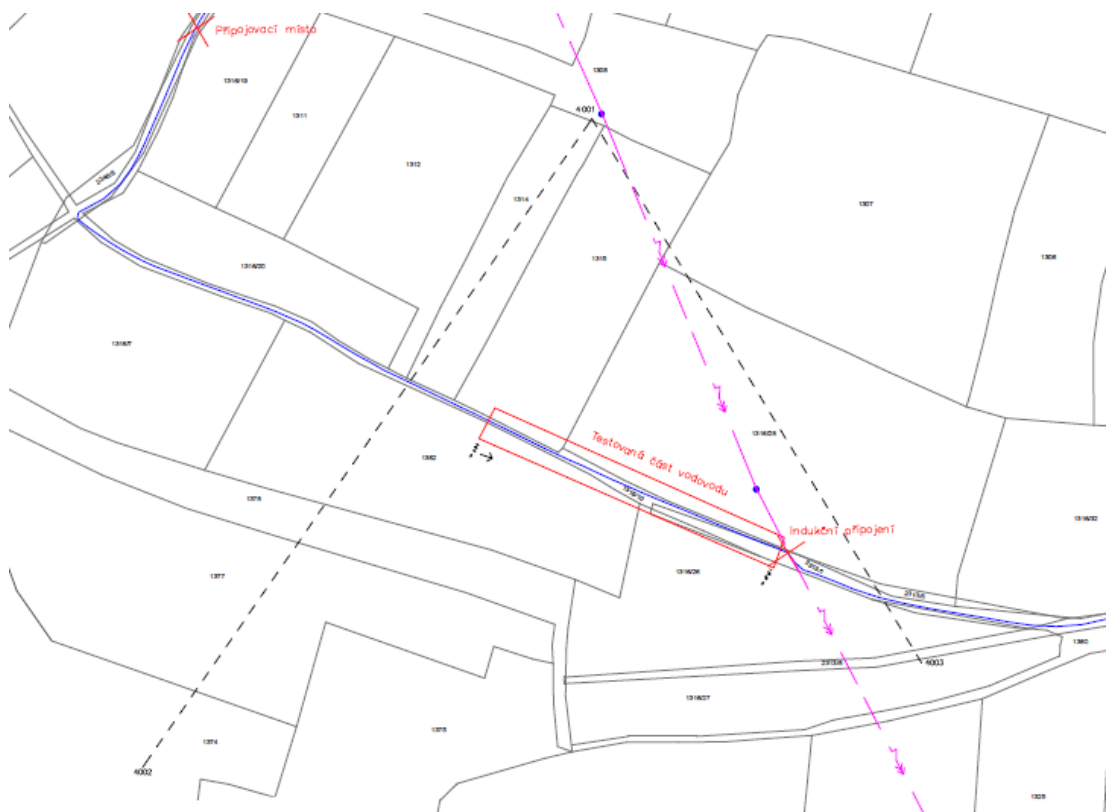


Obrázek 5: Radiodetection RD8000 + Tx10

6. Měření vodovodu v Březnici

Pro testování na jednoduchém příkladu byl vybrán vodovod v Březnici. Jedná se o přímou liniovou stavbu bez odboček. Testovaná část vodovodu se nachází v poli bez střetu s dalšími podzemními inženýrskými sítěmi. Vedení bylo zaměřeno před zásypem pro porovnání s vyhledáním vedení. Vyhledávání se provádělo za použití různých druhů připojení a nejčastěji používaných frekvencí střídavého proudu.

Druhy připojení: kombinované připojení, kombinované připojení s uzemněním, indukční připojení, bez připojení. Používané frekvence: 8, 10 a 33 kHz.



Obrázek 6: Situace

6.1 Měření a vyhledávání

6.1.1 Vodovod

Vodovod je vyroben z PVC trubek dimenze 200, protože vodovod je vyroben z PVC byl na vršek trubky přichycen vodící drátek, pro vyhledání vedení. Vodící drátek byl zaizolovaný měděný drát o průměru 1,5 mm k vodovodu a byl přichycen po 5 metrech.

6.1.2 Měření skutečného stavu vodovodu

V místě stavby vodovodu byla vybudována měřická síť (bod 4001, 4002 a 4003), která byla stabilizována hřebíčky v kolíku. Měřická síť byla zaměřena metodou GNSS RTK s korekcemi na síť permanentních stanic CZEPOS, byla použita přijímací anténa Trimble R8 (výrobní číslo je uvedeno v protokolu). Doba měření na dílčích bodech trvala dvě minuty.

Skutečný stav vodovodu byl zaměřen totální stanicí Trimble S7 polární metodou ze stanoviska 4001 s orientacemi na body 4002 a 4003. Pro měření byla použita funkce Určení stanoviska Plus, na orientace se měřilo ve dvou polohách. Podrobné body byly měřeny po 5 metrech v místech, kde byl vodící drátek přichycen k trubce vodovodu.

6.1.3 Vyhledání trasy vodovodu

Pro vyhledání trasy vodovodu byly použity tři lokátory Leica DigiCat 200, Radiodetection RD8000 a Geoton F19. Také byly použity různé druhy připojení a různé frekvence.

Vyhledávací systém	Druh připojení k vedení	Frekvence [kHz]	Zkratka
Leica DigiCat 200	kombinované připojení s uzemněním	33	Z 33 s
		8	Z 8 s
	kombinované připojení	33	Z 33 bez
		8	Z 8 bez
	indukční připojení	33	Z 33 ind
	bez připojení, pasivní mód	50-100	Z pas
Radiodetection RD8100	kombinované připojení s uzemněním	33	M 33 s
		8	M 8 s
	kombinované připojení	33	M 33 bez
		8	M 8 bez
	indukční připojení	33	M 33 ind
	bez připojení, pasivní mód	50-100	M pas
Geoton F19	kombinované připojení s uzemněním	10	S 10 s
	kombinované připojení	10	S 10 bez

Tabulka 1: Použité způsoby vyhledávání

Připojovací místo pro přímé napojení vysílače k vedení bylo vzdáleno od vyhledávané části cca 300 metrů. Místo nebylo voleno úmyslně, jednalo se o nejbližší připojovací místo na trase vodovodu. Připojovací místo pro indukční připojení bylo na trasované části vodovodu na staničení cca 125 metrů.

6.2 Zhodnocení práce s vysílači

Radiodetection TX 10

Vysílač od firmy Radiodetection disponuje výkonem 10 W, který při vyhledávání trasy vodovodu stačil. S vysílačem nebyly žádné potíže.

Leica DigiTex 8/33

Vysílač Leica DigiTex 8/33 je nejméně výkonný z testovaných vysílačů. Při vyhledávání trasy vodovodu za použití kombinovaného připojení nebyl žádný problém. Při indukčním připojení přijímač neměřil hloubky. Důvodem byl slabý výkon vysílače.

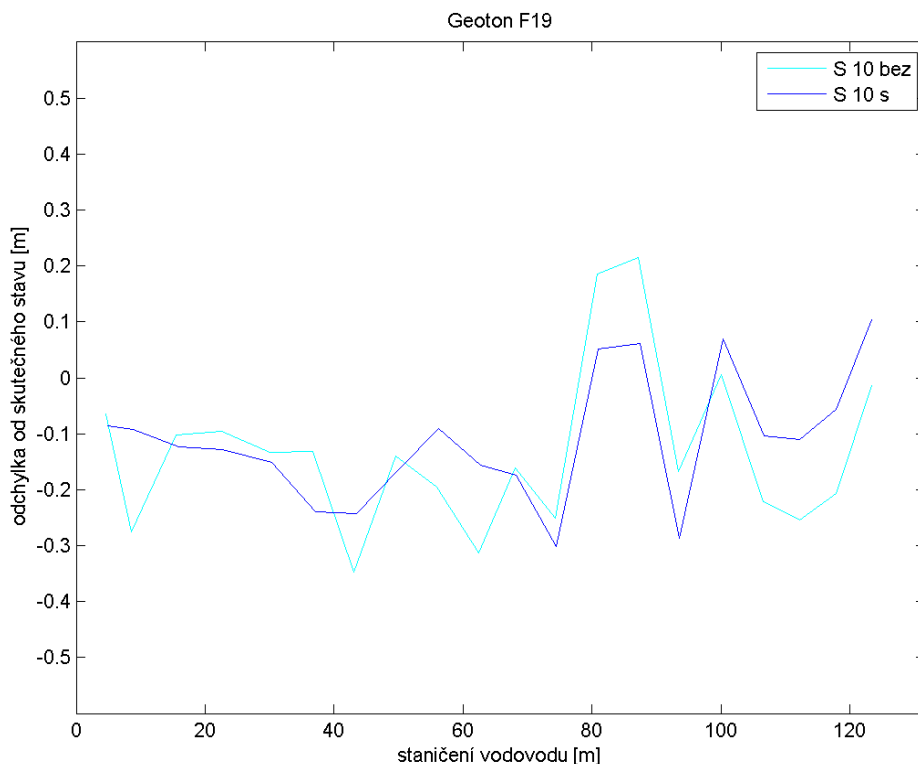
Geoton F19

Vysílač Geoton F19 je nejvýkonnější z testovaných vysílačů, maximální výkon se pohybuje okolo 20 W. Při vyhledávání za použití kombinovaného připojení, nebyl žádný problém. Problém nastal při vyhledávání pomocí indukčního napojení, elektrický proud se neindukoval do vodícího drátku. Problém zapříčinila poměrně nízká frekvence k indukování do izolovaného vodícího drátku s malým průměrem. Proto trasa vodovodu při indukčním napojení nebyla vyhledána ani změřena.

6.3 Zhodnocení práce s přijímači

Geoton F19

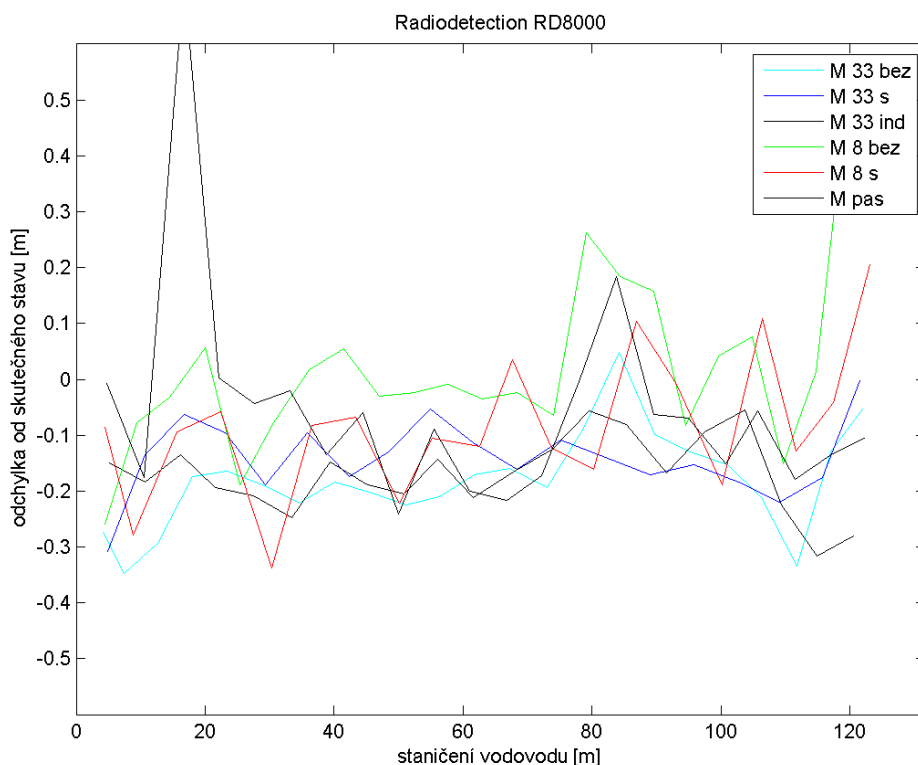
Přijímač Geoton F19 je konstrukčně nejjednodušší z použitých přijímačů, ale při vyhledávání vedení je práce s ním složitější než u ostatních. Pro nalezení trasy vedení a hloubky vedení jsou zapotřebí tři body minima. Minimum pro určení trasy vedení a postranní minima pro určení hloubky. Při samotném vyhledávání se ručička indikátoru jen nepatrně vychylovala, což znepříjemňovalo vyhledání trasy vedení. Pro oba použité způsoby vyhledání bylo použito vyhledávání metodou minima.



Graf 1: Polohové odchylky způsobu vyhledávání Geotonu F19

Radiodetection RD8000

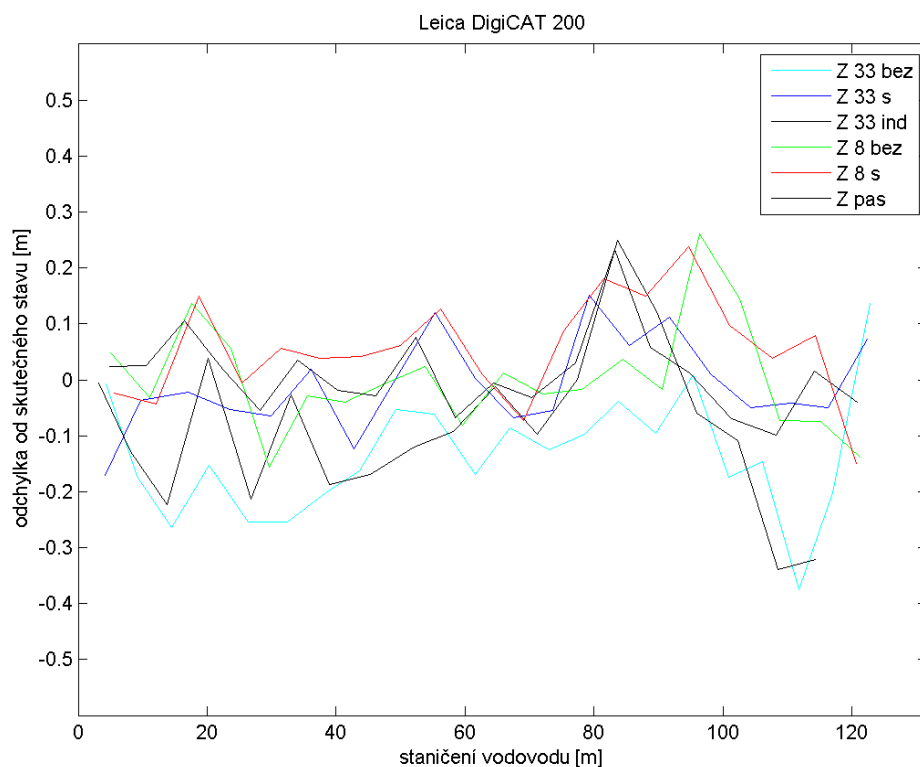
S možností určovat maximum, minimum a fázi magnetického vedení najednou, je práce s Radiodetectionem RD8000 rychlá a snadná. Problém nastával při použití frekvence 8 kHz. Připojovací místo bylo hodně vzdálené od vyhledávané trasy, proto intenzita magnetického pole byla malá. Pro malou intenzitu magnetického pole přijímač nedokázal určit minimum a při určování metodou maxima bylo maximum nestálé. Pro frekvence 8 kHz a 50-100 Hz (pasivní mód) byla použita metoda maxima. Při vyhledávání na frekvenci 33 kHz nebyly žádné potíže, proto byla použita metoda minima.



Graf 2: Polohové odchylky způsobu vyhledávání Radiodetection RD8000

Leica DigiCat 200

Přijímač Leica DigiCat 200 výborně rozeznává i magnetické pole s malou intenzitou na rozdíl od Radiodetectionu RD8000. Oproti Radiodetectionu je práce s ním pomalejší, protože nedokáže vyhledat vedení metodou maxima a minima najednou. Pro všechny způsoby vyhledávání byla použita metoda maxima.



Graf 3: Polohové odchylky způsobu vyhledávání lokátoru Leica DigiCat 200

6.4 Analýza dat

Měření

Všechny výpočty byly prováděny totální stanicí Trimble programem Trimble Survey.

Analýza dat

Vstupními daty pro analýzu byly souřadnice trasy vedení se zapsanou hloubkou v kódu bodu. U bodů vyhledávaných lokátorem Geoton F19 se musela doplnit hloubka vedení, která byla vypočtena z bodů postranních minim. Body byly zobrazeny v softwaru Qgis a byla změřena vzdálenosti mezi postranními minimy. Ze vzdálenosti byla vypočítána hloubka vedení, která byla zapsána do kódu trasy vedení.

Výpočet odchylek, rozdílů a staničení

Pro samotnou analýzu bylo potřeba zjistit polohovou odchylku od skutečného stavu, výškový rozdíl a staničení bodu. Jelikož dílčí vyhledávání se neprovádělo v řezech nad body skutečného zaměření, polohová odchylka je vzdálenost bodu od přímky a ne vzdálenost mezi body. Přímka znázorňuje skutečný vodovod a bod reprezentuje vyhledávanou trasu vodovodu. Vzdálenost bodu od přímky byla odvozena z parametrického vyjádření přímky a normály ve vyhledaném bodě. Při spuštění skriptu se počítá vzdálenost bodu od úseček vodovodu s podmínkou, že průsečík normály a úsečky má být mezi body úsečky. Tato podmínka je nedostačená, pokud by trasa vodovou byla zalomena víc než 90 stupňů, avšak pro tento případ je podmínka dostačující. Pro určení umístění vyhledávaného bodu, respektive k určení znaménka polohové odchylky vůči staničení, byla vložena podmínka pro změnu znaménka polohové odchylky. Podmínka porovnávala velikost směrníku mezi směrníkem přímky a směrníkem vyhledaného bodu. Pokud byl směrník na vyhledávaný bod větší, než směrník úsečky polohová odchylka byla kladná. Když podmínka nebyla splněna, polohová odchylka byla záporná.

U výpočtu výškového rozdílu bylo zapotřebí vypočítat výšku průsečíku normály a úsečky. Výška průsečíků se vypočítala přes podobnost trojúhelníků z výšek bodů úsečky a vzdálenosti průsečíku od prvního bodu úsečky.

6.5 Testované závislosti

Byla testována závislost odchylek na staničení pomocí korelačního koeficientu a následně P-hodnoty testu. Ve většině způsobů vyhledávání korelace není platná P-hodnotou, proto není prokázána závislost mezi odchylkami a staničením.

Pro zjištění, jestli vyhledávání nepodléhá systematické chybě, respektive zda se vyhledávaná trasa vedení odklání od skutečné polohy, polohové odchylky byly testovány Chi2kvadrát testem, jestli soubor odchylek pochází z normálního rozdělení. Při způsobu vyhledávání u frekvence 33 kHz byla zjištěna systematická chyba. Vysvětlením je, že střídavý proud o frekvenci 33 kHz je náchylný na okolní vlivy.

Byla testována závislost velikosti rozdílů na velikosti odchylky pomocí korelačního koeficientu. Z výsledků byla závislost potvrzena. Tato závislost je zřejmá

i bez toho, aby se testovala. Stačí pouze vědět, jak se určuje hloubka u přístrojů Leica DigiCat 200 a Radiodetection RD8000 a hned je to zřejmé. U Geotonu F19 měření hloubky závisí na homogenitě magnetického pole. Pokud homogenita není splněna, měřením obou postranních minim se nehomogenita neprojeví.

Rozdíly byly testovány chi2kvadrát testem, zda měření hloubky nepodléhá systematickou chybou. Podléhá, může za to sednutí vodovodu při hutnění.

Odchylka od skutečnosti	Jednotky	Označení
Průměrná hodnota	[m]	1
Průměrná velikost	[m]	2
Směrodatná odchylka	[m]	3
Korelační koeficient odchylek v závislosti na staničení		4
P-hodnota odchylek v závislosti na staničení		5
Test chi2kvadrát odchylek		6
P-hodnota chi2kvadrát testu odchylek		7
Test chi2kvadrát test odchylek od průměrné hodnoty		8
P-hodnota odchylek od průměrné odchylky		9
Výškový rozdíl od skutečnosti	Jednotky	Označení
Průměrná hodnota	[m]	10
Průměrná velikost	[m]	11
Směrodatná odchylka	[m]	12
Korelační koeficient rozdílů v závislosti velikosti odchylky		13
P-hodnota rozdílů v závislosti velikosti odchylky		14
Test chi2kvadrát rozdílů		15
P-hodnota chi2kvadrát testu rozdílů		16
Test chi2kvadrát test rozdílů od průměrné hodnoty		17
P-hodnota rozdílů od průměrného rozdílů		18

Tabulka 2: Popis výsledků analýzy dat

Označení	M 33 bez	M 33 ind	M 33 s	M 8 bez	M pas	M 8 s
1	-0.18	-0.17	-0.14	0.02	-0.06	-0.08
2	0.19	0.17	0.14	0.11	0.14	0.13
3	0.20	0.18	0.16	0.16	0.20	0.15
4	0.5	0.0	0.1	0.5	-0.3	0.5
5	0.00	0.00	0.00	0.83	0.99	0.44
6	1	1	1	0	0	0
7	0.00	0.00	0.00	0.83	0.99	0.44
8	0	0	0	0	0	0
9	0.80	0.79	0.78	0.80	0.80	0.79
Označení	M 33 bez	M 33 ind	M 33 s	M 8 bez	M pas	M 8 s
10	0.26	0.21	0.32	0.73	-	0.23
11	0.26	0.21	0.32	0.73	-	0.23
12	0.27	0.22	0.33	0.77	-	0.27
13	-0.6	0.7	-0.2	-0.6	-	0.2
14	0.00	0.00	0.00	0.00	-	0.00
15	1	1	1	1	-	1
16	0.00	0.00	0.00	0.00	-	0.00
17	0	0	0	0	-	0
18	0.80	0.76	0.78	0.80	-	0.79

Tabulka 3: Výsledky analýzy lokátorem Radiodetection RD800

Označení	Z 33 bez	Z 33 ind	Z 33 s	Z 8 bez	Z pas	Z 8 s
1	-0.13	-0.09	-0.01	0.00	0.01	0.06
2	0.15	0.13	0.06	0.07	0.05	0.09
3	0.17	0.17	0.08	0.10	0.07	0.11
4	0.2	0.0	0.4	-0.1	-0.2	0.1
5	0.02	0.48	0.82	0.79	0.84	0.52
6	1	0	0	0	0	0
7	0.02	0.48	0.82	0.79	0.84	0.52
8	0	0	0	0	0	0
9	0.80	0.78	0.79	0.79	0.79	0.78
Označení	Z 33 bez	Z 33 ind	Z 33 s	Z 8 bez	Z pas	Z 8 s
10	0.32	-	0.54	-	-	-
11	0.32	-	0.54	-	-	-
12	0.33	-	0.55	-	-	-
13	-0.6	-	-0.3	-	-	-
14	0.00	-	0.00	-	-	-
15	1	-	1	-	-	-
16	0.00	-	0.00	-	-	-
17	0	-	0	-	-	-
18	0.80	-	0.79	-	-	-

Tabulka 4: Výsledky analýzy lokátorem Leica DigiCat 200

Označení	S 10 s	S 10 bez
1	-0.11	-0.13
2	0.14	0.17
3	0.16	0.20
4	0.4	0.1
5	0.10	0.13
6	0	0
7	0.10	0.13
8	0	0
9	0.79	0.79
Označení	S 10 s	S 10 bez
10	0.29	0.30
11	0.29	0.30
12	0.35	0.34
13	0.4	0.3
14	0.01	0.00
15	1	1
16	0.01	0.00
17	0	0
18	0.79	0.79

Tabulka 5: Výsledky analýzy lokátorem Geoton F19

6.6 Zhodnocení způsobů vyhledávání

Při vyhledávání vodovodu v Březnici bylo zjištěno, že vyhledávání vedení nezávisí na použitém lokátoru, ale na způsobu vyhledávání (druhu připojení, použité frekvence a metodě vyhledávání). S jistotou lze říci, že vyhledání vedení elektromagnetickou metodou se provádí s polohovou přesností 20 cm. U výškové přesnosti výsledek není tak zřejmý. V praxi nikdy nemohu měřit hloubky v místech, kde je malá intenzita magnetického pole, mohu jen tam, kde intenzita je pro určení hloubky dostačující (maximum je stálé a minimum je na stejném místě jako maximum).

Z výsledků je patrné přesnější určování trasy vedení pomocí metody maxima (M 8 bez, M 8 s, Z 33 bez, Z 33 s, Z 8 bez, Z 8 s, Z 33 ind) než metodou minima (M 33 bez, M 33 s, M 33 ind, S 10 s, S 10 bez). I přes nestálé maximum u Radiodetectionu RD8000, vykazuje metoda maxima lepší výsledky než metoda minima.

Směrodatné odchylky v poloze		
metoda	zkratka	[m]
minima	M 33 bez	0.20
	S 10 bez	0.20
	M 33 ind	0.18
	M 33 s	0.16
	S 10 s	0.16
maxima	Z 33 bez	0.17
	Z 33 ind	0.17
	M 8 bez	0.16
	M 8 s	0.15
	Z 8 s	0.11
	Z 8 bez	0.10
	Z 33 s	0.08

Tabulka 6: Směrodatné odchylky v poloze

Při použití frekvence 8 kHz magnetické pole není tak ovlivňováno okolím, než při použití vyšší frekvence. Proto frekvence 8 kHz dosahuje lepších výsledků než ostatní frekvence pro lokátor Radiodetection RD8000 a Leica DigiCat 200 .

Pokud rozdíl odporu vedení a země je minimální, vedení je vyhledáno s lepší přesností. Je to patrné při porovnání druhů připojení. Na frekvenci 33 kHz, která vykazuje větší odchylky než frekvence 8 kHz, stačí porovnat druhy připojení. Je-li obvod uzavřen (kombinované galvanicky připojen s uzemněním na druhém konci vedení) a tedy rozdíl odporu je minimální, tak výsledky vyhledání trasy vedení jsou výrazně lepší než bez uzemnění na druhém konci nebo při indukčním připojením.

Trasa vedení vyhledaná pomocí pasivního módu byla určena s dobrými výsledky, protože v blízkosti vodovodu vedlo vysokého napětí nadzemního vedení, které se indukovalo do vodícího drátku.

V grafech polohových odchylek je vidět výrazná odchylka na staničení 83 metrů, což mohlo být zapříčiněno uzemněním sloupu vysokého napětí.

7. Měření v laboratoři

V laboratoři bylo testováno vyhledávání v okolí rušivých vlivů na improvizovaném vedení (jednoduchý případ), souběhu vedení a T-křižovatce. Generátor byl připojen galvanicky přímým způsobem. U lokátoru Radiodetection RD8000 byla použita frekvence 8 kHz. Pro měření hloubek vedení byla u lokátoru

Leica DigiCat 200 použita frekvence 33 kHz. Při vyhledávání lokátorem Geoton F19 byla použita frekvence 10 kHz. Bude zkoumán rozdíl mezi vyhledáním metodou maxima a metodou minima.

7.1 Měření na improvizovaném vedení

V laboratoři byl natažen prodlužovací kabel, který byl zapojen do zásuvky. Na druhém konci byl připojen vysílač uzemněný také do zásuvky, přes elektrickou síť v laboratoři se vytvořil elektrický obvod. Testovaná část kabelu byla natažena a přilepena k podlaze s pásmem. U lokátoru Radiodetection RD8000 byla použita frekvence 8 kHz (zkratka F8), při měření s lokátorem Leica DigiCat 200 byla použita frekvence 33 kHz (zkratka F33), protože pouze na této frekvenci lze měřit hloubky. U Geotonu byla použita frekvence 10 kHz (zkratka F10). Na lokátory se upevnila dřevěná tyčka kvůli simulování hloubky vedení o délce půl metru. V tabulkách „Odchylka“ značí příčnou polohovou odchylku, „Hloubka“ značí měřenou hloubku při odstupu půl metru přes dřevěnou tyčku, „Rozdíl“ je diference půl metru a naměřené hloubky.

Radiodetection RD8000



Obrázek 7: Radiodetection RD8000 s tyčí

Radiodetection RD8000, F8						
Metoda -	Minimum			Maximum		
Staničení	Odchylka	Hloubka	Rozdíl	Odchylka	Hloubka	Rozdíl
[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
2	0.45	0.80	-0.30	0.05	0.25	-0.25
5	0.37	0.65	-0.15	0.03	0.40	-0.10
8	0.23	0.57	-0.07	-0.01	0.40	-0.10
11	-0.19	0.48	0.02	0.02	0.37	-0.13
14	-0.12	0.42	0.08	0.00	0.37	-0.13
17	-0.14	0.44	0.06	-0.04	0.38	-0.12

Tabulka 7: Vyhledávání v laboratoři Fsv ČVUT lokátorem Radiodetection RD8000

U Radiodetectionu RD8000 docházelo na různých místech vyhledání metodou maxima a metodou minima, což je způsobeno vnějšími vlivy (další vedení v okolí, do kterého se indukuje použitý proud). Byla vyzkoušena i nižší frekvence 256 Hz pro zmírnění vlivu indukce, ale minima byla na stejném místě jako při použití frekvence 8 kHz. Dále jde vyzorovat, že čím dále jsme od připojovacího místa, tím více se ztotožňuje maximum a minimum. V těchto místech dochází k lepším výsledkům určení hloubky vedení. Vyhledávání metodou maxima je přesnější než metodou minima.

Leica DigiCat 200



Obrázek 8: Leica DigiCat 200 s tyčí

Leica DigiCat 200, F33			
Metoda -	Maximum		
Staničení	Odchylka	Hloubka	Rozdíl
[m]	[m]	[m]	[m]
2	-0.05	0.40	-0.10
5	-0.03	0.35	-0.15
8	-0.01	0.40	-0.10
11	0.01	0.35	-0.15
14	0.02	0.40	-0.10
17	0.00	0.35	-0.15

Tabulka 8: Vyhledávání v laboratoři Fsv ČVUT lokátorem Leica DigiCat 200

U lokátoru Leica DigiCat 200 nelze porovnávat metodu maxima a metodu minima, lze ale porovnat s lokátorem Radiodetection RD8000, protože oba používají vícecívkové systémy a stejné způsoby určování hloubky. Výsledky jsou téměř totožné, až na body o staničení dva metry, kde lokátor Leica DigiCat 200 dosahuje lepších výsledků.

Geoton F19

Geoton F19, F10						
Metoda -	Minimum					Maximum
Staničení	Odchylka	Pravé min.	Levé min.	Hloubka	Rozdíl	Odchylka
[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
2	0.06	0.28	0.51	0.40	0.11	-0.02
5	0.14	0.28	0.61	0.45	0.06	0.07
8	0.01	0.44	0.42	0.43	0.07	-0.03
11	0.03	0.36	0.48	0.42	0.08	-0.02
14	0.10	0.38	0.47	0.43	0.08	-0.02
17	0.03	0.40	0.46	0.43	0.07	-0.02

Tabulka 9: Vyhledávání v laboratoři Fsv ČVUT lokátorem Geoton F19

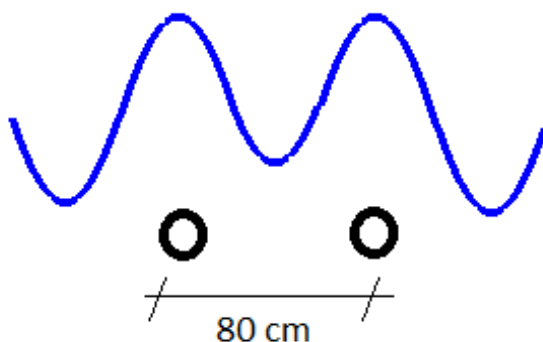
Při vyhledávání lokátorem Geoton F19 byla maxima i minima skoro na stejných místech na rozdíl od lokátoru Radiodetection RD8000. Rozdíly mezi skutečnou a měřenou hloubkou lokátorem Geoton F19 vykazují lepší výsledky než ostatní lokátory, protože se při určování hloubek metodou postranních minim vyruší vliv nehomogenity magnetického pole.

7.2 Souběh dvou vedení s opačnou polaritou

Bylo testováno vyhledávání lokátorů při vzájemném ovlivňování dvou vedení. Prodlužovací kabel byl přilepen k podlaze tak, aby vytvořil souběh dvou vedení ve vzdálenosti 80 cm od sebe. Vyhledávání a měření probíhalo pouze na jednom vedení.

Při zapojení vysílače do obvodu vznikly dvě maxima a tři minima. Maxima byla nad vedením (prodlužovacím kabelem). První minimum bylo mezi dvěma vedeními, tam kde se obě magnetická pole vyrušila. Další dvě byla vně souběhu vedení dle obrázku.

Pro vyhledávání v souběhu dvou kabelu je nutno použít metodu maxima, kde maximum je v tomto případě nad vedením. Všechny lokátory vykazují stejné výsledky při vyhledávání metodou maxima.



Obrázek 9: Zobrazení maxim a minim nad vyhledávaným souběhu vedení

Souběh dvou vedení					
	Radiodetection RD8000, F8		Leica DigiCat 200, F33	Geoton F19, F10	
Souběh	Minimum	Maximum	Maximum	Minimum	Maximum
	Odchylka	Odchylka	Odchylka	Odchylka	Odchylka
[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
12	0.43	-0.02	-0.02	0.18	0.06
14	0.59	0.04	-0.07	0.25	0.06
16	0.57	0.11	-0.08	0.28	0.08

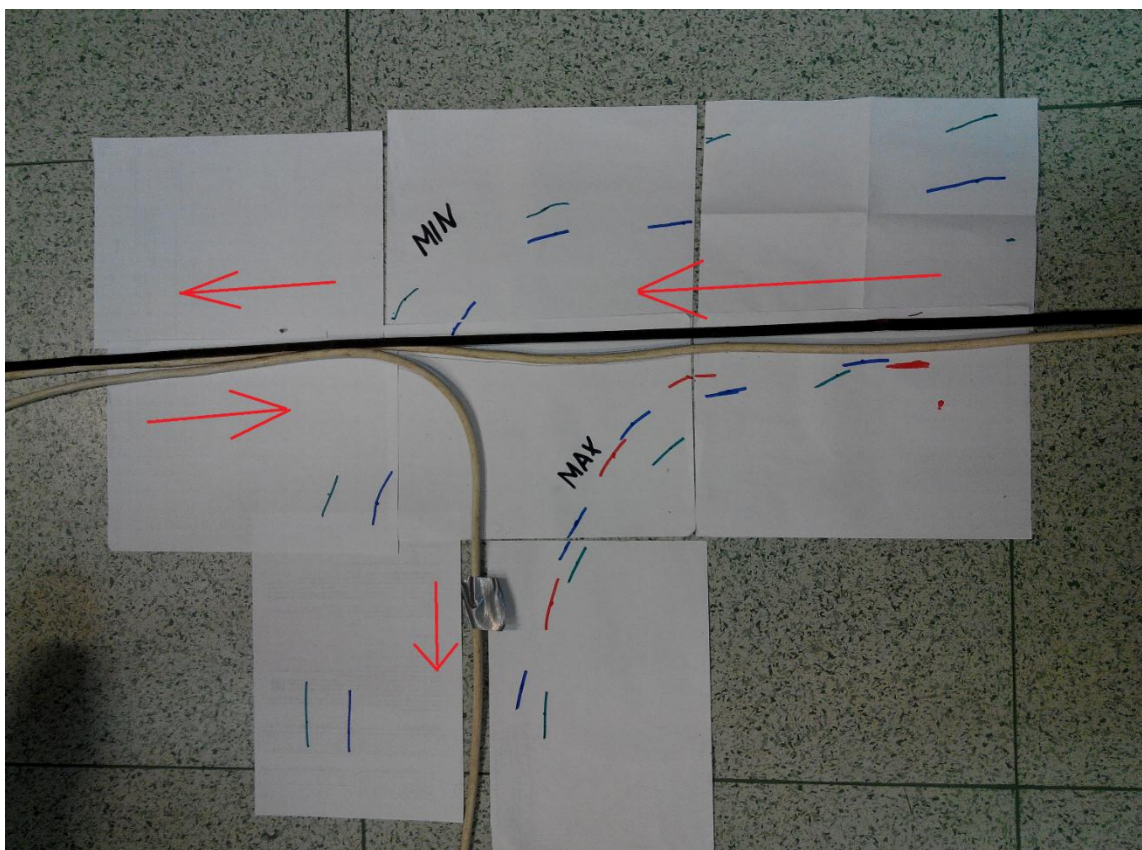
Tabulka 10: Výsledky vyhledávání při souběhu vedení



Obrázek 10: Testované vedení, souběh

7.3 Křižovatka vedení

Jedná se o typ křižovatky vyskytující se na vedení veřejného osvětlení. Jeden kabel veřejného osvětlení vchází do lampy a druhý z ní vychází a pokračuje v jiném směru. Červené šipky označují směr elektrického proudu. V místě těsného souběhu dvou kabelů se magnetické pole vyruší, protože elektrický proud v kabelech má opačný směr, tedy vytvořená magnetická pole mají opačnou polaritu. Na obrázku je vidět, kde jsou maxima a minima. Modře je vyznačen Radiodetection RD8000, zeleně Geoton F19 a červeně Leica DigiCat 200. Z obrázku je vidět, že se nepodařilo vyhledat přesně trasu kabelů v křižovatce. V praxi se vyhledají kabely těsně před křižovatkou a potom se za pomoci protínání křižovatka dokreslí.



Obrázek 11: Testované vedení, křižovatka

8. Závěr

Byly testovány tři lokátory Radiodetection RD8000, Leica DigiCat 200 a Geoton F19 za účelem ověřit správnost vyhledané trasy a hloubky vedení. Lokátory byly testovány na stavbě vodovodu v Březnici u Příbrami a v laboratoři Fsv ČVUT. Na stavbě vodovodu se testovaly různé způsoby vyhledání vedení, kterými disponují zmíněné lokátory. V laboratoři Fsv ČVUT byla testována správnost vyhledání v rušivém okolí, souběhu dvou vedení a na křižovatce vedení.

Na stavbě vodovodu byla testována závislost mezi polohovými odchylkami a staničením, která se neprokázala. Ověřovala se závislost mezi polohovými odchylkami a výškový rozdílem, která byla potvrzena.

V laboratoři Fsv ČVUT byla dokázána správnost metody maxima nad metodu minima za ztížených podmínek zejména rušivého okolí.

Z testování vyplývá, že přesnost vyhledání podzemního vedení nezávisí na použitém lokátoru, ale na způsobu vyhledání. První předpoklad správného vyhledání je rozmyslet si způsob vyhledání (druh připojení, použité frekvence a metodu vyhledávání). Je-li na vedení přístupové místo, připojit se galvanicky, nejlépe s uzemněním na druhém konci vedení. Pokud je vedení vyhledáváno v městské oblasti, kde je velký počet inženýrských sítí, použít nižší frekvence, kvůli zamezení indukce do jiného vedení. V případě, že budou rozdílná trasy určené metody maxima a minima, za správnou trasu vedení lze pokládat vyhledání podle metody maxima.

Po dohodě s vedoucím práce bylo vyhodnocení pomocí detailního plánu nahrazeno grafy polohových odchylek.

9. Seznam zdrojů

- [1] Jaromír BROŽ A kol. *Základy fyzikálních měření I.díl*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1967.
- [2] FLEGR, Jaroslav. *Hledače kabelů a potrubí, elektrická odporová metoda, metoda akustickomechanické rezonance*. Splytovice: Ing. Jaroslav Flegr, 2003.
- [3] FLEGR, Jaroslav. *Návod k obsluze víceúčelové měřicí soupravy Geoton F19*. Splytovice: Ing. Jaroslav Flegr, 1997.
- [4] *DigiCat_UserManual_cs* [online]. [cit. 2017-05-06]. Dostupné z: http://www.gefos-leica.cz/ftp/Stavebni_pristroje/N%E1vody/DIGI/DigiCat_UserManual_cs.pdf
- [5] *Prospekt_RD8100_web* [online]. [cit. 2017-05-06]. Dostupné z: http://www.Radiodetection.cz/ckfinder/userfiles/files/files/products/cs/Radiodetection/RD8100/Prospekt_RD8100_web.pdf
- [6] *Základy trasování 10-11* [online]. [cit. 2017-05-06]. Dostupné z: <http://www.Radiodetection.cz/ckfinder/userfiles/files/files/products/cs/Radiodetection/Z%C3%A1klady%20trasov%C3%A1n%C3%AD%2010-11.pdf>
- [7] JEONG, Hung Seok, Carlos A. ARBOLEDA, Dulcy M. ABRAHAM,, Daniel W. HALPIN a Leonhard E. BERNOLD. *Imaging and Locating Buried Utilities* [online]. Purdue University, 2002 [cit. 2017-05-06]. Dostupné z: <http://docs.lib.purdue.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1585&context=jtrp>
- [8] ŠRYTR, Pavel. *Městské inženýrství*. Praha: Academia, 1998. Technický průvodce (Academia). ISBN 80-200-0663-X.
- [9] SEDLÁK, Bedřich a Ivan ŠTOLL. *Elektřina a magnetismus*. Vyd. 2., opr. a rozš. Praha: Academia, 2002. ISBN 80-200-1004-1.

10. Seznam obrázků

Obrázek 1: Osa cívky ve směru indukčních čar a nad vedením	10
Obrázek 2: Měření hloubky jednocívkovým lokátorem	17
Obrázek 3: Geoton F19	18
Obrázek 4: Leica DigiCat 200	19
Obrázek 5: Radiodetection RD8000 + Tx10	19
Obrázek 6: Situace	20
Obrázek 7: Radiodetection RD8000 s tyčí	31
Obrázek 8: Leica DigiCat 200 s tyčí	32
Obrázek 9: Zobrazení maxim a minim nad vyhledávaném souběhu vedení..	34
Obrázek 10: Testované vedení, souběh.....	35
Obrázek 11: Testované vedení, křižovatka	36

11. Seznam tabulek

Tabulka 1: Použité způsoby vyhledávání	22
Tabulka 2: Popis výsledků analýzy dat.....	27
Tabulka 3: Výsledky analýzy lokátorem Radiodetection RD800	28
Tabulka 4: Výsledky analýzy lokátorem Leica DigiCat 200	28
Tabulka 5: Výsledky analýzy lokátorem Geoton F19	29
Tabulka 6: Směrodatné odchylky v poloze	30
Tabulka 7: Vyhledávání v laboratoři Fsv ČVUT lokátorem Radiodetection RD8000.....	32
Tabulka 8: Vyhledávání v laboratoři Fsv ČVUT lokátorem Leica DigiCat 200..	33
Tabulka 9: Vyhledávání v laboratoři Fsv ČVUT lokátorem Geoton F19.....	33
Tabulka 10: Výsledky vyhledávání při souběhu vedení	34

12. Seznam grafů

Graf 1: Polohové odchylky způsobu vyhledávání Geotonu F19	23
Graf 2: Polohové odchylky způsobu vyhledávání Radiodetection RD8000....	24
Graf 3: Polohové odchylky způsobu vyhledávání lokátoru Leica DigiCat 200	25

13. Seznam příloh

Příloha 1: Histogramy, vyhledání trasy vodovodu	41
Příloha 2: Polohové odchylky- kombinované galvanické připojení s uz.....	42
Příloha 3: Polohové odchylky- kombinované galvanické připojení bez uz.....	42
Příloha 4: Polohové odchylky- pasivní mód	43
Příloha 5: Polohové odchylky- indukční připojení	43
Příloha 6: Podélný profil- kombinovaný galvanické připojení s uzemněním .	44
Příloha 7: Podélný profil- kombinované galvanické připojení bez uzemnění	44
Příloha 8: Podélný profil- indukční připojení	45
Příloha 9: Seznam souřadnic (elektronicky)	seznam_souradnic.txt
Příloha 10: Protokol měření GNSS a TS (elektronicky)	protokol_mereni.txt
Příloha 11: Tabulka seznamů bodů (elektronicky)	seznam_bodu.xlsx
Příloha 12: Tabulka analýzy dat (elektronicky)	analzya_dat.xlsx

Elektronické přílohy jsou komprimovány do souboru *soubor_priloh.zip*.

Přílohy

Použité zkratky

M ... modrý... Radiodetection RD8000

Z ...žlutý... Leica DigiCAT 200

S ...školní... Geoton F19

8 ... frekvence použitého proudu při trasování, 8 kHz

33 ... frekvence použitého proudu při trasování, 33 kHz

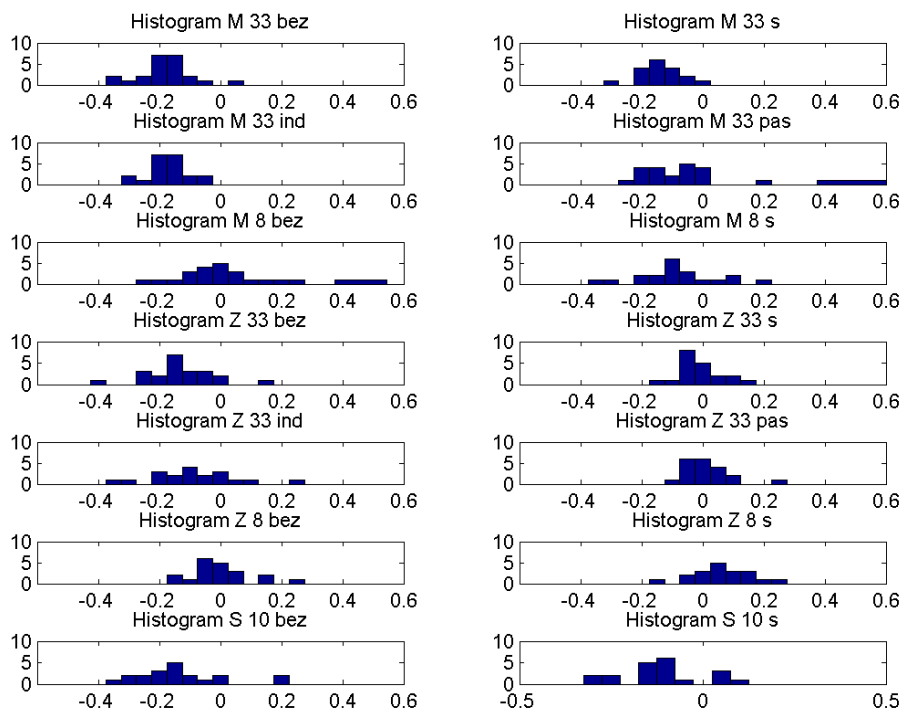
10 ... frekvence použitého proudu při trasování, 10 kHz

bez ... kombinované galvanické připojení bez uzemnění na druhém konci

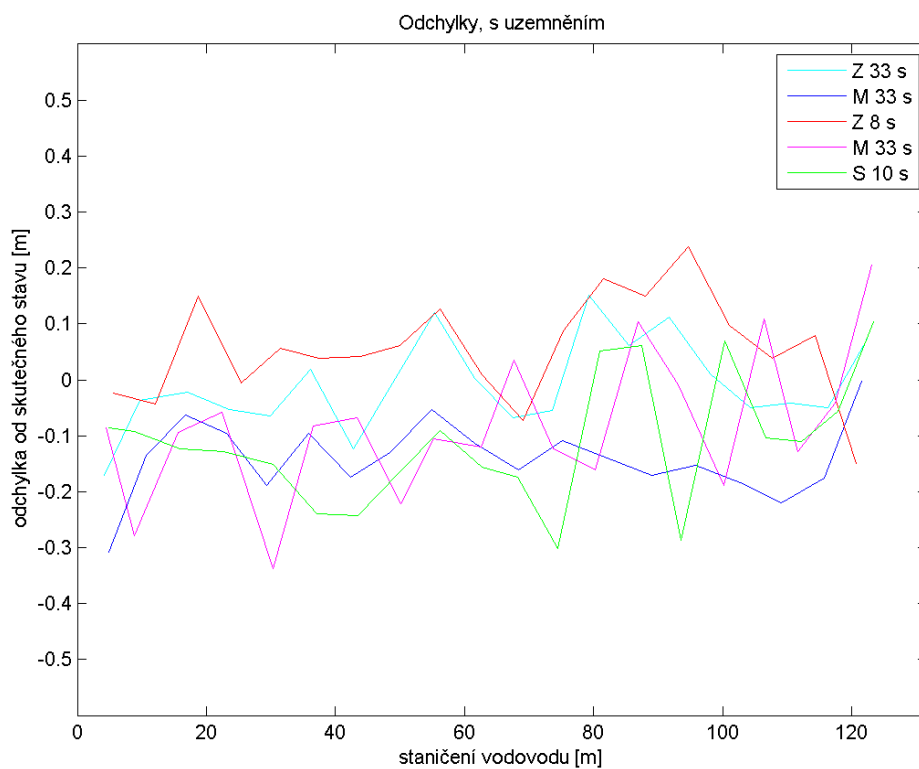
s ... kombinované galvanické připojení s uzemněním na druhém konci

ind ... indukční připojení přes rámovou anténu

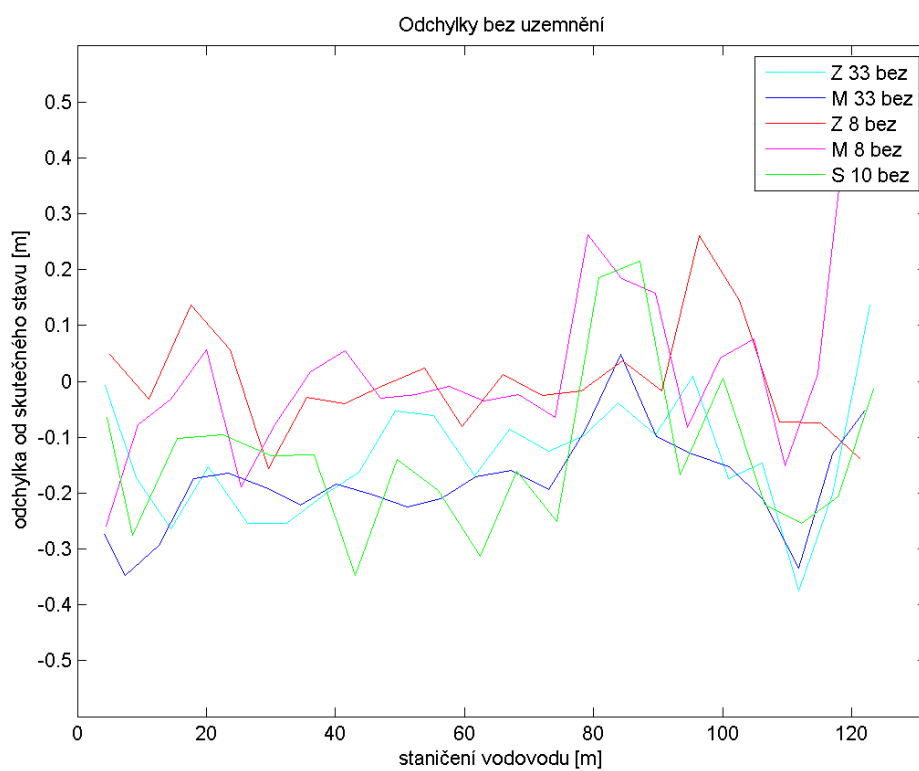
pas ... pasivní mód, při trasování byl použit jen přijímač



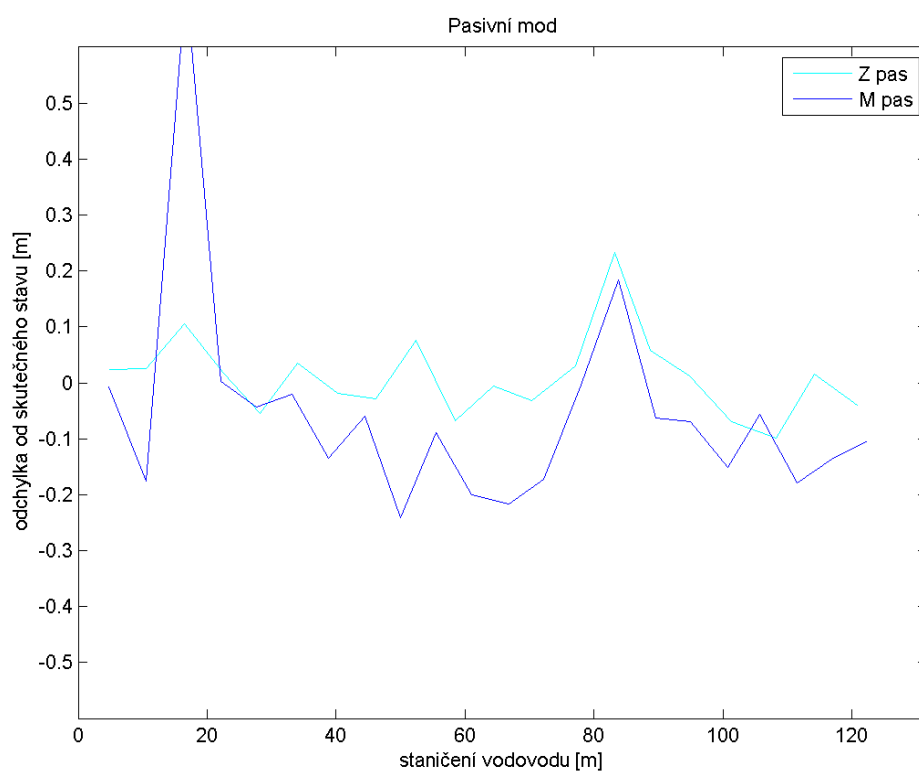
Příloha 1: Histogramy, vyhledání trasy vodovodu



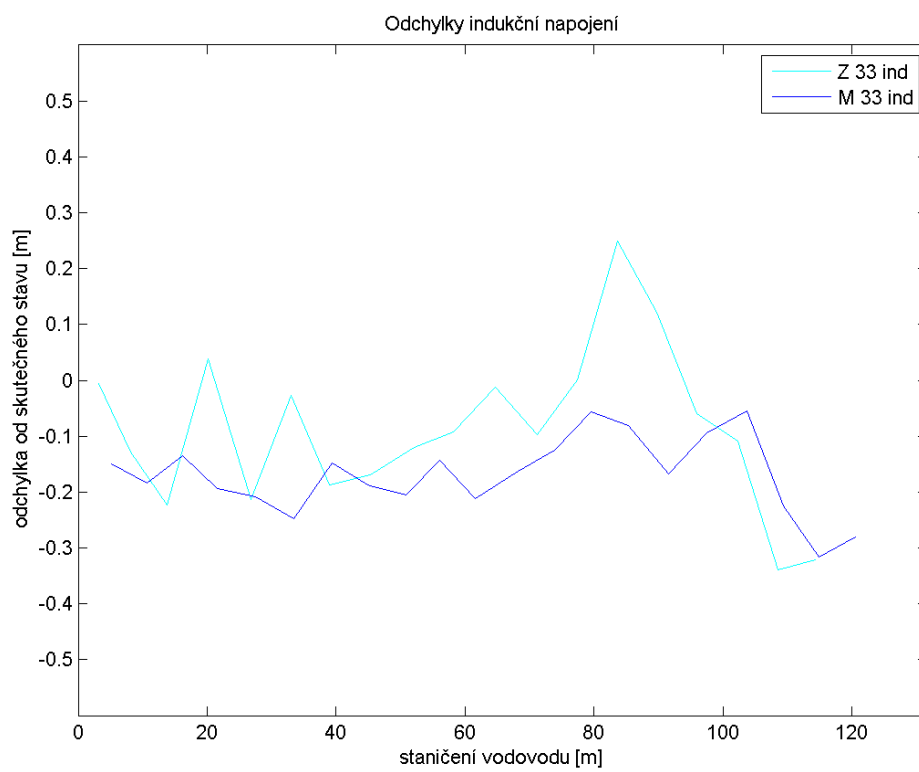
Příloha 2: Polohové odchyly- kombinované galvanické připojení s uzemněním



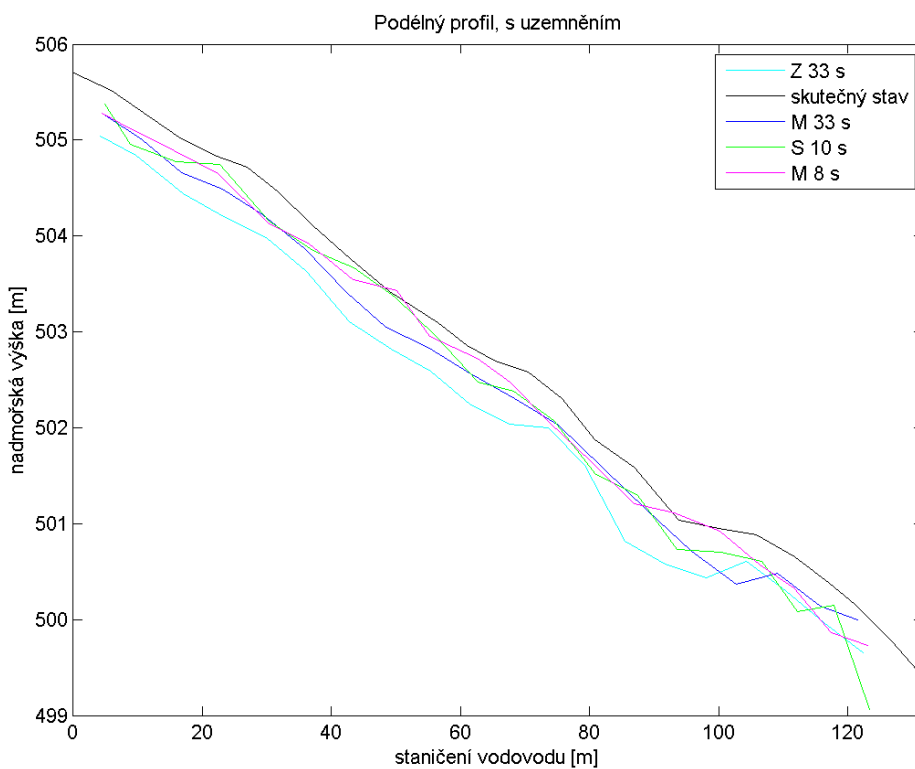
Příloha 3: Polohové odchyly- kombinované galvanické připojení bez uzemnění



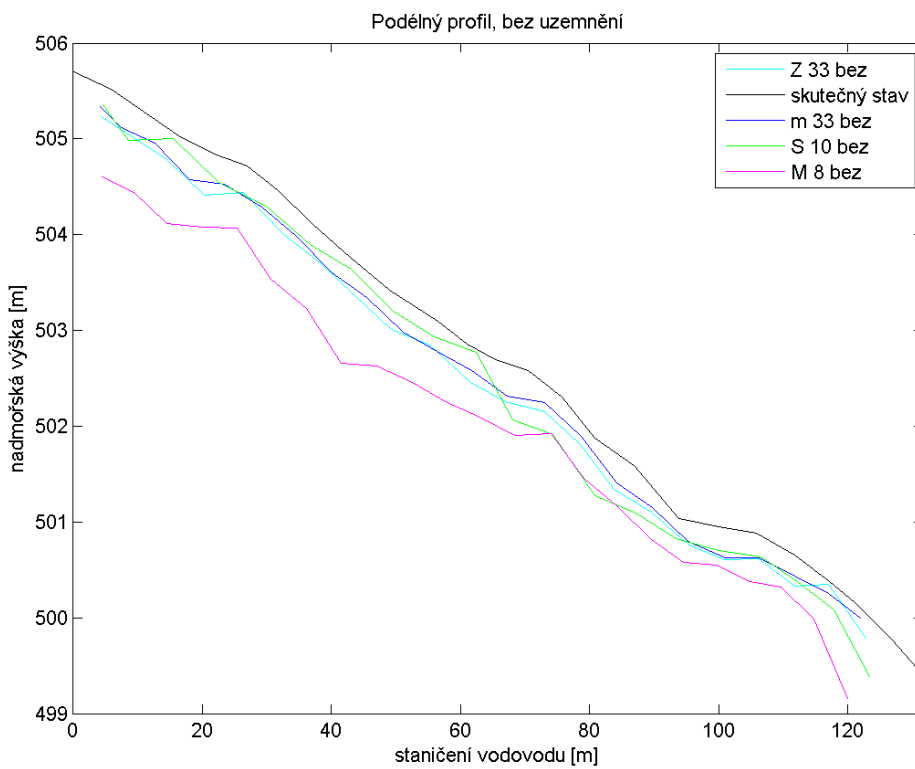
Příloha 4: Polohové odchylky- pasivní mód



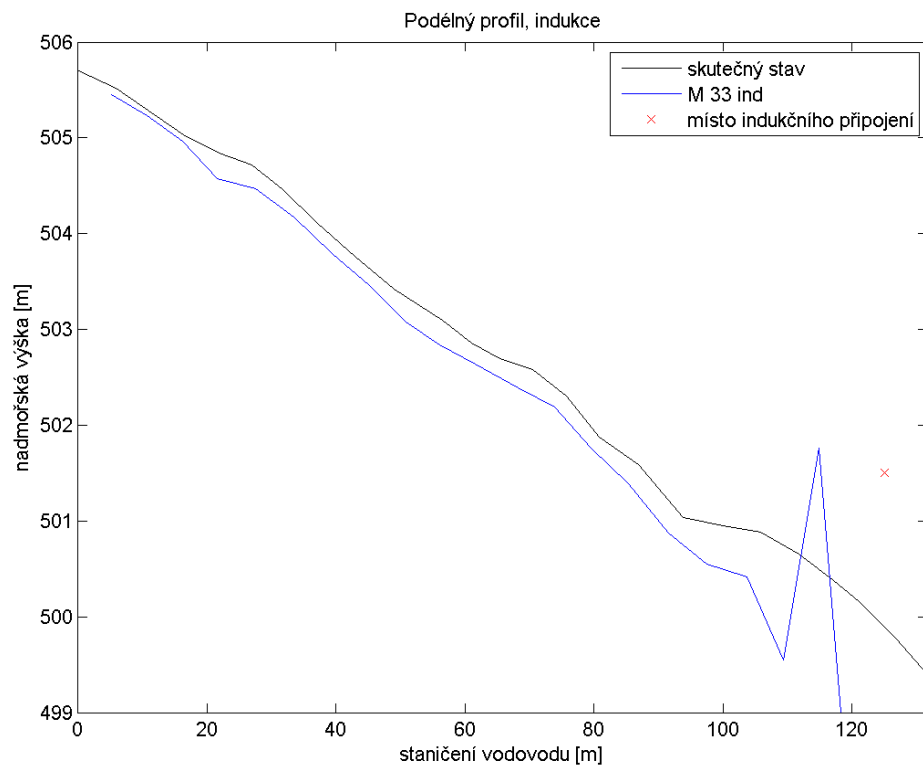
Příloha 5: Polohové odchylky- indukční připojení



Příloha 6: Podélný profil- kombinovaný galvanické připojení s uzemněním



Příloha 7: Podélný profil- kombinované galvanické připojení bez uzemnění



Příloha 8: Podélný profil- indukční připojení