

Univerzita Palackého v Olomouci

Přírodovědecká fakulta

Katedra geoinformatiky

Robert MINAŘÍK

**HODNOCENÍ PŘESNOSTI GNSS PŘÍSTROJŮ
V ZÁVISLOSTI NA JEJICH KONFIGURACI**

Bakalářská práce

Vedoucí práce: RNDr. Jakub Miřijovský

Olomouc 2013

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci bakalářského studia oboru Geoinformatika a geografie vypracoval samostatně pod vedením RNDr. Jakuba Miřijovského.

Všechny použité materiály a zdroje jsou citovány s ohledem na vědeckou etiku, autorská práva a zákony na ochranu duševního vlastnictví.

Všechna poskytnutá i vytvořená digitální data nebudu bez souhlasu školy poskytovat.

V Olomouci 17. května 2013

Děkuji vedoucímu práce RNDr. Jakobovi Miřijovskému za podněty a připomínky při vypracování práce. Také děkuji Mgr. Lukáši Markovi za rady ke statistickému testování. Dále děkuji Kamile Minaříkové, dr. Hedě Minaříkové, Janu Šaratovi, Michaele Šmoldasové a Janu Zdráhalovi za pomoc při měření v terénu.

Vložený originál **zadání** bakalářské/magisterské práce (s podpisem vedoucího katedry, vedoucího práce a razítkem katedry). Ve druhém výtisku práce je vevázána fotokopie zadání.

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	7
ÚVOD	8
1 CÍLE PRÁCE.....	9
2 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	10
2.1 GNSS měření v geodézii	10
2.1.1 Metody měření.....	10
2.1.2 Vlivy na přesnost družicových systémů	11
2.2 Rešerše literatury.....	13
3 POUŽITÉ METODY	15
3.1 Použité metody.....	15
3.1.1 Statická metoda.....	15
3.1.2 Rychlá statická metoda	15
3.1.3 RTK	16
3.2 Použitá data	16
3.3 Použité přístroje	17
3.4 Použité programy	17
4 GNSS PŘIJÍMAČ HIPER II.....	18
5 PŘÍPRAVA MĚŘIČSKÉ KAMPANĚ.....	20
5.1 Výběr a rekognoskace bodů	20
5.1.1 Trigonometrický bod 31 Prostřední díly.....	20
5.1.2 Trigonometrický bod 33 Na Biskupkách.....	21
5.2 Určení vhodného času měření	21
5.2.1 Plánování měření	21
5.2.2 Stav ionosféry	21
6 MĚŘIČSKÁ KAMPAŇ	23
6.1 Určování polohy trigonometrického bodu	23
6.1.1 Statická měření	23
6.1.2 RTK	24
6.2 Testování UHF rádia	25
6.2.1 Příprava měření a stabilizace bodů.....	26
6.2.2 Získání referenčních souřadnic bodů.....	26
6.2.3 RTK s vlastní referenční stanicí	27
6.2.4 RTK s VRS ze sítě TopNET.....	28
6.3 Měření ve špatných observačních podmínkách	28

7	ZPRACOVÁNÍ DAT.....	29
7.1	Zpracování surových dat	29
7.1.1	Zpracování dat ze statického měření	29
7.1.2	Zpracování RTK	29
7.2	Početní zpracování	30
7.2.1	Charakteristiky přesnosti měření	30
7.3	Testování hypotéz	31
8	VÝSLEDKY	32
8.1	Hodnocení přesnosti měření na trigonometrickém bodě.....	32
8.1.1	Hodnocení přesnosti statické metody	32
8.1.2	Porovnání přesnosti statické metody s metodu RTK.....	34
8.1.3	Hodnocení přesnosti RTK v síti TopNET	36
8.2	Hodnocení přesnosti RTK s vlastní referenční stanicí.....	37
8.2.1	Hodnocení přesnosti referenčních souřadnic	37
8.2.2	Hodnocení přesnosti RTK s vlastní referenční stanicí	38
8.2.3	Porovnání s přesností RTK s VRS síť TopNET	40
8.3	Hodnocení přesnosti ve špatných observačních podmínkách	41
9	DISKUZE	43
10	ZÁVĚR	44

POUŽITÁ LITERATURA A INFORMAČNÍ ZDROJE

SUMMARY

PŘÍLOHY

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

Zkratka	Význam
ANOVA	Analysis of variance
CZEPOS	Česká síť permanentních stanic GNSS pro určování polohy
DOP	Dilution of Precision
ETRS-89	European Terrestrial Reference System 1989
GLONASS	Globalnaja navigacionnaja sputnikovaja systémá
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPRS	General Packet Radio Service
GPS	Global Positioning System
CHKO	Chráněná krajinná oblast
LED	Light-Emmiting Diode
NTRIP	Networked Transport of RTCM via Internet Protocol
OTF	On-the-fly
PPBP	Podrobné polohové bodové pole
RINEX	Reciever Independent Exchange Format
RTK	Real Time Kinematic
SD	Secure Digital
S-JTSK	Souřadnicový systém jednotné trigonometrické sítě katastrální
SIM	Subscriber Identity Module
TB	Trigonometrický bod
TEC	Total Electron Content
UHF	Ultra-high frequency
VRS	Virtuální Referenční Stanice
WGS-84	World Geodetic System 1984

ÚVOD

Globální navigační satelitní systémy nacházejí v současné době uplatnění v mnoha oborech vědecké i komerční sféry. Silné postavení mají zejména v geodézii, kde díky technickému pokroku, aplikaci speciálních metod a vybudování podpůrných sítí permanentních stanic dosahují srovnatelné přesnosti s klasickými metodami geodézie, jsou však rychlejší a méně náročné. Uplatnění nacházejí také v geovědách jako významný zdroj prostorové složky geodat. Mnohdy je při sběru geodat vyžadována geodetická přesnost určení polohy, proto nelze využít běžné přijímače dosahující metrové přesnosti, ale geodetické dosahující centimetrové přesnosti.

V bakalářské práci je testován katederní geodetický přijímač HiPer II. Přijímač je používán v aplikacích vyžadujících velmi přesné určení polohy, např. zaměření vlícovacích bodů pro maloformátové snímkování. Práce hodnotí reálnou přesnost výsledných dat na modelové měřičské kampani a její výsledky mohou být použity pro odhad reálné přesnosti dalších měření na základě použité metody a její konfigurace.

1 CÍLE PRÁCE

Cílem bakalářské práce je řádně otestovat kompletní sadu dvou GNSS (Global Navigation Satellite System) přístrojů se zaměřením na reálnou přesnost výsledných dat. V práci budou testovány nejpoužívanější metody měření, různé konfigurace přijímačů a referenčních stanic v rámci metod. Budou experimentálně testovány různé vzdálenosti referenčních stanic od mobilního přístroje. Rovněž budou otestovány zabudované UHF (Ultra-high frequency) rádia. Důraz je kladen na nejvyšší možnou přesnost přístrojů, proto bude vybrána vhodná lokalita bez observačních překážek a měření proběhnou za dobrých podmínek.

Bude provedeno i jedno měření v terénu s hustou vegetací, aby se ověřila vhodnost použití GNSS metod v náročných podmínkách.

Přesnost výsledných dat bude hodnocena podle odchylek od referenčních souřadnic na základě charakteristik hodnocení přesnosti a hlavní výsledky budou pro ověření podrobeny statistickému testování. Výsledkem práce budou měření zpracovaná do tabulek a grafů, které budou sloužit k hodnocení přesnosti přístrojů.

2 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

V kapitole jsou uvedeny teoretické poznatky práce s geodetickými GNSS přijímači a rešerše prací zabývajících se přesností GNSS měření.

2.1 GNSS měření v geodézii

Podkapitola se zabývá metodami GNSS měření a systematickými vlivy působícími na družicové systémy, které ovlivňují výslednou přesnost.

2.1.1 Metody měření

Vývoj metod určování polohy výrazně ovlivňuje technický pokrok, zejména stále kvalitnější přijímače. V základu můžeme rozdělit metody podle způsobu určení polohy na absolutní a relativní (Machotka, Fixel, 2007; Pisca, 2005; Rapant, 2002).

Absolutní metody určení polohy

U absolutních metod se měří pouze jedním přijímačem. Pro výpočet své polohy musí přijímač zachytit signál alespoň ze čtyř družic. V případě příjmu signálu z družic GPS i GLONASS je nutné zachytit nejméně pět družic, z důvodu rozdílnosti systémového času (Hiper II Příručka obsluhy, 2010). Poloha přijímače se vypočítává zpracováním kódových měření ze známých poloh družic, výsledkem jsou geocentrické souřadnice X, Y, Z v souřadnicovém systému WGS-84 (World Geodetic System 1984) (Machotka, Fixel, 2007).

Na tomto principu fungují všechny běžné turistické GPS přijímače, navigace do auta, navigace v mobilních telefonech. Pokud zahrneme všechny zdroje chyb, dosahuje obyčejný GPS přijímač při použití pouze C/A kódu přesnosti 10 m a při použití P-kódu 6 m (Sedlák a kol., 2009, s. 28). Přesnost absolutního určení polohy se dá zlepšit průměrováním.

Relativní metody určení polohy

V geodetické praxi, kdy je potřeba dosáhnout milimetrové až centimetrové přesnosti (jako při klasických metodách), se metody absolutního určení polohy nepoužívají z důvodu nedostatečné přesnosti. Používají se metody relativního určení polohy bodu. Rovněž se pro výpočet polohy nepoužívají dálkoměrné kódy, ale měření fází nosné vlny.

Princip spočívá v současné observaci dvou přijímačů. Nevypočítává se absolutní poloha přijímačů v geocentrickém systému, ale relativní poloha vůči sobě. Přijímače tvoří koncové body základny (vektor spojující dva body). „Poloha bodů se neurčuje přímým zpracováním měřených dat, ale pro každou epochu se z nich počítají nové sady dat zvané difference.“ (Rapant, 2002, s. 35). Jeden z nich (referenční stanice) stojí na bodě o známých souřadnicích, např. z geodetického měření, druhý je na bodě o neznámých souřadnicích (tzv. rover).

Referenční stanice přijímá signály z družic, vypočítává svou polohu a porovnává ji se skutečnou polohou. Rozdíly v poloze tvoří diferenční korekce a slouží k opravě určení polohy roveru.

V rámci relativního určování polohy jsou v odborné literatuře vyčleňovány jednotlivé metody. Přehled metod a jejich klíčové charakteristiky uvádí Tab. 2.1.

Tab. 2.1 Přehled metod relativního určování polohy (upraveno podle: Čábelka, 2008)

Metoda	Zpracování korekcí	Polohová přesnost
Statická	postprocessing	3–5 mm
Rychlá statická	postprocessing	5–10 mm + 1 ppm
Stop and Go	postprocessing	10–20 mm + 1 ppm
Kinematická	postprocessing	20–30 mm + 3 ppm
RTK	v reálném čase	30–50 mm
<i>Pseudokinematická</i>	<i>postprocessing</i>	

Podle zpracování diferenčních korekcí se metody dělí do dvou skupin. Při postprocesním zpracování se korekce aplikují až v kanceláři po ukončení měření. Při použití RTK (Real Time Kinematic) metody se korekce zpracovávají již při měření v terénu a výsledné souřadnice bodů jsou jimi ošetřeny.

Autoři Sedlák a kol. (2009), Pisca (2005) a Rapant (2002) uvádějí ještě pseudokinematickou metodu měření. Metoda je podobná statické metodě s rozdílem, že rover neměří na jednom bodě po celý interval (např. hodina). Měření se zkrátí na dvě observace o délce 5 až 10 minut. V úvodu se měří pět či deset minut, poté se čeká nebo se měří jiné body. Měření se opakuje na konci intervalu, nejméně však po jedné hodině. Dosahovaná přesnost je méně než jeden centimetr, metoda nevyžaduje dvoufrekvenční přijímač.

2.1.2 Vlivy na přesnost družicových systémů

Systém GNSS je postižen celou řadou systematických chyb, které ovlivňují výslednou přesnost určení polohy. Chyby jsou nejčastěji rozřazeny do tří hlavních skupin (Hoffman-Wellenhof a kol., 2001):

- chyby související s družicí,
- chyby způsobené šířením signálu v atmosféře,
- chyby související s přijímačem.

Dle Švábenský a kol. (2007) je přidána ještě skupina chyb související s místem měření. Přehled jednotlivých chyb uvádí Tab. 2.2.

Obecně platí, že metody relativního určování polohy jsou systematickými chybami ovlivněny mnohem méně než metody absolutní. V dalším textu budou podrobněji rozebrány pouze vlivy, které může měřič ovlivnit nebo je předpovědět.

Tab. 2.2 Zdroje systematických chyb (zpracováno podle: Švábenský a kol., 2007; Pisca, 2005)

Zdroj chyb	Chybové vlivy
Družice	stav družice
	přesnost určení efemerid
	chyba hodin družice
	nepřesná poloha fázového centra
	geometrické uspořádání
Šíření se signálu atmosférou	ionosférická refrakce
	troposférická refrakce
	poměr signál/šum
Přijímač	chyba hodin přijímače
	nepřesné určení fázových center (L1 a L2)
Místo měření	vícecestné šíření signálu
	centrace přijímače
	určení výšky antény

Geometrické uspořádání družic

Geometrické uspořádání družic nad měřeným bodem ovlivňuje přesnost určení polohy. Při čtyřech viditelných družicích by se jedna měla nacházet v zenitu, další tři 15° – 20° nad obzorem a 120° od sebe (Rapant, 2002, s. 68).

Při dnešních technických možnostech zcela jistě zachytíme geodetickým přijímačem při dobrých observačních podmínkách více než čtyři družice. Vhodnost jejich uspořádání je vyjádřena parametrem snížení přesnosti DOP (Dilution of Precision). V praxi se nejvíce používá parametr PDOP (Position Dilution of Precision), který charakterizuje vliv geometrie družic na prostorovou přesnost určení bodu. Čím nižší je číslo, tím jsou družice lépe uspořádány a poskytnou přesnější výsledky.

V praxi se považuje za výborné uspořádání družic s hodnotou PDOP menší nebo rovno 4, od 5 do 7 jako přijatelné a více jak 7 značí špatné uspořádání (Rapant, 2002, s. 69). Hodnoty PDOP je vhodné zjistit před nastávajícím měřením za pomoci programů pro plánování měření (viz kap. 5.2.1).

Vliv ionosféry

Signál z družic je při průchodu atmosférou k zemi ovlivňován. Nejvíce je signál degradován v ionosféře a troposféře. Ionosféra se nachází ve výšce 50–1000 km nad povrchem Země a obsahuje elektricky nabitě částice (elektrony, ionty), které ruší šíření signálu z družic. Dochází zde k ionosférické refrakci.

Počet volných elektronů není konstantní. Je dlouhodobě ovlivňován jedenáctiletým slunečním cyklem a ročním obdobím. Krátkodobý efekt mají zejména geomagnetické

bouře, které mohou mít za následek snížení přesnosti určení polohy. Po slunečních erupcích se zvyšuje intenzita slunečního větru (proud protonů, elektronů a jader helia), který dopadá na magnetické pole Země (Sluneční vítr, 2013). Částice jsou polem pohlcovány v oblastech geomagnetických pólů, hromadí se a způsobují poruchy – geomagnetické bouře (Šiňor, 2000). V ionosféře částice slunečního větru ionizují vzduch a zvyšují počet elektricky nabitých částic. Stav ionosféry (počet volných elektronů) je charakterizován veličinou TEC (Total Electron Content).

Běžné přijímače využívají pro snížení vlivu refrakce modely ionosféry, z nichž nejpoužívanější je Klobucharův model vysílaný v navigační zprávě systému GPS. Je určený pro frekvenci L1. U geodetických GNSS přístrojů je vliv ionosféry na signál téměř odstraněn měřením na obou nosných vlnách s následným výpočtem vhodné lineární kombinace L3 „ionosphere-free“ (Machotka, Fixel, 2007). V praxi je nutné sledovat pouze indexy signalizující geomagnetickou bouři (viz kap. 5.2.2).

Vliv troposféry

Troposféra je nejnižší částí atmosféry. Sahá od zemského povrchu do výše 10–18 km. Dochází zde k troposférické refrakci. Vliv na signál z družic mají fyzikální vlastnosti troposféry jako je tlak, teplota a vlhkost (Švábenský a kol., 2007). Nejvíce je troposférou ovlivňován signál z nízkoletečích družic nad obzorem. Vliv troposféry je snižován použitím modelů troposféry a tvorbou diferencí.

Rovněž počasí v místě měření ovlivňuje samotný přijímač a jeho ustavení, proto jsou v bakalářské práci uváděny pro jednotlivá měření základní meteorologické informace, které by mohly ovlivnit výsledky.

Místo měření

Tato kategorie systematických vlivů je velice individuální. Závisí nejen na místě měření, ale i použití typu přijímače, schopnostech, zkušenostech a preciznosti měřiče.

2.2 Rešerše literatury

V odborné literatuře je přesnost GNSS přístrojů uváděna obecně pro danou metodu měření na základě dlouhodobých empirických poznatků. Relativní přesnosti metod uvádí např. Čábelka (2008), Machotka, Fixel (2007), Pisca (2005). Testováním přesnosti konkrétních GNSS přijímačů se zabývají zejména závěrečné práce studentů vysokých škol.

Na katedře geoinformatiky byl okrajově testován přijímač HiPer II v bakalářské práci Uhrové (2012) *Sběr terénních dat v morfologicky náročném terénu*. Přístroj byl využit pro zaměření břehové linie Kenického meandru metodou RTK s VRS (Virtuální referenční stanice) sítí TopNET. Autorka uvádí, že z důvodu hustého vegetačního krytu docházelo k výpadkům signálu, metoda byla neefektivní a lépe se uplatnily klasické metody geodézie. Relativní přesnost měření byla 3 cm, reálná přesnost nebyla uvedena.

Přesností GPS přístrojů se zabýval i Miřijovský (2007) ve své diplomové práci *Hodnocení podmínek využitelnosti systému GPS jako zdroje geografických dat v NP*

České Švýcarsko. Práce byla zaměřena na sběr dat v náročném terénu národního parku, přičemž autor vyzdvihuje úlohu plánování měření jakožto příznivého vlivu na přesnost určení polohy ve špatných observačních podmínkách. Přesnosti měření dosažené v práci nelze srovnávat, protože nebylo využito geodetického přijímače a nebylo měřeno v ideálních podmínkách.

Srovnáním využitelnosti GPS přijímače a totální stanice při určování posunu svahu se zabýval Marek (2007). Nebylo zde využito geodetického přijímače, proto přesnost nebyla dostačující (řádově metry) pro zjišťování malých posunů bodů na svahu a doporučen byl sběr dat totální stanicí. Jiných výsledků by bylo dosaženo při použití geodetického přijímače jako je HiPer II.

Testováním geodetických přijímačů pro práci v katastru nemovitostí se zabývají některé práce studentů katedry matematiky (oddělení geomatiky) Západočeské univerzity v Plzni. V bakalářské práci Šedivého (2011) *Ověření dostupnosti a přesnosti RTK metody v závislosti na vzdálenosti bodu od referenční souřadnice* byla hodnocena přesnost určení polohy na základě měření na sedmi trigonometrických bodech s využitím pěti permanentních stanic sítě CZEPOS (Česká síť permanentních stanic GNSS pro určování polohy). Na základě statistického testování nebyla prokázána závislost přesnosti RTK metody na vzdálenosti (až do 80 km) bodu od referenční stanice, problémem bylo u vzdálenějších stanic (nad 50 km) vůbec získat fixní řešení ambiguit.

Hejdová (2012) ve své bakalářské práci ověřuje možnosti získání dvou nezávislých určení polohy bodů podrobného bodového polohového pole (PBPP) z jednoho měření GNSS přijímačem odděleným zpracováním observací družic GPS a GLONASS. Měření bylo provedeno rychlou statickou metodou. Přesnost určení polohy vyhovuje katastrální vyhlášce č. 26/2007 Sb. (mezní chyba $u_{x,y} = 0,12$ m). Metoda je teoreticky použitelná a je efektivnější než postup uvedený vyhláškou, kdy se nezávislého určení polohy dosahuje dvojím zaměřením.

3 POUŽITÉ METODY

Kapitola popisuje obecně použité metody, zdroje dat, přístroje a programy.

3.1 Použité metody

3.1.1 Statická metoda

Základní a nejpřesnější metoda relativního určování polohy přístroji GNSS v geodézii. Je vhodná pro tvorbu základních geodetických sítí, měření dlouhých základen (několik stovek kilometrů) a sledování změn polohy referenčních bodů v čase. Spočívá v dlouhých observacích (v řádu hodin až desítek hodin) současně dvěma přijímači.

Délka observace závisí na délce základny, typu přijímače a požadované přesnosti. Přibližnou dobu měření lze spočítat ze vztahu (Hoffman-Wellenhof a kol., 2001):

$$L1: 30 \text{ min} + 3 \text{ min/km} \quad (1)$$

$$L1 + L2: 20 \text{ min} + 2 \text{ min/km} \quad (2)$$

Vztah platí při pozorování čtyř družic v dobrých podmínkách a při základnách do 20 km, větší počet družic umožní zkrátit čas o 20 % (Pisca, 2005). U dlouhých základen v řádu stovek kilometrů nebo pro velmi přesné určení polohy (např. geodetické sítě) je doporučená doba observace nejméně 12 h (Pisca, 2005).

Ze vztahů (1) a (2) je patrná přímá úměrnost vzrůstající délky základny a vzrůstající doby observace. Obecně platí, že čím delší je observace, tím je určení polohy přesnější. Metoda je postprocesní.

3.1.2 Rychlá statická metoda

Postup měření je shodný se statickou metodou, rozdíl je v době observace. U rychlé statické metody se délka observace pohybuje v řádu minut až desítek minut, snížení doby měření na tuto hodnotu je umožněno rychlými metodami řešení ambiguit (neznámý počet celých vlnových délek mezi přijímačem a sledovanou družicí), např. metodou On-the-fly (Pisca, 2005). Metoda je vhodná na měření krátkých základen s maximální délkou okolo 15 km (Machovský, Fixel, 2007). Předpokládaná doba observace se dá určit ze vztahu (Hoffman-Wellenhof a kol., 2001):

$$L1: 20 \text{ min} + 2 \text{ min/km} \quad (3)$$

$$L1 + L2: 10 \text{ min} + 1 \text{ min/km} \quad (4)$$

Dle Sedláka a kol. (2009) je možno pro krátké vektory (do 20 km) vycházet z Tab. 3.1.

3.1 Délka observace u rychlé statické metody v závislosti na počtu družic (Sedlák a kol., 2009)

Počet družic	Observační čas (min)
4	20 a víc
5	10–20
6+	5–10

Výsledná přesnost metody závisí na počtu družic (čím více, tím lépe) a jejich geometrickém uspořádání. Nutné je použití dvoufrekvenčního přístroje. Metoda je postprocesní.

3.1.3 RTK

RTK je v současné době jednou z nejpoužívanějších metod GNSS v geodézii a katastru nemovitostí, zejména pro její rychlost a solidní přesnost. Na rozdíl od ostatních metod GNSS se diferenční korekce zpracovávají při měření, což urychluje a zjednodušuje následné kancelářské zpracování.

Princip metody je v trvalém spojení referenční stanice s roverem po celou dobu měření. Referenční stanice vytváří diferenční korekce, které okamžitě vysílá. Rover korekce přijímá a musí být vybaven firmware, který je schopen přijaté korekce ihned zpracovat jako difference s vlastním měřením a zahrnout je do výpočtu vlastní polohy. Ambiguity u této metody jsou velmi rychle řešeny metodou On-the-fly (OTF).

Při měření RTK se využívá buď vlastní referenční stanice umístěné na bodě o známých souřadnicích, nebo služeb sítí permanentních stanic. V případě vlastní referenční stanice probíhá přenos korekcí nejčastěji prostřednictvím rádiových vln, kdy referenční stanice a rover musí být vybaveny odpovídajícím si radiomodemem. V případě využití sítě permanentních stanic se rover připojí prostřednictvím GPRS (General Packet Radio Service) k internetu a korekce získává z NTRIP (Networked Transport of RTCM via Internet Protocol) casteru sítě.

Uplatnění metody RTK je v širokém okruhu aplikací jako je vytyčování hranic parcel, budov, inženýrská geodézie, vedení stavebních strojů a precizní zemědělství.

3.2 Použitá data

Většina dat v bakalářské práci byla získána vlastním měřením GNSS přístrojem. Menší část dat byla získána pro realizaci měření. Jednalo se o data potřebná k zjištění vhodných podmínek pro měření (almanach satelitů, K indexy) a diferenční korekce.

Vždy aktuální almanach pro účely plánování měření byl stažen z internetových stránek firmy Trimble (Trimble: GPS data resources, 2013). Hodnoty planetárního Kp indexu byly kontrolovány na internetových stránkách N3KL (Current solar data: NOAA data, 2013). Pro zpětné ověření byl použit archiv (Index of /sun /noaa_archive, 2013). Lokální K index pro Českou republiku byl zjišťován na internetových stránkách Geofyzikálního ústavu Akademie věd České republiky (Geofyzikální ústav: Předpověď geomagnetické aktivity, 2013). Meteorologická data byla získána ze stanice Těšetice (Meteostanice – Těšetice, 2013).

Diferenční korekce pro RTK a následné kancelářské zpracování (postprocessing) statického měření byly získány ze sítě permanentních stanic TopNET (TopNET, 2012). Korekce potřebné v bakalářské práci byly poskytnuty vedoucím práce. Síť stanic TopNET provozuje firma Geodis Brno, spol. s.r.o. a výdej korekcí je zpoplatněn.

3.3 Použité přístroje

Veškerá měření byla provedena geodetickým GNSS přijímačem Topcon HiPer II. Jedná se o velice přesný duální GNSS přijímač schopný přijímat signály z družic GPS a GLONASS na obou frekvencích L1 a L2. Nedílnou součástí aparatury je polní kontrolér s označením FC-250, sloužící k ovládání činnosti přijímače.

3.4 Použité programy

Před každým měřením statickou metodou bylo potřeba provést plánování měření pro zajištění co možná neoptimálnějších observačních podmínek. Plánování měření proběhlo v programu Trimble Planning (verze 2.9).

Sběr dat v terénu probíhal pomocí speciálního programu TopSURV, který je instalován v polním kontroléru. Pro zpracování surových dat a transformaci souřadnic byl použit speciální kancelářský program Topcon Tools dodávaný výrobcem GNSS přijímačů – firmou Topcon.

Počtení zpracování proběhlo v programu Microsoft Office Excel 2003, stejně jako tvorba výsledných tabulek a grafů. Pro statistické testování byl použit program RStudio ver. 0.94.110 (R verze 2.13.2).

4 GNSS PŘIJÍMAČ HIPER II

Pro veškerá měření v rámci bakalářské práce byl použit geodetický GNSS přijímač HiPer II, který je produktem japonské firmy Topcon. Katedra geoinformatiky zakoupila sadu dvou přijímačů pro účely geodeticky přesných měření.

Hiper II je velice přesný geodetický duální GNSS přijímač schopný přijímat signály ze satelitů GPS i GLONASS, což zajišťuje dostatečný počet satelitů pro měření na jakémkoliv místě i ve špatných observačních podmínkách. Signály ze satelitů přijímá na obou nosných frekvencích L1 a L2, zpracovává jak dálkoměrné kódy, tak fáze nosné vlny. Pro eliminaci ionosférické refrakce je používána lineární kombinace L3.

Hiper II obsahuje interní GSM/GPRS modem umožňující připojení se do některé ze sítí permanentních stanic (TopNET, CZEPOS atd.) skrze vloženou SIM (Subscriber Identity Module) kartu s datovými tarify. Přijímač má zabudovaný interní UHF modem, který umožňuje měřit relativní polohu dvou GNSS přijímačů, z nichž jeden slouží jako referenční stanice a druhý jako rover. Referenční stanice vypočítává diferenční korekce a posílá je v reálném čase (RTK) prostřednictvím rádiových vln pohyblivému přijímači. Odpadá tedy nutnost využít služeb sítí permanentních stanic. Přístroj je vybaven kontrolním LED (Light-Emitting Diode) displejem, který monitoruje a referuje uživateli stav přijímače (Obr. 1).

Při řešení ambiguit u metody RTK používá přístroj metodu OTF. Metoda spočívá v kombinaci kódových a fázových měření, kdy se pomocí kódových měření vyznačí prostor pro hledání ambiguit (Pisca, 2005). Přijímač automaticky hlásí získání či ztrátu celočíselného řešení ambiguit (v dalším textu označováno jako fixní řešení).



Obr. 1 Přijímač HiPer II (zdroj: http://obchod.geodis.cz/album_popup/hiper-ii).

Tab. 4.1 Technické parametry přijímače Hiper II (upraveno dle: Hiper II Příručka obsluhy, 2010)

Technické parametry přijímače HiPer II		
Sledování satelitů		
Počet kanálů	72 univerzálních kanálů	
Sledované signály	GPS	L1 C/A, L1/L2 P-kód, L2C, L1/L2 fáze nosné vlny
	GLONASS	L1 C/A, L1/L2 P - kód, L1/L2 fáze nosné vlny
	SBAS	WAAS, EGNOS, MSAS
Přesnost určení polohy		
Statická metoda	L1 + L2	H: 3 mm + 0,5 ppm V: 5 mm + 0,5 ppm
	L1	H: 3 mm + 0,8 ppm V: 4 mm + 1 ppm
Rychlá statická metoda	L1 + L2	H: 3 mm + 0,5 ppm V: 5 mm + 0,5 ppm
RTK	L1 + L2	H: 10 mm + 1 ppm V: 15 mm + 1 ppm
DGNSS	< 0,3 m	
Správa dat		
Datové formáty	RTCM SC104, CMR/CMR+, NMEA, TPS	
RTK		
Formát korekce	RTCM SC104 ver 2.2, 2.3, 3.0, 3.1, CMR/CMR+	
Řešení ambiguit	OTF (L1, L1/L2)	
Délka geodetické základny	až 50 km	

5 PŘÍPRAVA MĚŘIČSKÉ KAMPANĚ

Kampani předcházela výběr vhodných lokalit pro měření spolu s rekognoskací bodů na lokalitách. Rekognoskace bodů byla provedena na konci září 2012.

5.1 Výběr a rekognoskace bodů

Při výběru vhodných stanovišť pro měření byly zohledněny cíle práce, ze kterých vyplývaly požadavky na kvalitu bodů. Pro testování skutečné přesnosti statického měření a pro umístění vlastní referenční stanice při testování UHF rádia bylo nutné, aby v místě měření byl trigonometrický bod (dále TB) Základního polohového bodového pole určený v ETRS-89 (European Terrestrial Reference System 1989). Rovněž stanoviště by mělo být dostupné z města z důvodu častého měření. Místo pro měřičskou kampaň bylo vybráno na základě rekognoskace dvou TB v okolí Olomouce.

5.1.1 Trigonometrický bod 31 Prostřední díly

TB č. 31 Prostřední díly se nachází v katastru obce Křelov-Břuchotín blízko komunikace spojující Křelov s Topolany. Bod je situován uprostřed pole, v blízkosti oploceného areálu vodárny. TB je stabilizován žulovým mezníkem a je chráněn ochrannou tyčí a betonovou skruží (Obr. 2). TB je součástí sítě DOPNUL.



Obr. 2 Trigonometrický bod 31 Prostřední díly (autor: R. Minařík, 2013).

Rekognoskací bylo zjištěno, že bod vyhovuje potřebám práce. V okolí bodu se nenacházely žádné observační překážky, které by svým výškovým úhlem přesahovaly stanovenou hodnotu elevační masky 15° . Na bodě byl v rámci rekognoskace vyhotoven polní zákres observačních překážek. Azimuty byly určeny buzolou a vertikální úhly autorem vyrobeným úhloměrem. Zákres byl použit pro vytvoření grafu překážek v programu Trimble Planning.

Souřadnice TB jsou v geodetických údajích uvedeny ve dvou souřadnicových systémech, ETRS-89 a S-JTSK (Souřadnicový systém jednotné trigonometrické sítě katastrální). Za referenční jsou v bakalářské práci považovány souřadnice ETRS-89 s elipsoidickou výškou, určené GNSS měřením.

5.1.2 Trigonometrický bod 33 Na Biskupkách

TB se nachází na „hejčínských loukách“ poblíž in-line stezky v chráněné krajinné oblasti Litovelské Pomoraví. Bod je umístěn asi 15 m od stezky v kukuřičném poli. Je stabilizován žulovým mezníkem, signalizován ochrannou tyčí uprostřed betonové skruže.

V době rekognoskace (4. 10. 2012) nebyla kukuřice sklizená a tvořila jak přístupovou, tak observační překážku, proto byl bod shledán nevhodným a vyřazen.

5.2 Určení vhodného času měření

Podkapitola popisuje přípravné práce, které vedly ke stanovení vhodné doby pro jednotlivá měření. Důraz byl kladen na vhodnou konstelaci družic nad TB a na stabilitu geomagnetického pole.

5.2.1 Plánování měření

Programy pro plánování měření umožňují naplánovat měřičskou kampaň tak, aby měření probíhalo za nejvhodnějších podmínek. Využívá se družicového almanachu, aby byl vypočítán přibližný pohyb a rozmístění družic v čase nad daným bodem. Pro vypočítání družicových drah je nutné znát přibližnou polohu místa měření a zakreslit observační překážky do Obstruction Editor.

Před každým měřením statickou metodou bylo provedeno plánování měření v programu Trimble Planning. Nejprve byl stažen aktuální platný almanach pro GPS i GLONASS a importován do programu. Dále byly zadány přibližné souřadnice bodu, nastaveno datum a časový interval budoucího měření. K určení vhodné doby pro měření byl vždy použit graf počtu viditelných satelitů a graf PDOP.

5.2.2 Stav ionosféry

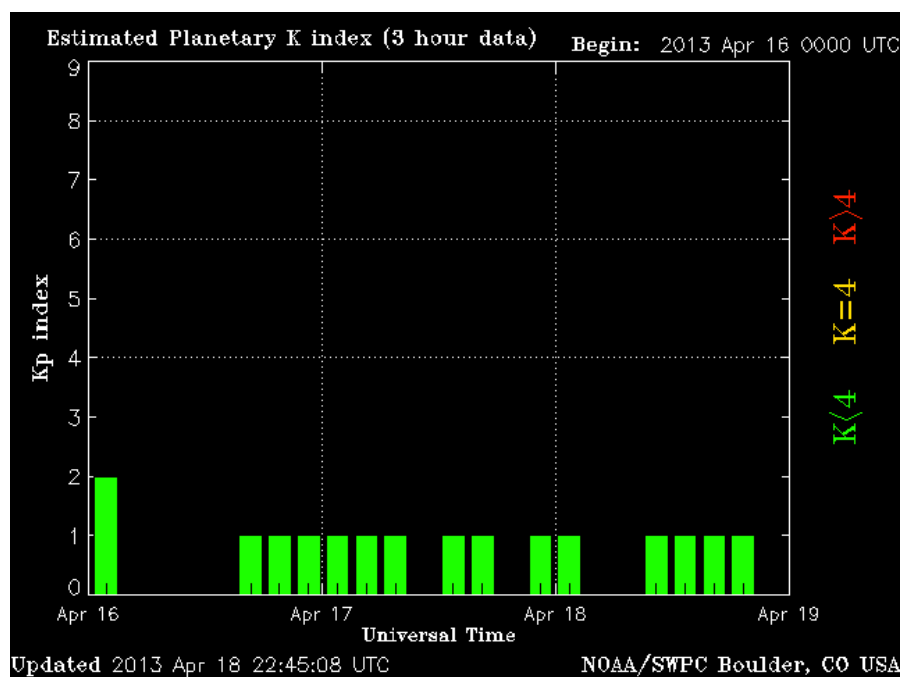
V rámci přípravy každého měření bylo zjišťováno, zda zrovna neprobíhala geomagnetická bouře, která by negativně ovlivnila stav ionosféry a tím i přesnost výsledků. Byl sledován stav porušení geomagnetického pole Země. Každý den měření byly ráno sledovány aktuální hodnoty planetárního K_p indexu (Obr. 3) a lokálního K indexu.

Lokální porušení geomagnetického pole Země popisuje K index. Nabývá hodnot od 0 – klidné až 9 – velmi porušené pole (Geofyzikální ústav: O indexech, 2005). Lokální K index pro Českou republiku je měřen v geomagnetické observatoři Budkov, kterou provozuje Geofyzikální ústav Akademie věd České republiky.

Pro hodnocení globálního stavu je používán planetární index K_p. Vyjadřuje závažnost magnetických poruch v blízkosti Země a je založen na průměru vážených K indexů ze 13

pozemních stanic měřících magnetické pole (On-Line Glossary of Solar Terrestrial Terms, 2007). Rovněž nabývá hodnot 0–9.

Zcela nevhodné pro měření jsou hodnoty K indexu větší než 4, které indikují geomagnetickou bouři. V Příloze 1 jsou uvedeny maxima Kp a K indexů v době měření pro jednotlivé dny.



Obr. 3 Ukázka planetárního Kp indexu
(zdroj: http://www.n3kl.org/sun/noaa_archive/2013/Apr_18/)

6 MĚŘIČSKÁ KAMPAŇ

Měřičská kampaň byla realizována od října 2012 do konce dubna 2013. Většina měření byla uskutečněna u obce Křelov přímo na TB nebo v jeho okolí. Nejprve byla provedena testovací měření, která sloužila k seznámení se s GNSS aparaturou. Výsledky z testování nebyly zahrnuty do hodnocení přesnosti. Poté proběhla dvě kompletní zaměření, jejichž výsledky sloužily k hodnocení přesnosti GNSS přístrojů.

Pro srovnání bylo provedeno i jedno měření ve špatných observačních podmínkách u Kenického meandru, který se nachází v chráněné krajinné oblasti Litovelské Pomoraví.

6.1 Určování polohy trigonometrického bodu

První část kampaně proběhla přímo na TB, kdy byly určovány souřadnice bodu různými metodami relativního určení polohy s rozdílným nastavením. Testována byla statická, rychlá statická a RTK metoda s připojením do sítě TopNET. Veškerá měření byla realizována v souřadnicovém systému ETRS-89 s elipsoidickými výškami.

Postup měření na TB byl vždy stejný. Nejprve bylo nutné přijímač precizně ustavit pomocí libely a optického centrovače, aby byly eliminovány chyby určení polohy vzniklé nepřesným umístěním antény nad bod. Dále se zaznamenávala každý den šikmá výška antény a počasí. Přesné hodnoty teploty vzduchu byly získány zpětně z blízké poloprofesionální meteostanice Těšetice.

Cílem měření bylo posoudit kvalitu výsledných souřadnic na základě jejich srovnání s referenčními souřadnicemi TB z geodetických údajů. U statiky bylo hlavním úkolem experimentálně zjistit nejkratší možnou dobu observace zajišťující dostatečnou přesnost výsledků, dále porovnat přesnost statické metody s metodou RTK.

6.1.1 Statická měření

Souřadnice TB byly určovány jak statickou, tak rychlou statickou metodou (ve výsledcích a dalším textu je použito souhrnné označení statická metoda). Rozhodujícím parametrem metody byla doba observace družic. Při určování délky observace se orientačně vycházelo z výše uvedených vztahů (2) a (4), protože bylo měřeno na obou frekvencích. Počet viditelných družic byl vždy větší než čtyři, proto mohl být vypočítaný čas u statické metody ještě snížen o 20 %.

Výše uvedené vztahy pocházejí ze starší publikace (2001), vývoj GNSS systémů značně pokročil, což se odrazilo na snížení observačních časů. Z tohoto důvodu bylo ještě čerpáno z Tab. 3.1, která byla publikována v práci Sedlák a kol. (2009). Na základě principů relativního určení polohy byly diferenční korekce vždy stahovány z nejbližší referenční stanice. V tomto případě se jednalo o stanici v Prostějově.

Vzdálenost mezi TB a referenční stanicí v Prostějově byla vzdušnou čarou asi 16,3 km. Dle vztahu (2) a (4) byl určen observační čas 41,6 minut pro statickou a 26 minut pro rychlou statickou metodu. Finální délka observace pro statickou metodu byla zaokrouhlena na 40 minut, pro rychlou statickou byl s ohledem na Tab. 3.1 a potřeby většího rozdílu mezi délkami observací zkrácen čas měření na 20 minut. Dále bylo

zařazeno měření po dobu 10 minut, což je doba, kterou na základě observačních podmínek vypočítal přijímač jako dostatečnou pro určení přesných souřadnic bodu.

Z důvodu časové náročnosti nebylo reálné provést měření jedné etapy (10, 20 a 40 minut) s dostatečným počtem opakování v rámci dne, proto byla rozdělena do dvou dní. Počty opakování byly stanoveny vždy co možná nejvyšší, aby bylo maximálně využito celého dne. Měřilo se jedním přijímačem v autonomním módu s elevační maskou 15°. Po spuštění „statického stanoviště“ (zahájení observační série) byly údaje o poloze zaznamenány každých pět sekund až do skončení observační série. Data byla automaticky ukládána na SD (Secure Digital) kartu. Přehled statických měření uvádí Tab. 6.1. Šedým písmem jsou znázorněna testovací nebo nedokončená měření, která nebyla zahrnuta do hodnocení přesnosti.

Tab. 6.1 Přehled měření statickou metodou na trigonometrickém bodě č. 31

Datum	Observace	Počet měř.	Čas	Teplota (°C)	Slovní hodnocení počasí
8.10.	65 min	1	13:22–14:27	nedostupné	jasno, beze srážek
13.11.	20, 40 min	2	10:55–12:05	nedostupné	jasno, beze srážek
13.12.	20, 40 min	2	14:55–15:57	nedostupné	jasno, beze srážek
5.4.	10 min	20	8:04–17:20	0,7–1	zataženo, mrholení
	20 min	15		1–2,9	zataženo, od 15:00 slabý déšť
6.4.	40 min	11	11:40–18:50	3,6–5,1	zataženo, beze srážek
13.4.	20 min	11	10:15–15:00	8,7–11,7	polojasno, od 14:30 bouřka
14.4.	40 min	10	10:45–18:55	8,5–17,7	polojasno, beze srážek
17.4.	10 min	22	10:00–18:55	11,3–21,3	jasno, ostré slunce, beze srážek
	20 min	12		21,3–23,4	

6.1.2 RTK

Souřadnice TB byly také pokusně určovány metodou RTK s připojením do sítě permanentních stanic TopNET. Měření proběhlo vždy v jednom dni společně se statikou, aby byly zachovány stejné podmínky (ustavení, počasí) a výsledné souřadnice z obou metod mohly být porovnány.

Bylo využito všech permanentních stanic včetně VRS v okruhu do 50 km, se kterými se v daný den podařilo navázat spojení a fixovat ambiguity. Systém neumožnil připojení ke stanicím, které byly dále než 50 km. Kromě VRS do okruhu spadaly ještě stanice v Prostějově, Mladějově a Jeseníku nad Odrou.

U metody RTK probíhal automatický záznam polohy bodu pod dobu jedné epochy každých pět sekund až do maxima 60 měření.

Tab. 6.2 Dostupné referenční stanice sítě TopNET a jejich vzdálenosti

Referenční Stanice	Vzdálenost
VRS	5 km
Prostějov	16 km
Mladějov	49 km
Jeseník n. O.	52 km

Tab. 6.3 Přehled měření RTK metodou na trigonometrickém bodě č. 31

Datum	Čas	Ref. stanice	Interval	Počet měř.	Pozn.
13.11.		VRS	3 epochy pro průměr	1	test
		Prostějov	3 epochy pro průměr	1	test
5.4.	17:58	VRS	1 epocha co 5 s	60	
		Prostějov	1 epocha co 5 s	4	
		Mladějov	1 epocha co 5 s	0	nefixováno
		Jeseník n. O.	1 epocha co 5 s	0	nefixováno
6.4.	10:44	VRS	1 epocha co 5 s	60	
		Prostějov	1 epocha co 5 s	60	
		Mladějov	1 epocha co 5 s	60	
		Jeseník n. O.	1 epocha co 5 s	0	nefixováno
14.4.	16:19	VRS	1 epocha co 5 s	60	
		Prostějov	1 epocha co 5 s	60	
		Mladějov	1 epocha co 5 s	0	nefixováno
		Jeseník n. O.	1 epocha co 5 s	0	nefixováno
17.4.	9:24	VRS	1 epocha co 5 s	60	
		Prostějov	1 epocha co 5 s	60	
		Mladějov	1 epocha co 5 s	60	
		Jeseník n. O.	1 epocha co 5 s	60	

6.2 Testování UHF rádia

Na jaře roku 2013 proběhla realizace kampaně na testování dosahu UHF rádia. Cílem kampaně bylo otestovat přesnost měření metodou RTK s vlastní referenční stanicí. Princip testování spočíval ve vytvoření měřičských bodů v určité vzdálenosti od TB, které byly opakovaně zaměřovány metodou RTK. Pro porovnání výsledků bylo také zařazeno měření bodů RTK metodou s připojením do sítě TopNET.

6.2.1 Příprava měření a stabilizace bodů

Výběr umístění měřičských bodů podléhal dvěma požadavkům. Prvním byl požadavek na dobrou stabilizaci bodů a tím i zajištění neměnnosti polohy. Bod nemohl být situován v poli, kde by se nedal stabilizovat jinak než kolíkem a byl by brzy vyoran zemědělci. Druhý byl požadavek na vzdálenost bodů od TB. Nejzazší bod byl plánován ve vzdálenosti 3 km od TB. Jako vyhovující byly shledány dvě asfaltové komunikace v okolí. K určení vzdáleností od TB byla použita GNSS aparatura, kdy se při měření s vlastní referenční stanicí zobrazuje vzdálenost roveru od stanice.

Téměř všechny body byly umístěny na přímo na asfaltu. Stabilizace byla provedena ocelovým nastřelovacím hřebíkem, poloha bodu na cestě byla vyznačena barvou ve spreji. Pouze bod ve vzdálenosti 500 m od TB byl umístěn na nezpevněnou polní cestu a byl stabilizován plastovým mezníkem, který je běžně používán v geodetické praxi.

Z vytvořených bodů není přímá viditelnost na TB, ve výhledu brání remíz a terénní nerovnosti. Situace je tedy stejná jako ve většině případů v praxi. Rozmístění bodů pro testování UHF rádia a jejich stabilizace je v Příloze 2 a 3.

Tab. 6.4 Stabilizované body pro testování UHF rádia

Název bodu	Vzdálenost od TB
krelov_200	200 m
krelov_500	500 m
krelov_1000	1000 m
krelov_1500	1500 m
krelov_2000	2000 m
krelov_2500	2500 m
krelov_3000	3000 m

6.2.2 Získání referenčních souřadnic bodů

Referenční souřadnice jednotlivých bodů byly vypočítány jako průměr ze dvou nezávislých měření statickou metodou. První blok měření proběhl 28. 2. 2013 a 7. 3. 2013. Druhé měření proběhlo ve dnech 16. 4. 2013 a 21. 4. 2013. Dny byly zvoleny na základě plánování měření a kontroly K indexu.

V rámci prvního bloku byla doba observace na každém bodě 40 minut. U druhého bloku byla doba měření zkrácena na 30 minut. Přijímač byl vždy umístěn na stativu a precizně ustaven. Měřila se šikmá výška antény a její hodnota se zapisovala do deníku. Konfigurace přijímače (elevační maska, interval ukládání dat) byla stejná jako v kap. 6.1.1. Korekční data byla získána z prostějovské referenční stanice.

Tab. 6.5 Přehled měření referenčních souřadnic pro testování UHF rádia

Datum	Observace	Počet měř. bodů	Čas	Rozsah teplot (°C)	Slovní hodnocení počasí
28.2.	40 min	6	10:20–17:22	3,7–6,6	jasno, beze srážek
7.3.	40 min	1	16:15–16:55	11	zataženo, beze srážek
16.4.	30 min	4	13:32–17:18	19,2–20,3	jasno, beze srážek
21.4.	30 min	3	14:40–17:33	19,6–20,4	jasno, beze srážek

6.2.3 RTK s vlastní referenční stanicí

V tomto případě byly využity oba přijímače HiPer II. První byl nastaven jako referenční stanice, ustaven na TB č. 31 a vysílal diferenční korekce prostřednictvím vlastního UHF rádia na určité frekvenci. Druhý byl konfigurován jako rover a jeho radiomodem byl nastaven pro příjem korekcí na stejné frekvenci. K oběma přijímačům byla připojena rádiová anténa umožňující spojení.

Měření RTK metodou s vlastní referenční stanicí bylo uskutečněno ve dvou dnech a to 23. 4. 2013 a 24. 4. 2013. Každý den byly zaměřeny všechny vytvořené body nacházející se v určité vzdálenosti od TB. Byla tedy získána dvě měření, která sloužila pro hodnocení přesnosti metody.

Při sběru dat se postupovalo od bodu krelov_200 až k bodu krelov_3000. Aby byl nashromážděn větší počet měření každého bodu a zároveň nebylo měřeno ve velmi krátkém intervalu za úplně stejné konstelace družic, byla trasa absolvována v rámci jednoho dne čtyřikrát (dvakrát tam a zpět). Při jedné cestě byl každý bod zaměřen desetkrát, celkem tedy čtyřicetkrát. Záznam polohy byl proveden automaticky každou sekundu a pouze při fixním řešení ambiguit. Provést delší měření na jednom bodě nemělo smysl, protože bylo velice těžké udržet výtyčku rovně podle libely.

Rover byl přišroubován na výtyčce s nastavitelnou výškou. Základní svislá výška antény roveru byla nastavena na 1,8 m, protože čím nižší byla, tím lépe se držela rovně a nepřesnosti v poloze způsobené „kýváním“ přijímače byly menší. Také byla obě měření provedena v ranních a dopoledních hodinách, kdy nejméně fouká. Silnější vítr by znemožňoval rovné držení výtyčky nad měřeným bodem. Pro lepší stabilitu byl použit neoriginální držák na výtyčku.

Tab. 6.6 Přehled měření metodou RTK s vlastní referenční stanicí

Datum	Čas	Rozsah teplot (°C)	Slovní hodnocení počasí
23.4.2013	7:22–11:43	6,4–20,1	jasno, beze srážek
24.4.2013	7:54–11:23	8,4–18,3	jasno, beze srážek

Na celé trase nebyl problém s udržením fixního řešení ambiguit. Mezi body nebyla přímá viditelnost, rádiový signál procházel přes remíz. U nejvzdálenějších bodů se ztrácel rádiový signál, ale řešením bylo prosté zvýšení výšky antény přijímače na 2 nebo 2,2 m.

6.2.4 RTK s VRS ze sítě TopNET

Pro srovnání výsledků získaných metodou RTK s vlastní referenční stanicí bylo zařazeno měření stejných bodů RTK metodou s VRS vypočítanou ze síťového řešení TopNET. Virtuální stanice se vypočítala automaticky ve vzdálenosti 5 km od místa měření a v průběhu měření se její poloha automaticky přepočítávala v závislosti na pohybu roveru. Rozsah a postup měření byl stejný jako v případě vlastní referenční stanice. Sběr dat proběhl ve dnech 7. 4. 2013 a 22. 4. 2013.

Tab. 6.7 Přehled měření metodou RTK s VRS ze sítě TopNET

Datum	Čas	Rozsah teplot (°C)	Slovní hodnocení počasí
7.4.2013	9:48–16:49	4,4–6,4	polojasno, beze srážek
22.4.2013	7:48–12:28	4,8–18,9	polojasno, beze srážek

6.3 Měření ve špatných observačních podmínkách

V celé kampani bylo měřeno za výborných observačních podmínek, proto bylo pro srovnání zařazeno jedno pokusné měření v podmínkách špatných. Měření proběhlo dne 18. 4. 2013 v okolí Kenického meandru v chráněné krajinné oblasti Litovelské Pomoraví. Byla použita statická metoda k určení polohy výchozího stanoviště pro totální stanici (pro potřeby diplomové práce H. Uhrové) a metoda RTK pro zaměření značek příčných profilů koryta.

Statické měření na stanovišti nebylo plánováno, doba observace byla postupně zvyšována (10–90 min). Bod byl zaměřen dvakrát pro každou délku observace. Výšková maska byla 15° a interval registrace polohy 5 s. U RTK bylo využito VRS ze sítě TopNET.

7 ZPRACOVÁNÍ DAT

Surová data byla zpracována v programu Topcon Tools. Výsledné souřadnice měřených bodů byly zkopírovány do MS Excel, kde proběhlo hodnocení přesnosti vůči referenčním souřadnicím. Testování hypotéz bylo provedeno v programu R.

7.1 Zpracování surových dat

Zpracování surových dat z měření bylo provedeno v programu Topcon Tools. Jedná se o kancelářský software sloužící zejména k postprocesnímu zpracování měřených dat, vyrovnání sítí a tvorbě výstupů ve formě protokolů. V bakalářské práci byl použit pro zpracování surových dat ze statického měření, k úpravě RTK měření a převodu výsledných souřadnic bodů z ETRS-89 do S-JTSK. Pro převod souřadnic byl použit aktuální globální transformační klíč a geoid CR-2005_v1005.

Data z měření byla rozřazena do zakázek podle dne měření, použité metody a její konfigurace.

7.1.1 Zpracování dat ze statického měření

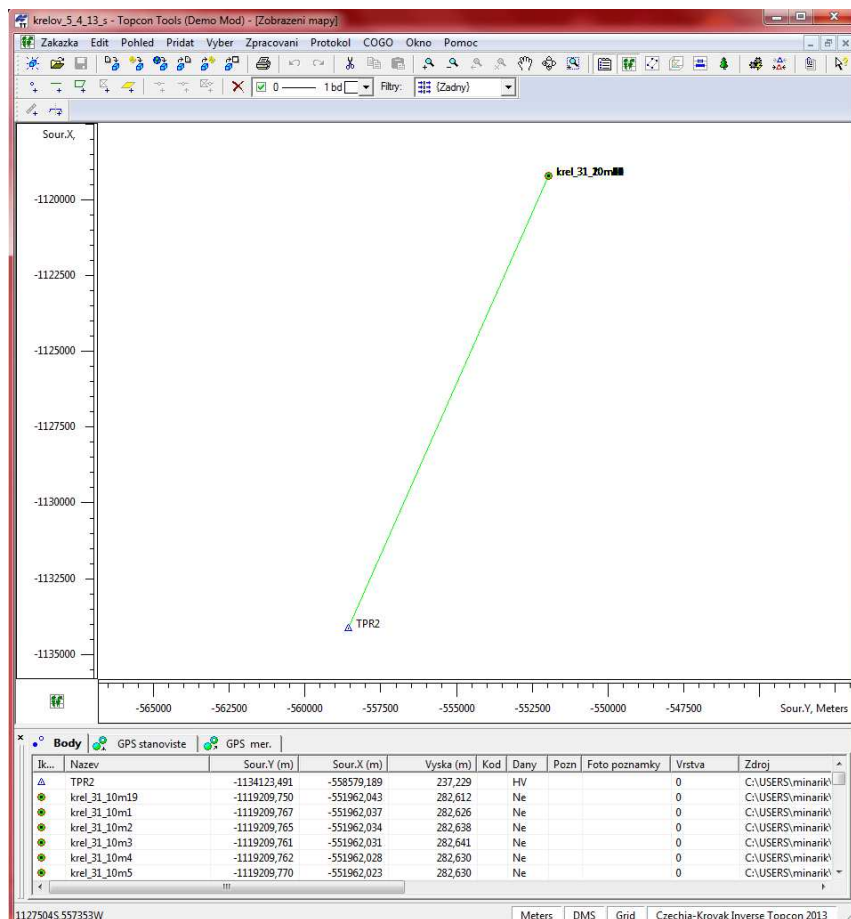
Po spuštění programu byla založena nová zakázka. Do zakázky byly importovány potřebné soubory z SD karty obsahující surová data z měření. Dále byly nahrány diferenční korekce z referenční stanice Prostějov ve formátu RINEX 2.10 (Receiver Independent Exchange Format). Po přidání referenční stanice do zakázky byly vždy souřadnice stanice zkontrolovány podle webových stránek sítě TopNET. Pokud bod stanice nesouhlasil, byl vymazán a nahrán znovu.

Jako další byly zkontrolovány údaje o stanovišti, zejména typ antény, výška antény a metoda měření výšky antény. V případě, že byla výška antény v terénu zjištěna až po měření, byla v programu opravena na správnou hodnotu.

Po kontrole všech údajů následovalo spuštění postprocessingu a surová data byla zpracována společně s daty referenční stanice. Automaticky byly vypočteny vektory relativního určení polohy mezi měřenými body a referenční stanicí a upraveny souřadnice měřených bodů. Nakonec byly výsledné souřadnice bodů převedeny z ETRS-89 do S-JTSK.

7.1.2 Zpracování RTK

Jak už vyplývá z principů metody, není nutné žádné postprocesní zpracování. Korekce polohy jsou aplikovány již při měření v terénu. Zde se zpracováním dat RTK rozumí nahrání zakázky vytvořené v programu TopSURV do prostředí Topcon Tools, případná oprava výšky antény, s tím spojený přepočítání souřadnic a transformace souřadnic do S- JTSK.



Obr. 4 Ukázka zpracování dat v Topcon Tools.

7.2 Početní zpracování

Početní zpracování proběhlo v programu Excel. Postup zpracování byl pro všechna měření stejný. Souřadnice v systému S-JTSK a názvy bodů byly zkopírovány z Topcon Tools do Excelu.

Byly vytvořeny tři sešity, jeden pro měření na TB, druhý pro testování UHF rádia a třetí pro měření v oblasti Kenického meandru. Souřadnice bodů byly v rámci sešitu rozřazeny do jednotlivých listů podle bloku měření. V případě statických měření na TB a při určování referenčních souřadnic bodů pro testování rádia, která nebyla dokončena v jednom dni, byla do jednoho listu zařazena data ze všech dní.

Následně byly u všech měřených bodů vypočítány jednotlivě odchylky v osách Y, X, výšce a polohová odchylka XY od referenčních souřadnic. Také pro jednotlivé sady měření (např. 20 měření po 10 minutách ze dne 5. 4. 2013) byly vypočítány střední chyby jednotlivých souřadnic, střední chyba výšky a střední souřadnicová chyba.

7.2.1 Charakteristiky přesnosti měření

V geodézii se přesnost hodnotí na základě opakovaného měření každého bodu. „Při srovnání dvou metod měření je přesnější ta metoda, u níž výsledky měření mají větší koncentraci kolem skutečné hodnoty měřené veličiny.“ (Hauf a kol. 1989, s. 51).

Charakteristikou skutečné přesnosti měření je základní střední chyba \bar{m} , popřípadě výběrová střední chyba m , která je získána z malého počtu měření.

V bakalářské práci jsou hodnoceny přesnosti metod a jejich konfigurací na základě (výběrových) středních chyb jednotlivých souřadnic m_y , m_x , výšky m_H a střední souřadnicové chyby $m_{x,y}$, vypočítaných podle vzorců (upraveno podle: Hauf a kol., 1989; Švábenský a kol., 2006):

$$m_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X - x_i)^2}{n}} \quad (5)$$

kde : Xskutečná hodnota měřené veličiny

x_inaměřená hodnota veličiny

npočet měření

$$m_{x,y} = \sqrt{\frac{m_x^2 + m_y^2}{2}} \quad (6)$$

Střední chyba souřadnic osy Y a výšky H se vypočítá analogicky podle vzorce (5) pouze s nahrazením příslušných hodnot. Vzorec (5) počítá výše zmíněnou koncentraci kolem skutečné hodnoty, tedy menší hodnota střední chyby znamená vyšší přesnost určení polohy.

7.3 Testování hypotéz

Nejdůležitější výsledky práce byly podrobeny statistickému testování. Zejména bylo ověřováno, zda existuje statisticky významný rozdíl přesností určení polohy mezi metodami měření a jejich konfiguracemi. Do testování vstupovaly odchylky bodů vypočítané z rozdílů referenčních a měřených souřadnic.

Pokud měla data normální rozdělení, byl pro porovnání dvojice výsledků měření použit dvouvýběrový t-test, v případě většího počtu „skupin“ měření byla použita analýza rozptylu (Analysis of Variance, ANOVA) doplněná post-hoc metodou vícenásobného porovnání Tukey HSD. V případě jiného rozdělení bylo u dvojice měření použito Mann-Whitneyova testu a pro více skupin Kruskal-Wallisův test s následným vícenásobným porovnáváním. Hladina významnosti u všech testů byla $\alpha = 0,05$. Nulová hypotéza byla zamítnuta, když hodnota p-value byla nižší než hladina významnosti.

U neparametrických testů se testuje shoda rozdělení pravděpodobností prostřednictvím porovnání pořadí hodnot výběrů (Bednářová, 2013). V dalším textu je v případě neparametrických testů pro srozumitelnost uváděna nulová hypotéza např. $m_{stat} = m_{RTK}$, přičemž slovní ekvivalent je: Není rozdíl mezi dvěma výběry, tedy přesnost je srovnatelná. Obdobně je to i u výsledků testování např. $m_{stat} > m_{RTK}$ znamená, že střední chyba statiky je vyšší a metoda je méně přesná.

8 VÝSLEDKY

V kapitole výsledky jsou hodnocena měření různými metodami a jejich konfiguracemi se zaměřením na reálnou (vnější) přesnost.

8.1 Hodnocení přesnosti měření na trigonometrickém bodě

Na TB bylo měřeno statickou a RTK metodou. Nejprve je hodnocena přesnost statické metody a poté je srovnávána s přesností RTK.

8.1.1 Hodnocení přesnosti statické metody

Na TB č. 31 byla provedena měření o délce 10, 20 a 40 minut s cílem zkoumat vliv doby observace na přesnost výsledných souřadnic. Obecně totiž platí, že s rostoucí délkou observace se zvyšuje přesnost určení polohy. Výsledky jsou zobrazeny v Tab. 8.1.

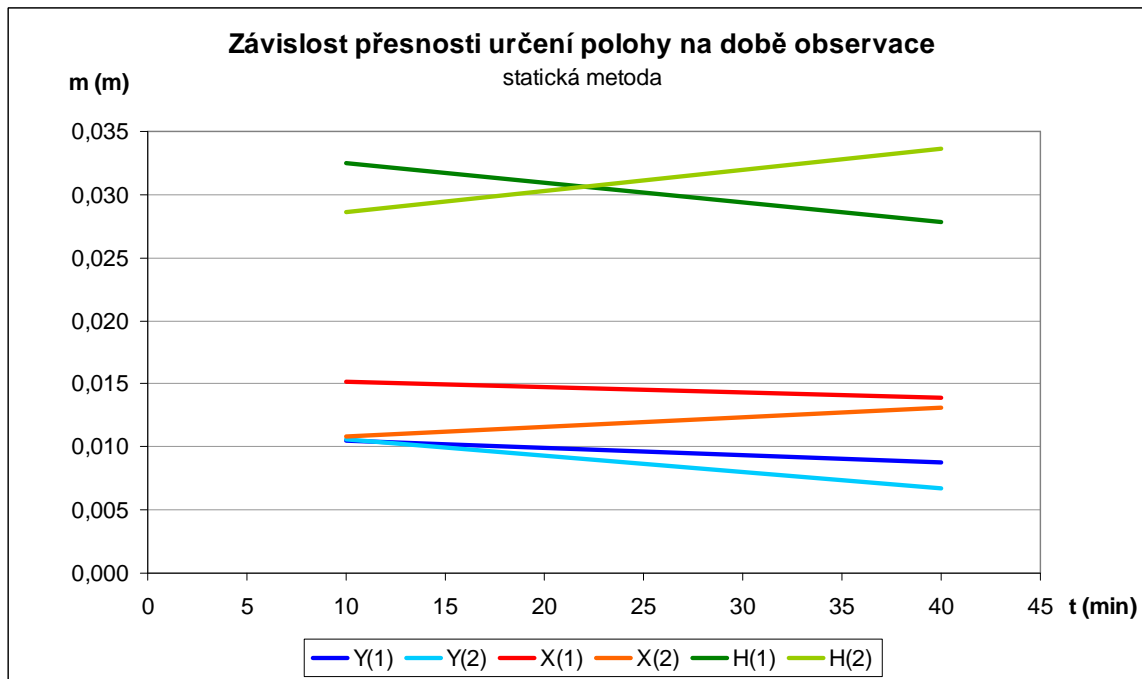
Tab. 8.1 Výsledné přesnosti statických měření na trigonometrickém bodě č. 31

Datum	Observace	Počet měř.	Odstup	m_y (m)	m_x (m)	m_H (m)	$m_{x,y}$ (m)
5.4.	10 min	20	2h	0,009	0,013	0,036	0,011
17.4.	10 min	22		0,010	0,012	0,031	0,011
5.4.	20 min	15	2h 10 min	0,013	0,018	0,026	0,015
17.4.	20 min	12		0,010	0,010	0,027	0,010
6.4.	40 min	11	1h	0,008	0,013	0,030	0,011
14.4.	40 min	10		0,007	0,014	0,035	0,011

Na základě dvou nezávislých měření byla ověřována platnost výsledků, zejména zda nebyly zatíženy hrubou chybou. Jak je patrné z Tab. 8.1, bylo dosaženo skoro stejné přesnosti dvojic měření, nebyla tedy zjištěna hrubá chyba měření.

Jednotlivé střední souřadnicové chyby $m_{x,y}$ odpovídají orientační přesnosti určení polohy pro statickou a rychlou statickou metodu (viz Tab. 4.1), která má být v horizontálním směru 0,011 m. Výjimku tvoří pouze dvacetiminutové měření ze dne 5. 4., kde je hodnota chyby vyšší z důvodu nepřesnosti v ose X. Celkově je z hodnot uvedených v tabulce vidět, že polohová přesnost měření je srovnatelná. Výšková přesnost měření je dvakrát až třikrát horší, než polohová přesnost. Neodpovídá orientační hodnotě, která má být ve vertikálním směru 0,013 m.

Z výsledků Tab. 8.1 byl sestaven graf Závislosti přesnosti určení polohy na době observace (Obr. 5).



Obr. 5 Graf Závislosti přesnosti určení polohy na době observace u statických měření.

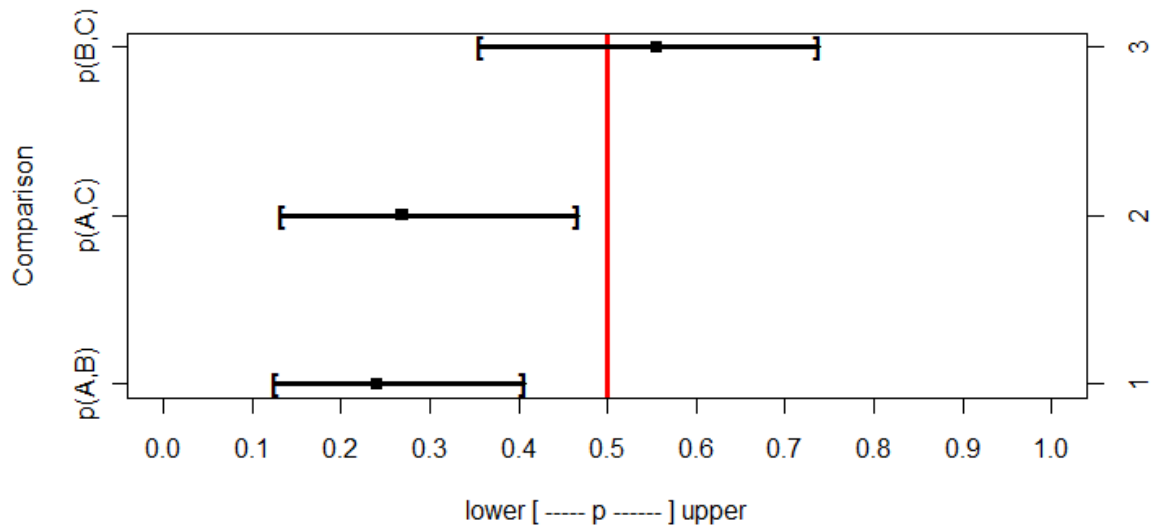
Obecné pravidlo, že nárůst doby observace vede k vyšší přesnosti určení polohy, platilo pouze u osy Y. V ose X a ve výšce docházelo u druhého měření k mírnému nárůstu střední chyby. Z důvodu časové náročnosti neproběhla měření v jednom dni za úplně stejných podmínek a milimetrové rozdíly ve středních chybách mohly být způsobeny chybami z rozdílného ustavení a měření výšky přístroje. Nebylo tedy možné na základě grafu určit, zda přesnost určení polohy u provedených měření závisí na době observace nebo jsou rozdíly v průběhu linií způsobeny chybou ustavení. Proto bylo provedeno testování hypotézy, zda existuje statisticky významný rozdíl v přesnosti určení polohy mezi měřeními o délce 10 (A), 20 (B) a 40 (C) minut. Testovala se zvláště horizontální a vertikální přesnost. Nulová hypotéza byla stanovena, že se střední chyby rovnají: $H_0 : \bar{m}_{10} = \bar{m}_{20} = \bar{m}_{40}$, u neparametrického testu $H_0 : m_{10} = m_{20} = m_{40}$. Výsledky jsou v Tab. 8.2.

Tab. 8.2 Výsledky testování závislosti přesnosti určení polohy na době observace

	Test	P-value	Zamítnutí H_0
Horizontální	ANOVA	0,2172	Ne
Vertikální	Kruskal-Wallis	0,0003	Ano

Z výsledků testu je možno potvrdit, že není statisticky významný rozdíl v horizontální přesnosti určení polohy v závislosti na době měření. V přesnosti určení výšky však rozdíl je (Obr. 6).

Vícenásobné porovnávání skupin měření s rozdílnou délkou observace Tukeyho metodou s 95% konfidenčním intervalem



Obr. 6 Porovnání výškové přesnosti statických měření

Významný rozdíl v přesnosti určení výšek není pouze u porovnání 20 a 40 minutových observací. V případě porovnání desetiminutových měření se zbývajícími je zjištěn rozdíl. Dalším testováním bylo zjištěno, že přesnost desetiminutových měření je nižší oproti ostatním.

Při měření statickou metodou na TB bylo zjištěno, že horizontální přesnost určení polohy byla konstantní u všech testovaných dob observace. Důvodem byly výborné observační podmínky na bodě. V přesnosti určení výšky byl zaznamenán mírný nárůst přesnosti mezi desetiminutovým a dvacetiminutovým měřením, ale mezi 20 a 40 minutami nebyl zjištěn rozdíl. Vertikální přesnost měření neodpovídala technické dokumentaci.

Na základě provedených měření může být doporučeno měřit statickou metodou v dobrých observačních podmínkách a při délce základny do 16 km nejméně po dobu 20 minut.

8.1.2 Porovnání přesnosti statické metody s metodu RTK

Obecně se u statické metody předpokládá lepší přesnost určení polohy než u RTK při zachování stejné délky základny. Pro srovnání přesnosti statické metody a RTK byla záměrně vybrána VRS síť TopNET, protože se generuje vždy 5 km od místa měření a poskytuje relativně nejpřesnější určení polohy.

Metoda RTK (použití VRS) by měla mít přesnost určení polohy 0,015 m v horizontální rovině a 0,020 m ve vertikálním směru (viz Tab. 4.1), tedy jen o 4 mm v poloze a 7 mm ve výšce nižší, než je uváděná přesnost statické metody. Důvodem je třikrát kratší vzdálenost mezi referenční stanicí a polním přijímačem, než byla v případě statických měření.

Tab. 8.3 porovnává přesnosti měření RTK se statickou metodou. V tabulce jsou zvýrazněny předpokládané horší výsledky.

Tab. 8.3 Porovnání přesnosti RTK se statickou metodou

Datum	Observace (statika)	$m_{x,y}(m)$		$m_H(m)$	
		Statika	RTK	Statika	RTK
5.4.	10 min	0,011	0,011	0,036	0,020
	20 min	0,015	0,011	0,026	0,020
6.4.	40 min	0,011	0,024	0,035	0,016
14.4.	40 min	0,011	0,007	0,030	0,043
17.4.	10 min	0,011	0,014	0,031	0,019
	20 min	0,010	0,014	0,027	0,019

Pro ověření existence významného rozdílu v přesnosti mezi metodami byly výsledky měření podrobeny statistickému testování (Tab. 8.4 a 8.5).

Tab. 8.4 Statistické porovnání polohové přesnosti RTK se statickou metodou

		$m_{x,y}$			
Datum	Statika	Test	H_0	P-value	Výsledek
5.4.	10 min	T-test	$\overline{m}_{stat} = \overline{m}_{RTK}$	0,0882	H_0
	20 min	T-test	$\overline{m}_{stat} = \overline{m}_{RTK}$	0,0385	$\overline{m}_{stat} > \overline{m}_{RTK}$
6.4.	40 min	Mann-Whitney	$m_{stat} = m_{RTK}$	2.35e-07	$m_{stat} < m_{RTK}$
14.4.	40 min	Mann-Whitney	$m_{stat} = m_{RTK}$	0,0048	$m_{stat} > m_{RTK}$
17.4.	10 min	T-test	$\overline{m}_{stat} = \overline{m}_{RTK}$	0,0586	H_0
	20 min	T-test	$\overline{m}_{stat} = \overline{m}_{RTK}$	0,0018	$\overline{m}_{stat} < \overline{m}_{RTK}$

Testování potvrdilo výsledky uvedené v Tab. 8.3, pouze u desetiminutového měření ze dne 17. 4. byla prokázána shodná přesnost metod na hranici spolehlivosti.

Tab. 8.5 Statistické porovnání výškové přesnosti RTK se statickou metodou

		m_H			
Datum	Statika	Test	H_0	P-value	Výsledek
5.4.	10 min	Mann-Whitney	$m_{stat} = m_{RTK}$	1.477e-05	$m_{stat} > m_{RTK}$
	20 min	Mann-Whitney	$m_{stat} = m_{RTK}$	0,0482	$m_{stat} > m_{RTK}$
6.4.	40 min	Mann-Whitney	$m_{stat} = m_{RTK}$	0,0220	$m_{stat} > m_{RTK}$
14.4.	40 min	Mann-Whitney	$m_{stat} = m_{RTK}$	0,0228	$m_{stat} < m_{RTK}$
17.4.	10 min	T-test	$\overline{m}_{stat} = \overline{m}_{RTK}$	0,0005	$\overline{m}_{stat} > \overline{m}_{RTK}$
	20 min	T-test	$\overline{m}_{stat} = \overline{m}_{RTK}$	0,2086	H_0

Výsledky testování výškové přesnosti odpovídaly Tab. 8.3 až na jednu výjimku. Dne 17.4. nebyl prokázán statisticky významný rozdíl v přesnosti mezi metodami.

Přesnost měření metodou RTK s VRS odpovídá technické dokumentaci a díky třikrát kratší délce základny dosahuje srovnatelné polohové přesnosti se statickou metodou. Překvapivější je situace v určení nadmořských výšek, kde výrazně vyšší přesnosti dosahuje metoda RTK. Na základě provedených měření však nelze s jistotou tvrdit, že metoda RTK dosahuje obecně vyšší přesnosti v určení výšek, protože je k dispozici malý počet opakování měření a navíc výsledky RTK byly ovlivňovány aktuálním stavem systému z důvodu krátkého času měření (5 min.).

8.1.3 Hodnocení přesnosti RTK v síti TopNET

Pro úplnost testování metody RTK bylo okrajově zařazeno měření souřadnic TB s využitím všech dostupných permanentních referenčních stanic. Výsledky jsou uvedeny v Tab. 8.6.

Tab. 8.6 Střední chyby RTK měření z jednotlivých stanic sítě TopNET

Datum	Ref.stanice	$m_{x,y}$ (m)	m_H (m)
6.4.	VRS	0,024	0,016
	Prostějov	0,035	0,023
	Mladějov	0,113	0,064
14.4.	VRS	0,007	0,043
	Prostějov	0,010	0,035
17.4.	VRS	0,014	0,019
	Prostějov	0,020	0,025
	Mladějov	0,025	0,022
	Jeseník n. O.	0,016	0,043

U vzdálenějších stanic bylo problémem získat a udržet fixní řešení ambiguit z důvodu slabého signálu a velkému zpoždění diferenčních korekcí. Pouze dne 17. 4. byla získána měření ze všech čtyř dostupných stanic a mohl být ověřován vliv vzdálenosti referenční stanice na výslednou přesnost. Na základě statistického testování (Příloha 4) bylo zjištěno, že horizontální přesnosti měření srovnatelné s VRS dosahovaly ještě stanice Prostějov a Jeseník n. O., vertikální pouze Mladějov. Nebyl tedy prokázán vliv vzdálenosti na přesnost určení polohy, protože přesnosti srovnatelné s VRS dosahovaly i vzdálené stanice. Výsledky testování nemohly být brány jako průkazné, protože nebylo získáno více měření ze vzdálenějších stanic.

Každý den měření byly získány souřadnice bodu pouze s využitím VRS a nejbližší permanentní stanice v Prostějově (TPR2), bylo tedy provedeno testování výsledků ze všech dní. Podle očekávání dosáhla lepší přesnosti určení polohy VRS (Tab. 8.7).

Tab. 8.7 Výsledky testování přesnosti měření mezi VRS a stanicí v Prostějově

Poloha	Test	H_0	P-value	Zamítnutí H_0
Horizontální	Mann-Whitney	$m_{RTK} < m_{TPR2}$	0,9984	Ne
Vertikální	Mann-Whitney	$m_{RTK} < m_{TPR2}$	0,9616	Ne

Na základě provedení měření a principů relativního určování polohy se doporučuje při měření RTK metodou v síti TopNET použít vždy VRS. Přesnost určení polohy bodů bude vysoká a je zaručeno získání fixního řešení ambiguit. U vzdálenějších stanic je největším limitujícím problémem získání fixního řešení ambiguit.

8.2 Hodnocení přesnosti RTK s vlastní referenční stanicí

Kapitola hodnotí výsledky měření RTK metodou s využitím vlastní referenční stanice a porovnává je s výsledky RTK s připojením k VRS síti TopNET.

8.2.1 Hodnocení přesnosti referenčních souřadnic

Referenční souřadnice bodů byly získány jako aritmetický průměr ze dvou statických měření. Pro ověření přesnosti měření byly nejprve vypočítány souřadnicové rozdíly ze dvou měření (Tab. 8.8). Pokud by rozdíl souřadnic výrazně přesahoval hodnoty středních chyb statických měření (viz Tab. 8.1), znamenalo by to, že jedno z měření bylo špatné a vedlo k nepřesnému určení polohy bodu.

Tab. 8.8 Souřadnicové rozdíly referenčních bodů pro testování UHF rádia

Bod	d_y	d_x	d_H	d_{xy}
krelov_200	0,007	0,007	0,022	0,007
krelov_500	0,005	0,012	0,011	0,009
krelov_1000	0,004	0,009	0,029	0,007
krelov_1500	0,004	0,010	0,003	0,008
krelov_2000	0,015	0,009	0,003	0,012
krelov_2500	0,007	0,001	0,027	0,005
krelov_3000	0,000	0,008	0,014	0,006

Souřadnicové rozdíly jednotlivých bodů v poloze a výšce odpovídají hodnotám středních chyb statických měření. Můžeme tedy konstatovat, že bylo dosaženo dobré přesnosti u obou měření a souřadnice jsou vhodné pro výpočet aritmetického průměru.

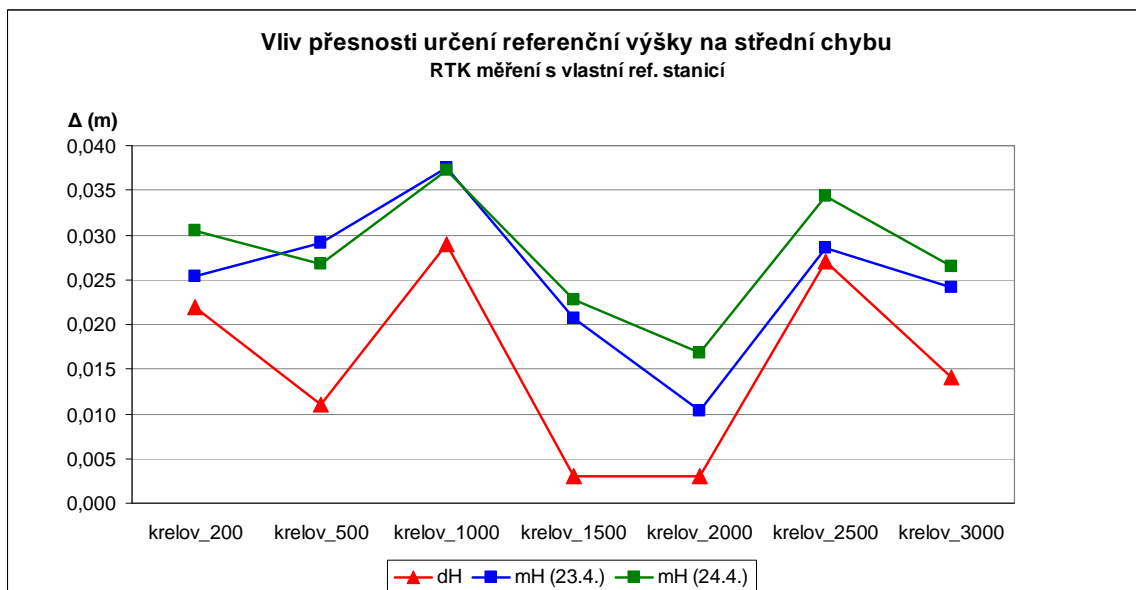
8.2.2 Hodnocení přesnosti RTK s vlastní referenční stanicí

Měření metodou RTK s vlastní referenční stanicí bylo provedeno ve dvou po sobě následujících dnech. Dosažená polohová a výšková přesnost je uvedena v Tab. 8.9.

Tab. 8.9 Výsledná přesnost RTK měření s vlastní referenční stanicí

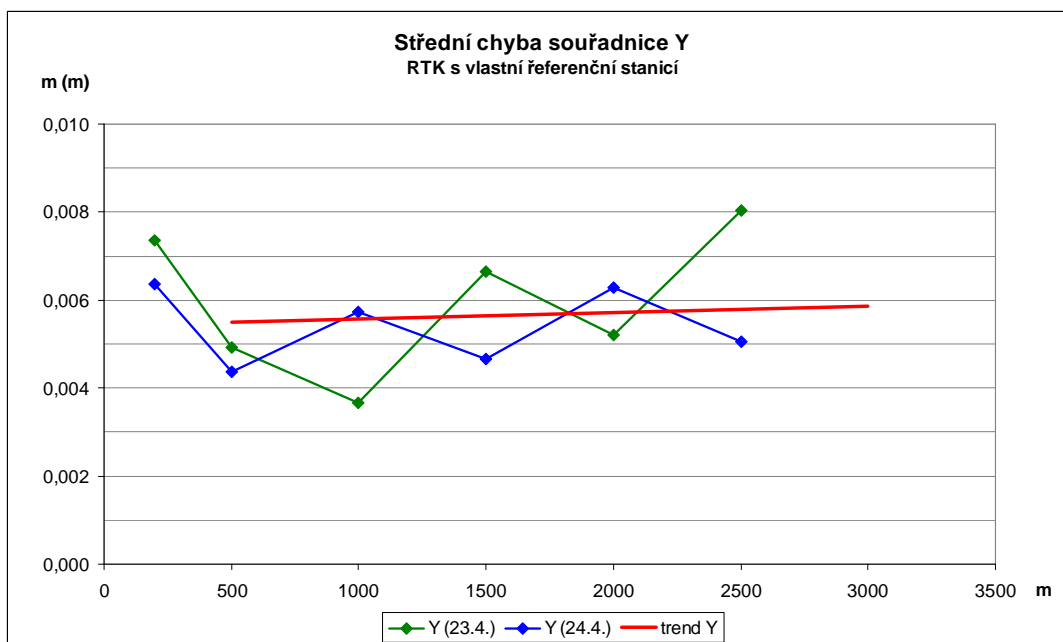
Datum	23.4.	24.4.	23.4.	24.4.
BOD	m_{x,y} (m)		m_H (m)	
krelov_200	0,014	0,012	0,025	0,030
krelov_500	0,008	0,006	0,029	0,027
krelov_1000	0,008	0,005	0,038	0,037
krelov_1500	0,004	0,005	0,021	0,023
krelov_2000	0,005	0,006	0,010	0,017
krelov_2500	0,010	0,012	0,028	0,034
krelov_3000	0,011	0,006	0,024	0,027

U všech měření je dosaženo výborné polohové přesnosti, která odpovídá předpokládané přesnosti metody v horizontálním směru 0,010–0,013 m uvedené v Tab. 4.1. U 60 % měření je přesnost lepší než 1 cm, tedy velmi vysoká. Výšková přesnost je třikrát horší než polohová a neodpovídá dokumentaci (0,015 m), hodnota střední chyby určení výšky je okolo 3 cm, v extrémním případě až 3,8 cm. Největší střední chyba výšky je u bodů, kde byl větší rozdíl v určení výšky mezi dvěma „referenčními“ měřeními (Obr. 7).



Obr. 7 Graf vlivu přesnosti určení referenční výšky na střední chybu.

Vzdálenost měřičských bodů od referenční stanice rostla ve směru osy Y, proto byl zkoumán vliv vzdálenosti bodů na přesnost určení polohy v ose Y (Obr. 7). Do sledování trendu nebyl zahrnut bod krelov_200, který se nachází na opačné straně TB (Příloha 3).



Obr. 8 Graf závislosti přesnosti určení polohy na vzdálenosti od referenční stanice.

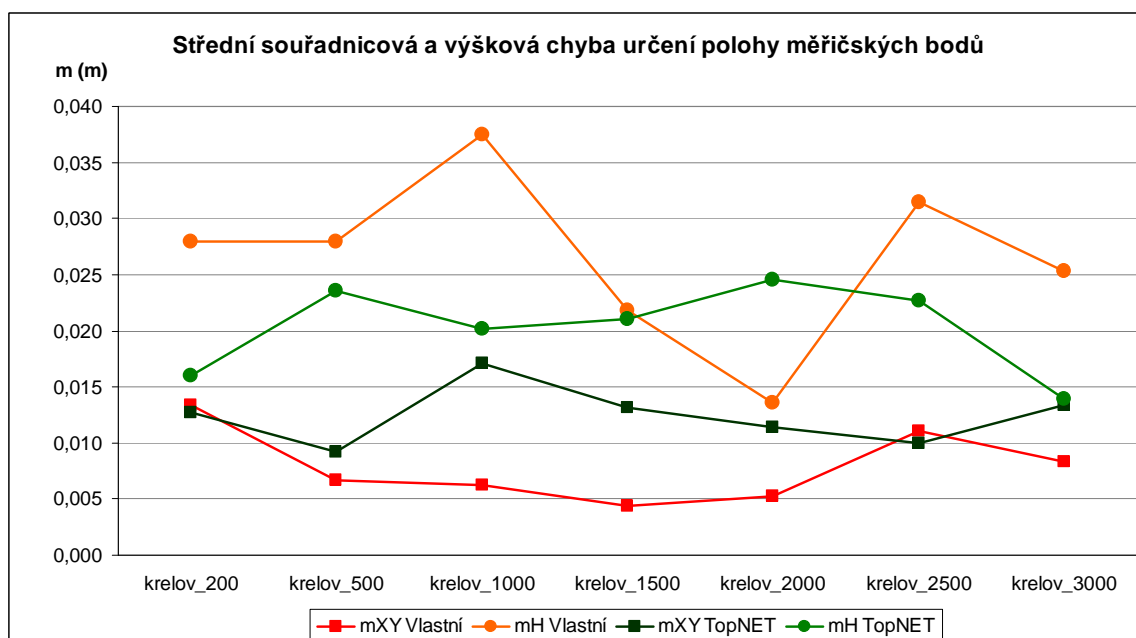
Vzhledem k množství chybových faktorů, malému počtu opakování měření a krátkému vektoru vzdálenosti nelze tvrdit s jistotou, že přesnost s rostoucí vzdáleností mírně klesla. Výkyvy jsou totiž velmi malé a mohou být způsobeny náhodnými chybami. Nicméně se potvrzuje, že UHF rádio má dostatečný výkon pro přenos korekcí zajišťujících přesné určení polohy v normálních terénních podmínkách na testovanou vzdálenost 3 km.

Testování metody RTK s vlastní referenční stanicí prokázalo vynikající přesnost výsledných souřadnic na krátkých základnách, zejména v poloze. Dosah UHF rádia je dostatečný. Největší výhodou metody je, že odpadá nutnost využití placených služeb některé ze sítí permanentních stanic. Nevýhodou je nutnost využít bodů polohového pole pro umístění referenční stanice. Metoda je vhodná pro rychlý sběr přesných dat v blízkosti referenční stanice.

8.2.3 Porovnání s přesností RTK s VRS sítě TopNET

Body na kterých proběhlo testování RTK metody s vlastní referenční stanicí byly také zaměřeny jedním přijímačem připojeným do sítě TopNET a bylo provedeno porovnání dosažené přesnosti určení polohy.

Pro názornost jsou dosažené výsledky prezentovány graficky (Obr. 8), tabulky s dosaženými přesnostmi jsou zařazeny do příloh (Příloha 5).



Obr. 9 Porovnání polohové a výškové přesnosti mezi RTK s vlastní referenční stanicí a RTK s VRS sítě TopNET.

Vyšší polohové přesnosti dosahují jednoznačně měření s vlastní referenční stanicí. Pouze ve dvou případech je přesnost měření s VRS srovnatelná. Přesnost ovlivňuje délka základny, která je v případě vlastní referenční stanice maximálně 3 km, u VRS vždy 5 km. Naopak, v přesnosti určení výšky vítězí VRS. Lepší přesnost určení výšky je způsobena mnohem kvalitněji určenou výškou referenční stanice. V případě sítě TopNET jsou výšky antén neměnné a velmi přesně určené, referenční elipsoidická výška bodu je velmi přesně vypočítána na základě denních řešení (Filler, Kostelecký, 2013), což se odrazí i na kvalitě VRS. U vlastní stanice byla výška antény měřena obyčejným svinovacím metrem a referenční výška byla získána z geodetických údajů.

Pro ověření platnosti výsledků bylo provedeno testování, kdy pro každý bod byla srovnávána polohová a výšková přesnost obou konfigurací metody RTK. U všech dat byl použit test Mann-Whitney. Testování potvrdilo výsledky uvedené v grafu (Obr. 8).

Tab. 8.10 Statistické porovnání přesnosti měření RTK s vlastní stanicí a VRS

BOD	$m_{x,y}$			m_H		
	H_0	P-value	Výsledek	H_0	P-value	Výsledek
krelov_200	$m_{vlast} < m_{Top}$	0,0107	>	$m_{vlast} > m_{Top}$	1,0000	H_0
krelov_500	$m_{vlast} < m_{Top}$	1,0000	H_0	$m_{vlast} > m_{Top}$	1,0000	H_0
krelov_1000	$m_{vlast} < m_{Top}$	1,0000	H_0	$m_{vlast} > m_{Top}$	1,0000	H_0
krelov_1500	$m_{vlast} < m_{Top}$	1,0000	H_0	$m_{vlast} > m_{Top}$	0,9948	H_0
krelov_2000	$m_{vlast} < m_{Top}$	1,0000	H_0	$m_{vlast} > m_{Top}$	8.502e-06	<
krelov_2500	$m_{vlast} < m_{Top}$	0,0203	>	$m_{vlast} > m_{Top}$	1,0000	H_0
krelov_3000	$m_{vlast} < m_{Top}$	0,1611	H_0	$m_{vlast} > m_{Top}$	1,0000	H_0

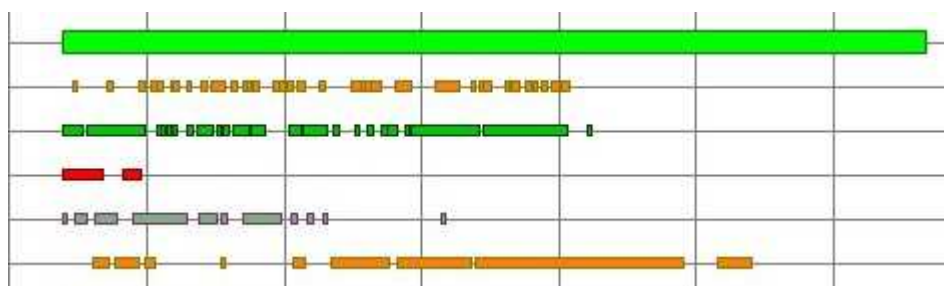
Porovnání výsledků ukázalo, že na krátkých základnách dosahuje měření s vlastní referenční stanicí vyšší nebo srovnatelné polohové přesnosti vůči VRS. Výšková přesnost je obecně nižší vlivem technických možností měření výšky antény. Při využití vlastní stanice odpadá nutnost platit za diferenční korekce a není vyžadován signál mobilní sítě, jehož výskyt může být problémem v morfologicky náročném terénu nebo v pohraničí, kde není dostupný signál českého operátora a cena připojení k internetu prostřednictvím GPRS by byla neúnosná.

Metodu RTK s vlastní referenční stanicí lze tedy doporučit jako vhodnou alternativu k VRS síť TopNET pro běžnou měřičskou praxi zejména pro její nezávislost na dalších podpůrných sítích a výbornou polohovou přesnost.

8.3 Hodnocení přesnosti ve špatných observačních podmínkách

Dosavadní měření u obce Křelov bylo provedeno ve vynikajících observačních podmínkách, které vedly k výborné přesnosti výsledků. Ne vždy je přístroj používán v ideálních podmínkách, proto bylo doplňkově zařazeno ověření statické a RTK metody v náročném terénu CHKO Litovelského Pomoraví

Observační podmínky byly špatné vlivem husté vegetace v místě měření, což se odrazilo na kvalitě a kontinuitě přijímaného signálu u statické metody a tím i přesnosti určení polohy (Obr. 9).



Obr. 10 Ukázka nízké kvality přijímaného signálu z družic ve špatných podmínkách

Statickou metodou bylo měřeno na bodě o neznámých souřadnicích, proto byla přesnost hodnocena na základě směrodatných odchylek měření vypočítaných programem Topcon Tools (Tab. 8.11).

Tab. 8.11 Výsledné přesnosti měření ve špatných observačních podmínkách

BOD	$s_{x,y}$ (m)	s_H (m)	PDOP	Řešení
kenic_10m	0,048	0,093	1,873	Fixovano,Iono Free
kenic_10m1	0,037	0,048	1,586	Fixovano,Iono Free
kenic_20m	0,014	0,026	2,046	Fixovano,Iono Free
kenic_20m1	0,018	0,047	3,101	Fixovano,Iono Free
kenic_40m1	0,010	0,018	2,270	Fixovano,Iono Free
kenic_90m1	0,011	0,015	1,761	Fixovano,Iono Free
kenic_40m	0,758	0,607	1,678	Float,Iono Free
kenic_90m	0,792	0,449	2,213	Float,Iono Free

Vlivem nedostatečné kvality přijímaného signálu nebyly u dvou nejdelších měření vyřešeny ambiguita a přesnost měření byla v řádu desítek centimetrů, tedy nepřijatelná pro přesné geodetické měření. U ostatních měření se s rostoucí délkou observace zlepšovala přesnost měření, což se odrazilo na nižších hodnotách směrodatných odchylek. Přijatelné přesnosti dosáhla měření o délce 40 a 90 minut.

Pro dosažení vysoké přesnosti měření ve špatných observačních podmínkách je nejdůležitější příjem kvalitního signálu z družic. Bohužel, příjem signálu nemůže měřič ovlivnit a přesnost určení polohy u statických měření je známa až po kancelářském zpracování, je tedy doporučeno provést měření opakovaně v délce alespoň 40 minut, aby bylo získáno přesné měření.

Metoda RTK není vhodná pro sběr geodeticky přesných dat v náročném terénu, protože špatný signál znemožňoval fixování řešení ambiguit, a přesnost se pohybovala v řádu decimetrů. Ke stejnému závěru došla nezávisle i Uhrová (2012).

9 DISKUZE

Na měření s geodetickými GNSS přístroji v bakalářské práci působilo množství chybových faktorů, které ovlivnily výslednou přesnost dat. Polohová přesnost dat byla ovlivněna přesností globálního transformačního klíče, která je dána střední souřadnicovou chybou $m_{x,y} = 0,025$ m. Přesnost transformace výšek byla ovlivněna přesností použitého geoidu, která je 3 cm. Proto nelze porovnávat přesnosti metod měření jen podle hodnot středních chyb, ale je lepší porovnat přesnosti výsledků měření s přesností metod uváděných v technické dokumentaci. Na základě porovnání bylo možné konstatovat, že polohová přesnost všech testovaných metod odpovídala technické dokumentaci. Výšková přesnost měření neodpovídala dokumentaci z níže uvedených důvodů. Obecně GNSS systémy dosahují nižší přesnosti určení výšky než polohy.

Nižší přesnost určení výšky byla způsobena měřením šikmé výšky antény přístroje na TB, kdy větší hlava stativu bránila přímému změření šikmé výšky. Problematické měření šikmé výšky antény se projevilo zejména při porovnání vertikální přesnosti měření metodou RTK s vlastní referenční stanicí a VRS sítě TopNET a u statických měření. V případě vlastní stanice bylo dosaženo nižší vertikální přesnosti neodpovídající dokumentaci, avšak vyšší horizontální přesnosti než dosahovala VRS. Obdobně výšková přesnost statických měření na TB neodpovídala technické dokumentaci a dokonce byla nižší v porovnání s RTK. Vzhledem ke krátké době RTK měření (5 min.) nešlo vyloučit, že dobrá výšková přesnost byla způsobena aktuálním stavem celého systému při měření. Na druhé straně probíhala statická měření po celý den a ustavení přijímače bylo negativně ovlivňováno počasím. Technický problém představoval kovový stativ, který podléhal roztažnosti. Chybu z rozdílného ustavení bylo možné vyloučit, protože vždy bylo měřeno ve stejný den.

Bakalářská práce hodnotí přesnosti geodetického přijímače HiPer II. Přijímač má totiž potenciál pro sběr geodeticky přesných dat, která jsou důležitá pro některé oblasti výzkumu katedry, zejména pro potřeby zaměřování vlíčovacích bodů ve fotogrametrii. Výsledky by mohly sloužit pro výběr vhodné metody měření s ohledem na požadovanou přesnost, rychlost, technické možnosti a fyzickogeografické podmínky místa měření. Také se nabízí využití přijímače v katastru nemovitostí pro tvorbu PPBP, kdy přijímač splňuje všechny podmínky přesnosti dané katastrální vyhláškou č. 26/2007 Sb.

Do budoucna by bylo zajímavé porovnat přesnost přijímače HiPer II s totální stanicí ve vlastnictví katedry na krátkých základnách, kde by se porovnála přesnost klasických a GNSS metod geodézie na konkrétních přístrojích.

10 ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo řádně otestovat kompletní sadu dvou GNSS přístrojů v dobrých podmínkách a ohodnotit přesnost určení polohy v závislosti na konfiguraci přijímače. Důraz byl kladen na nejpoužívanější metody měření. Zejména se jednalo o experimentální stanovení nejkratší možné doby observace u statické metody pro přesné určení polohy, následné porovnání s přesností metody RTK s VRS sítě TopNET a otestování zabudovaných UHF rádií pro přenos korekcí z vlastní referenční stanice. Pro úplnost bylo dále zařazeno testování přesnosti RTK závislosti na vzdálenosti od referenční stanice a měření ve špatných observačních podmínkách v oblasti Kenického meandru.

Pro měřičskou kampaň byl vybrán vhodný TB bez observačních překážek u obce Křelov. Přímo na TB byla testována statická a rychlá statická metoda s délkou observace 10, 20, a 40 minut a korekcemi z nejbližší referenční stanice v Prostějově. Dále pak metoda RTK s připojením do sítě TopNET, kde byly využity všechny dostupné referenční stanice. V okolí byly stabilizovány měřičské body ve vzdálenosti 200–3000 m od TB pro testování zabudovaných UHF rádií. Vlastní referenční stanice byla při měření umístěna na TB.

Samotné hodnocení přesnosti metod a jejich konfigurací proběhlo na základě charakteristik přesnosti měření, které byly vypočítány z odchylek měřených bodů od referenčních souřadnic. Pro ověření byly nejdůležitější výsledky podrobeny statistickému testování.

Celkově bylo u všech metod měření dosaženo výborné polohové přesnosti okolo 1 cm odpovídající technické dokumentaci. V případě statické metody a metody RTK s vlastní referenční stanicí bylo dosaženo dvakrát až třikrát horší výškové přesnosti než je uvedena v dokumentaci. Důvodem je problematické měření šikmé výšky antény. Vertikální přesnosti odpovídající dokumentaci bylo dosaženo RTK měřením s VRS jak na TB, tak při zaměřování bodů pro testování UHF rádia.

Na základě zpracování výsledků statických měření a jejich statistickém testování bylo zjištěno, že polohová přesnost byla u všech observačních časů stejná. Rozdíl byl pouze v přesnosti určení výšek, kdy desetiminutová měření dosahovala nižší přesnosti než zbývající dvě. U měření o délce 20 a 40 minut nebyl prokázán významný rozdíl v přesnosti určení výšek. Polohová přesnost měření byla 1 cm a výšková okolo 3 cm. Horizontální přesnost metody RTK s VRS byla díky třikrát kratší vzdálenosti od referenční stanice srovnatelná se statikou, vertikální přesnost byla okolo 2 cm. Na základě provedených měření však nelze s jistotou tvrdit, že metoda RTK dosahuje obecně vyšší přesnosti v určení výšek, protože je dispozici malý počet opakování měření a navíc výsledky RTK byly mohly být ovlivňovány aktuálním stavem systému z důvodu krátkého času měření (5 min.).

Testování metody RTK s vlastní referenční stanicí prokázalo, že UHF rádio má dostatečný výkon pro přenos korekcí až do vzdálenosti 3 km, což se odrazilo na výborné

polohové přesnosti okolo 1 cm. Vertikální přesnost metody byla 3 cm. Pro srovnání bylo provedeno zaměření stejných bodů RTK metodou s VRS. Ve výsledku byla polohová přesnost měření s vlastní stanicí vyšší než v případě využití VRS. U výškové přesnosti tomu bylo naopak, důvodem bylo problematické měření šikmé výšky antény vlastní stanice.

Při měření ve špatných podmínkách se prokázala neefektivnost metody RTK, protože z důvodu hustého vegetačního krytu nebylo možné zachytit dostatečně kvalitní signál z družic pro získání fixního řešení ambiguit. U statické metody byl také problém s příjmem kvalitního signálu, který se projevil na přesnosti určení polohy.

Na základě výsledků práce lze doporučit pro měření statickou metodou observační čas nejméně 20 minut v dobrých a 40 minut ve špatných podmínkách. Dále pro měření metodou RTK v síti permanentních stanic TopNET použít vždy VRS. Také bylo ověřeno, že měření s vlastní referenční stanicí dosahuje vysoké přesnosti a je výbornou alternativou VRS v případech, kdy není vůbec dostupný mobilní signál nebo by bylo připojení k internetu do sítě TopNET prostřednictvím GPRS velice drahé (např. v pohraničí).

V bakalářské práci byly experimentálně zjištěny přesnosti určení polohy nejpoužívanějších geodetických metod na konkrétním přijímači. Výsledky bakalářské práce mohou být prakticky použity jako pomůcka při výběru vhodné metody měření pro sběr dat s ohledem na požadovanou přesnost.

POUŽITÁ LITERATURA A INFORMAČNÍ ZDROJE

BEDNÁŘOVÁ, Iveta. Mann-Whitney. *Veterinární a farmaceutická univerzita Brno* [online]. 2010 [cit. 2013-05-13]. Dostupné z: cit.vfu.cz/statwelf/WELF/Teorie/Predn4/MannWhit.htm#Neparam

Current Solar Data: NOAA data. *N3KL* [online]. 2001, 2013 [cit. 2013-05-10]. Dostupné z: <http://www.n3kl.org/sun/noaa.html>

ČÁBELKA, Miroslav. *Úvod do GPS* [online]. Praha, 2008 [cit. 2013-05-10]. Dostupné z: <http://www.natur.cuni.cz/geografie/geoinformatika-kartografie/ke-stazeni/vyuka/gps/skriptum-uvod-do-gps>

FILLER, Vratislav a Jakub KOSTELECKÝ. *Výpočet souřadnic stanic sítě TopNet v národní realizaci ETRS2000 v roce 2012* [online]. Ondřejov, 2013 [cit. 2013-05-06]. Technická zpráva č. 1195 / 2013. Dostupné z: http://topnet.geodis.cz/topnet/Doc/TopNET_protocol.pdf

Geofyzikální ústav: Předpověď geomagnetické aktivity. GEOFYZIKÁLNÍ ÚSTAV AVČR, v.v.i. *Geofyzikální ústav* [online]. 2005, 2013 [cit. 2013-05-10]. Dostupné z: <http://www.ig.cas.cz/cz/struktura/observatore/geomagneticka-observator-budkov/predpoved-geomagneticke-aktivity/>

Geofyzikální ústav: O indexech. GEOFYZIKÁLNÍ ÚSTAV AVČR, v.v.i. *Geofyzikální ústav* [online]. 2005 [cit. 2013-04-12]. Dostupné z: <http://www.ig.cas.cz/cz/struktura/observatore/geomagneticka-observator-budkov/dalsi-informace/o-indexech/>

HAUF, Miroslav. *Geodézie*. 2. upr. vyd. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1989, 561 s. Technický průvodce (Státní nakladatelství technické literatury), sv. 42. ISBN 80-030-0142-0.

HEJDOVÁ, Jana. *Ověření možnosti získání dvou nezávislých určení polohy n z jednoho měření GNSS aparaturou* [online]. Plzeň, 2012 [cit. 2013-05-13]. Dostupné z: http://www.kma.zcu.cz/main.php?KMAfile=./STRUCTURE/05_ebooks/04_Zaverecne_prace/zav_prace.php&DRC=./STRUCTURE/05_ebooks/04_Zaverecne_prace/&DRL=CZ&DROF=0&osCislo=49850. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni.

HOFMANN-WELLENHOF, Bernhard. *Global positioning system: theory and practice*. 5th, rev. ed. Wien: Springer, 2001, xxii, 382 s. ISBN 32-118-3534-2.

Index of/sun/noaa_archive. *N3KL* [online]. 2001, 2013 [cit. 2013-05-10]. Dostupné z: www.n3kl.org/sun/noaa_archive/

MACHOTKA, Radovan a Jan FIXEL. *Geodetická astronomie a kosmická geodézie II: Kosmická geodézie* [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2007 [cit. 2013-02-05]. Dostupné z: http://fast.darmy.net/opory-H1/HE06_M01-Kosmick%C3%A1%20geod%C3%A9zie.pdf

MAREK, Lukáš. Bakalářská práce. *Geoinformatics UP* [online]. 2007 [cit. 2013-05-13]. Dostupné z: <http://www.geoinformatics.upol.cz/dprace/bakalarske/marek07/>

Meteostanice – Těšetice: aktuální teplota, vítr, tlak, srážky. INMETEO,s.r.o. *Počasí – předpověď počasí, aktuální informace/In-pocasí* [online]. 2012, 2013 [cit. 2013-05-10]. Dostupné z: <http://www.in-pocasi.cz/meteostanice/stanice.php?stanice=tesetice>

MIŘIJOVSKÝ, Jakub. *Hodnocení podmínek využitelnosti systému GPS jako zdroje geografických dat v NP České Švýcarsko*. Ostrava, 2007. Diplomová práce. Ostravská univerzita v Ostravě.

On-Line Glossary of Solar Terrestrial Terms. NOAA/SPACE WEATHER PREDICTION CENTER. *NOAA/ NWS Space Weather Prediction Center* [online]. 2007 [cit. 2013-04-12]. Dostupné z: <http://www.swpc.noaa.gov/info/glossary.html#kp>

PISCA, Peter. *Globálne navigačné systémy* [online]. Žilina: Žilinská univerzita v Žiline, 2005 [cit. 2013-02-05]. Dostupné z: http://svf.utc.sk/kgd/skripta/Globalne_navigacne_systemy.pdf

RAPANT, Petr. *Družicové polohové systémy*. Vyd. 1. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2002, 197 s. ISBN 80-248-0124-8.

SEDLÁK, Vladimír, Peter LOŠONCZI a Ivana PODLESNÁ. *Družicové navigačné systémy* [online]. 1. vyd. Košice: Vysoká škola bezpečnostného manažérstva v Košiciach, 2009 [cit. 2013-02-05]. VŠBM v Košiciach. ISBN 978-80-89282-31-9. Dostupné z: <http://mafiajara.stranky.cc/4.%20rocnik/druzicove%20navigacne%20systemy/dns.pdf>

ŠIŇOR, Milan. Magnetické bouře. ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE. *Optické úkazy v atmosféře* [online]. 2000, 13 [cit. 2013-05-10]. Dostupné z: http://vega.fjfi.cvut.cz/docs/sfbe/opt_jevy/node26.html

ŠEDIVÝ, Michal. *Ověření dostupnosti a přesnosti RTK metody v závislosti na vzdálenosti měřeného bodu od referenční stanice* [online]. Plzeň, 2011 [cit. 2013-05-13]. Dostupné z: http://www.kma.zcu.cz/main.php?KMAfile=./STRUCTURE/05_ebooks/04_Zaverecne_prace/zav_prace.php&DRC=./STRUCTURE/05_ebooks/04_Zaverecne_prace/&DRL=CZ&DROF=0&osCislo=36701. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni.

Sluneční vítr. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 8.3.2013 [cit. 2013-05-02]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Slune%C4%8Dn%C3%AD_v%C3%ADtr

ŠVÁBENSKÝ, Otakar, Alexej VITULA a Jiří BUREŠ. *Inženýrská geodézie I: Základy inženýrské geodézie* [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2006 [cit. 2013-05-3]. Dostupné z: http://fast.darmy.net/opory-G3/GE16-Inzenyrska_geodezie_I--M01-Zaklady_inzenyrske_geodezie.pdf

ŠVÁBENSKÝ, Otakar, Josef WEIGEL a Radovan MACHOTKA. *Seminář GPS: Metodika GPS měření a vyhodnocení* [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2007 [cit. 2013-02-08]. Dostupné z: http://fast.darmy.net/opory-H1/HE09_M01-Semin%C3%A1%C5%99%20GPS.pdf

TOPCON. *Hiper II: Příručka obsluhy*. Rev. C. 2010.

TopNET. GEODIS BRNO, spol. s.r.o. *TopNET* [online]. 2012 [cit. 2013-05-10]. Dostupné z: <http://topnet.geodis.cz/topnet/index.aspx>

Trimble: GPS data resources. TRIMBLE. *Trimble* [online]. 2013 [cit. 2013-05-10]. Dostupné z: <http://www.trimble.com/gpsdataresources.shtml>

UHROVÁ, Helena. *Sběr dat v morfologicky náročném terénu* [online]. Olomouc, 2012 [cit. 2013-05-10]. Dostupné z: http://theses.cz/id/dgxj0f/uhrova_BP.pdf. Bakalářská práce. Univerzita Palackého v Olomouci.

SEZNAM TABULEK

- Tab. 2.1 Přehled Metod relativního určování polohy
- Tab. 2.2 Zdroje systematických chyb
- Tab. 3.1 Délka observace u rychlé statické metody v závislosti na počtu družic
- Tab. 4.1 Technické parametry přijímače Hiper II
- Tab. 6.1 Přehled měření statickou metodou na trigonometrickém bodě č. 31
- Tab. 6.2 Dostupné referenční stanice sítě TopNET a jejich vzdálenosti
- Tab. 6.3 Přehled měření RTK metodou na trigonometrickém bodě č. 31
- Tab. 6.4 Stabilizované body pro testování UHF rádia
- Tab. 6.5 Přehled měření referenčních souřadnic pro testování UHF rádia
- Tab. 6.6 Přehled měření metodou RTK s vlastní referenční stanicí
- Tab. 6.7 Přehled měření metodou RTK s VRS ze sítě TopNET
- Tab. 8.1 Výsledné přesnosti statických měření na trigonometrickém bodě č. 31
- Tab. 8.2 Výsledky testování závislosti přesnosti určení polohy na době observace
- Tab. 8.3 Porovnání přesnosti RTK se statickou metodou
- Tab. 8.4 Statistické porovnání polohové přesnosti RTK se statickou metodou
- Tab. 8.5 Statistické porovnání výškové přesnosti RTK se statickou metodou
- Tab. 8.6 Střední chyby RTK měření z jednotlivých stanic sítě TopNET
- Tab. 8.7 Výsledky testování přesnosti měření mezi VRS a stanicí v Prostějově
- Tab. 8.8 Souřadnicové rozdíly referenčních bodů pro testování UHF rádia
- Tab. 8.9 Výsledná přesnost RTK měření s vlastní referenční stanicí
- Tab. 8.10 Statistické porovnání přesnosti měření RTK s vlastní stanicí a VRS
- Tab. 8.11 Výsledné přesnosti měření ve špatných observačních podmínkách

SUMMARY

The aim of this bachelor thesis is to test the set of two geodetic GNSS receivers HiPer II in ideal observational conditions and evaluate the real measurement accuracy, depending on the used method and its configuration. Evaluation of the accuracy is based on the calculations of the characteristics of measurement accuracy for each method.

The testing was focused on the most used methods of relative positioning in geodesy. The main aim of the survey was to set the shortest possible observation time of static observation for precise positioning, to compare the accuracy of static and RTK method with VRS of TopNET network and to test the integrated UHF radios, which are used to transmit the differential real time corrections from its own reference station. The characteristics of measurement accuracy were calculated from the deviations of the measured point coordinates from reference coordinates. The most important results were verified by statistical hypothesis testing.

The surveying campaign was carried out near the village Křelov on the trigonometric point n. 31 Prostřední díly, where was the static method tested. Observation time was set to 10, 20 and 40 minutes. In the surroundings of the trigonometric point were stabilized the geodetic points in the distances between 200–3000 m for testing of the UHF radio.

According to the results of the survey campaign, the horizontal accuracy did not depend on the amount of observation time and reached 1 cm for all static observations. The difference was only in the vertical accuracy. Vertical precision of measurements reached 3 cm. The measurements with observation time 10 minutes reached slightly lower vertical precision than the other two. The horizontal accuracy of RTK was comparable with the static method, but the vertical accuracy was only 2 cm. All these results are valid for the ideal observational conditions only.

The testing of RTK method with its own reference station proved that the UHF radio has enough power to transmit corrections up to 3 km, which was proved by very good horizontal accuracy (1 cm). Vertical precision of measurement was 3 cm. The lower vertical accuracy was caused by the inaccurate measurement of slant height of the receiver's antenna. The precision of RTK with its own reference station was comparable to RTK with VRS.

Based on the results of the thesis, the observation time 20 minutes can be recommended for static observation in good conditions. Furthermore, for RTK surveying with connection to the network of GNSS reference stations could be recommended to use VRS, which is always computed 5 km far from the place of surveying and provides the most accurate positioning. It was also verified that the RTK method with its own reference station is a very good alternative to VRS.

PŘÍLOHY

SEZNAM PŘÍLOH

Vázané přílohy:

- Příloha 1 Maxima K_p a K indexu jednotlivých dnů měření
- Příloha 2 Dokumentace stabilizace bodů pro testování UHF rádia
- Příloha 3 Rozmístění bodů pro testování UHF rádia
- Příloha 4 Testování závislosti přesnosti určení souřadnic metodou RTK na vzdálenosti od referenční stanice v síti TopNET
- Příloha 5 Výsledné přesnosti porovnání vlastní stanice a VRS sítě TopNET
- Příloha 6 Dokumentace měřičské kampaně

Volné přílohy

- Příloha 7 DVD

Popis struktury DVD

Struktura DVD		
Adresář	Podadresář/soubor	Obsah
metadata		Validované XML metadatové záznamy z informačního systému MICKA.
minarik_web		Webové stránky prezentující bakalářskou práci.
text_prace		Plný text bakalářské práce.
vstupni_data	almanach	Almanachy GNSS pro plánování měření.
	hiper_2	Soubory s nezpracovanými daty přímo z měření GNSS přijímačem HiPer II.
	korekce_tpr2	Diferenční korekce z TPR2 pro zpracování statických měření.
vystupni_data	txt_testy	Textové soubory s odchylkami měření pro statistické testování v programu R.
	zakazky_ttools	Zakázky z programu Topon Tools pro jednotlivé dny a metody měření.
	presnosti_kenicky	Sešity MS Excel obsahující vypočítané odchylky měřených bodů od referenčních souřadnic a charakteristiky přesnosti měření. Dále soubory obsahují výsledné tabulky a grafy hodnocení přesnosti.
	presnosti_tb	
	presnosti_uhf	
	tabulky_bc	Sešit MS Excel obsahující tabulky uvedené v rešeršní části práce.

Příloha 1

Datum	Kp Index	K Index
8.10.2012	6	4
13.11.2012	3	3
13.12.2012	1	0
28.2.2013	2	1
7.3.2013	1	1
5.4.2013	1	1
6.4.2013	2	1
7.4.2013	2	1
13.4.2013	1	1
14.4.2013	3	3
16.4.2013	1	2
17.4.2013	1	1
21.4.2013	2	2
22.4.2013	2	1
23.4.2013	2	2
24.4.2013	2	3

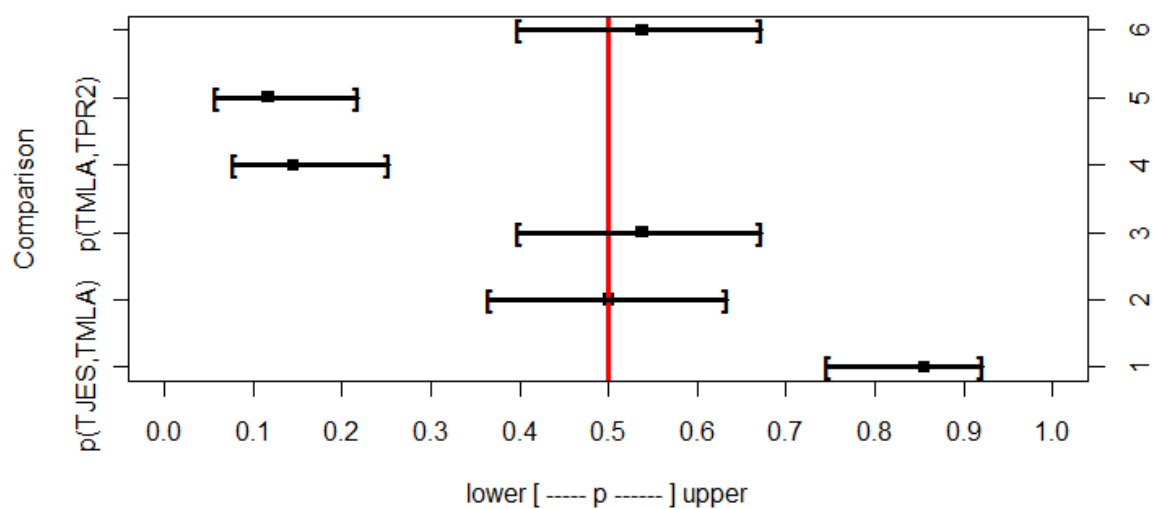
Příloha 2



Příloha 4

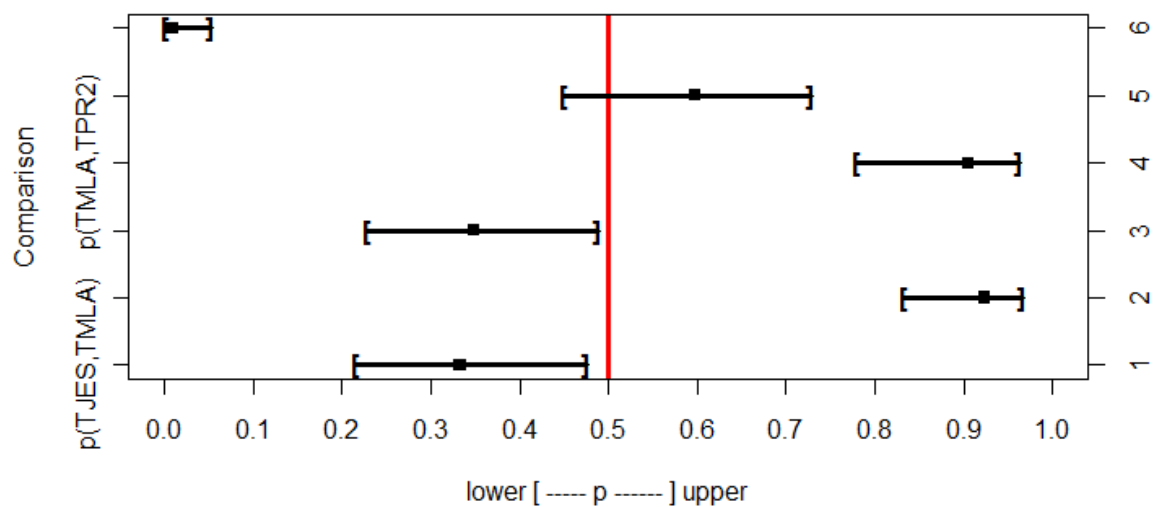
Vícenásobné porovnávání skupin měření s rozdílnou referenční stanicí Tukeyho metodou
s 95% konfidenčním intervalem

Polohová přesnost



Vícenásobné porovnávání skupin měření s rozdílnou referenční stanicí Tukeyho metodou
s 95% konfidenčním intervalem

Výšková přesnost



Příloha 5

BOD	m _y				m _x				m _H			
	Vlastní1	Vlastní2	VRS1	VRS2	Vlastní1	Vlastní2	VRS1	VRS2	Vlastní1	Vlastní2	VRS1	VRS2
krelov_200	0,016	0,014	0,022	0,009	0,013	0,010	0,007	0,012	0,025	0,030	0,024	0,008
krelov_500	0,007	0,006	0,012	0,006	0,008	0,005	0,011	0,008	0,029	0,027	0,033	0,014
krelov_1000	0,005	0,004	0,012	0,018	0,010	0,005	0,022	0,016	0,038	0,037	0,030	0,011
krelov_1500	0,004	0,006	0,013	0,006	0,004	0,004	0,025	0,007	0,021	0,023	0,031	0,011
krelov_2000	0,007	0,005	0,011	0,006	0,003	0,007	0,019	0,008	0,010	0,017	0,030	0,019
krelov_2500	0,005	0,006	0,012	0,009	0,013	0,016	0,006	0,012	0,028	0,034	0,035	0,010
krelov_3000	0,008	0,005	0,005	0,005	0,013	0,007	0,030	0,006	0,024	0,027	0,016	0,012

BOD	m _{x,y} Vlastní	m _{x,y} TopNET	m _H Vlastní	m _H TopNET
krelov_200	0,013	0,013	0,028	0,016
krelov_500	0,007	0,009	0,028	0,024
krelov_1000	0,006	0,017	0,037	0,020
krelov_1500	0,004	0,013	0,022	0,021
krelov_2000	0,005	0,011	0,014	0,025
krelov_2500	0,011	0,010	0,031	0,023
krelov_3000	0,008	0,013	0,025	0,014

Příloha 6

