ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra speciální geodézie

Geodetická dokumentace sportovního areálu SK Jizera Předměřice

Survey Documentation of Sport Complex SK Jizera Předměřice

Bakalářská práce

Studijní program:	Geodézie a kartografie
Studijní obor:	Geodézie, kartografie a geoinformatika
Vedoucí práce:	Ing. Lenka Línková, Ph.D.

Karel Prager

Praha 2017

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
Fakulta stavební
Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Prager Jméno: Karel Osobní číslo: 439246

Zadávající katedra: K154 - katedra speciální geodézie

Studijní program: Geodézie a kartografie

Studijní obor: Geodézie, kartografie a geoinformatika

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Geodetická dokumentace sportovního areálu SK Jizera Předměřice

Název bakalářské práce anglicky: Survey Documentation of Sports Complex SK Jizera Předměřice

Pokyny pro vypracování:
Proveďte geodetické zaměření sportovního areálu SK Jizera Předměřice v Předměřicích nad Jizerou, vyhotovte mapu areálu ve vhodném měřítku a digitální model terénu.

Seznam doporučené literatury:
Pacina, J. - Brejcha, M.: Digitální modely terénu. UJEP, Ústí nad Labem, 2014.

Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Lenka Línková, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: 22.2.2017 Termín odevzdání bakalářské práce: 28.5.2017
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

[redacted]
Podpis vedoucího práce

[redacted]
Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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".

22.2.2017
Datum převzetí zadání

[redacted]
Podpis studenta(ky)

Prohlášení

Já, Karel Prager, prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Geodetická dokumentace sportovního areálu SK Jizera Předměřice vypracoval samostatně pod vedením Ing. Lenky Línkové Ph.D., za použití zdrojů uvedených v seznamu.

V Praze dne 24. 5. 2017

……
podpis studenta

Poděkování

Rád bych poděkoval své vedoucí bakalářské práce Ing. Lence Línkové, Ph.D. za veškerou odbornou pomoc, vstřícnost, trpělivost a zapůjčení potřebného přístrojového vybavení v průběhu zpracování této práce. Dále bych rád poděkoval mým kolegům z geodetické firmy Geolys CZ s.r.o. za cenné rady včetně zapůjčení veškerého vybavení. Poděkování si zaslouží funkcionáři fotbalového oddílu SK Jizera Předměřice, kteří mi povolili využít sportovní areál pro účely mé práce. Poděkování patří také mým přátelům ze školy, kteří mi ochotně nabídli pomoc při práci v terénu. Nakonec bych moc rád poděkoval své rodině a příbuzným za veškerou pomoc nejen při zpracovávání této práce, ale i v průběhu celého mého studia na vysoké škole.

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá tvorbou geodetické dokumentace sportovního areálu SK Jizera Předměřice v obci Předměřice nad Jizerou. Obsahem práce je charakteristika dané lokality, zájmové oblasti a fotbalového oddílu, dále postup měřických, výpočetních a grafických prací, popis použitých měřických přístrojů a počítačových programů. Výsledkem práce je mapa areálu a digitální model terénu v měřítku 1 : 1 000.

Klíčová slova

měření, nivelace, GNSS, totální stanice, program Atlas, DMT

Abstract

The bachelor thesis deals with the creation of survey documentation of the sports complex SK Jizera Předměřice in Předměřice nad Jizerou. The content of the thesis is the characteristic of the given locality, the area of interest and the football section, the procedure of measuring, computer and graphic works, description of used measuring instruments and computer programs. The result of the thesis is the site map of complex and digital terrain model in the scale of 1 : 1 000.

Key words

measurement, leveling, GNSS, total station, program Atlas, DMT

Seznam použitých zkratek

S-JTSK	Souřadnicový systém Jednotné trigonometrické sítě katastrální
Bpv	Výškový systém Balt po vyrovnání
GNSS	Global Navigation Satellite System (Globální družicový polohový systém)
ETRS89	European Terrestrial Reference System 1989 (Evropský terestrický referenční systém 1989)
CZEPOS	Síť permanentních stanic v České republice
PMS	Pomocná měřická síť
TB	Trigonometrický bod
DMT	Digitální model terénu
MNČ	Metoda nejmenších čtverců

Obsah

1 Úvod 9
2 Obec Předměřice nad Jizerou 11
3 Fotbalový oddíl SK Jizera Předměřice 13
4 Popis zájmové oblasti 15
5 Měřické práce 17
5.1 Použité přístrojové vybavení a pomůcky 17
5.1.1 Nivelační přístroj Leica Sprinter 100 17
5.1.2 Totální stanice Trimble M3 18
5.1.3 GNSS přijímač Spectra Precision EPOCH 35 19
5.2 Rekognoskace terénu a budování pomocné měřické sítě 19
5.3 Použité metody pro polohové a výškové měření 21
5.3.1 Nivelační měření 21
5.3.2 GNSS měření 24
5.3.2.1 Princip RTK metody 25
5.3.2.2 CZEPOS 25
5.3.3 Polohové a výškopisné podrobné měření 26
5.3.3.1 Příprava přístroje na stanovisku 26
5.3.3.2 Orientační měření 26
5.3.3.3 Podrobné měření 27
5.3.3.4 Měřický náčrt 27
5.3.4 Metody podrobného měření 27
5.3.4.1 Polární metoda se současným zaměřováním výšek (tachymetrie) 27
5.3.4.2 Metoda konstrukčních oměrných 28
5.3.4.3 Metoda kontrolních oměrných 28
6 Výpočetní práce 29
6.1 Použité programy 29
6.1.1 Transform MAX 29
6.1.2 Groma 29
6.1.3 Matlab 29
6.2 Zpracování naměřených dat 30
6.2.1 Zpracování nivelačního měření 30
6.2.2 Zpracování GNSS měření 31
6.2.3 Zpracování podrobného měření (orientační měření) 32
6.3 Výpočetní metody pro určení souřadnic bodů PMS 34
6.3.1 Trigonometrické určování výšek 34

6.3.2 Polygonový pořad 35
6.3.3 Výpočet rajónu 38
6.3.4 Volné polární stanovisko 40
6.4 Zhodnocení a porovnání metod pro výpočet souřadnic bodů PMS 45
6.5 Výpočet podrobných bodů 45
7 Grafické práce 47
7.1 Použité programy 47
7.1.1 Kokeš 47
7.1.2 Atlas DMT 47
7.2 Tvorba mapy 48
7.3 Tvorba digitálního modelu terénu 50
7.3.1 Základní pojmy 50
7.3.2 Postup tvorby 52
8 Závěr 55
Seznam použitých zdrojů a literatury 57
Seznam obrázků 59
Seznam tabulek 60
Seznam příloh 61

1 Úvod

Tato bakalářská práce se zabývá praktickou stránkou oboru geodézie, která spočívá v zaměřování objektů na zemském povrchu a jejich následném zpracování jako je tvorba různých map a 3D modelů v digitální podobě. Tato práce popisuje způsoby geodetického zaměření v terénu a následného zpracování v kanceláři, které bylo rozděleno na práce výpočetní a grafické. Veškeré zpracování bylo prováděno v rámci polohového systému S-JTSK a systému výškového Bpv.

Cílem bakalářské práce je vyhotovení mapy a digitálního modelu terénu ve vhodně zvoleném měřítku v zájmové oblasti. Zájmovou oblastí je sportovní areál, který je využíván především místním fotbalovým oddílem SK Jizera Předměřice ke sportovním činnostem. Sportovní areál se nachází v obci Předměřice nad Jizerou, která je součástí okresu Mladá Boleslav ve Středočeském kraji. Výsledky této práce slouží pouze pro akademické účely, ale mohly by být později použity i jako podklady pro některé projekty, mezi které by mohla patřit například rekonstrukce celého areálu nebo výstavba nových zařízení (hlediště pro diváky, malá tréninková plocha s umělým povrchem atd.).

Bakalářská práce je svým obsahem rozdělena na tři hlavní části. V první části jsou popsány veškeré měřické práce v terénu od vybudování pomocné měřické sítě až po zaměření podrobných bodů v zájmové oblasti. Součástí kapitoly je popis použitého přístrojového vybavení (totální stanice, nivelační přístroj a GNSS aparatura) a dalších pomůcek. Pro zaměření pomocných a podrobných bodů bylo použito nivelační měření pomocí metody technické nivelace, GNSS měření pomocí metody RTK a podrobné polohopisné a výškopisné měření pomocí polární metody se současným zaměřováním výšek (tachymetrie). Ve druhé části jsou řešeny výpočetní práce, které spočívají jak v ručním zpracování (např. pomocí předepsaných výpočetních formulářů), tak ve zpracování automatickém (pomocí specializovaných výpočetních programů). Kapitola obsahuje postupy ve zpracování zápisníku z podrobného měření (např. matematické redukce délek), zpracování nivelačního a GNSS měření, určení souřadnic pomocných bodů pomocí polygonového pořadu a metody rajónu, výpočet souřadnic volného stanoviska metodou nejmenších čtverců, určení nadmořských výšek pomocných bodů pomocí trigonometrického určování výšek a výpočet souřadnic podrobných bodů automatickou metodou dávky ve výpočetním programu. Součástí kapitoly je popis použitých programů, mezi které patří Groma, Transform MAX a Matlab.

Třetí část popisuje tvorbu mapy a digitálního modelu terénu ve specializovaných programech, mezi které patří Kokeš a Atlas DMT, a které jsou v této části popsány. Těmto kapitolám předchází popis lokality, ve které byly práce vykonávány, dále popis sportovního areálu jakožto zájmové oblasti a charakteristika fotbalového oddílu, který sportovní areál využívá.

2 Obec Předměřice nad Jizerou

Předměřice nad Jizerou je obec, která se nachází v okrese Mladá Boleslav na území Středočeského kraje. Obec leží na levém břehu řeky Jizery nedaleko spojnice měst Brandýs nad Labem-Stará Boleslav – Benátky nad Jizerou – Mladá Boleslav. Obec se skládá ze dvou částí – Předměřice nad Jizerou a Kačov.

Obr. 1: Poloha obce [15]

Území, v němž leží obec, osciluje mezi hlavním městem Prahou a jejím regionem na jedné straně, a Mladou Boleslaví na straně druhé a nachází se bezprostředně poblíž dálnice D10.

Obec se rozkládá na 916 ha (katastrální výměra) území a eviduje okolo 700 obyvatel. Poloha obce je dána zeměpisnými souřadnicemi: 50°15‘20‘‘ s. š., 14°46‘53‘‘ v. d. a průměrnou nadmořskou výškou, která činí 188 m. n. m.

Dle Regionálního členění reliéfu ČR, se území obce nachází ve Staroboleslavské kotlině, která spadá do jihovýchodní části Mělnické kotliny. Staroboleslavská kotlina je erozně denudační sníženina při středním toku Labe.

Mezi pamětihodnosti obce patří především kostel sv. Jakuba Většího, sousoší sv. Jana Nepomuckého a pomník padlých v 1. světové válce „Pohřeb v Karpatech“.

Obr. 2: Letecký pohled na obec [17]

Historicky plnily Předměřice nad Jizerou s filiálním kostelem a školou vyšší roli i pro další sousední sídla – Tuřice, Sobětuchy, Jiřice a Kačov.

První zmínka o Předměřicích nad Jizerou pochází z roku 1352. Předměřice nad Jizerou, resp. sídlo ležící při ústí řeky Jizery do Labe patří k nejstarším (spolu s obcí Sojovice) v dolním Pojizeří. V době přemyslovské byly situovány na strategické komunikační ose (Vestec – Opočno – Otradovice – Skorkov – Předměřice). V nejstarších dobách patřila část vsi k brandýskému panství a část byl zemanský statek. Další zmínky spadají do dob husitských válek, kdy obec byla připojena k Novému Stránovu. Od roku 1547 se stala nedílnou součástí brandýského panství a až v roce 1850 se obec osamostatnila [17].

3 Fotbalový oddíl SK Jizera Předměřice

Počátek předměřické kopané sahá již do roku 1922, kdy se parta mladých nadšenců scházela na louce v blízkosti obce a kde se pokoušela proniknout do tajů fotbalové abecedy. Tato klukovská zábava však brzy přerostla v obrovský zájem o opravdový fotbal podle pravidel. K založení fotbalového oddílu došlo na jaře roku 1923, kdy se sešel ustavující výbor, aby dohodl postup a podmínky, za kterých by mohl být oficiálně založen fotbalový oddíl. Ve stanovách klubu se uvádělo, že účelem Sportovního klubu Předměřice nad Jizerou je „zaváděti, podporovati a pěstovati veškerý sport a hry vůbec, na upravených hřištích pro dospělé i mládež“. Prostředky k tomu měl klub získávat „pořádáním závodů různých slavností nepolitických, pořádáním výletů, vycházek, zábav, divadelních představení apod., pořádáním přednášek vzdělávacích v oboru sportu“ aj. V roce 1927 měl sportovní klub 32 členů.

Obr. 3: Znak klubu

Obr. 4: Slavnostní otevření hřiště v roce 1978 [7]

Již v roce 1923 se začalo s budováním hřiště na území bývalé pískovny. Hřiště v „Jirském“ mělo dobrou polohu, bylo ze tří stran chráněno stráněmi. Hřiště bylo několikrát upravováno a rozšiřováno, ale v roce 1959 padla první zmínka o zrušení hřiště v rámci výstavby nové silnice, která by právě přes hřiště povedla (v současnosti dálnice D10). Hřiště „v Jirském“ sloužilo téměř 50 let a po jeho zrušení se hledalo jiné vhodné místo. Ve spolupráci s OV ČSTV Mladá Boleslav se začalo stavět nejen nové hřiště, ale i kabiny a klubovna na okraji obce blízko mostu přes protékající řeku Jizeru. Hřiště bylo slavnostně otevřeno v roce 1978 za účasti mužstva staré grady Sparty Praha. V průběhu 90. let vzniklo vedle hlavního hřiště, na kterém byla v roce 1993 zrekonstruována hrací plocha a které bylo vzorně udržováno, takže patřilo k nejlepším v okrese, i hřiště tréninkové, pro veřejnost byl otevřen tenisový kurt, začalo se s přístavbou kabin. V letech 2000 až 2006 byla dokončena nejen přístavba kabin, ale i přístavba kuchyně v kiosku, před kabinami byla položena zámková dlažba a nad ní vybudován přístřešek.

V roce 2015 byl na hlavním hřišti nainstalován automatický závlahový systém, který je zabudován pod hřištěm a díky kterému se zlepšila kvalita trávníku.

V současné době tvoří členskou základnu klubu cca 150 členů. Klub reprezentují družstva přípravky, mladších žáků, mužů a staré gardy.

Obr. 5: Současné složení týmu mužů

SK Předměřice nad Jizerou, TJ Sokol JZD Předměřice nad Jizerou, ZD Jizera Předměřice nad Jizerou, SK Jizera Předměřice nad Jizerou – to jsou některé z měnících se názvů klubu, který už 94 let dává o sobě vědět v rámci okresu Mladá Boleslav [7], [13].

4 Popis zájmové oblasti

Zaměřované území (sportovní areál) se nachází v průměrné nadmořské výšce kolem 180 m. Jedná se o zcela rovinatý terén, a to právě z důvodu sportovního využití. Areál je zčásti obehnán drátěnými či dřevěnými ploty, které ohraničují sousední pozemky, jinak sousedí s pozemky s travnatým porostem (louky) nebo s pozemky pro zemědělské využití (pole). Do areálu vede jediná cesta s asfaltovým povrchem, která vede na parkoviště přímo u hlavní budovy. Tato budova je hlavním sídlem působícího fotbalového klubu, jehož součástí je restaurace s klubovnou, šatny se sprchami a kancelář. U budovy je přistaven dřevěný stánek pro rychlé občerstvení. Kousek od budovy se nachází větší plechový přístřešek pro úschovu přenosných fotbalových branek a menší sklad, ve kterém se nachází vybavení pro údržbu hrací plochy. Hlavní částí areálu je hrací plocha sousedící s tréninkovou plochou. Hrací plocha je využívána především pro konání fotbalových mistrovských zápasů. Vedle tréninkové plochy se nachází tenisový kurt s betonovým povrchem obehnaný z jedné strany vysokou zdí a z ostatních stran drátěným plotem s podezdívkou. Vedle tenisového kurtu se nachází hrací plocha pro provozování nohejbalové činnosti se štěrkovým povrchem. Zaměřované území je také zčásti ohraničeno jehličnatými a listnatými stromy, které se nacházejí většinou na hraně svahů. Na jedné straně hrací plochy se nachází dvě zděné fotbalové střídací plochy.

Hrací plocha disponuje automatickým závlahovým systémem, který je předpokladem pro vysokou kvalitu a rychlou regeneraci trávníku, a vede k nižší spotřebě vody. Pod povrchem hrací plochy je umístěno celkem 24 postřikovačů, které jsou propojené trubními rozvody a jsou napojené na rozdělovače ve ventilových šachtách, které jsou umístěny kolem celé hrací plochy. Celý potrubní systém je napojen na čerpadlo, které jako zdroj vody využívá studnu. Při samotném zavlahování je díky tlaku vody každý postřikovač, který je vyroben z pryžového materiálu, vysunut na povrch.

Na dvou stranách hřiště jsou do země zakotveny fotbalové branky. Za těmito konstrukcemi se nacházejí vysoké kovové sloupy, na kterých je zavěšena síť. Hřiště je ze dvou stran obehnáno zábradlím, za kterým se v některých místech nacházejí dřevěné lavičky zakotvené do země.

V areálu se nachází několik zdrojů veřejného osvětlení, sloupy elektrického vedení (NN), kanalizační šachty a vodovodní hydranty.

Geodetické zaměření se týkalo oblasti, která je ohraničena na obr. 6. V příloze 15 je uvedena fotografická dokumentace sportovního areálu.

Obr. 6: Zájmová oblast [15]

5 Měřické práce

5.1 Použité přístrojové vybavení a pomůcky

5.1.1 Nivelační přístroj Leica Sprinter 100

Nivelační přístroj Leica Sprinter 100 (výr. č.: 1002770) je digitální přístroj z produkce firmy Leica Geosystems a byl použit pro nivelační měření (viz obr. 7). Všechny naměřené a vypočtené hodnoty jako např. čtení na speciální kódové lati, jsou vždy zobrazovány na displeji. Přístroj se skládá z jemné horizontální ustanovky, schránky s bateriemi, krabicové libely, zaměřovače, zaostřovacího šroubu, transportního držadla, okuláru, LCD displeje, stavěcí desky a stavěcího šroubu. Naměřená data mohou být ukládána do vnitřní paměti přístroje nebo lze připojit externí zařízení. V tabulce 1 jsou vypsány základní údaje o přístroji [19].

Obr. 7: Nivelační přístroj Leica Sprinter 100

Tab. 1: Technické parametry nivelačního přístroje [19]

Měření výšek	Střední km chyba pro elektronické určení	2,0 mm
	Střední km chyba pro optické určení	2,5 mm
	Střední chyba jednoho měření	0,6 mm (elektronicky), 1,2 mm (opticky) na 30 m
Měření délek	Rozsah měření	2 m až 80 m
	Min. zaostřovací vzdálenost	50 cm
	Čas jednoho měření	cca 3 s
	Přesnost vzdálenosti	10 mm pro D <= 10 m
Dalekohled	Zvětšení	24x
	Násobná konstanta	100
	Adiční konstanta	0
Kompenzátor	Typ	magnetický kyvadlový
	Rozsah	± 20'
	Max. střední chyba	0,8"
	Citlivost	< 10"
LCD displej	Typ	monochromatický displej
	Rozměry	128 x 104 pixlů
Všeobecné parametry	Citlivost krabicové libely	10 mm, 2 mm
	Kapacita paměti	víc jak 500 bodů
	Zdroj energie	interní baterie (AA suché články 4 x 1,5 V)

	Ustanovky	nekonečné jemné
	Hmotnost	2,55 kg
	Rozměry	196 mm (Š) x 219 mm (D) x 178 mm (V)
Provoz	Pracovní teplota	- 10°C až + 50°C

Další použité pomůcky: stativ, nivelační lať, nivelační podložka.

5.1.2 Totální stanice Trimble M3

Totální stanice Trimble M3 DR 5‘‘ (výr. č.: D047379) byla použita pro podrobné měření polohopisu a výškopisu (viz obr. 8). Přístroj od výrobce Trimble disponuje ergonomickým ovládáním, barevným displejem, klávesnicí pro zadávání dat a optikou Nikon pro cílení dalekohledem. Software totální stanice je postaven na softwaru Trimble. Trimble Digital Fieldbook umožňuje sběr dat v terénu a nabízí i velký počet výpočetních funkcí. Data z totální stanice lze exportovat do mnoha formátů. Zabudovaný dálkoměr poskytuje rychlé a přesné měření délek jak na odrazný hranol, tak i přímo na objekt pomocí bezhranolové technologie. Přístroj pro provoz využívá dvě vyměnitelné baterie, které umožňují nepřerušené měření po delší dobu. V tabulce 2 jsou vypsány základní údaje o přístroji [10].

Obr. 8: Totální stanice Trimble M3

Tab. 2: Technické parametry totální stanice [10]

Měření délek	Dosah na hranol	1,5 m až 5000 m
	Bezhranolový dosah	1,5 m až 300 m
	Přesnost měření na hranol	± 3 mm + 2 ppm
	Přesnost bezhranolového měření	± 3 mm + 2 ppm
	Čas měření na hranol	1,5 s
	Čas bezhranolového měření	1,8 s
Měření úhlů	Vodorovná a zenitová přesnost	5" / 1,5 mgon
Dalekohled	Zvětšení	30x
	Rozlišovací schopnost	5"
	Min. vzdálenost zaostření	1,5 m
Kompenzátor	Typ	dvouosý
	Metoda	kapalino-světelná detekce
	Rozsah	± 3,5'
Napájení	Baterie	Li-Ion (2x)
	Výdrž	cca 16 hod
Všeobecné parametry	Citlivost krabicové libely	10' / 2 mm

	Ustanovky	nekonečné jemné
	Paměť	128 MB RAM, 128 MB Flash
	Rozměry	149 mm (Š) x 145 mm (D) x 306 mm (V)
	Hmotnost	3,8 kg
Provoz	Pracovní teplota	- 20°C až + 50°C

Další použité pomůcky: stativ, výtyčka s odrazným hranolem, teploměr a tlakoměr, dvoumetr, pásmo.

5.1.3 GNSS přijímač Spectra Precision EPOCH 35

GNSS přijímač Spectra Precision EPOCH 35 (výr. č.: 44909219342) byl použit pro zjištění polohy bodů pomocné měřické sítě (viz obr. 9). Přijímač GNSS používá přesné GPS (Global Positioning System) a GLONASS technologie pro katastrální, topografické, kontrolní, sledovací a jiné přesné geodetické aplikace. Přijímač je vybaven anténou, kontrolní jednotkou Recon (pro sběr dat), integrovaným bluetooth (pro komunikaci mezi kontrolní jednotkou a anténou), skládací výtyčkou, která je opatřena krabicovou libelou a mobilem značky Nokia pro internetové připojení k síti CZEPOS. V tabulce 3 jsou vypsány základní údaje o přístroji [18].

Obr. 9: GNSS přijímač + kontrolní jednotka Recon

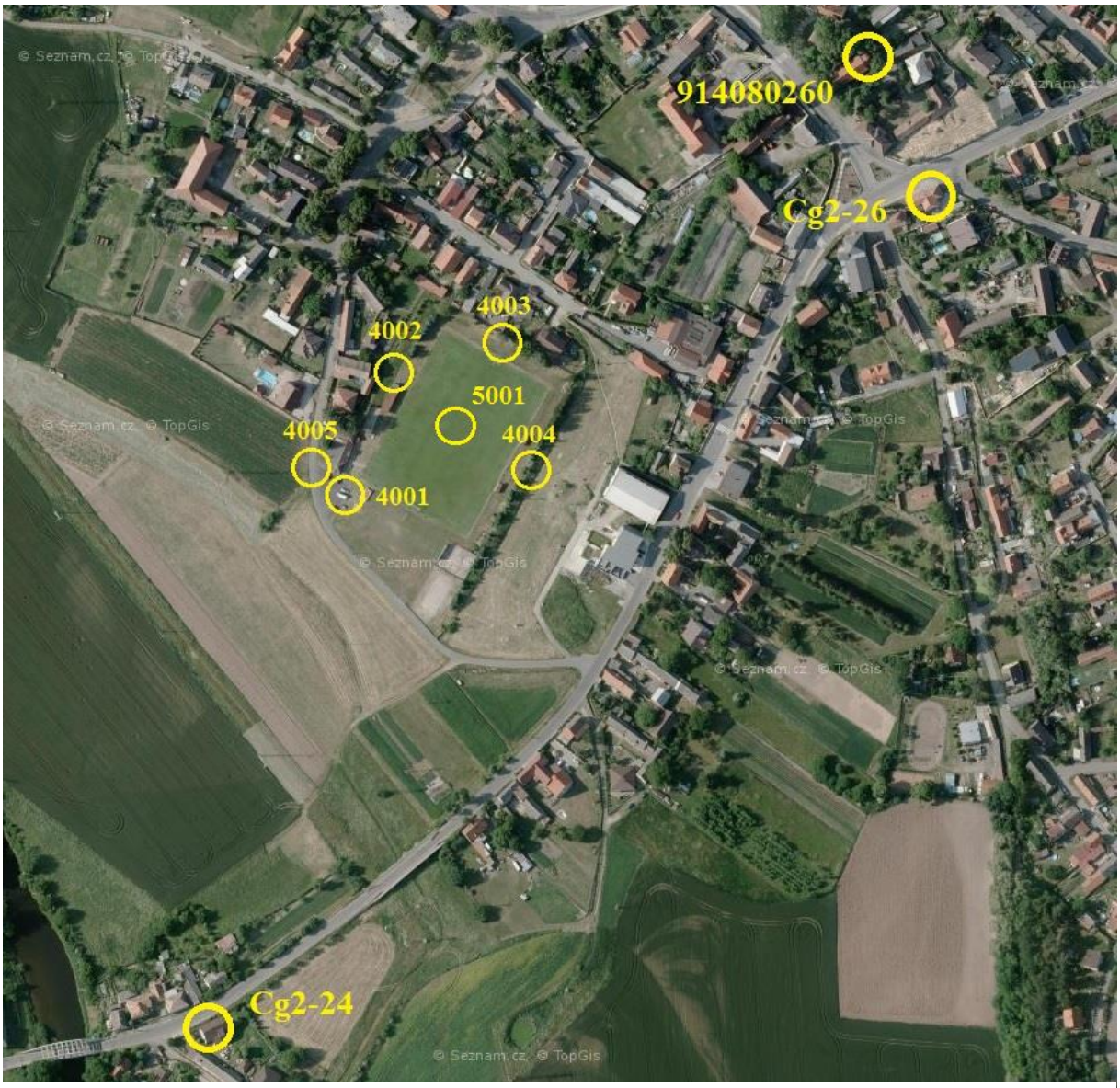
Tab. 3: Technické parametry GNSS přijímače [18]

Přesnost RTK měření při optimálních podmínkách	Horizontální přesnost	± 10 mm + 1 ppm
	Vertikální přesnost	± 20 mm + 1 ppm
Ovládací software	TopSurvey	
Sledované družice	GPS, GLONASS, SBAS	
Všeobecné parametry	Rozměry	19 cm (Š) x 20 cm (D) x 7 cm (V)
	Hmotnost	2,1 kg
	Výdrž baterie	cca 5 hodin
Provoz	Pracovní teplota	- 20°C až + 65°C

5.2 Rekognoskace terénu a budování pomocné měřické sítě

Před vlastní rekognoskací terénu byly pomocí webové mapové služby Geoportál ČÚZK vyhledány geodetické údaje polohových (v systému S-JTSK) a výškových (v systému Bpv) bodů v zájmové oblasti a v jejím okolí [9].

Na základě rekognoskace byly body přímo v terénu vyhledány a byla ověřena jejich existence. V okolí zájmové oblasti byl nalezen pouze jeden bod polohového pole, a to trigonometrický bod č. 26 (věž místního kostela). V případě výškového pole byly nalezeny dva nivelační body č. Cg2-24 a Cg2-26, které jsou v terénu stabilizovány čepovými značkami. Geodetické údaje použitých bodů jsou uvedeny v přílohách 1 a 2.



Obr. 10: Místní bodové pole a pomocná měřická síť (PMS) [15]

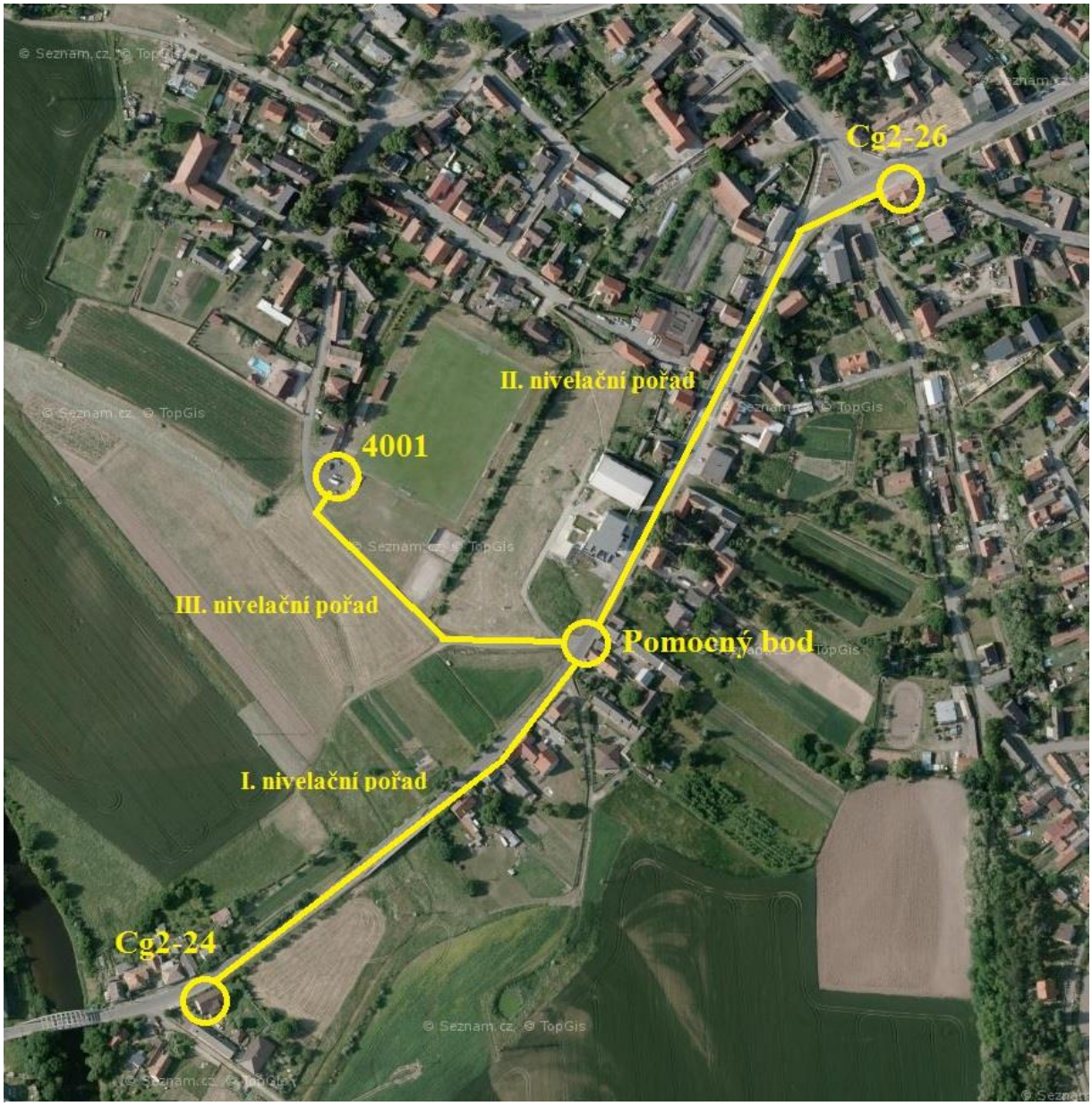
Vzhledem k situaci s bodovým polem, byl přímo v zájmové oblasti zřízen bod pomocné měřické sítě (dále jen PMS) č. 4001, který byl umístěn v terénu tak, aby byla zajištěna viditelnost na zaměřované území a trigonometrický bod pro úhlové zaměření. Bod byl stabilizován ocelovým hřebem s podložkou na asfaltovém povrchu. Pro zaměření celého sportovního areálu byly dále zřízeny body č. 4002 až 4004, které byly dočasně stabilizovány na travnatém porostu dřevěnými kolíky s nástřelovým hřebem na povrchu kolíku.

Tyto pomocné body byly voleny tak, aby byla zajištěna vzájemná viditelnost, a to i s bodem č. 4001 a trigonometrickým bodem č. 26. V průběhu měření byla PMS doplněna o bod č. 4005 (rajón), který byl stabilizován nástřelovým hřebem s podložkou na asfaltovém povrchu. Body místního bodového pole a PMS jsou zobrazeny na obr. 10. Pro zaměření čtvercové sítě podrobných výškových bodů na hrací ploše bylo zhruba uprostřed hřiště zvoleno volné stanovisko č. 5001. Z tohoto bodu bylo také provedeno orientační měření na body č. 4001, 4002, 4003, 4004 a 26 (1408).

5.3 Použité metody pro polohové a výškové měření

5.3.1 Nivelační měření

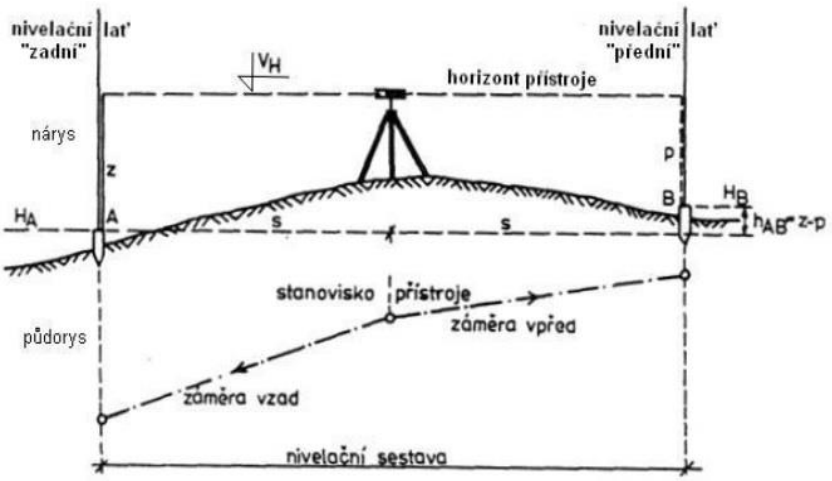
Cílem nivelačního měření bylo přenesení nadmořské výšky z nivelačních bodů na pomocný bod č. 4001. Z obou nivelačních bodů byly vedeny volné nivelační pořady k bodu č. 4001, a byly měřeny tam a zpátky. Pro ověření vzájemné stability nivelačních bodů byl oboustranně měřen vložený nivelační pořad i mezi těmito body. Pro ušetření práce a času byl přibližně uprostřed mezi třemi měřenými body zřízen pomocný bod (stabilizovaný nástřelovým hřebem), ke kterému byly vedeny nivelační pořady od každého bodu. Tato měření byla poté vzájemně zkombinována. Čtení na lati byla zjišťována elektronicky pomocí čárového kódu. Všechny naměřené hodnoty (čtení vzad a vpřed) byly ručně zapsány do zápisníku pro technickou a plošnou nivelaci. Vzhledem k účelu práce a přístrojovému vybavení byla použita metoda technické nivelace. Na obr. 11 jsou zobrazeny vedené nivelační pořady.



Obr. 11: Nivelační měření [15]

Princip technické nivelace a polní zkoušky

Technická nivelace je nejběžnější druh nivelace, který funguje na principu geometrické nivelace ze středu (viz obr. 12) a je určen například pro určení nadmořské výšky některých bodů v podrobném výškovém bodovém poli. Technologii měření stanovuje *„Směrnice pro technickou nivelaci“*. Běžná praxe rozlišuje dva odlišné druhy TN: a) základní přesnost (nižší nároky na přesnost – např. běžné technické práce), b) zvýšená přesnost (vyšší nároky na přesnost – např. vodohospodářství).



Obr. 12: Princip technické nivelace

Při základní přesnosti mohou být nivelační latě skládací či zasouvací a nemusí být vybaveny krabicovou libelou. Délky záměr se v rovinném terénu volí až 120 m, záměry se nerozměřují ani přesně nekrokují. Nivelační pořad se měří jedenkrát, u volných pořadů dvakrát (tam a zpět). Základním kritériem přesnosti je mezní odchylka mezi dvakrát měřeným převýšením:

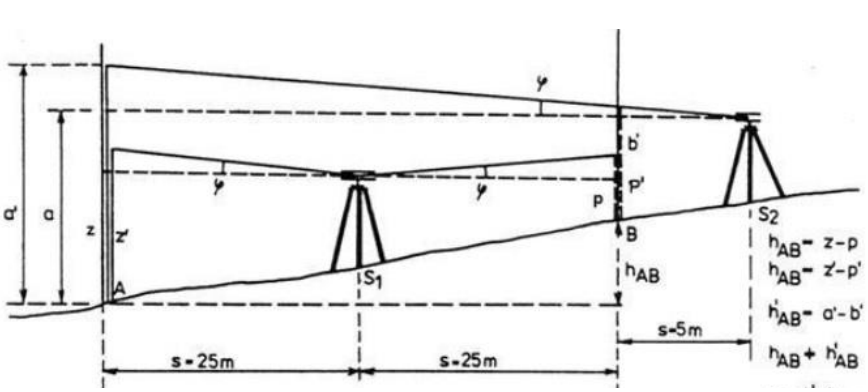
$$\Delta max_{mm} = 40 \cdot \sqrt{L_{km}},$$

kde L je poloviční nivelovaná vzdálenost v kilometrech. Je-li kritérium splněno, vypočte se aritmetický průměr převýšení.

Při zvýšené přesnosti by měly být latě kvalitnější, z celistvého kusu, vybavené krabicovou libelou. Délky záměr se volí max. 80 m a sestavy se půlí pečlivým krokováním s případnou kontrolou, aby se dalekohled nemusel přeostřovat. Výška záměr by neměla klesnout pod 0,3 m. Nivelační pořad se měří vždy dvakrát (tam a zpět). Základním kritériem je mezní odchylka mezi daným a měřeným převýšením:

$$\Delta max_{mm} = 20 \cdot \sqrt{L_{km}}.$$

Před měřením byla provedena polní zkouška nivelačního přístroje, který musí splňovat geometrické podmínky vzájemné polohy hlavních os (viz obr. 13). V tomto případě byla kontrolována podmínka, zda osa nivelační libely je rovnoběžná se záměrnou přímkou. U kompenzátorových přístrojů se tato podmínka označuje jako nevodorovnost záměrné přímky, a to o úhel φ (velikost odklonu od vodorovné roviny). Hodnoty zjištěné polní zkouškou byly zapsány do již zmíněného zápisníku, který byl veden v terénu.



Obr. 13: Princip polní zkoušky

V terénu ve vzdálenosti 50 m byly umístěny nivelační podložky, na kterých byla postavena nivelační lať. Mezi tyto body byl uprostřed umístěn nivelační přístroj, kterým se po provedení jeho přípravy k měření odečetly hodnoty na obou bodech a bylo zjištěno první převýšení. Poté byl přístroj postaven přibližně 3 m za jednu z latí a opět se odečetly hodnoty na obou bodech. Rozdíl prvního a druhého převýšení se podělilo vzdáleností latí (50 m) a výsledkem je chyba měřeného převýšení v závislosti na rostoucí délce. O tuto hodnotu se poté naměřené převýšení opraví [2].

5.3.2 GNSS měření

Cílem GNSS měření bylo zjištění polohy všech bodů PMS (body č. 4001 až 4005). Souřadnice bodů byly pro nezávislost výsledků určeny dvakrát, a to s dostatečným časovým rozestupem (dopoledne a odpoledne) a s odlišnou konfigurací družic. Při měření byla použita metoda RTK (*„Real Time Kinematic“*) s připojením na referenční stanici (Mladá Boleslav – CMBO) sítě CZEPOS. Observace na každém bodě probíhala přibližně 90 sekund. Všechny naměřené hodnoty byly automaticky uloženy do kontrolní jednotky Recon.

5.3.2.1 Princip RTK metody

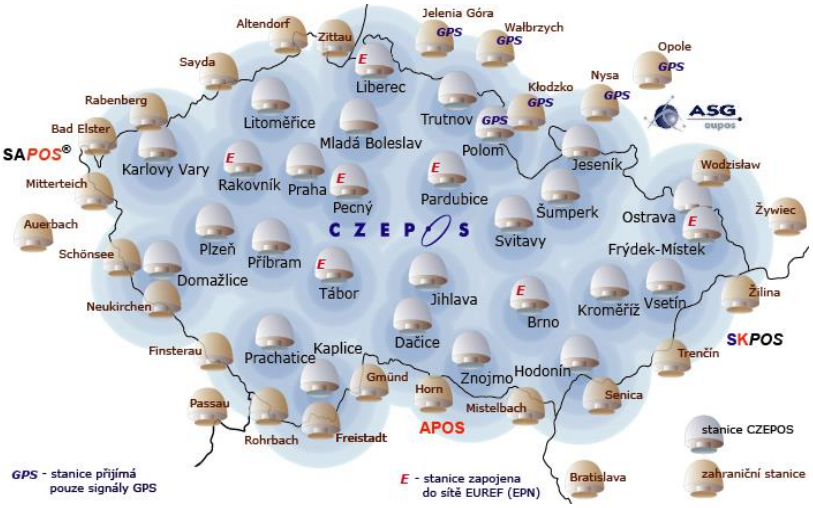
V základní konfiguraci metody RTK se měřicí aparatura skládá z přijímače po dobu měření umístěného na bodě o známých souřadnicích, tzv. *„base“*, a z přijímače, který se pohybuje po určovaných nebo vytyčovaných bodech, tzv. *„rover“* (viz obr. 14). Měření je počítáno v reálném čase, mezi base a rover musí být permanentní datové spojení realizované např. radiomodemy nebo trvalým připojením na internet prostřednictvím GSM.

Obr. 14: Princip RTK metody

Base může být nahrazen sítí virtuálních nebo referenčních stanic, pak měření probíhá pouze s jedním přijímačem s trvalým připojením na internet k poskytovateli korekcí. Toto řešení je v současné době nejpoužívanější. Přesnost této metody se pohybuje od 25 mm do 50 mm v závislosti na kvalitě přijímače [20].

5.3.2.2 CZEPOS

CZEPOS je síť referenčních stanic v České republice (viz obr. 15). Vznikl jako společný projekt ZÚ (Zeměměřického úřadu) v Praze, VÚGTK (Výzkumného ústavu geodetického, topografického a kartografického) a ČÚZK (Českého úřadu zeměměřického a katastrálního). CZEPOS poskytuje registrovaným uživatelům určité služby, mezi které patří například poskytnutí dat pro postprocessingové zpracování nebo poskytnutí RTK dat pro fázové měření



Obr. 15: Síť referenčních stanic CZEPOS

v reálném čase. Většina geodetických firem si v současnosti pořizuje pouze jeden GNSS přijímač a jako referenční stanice používá data ze sítě CZEPOS, Trimble, Topnet a dalších [20].

5.3.3 Polohové a výškopisné podrobné měření

5.3.3.1 Příprava přístroje na stanovisku

Polohopisné a výškopisné měření probíhalo na všech bodech PMS. Na každém stanovisku byl pečlivě zcentrován a zhorizontován přístroj a také byla změřena dvoumetrem výška přístroje nad bodem. Dále byly pomocí tlakoměru a teploměru zjištěny atmosférické údaje (teplota – °C a tlak – hPa), které se jako hodnoty fyzikální redukce zadaly do přístroje, který automaticky opravil všechny naměřené šikmé délky o tyto hodnoty. Atmosférické údaje jsou uvedeny v tabulce 4. V přístroji byla pro tuto práci vytvořena nová zakázka (JOB), jejíž parametry byly vhodně nastaveny.

Tab. 4: Atmosférické údaje pro fyzikální redukce

Stanovisko	Teplota	Tlak	PPM
(číslo bodu)	(°C)	(hPa)	(mm/km)
4001 (1)	0	1025	- 24
4001 (2)	15	1000	- 2
4002	6	1024	- 18
4003	6	1006	- 12
4004	12	1002	- 5
4005	6	1024	- 18
5001	15	1000	- 2

Pozn.: PPM (Parts Per Million) - měřítkový koeficient.

Poznámka: Tabulka 4 obsahuje výrazy 4001 (1) a 4001 (2). Hodnoty v závorkách naznačují to, že na bodě č. 4001 bylo měřeno dvakrát. Tyto výrazy se objevují i v následujících tabulkách.

5.3.3.2 Orientační měření

Přístrojem bylo nejdříve nastaveno počáteční čtení blízké nulové hodnotě na trigonometrický bod č. 26 (věž kostela – střed makovice). V jedné skupině (ve dvou polohách dalekohledu) byly zaměřeny všechny viditelné pomocné body, které spolu s počátkem tvořily osnovu vodorovných směrů, zenitových úhlů a šikmých délek. Na počátek bylo měřeno i na konci osnovy. Vodorovné směry a zenitové úhly byly ukládány na 4 desetinná místa (vteřiny gonů) a délky na 3 desetinná místa (milimetry).

Přístrojem se měřilo většinou na odrazný hranol (konstanta hranolu = - 30 mm) s výtyčkou nebo v případě nepřístupnosti k bodu se měřilo bezhranolovým způsobem. K podrobnému měření byla použita polární metoda se současným zaměřováním výšek (tachymetrie). Jako doplňkové metody byly využity konstrukční a kontrolní oměrné. Použité metody jsou stručně vysvětleny v kapitole 5.3.4.

5.3.3.3 Podrobné měření

Po zaměření osnovy následovalo měření podrobných bodů. Podrobné body byly měřeny v jedné poloze dalekohledu s jednou měřenou šikmou délkou. Měřeny byly všechny polohopisné a výškopisné prvky. Mezi polohopisné prvky patří asfaltové a polní cesty, ploty (živé, dřevěné, drátěné a zděné), hranice pole, chodníků a hřišť, budovy (zděné a plechové), terénní svahy, zábradlí, lavičky, sloupy (kovové, betonové a dřevěné), stožáry a sloupy elektrického vedení, lampy, hydranty, kanalizační šachty, vpusť a hrací sítě. Mezi výškopisné prvky patří výškové body v terénu a terénní svahy. Na hrací a tréninkové ploše byla změřena čtvercová síť s terénními výškovými body. Všechny naměřené hodnoty byly automaticky registrovány do vnitřní paměti totální stanice.

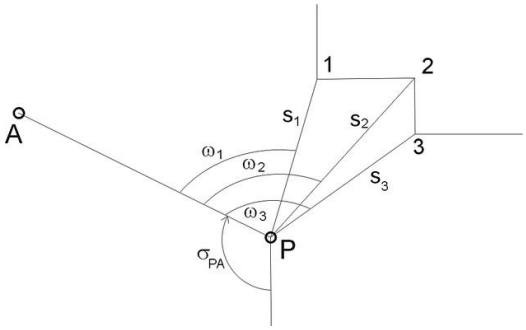
5.3.3.4 Měřický náčrt

V průběhu celého měření byl ručně veden přehledný měřický náčrt, do kterého byly přibližně zobrazovány všechny polohopisné a výškopisné prvky. Obsahuje všechny podrobné body, které jsou označeny křížkem a příslušným číslem dle zápisníku měření. Náčrt dále obsahuje oměrné míry kolem zaměřované budovy a dalších zděných objektů. Měřický náčrt byl především použit pro vyhotovení mapy areálu a je uložen v příloze 18.

5.3.4 Metody podrobného měření

5.3.4.1 Polární metoda se současným zaměřováním výšek (tachymetrie)

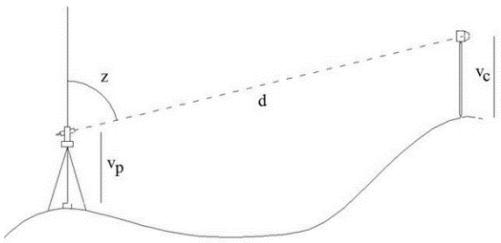
Při zaměřování předmětů měření polární metodou je poloha každého podrobného bodu určena číselně polárními souřadnicemi: a) úhlem, který je měřen na stanovisku od orientačního směru na jiný bod o známých souřadnicích (např. pomocný bod), b) délkou od stanoviska po zaměřovaný bod, měřenou zpravidla dálkoměrem (viz obr. 16).



Obr. 16: Polární metoda – polohopisná složka

Při současném výškovém zaměřování se měří i zenitový úhel, kterým se spolu s měřenou délkou vypočte převýšení (viz obr. 17).

Zaměření polární metodou rozlišuje měření z pevného (souřadnice stanoviska a orientačních bodů jsou známy) a volného nebo přechodného stanoviska (souřadnice stanoviska se určují z daných bodů).

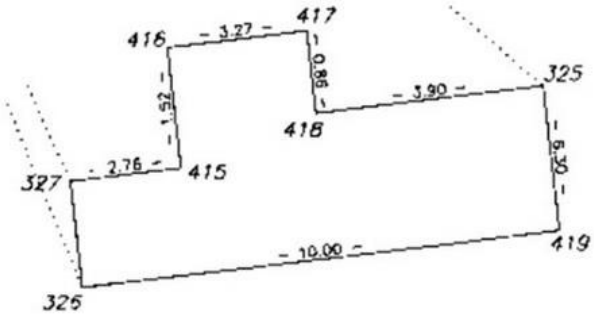


Obr. 17: Polární metoda – výškopisná složka

Při nepřístupnosti k bodům nebo kvůli špatné viditelnosti se používají doměrky nebo polární kolmice [1].

5.3.4.2 Metoda konstrukčních oměrných

Používá se jako doplňková metoda pro zaměření rohů pravoúhlých objektů, jejichž výstupky nelze zaměřit polární nebo jinou metodou (viz obr. 18). Dané body jsou vždy dva a maximální počet určovaných bodů je osm. Oměrné míry se zapisují se znaménkem mínus resp. plus, leží-li koncový bod oměrné od spojnice předchozích dvou bodů ve směru postupu vlevo resp. vpravo [1].



Obr. 18: Princip konstrukčních oměrných

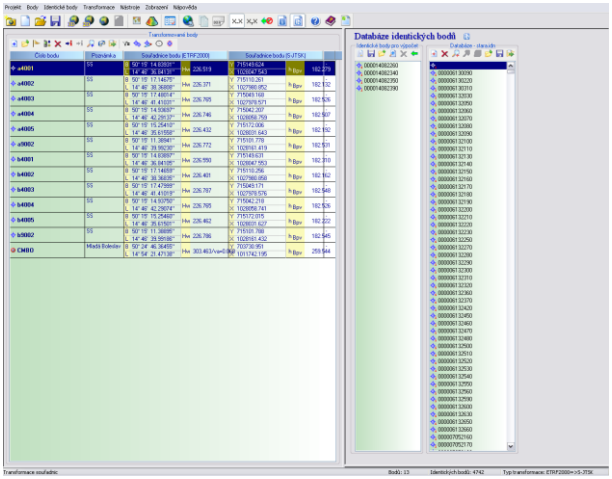
5.3.4.3 Metoda kontrolních oměrných

Kontrolní oměrné slouží ke kontrole (pomocí vzdálenosti) dvou zaměřených podrobných bodů [1].

6 Výpočetní práce

6.1 Použité programy

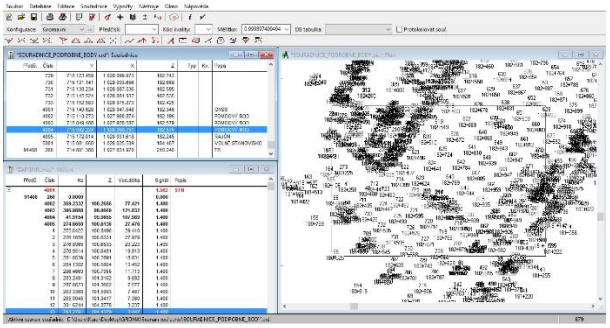
6.1.1 Transform MAX



Obr. 19: Prostředí programu Transform MAX

Transform MAX (verze 3) je výpočetní program pro převod naměřených ETRS89 / WGS-84 souřadnic s elipsoidickou výškou do systému S-JTSK s nadmořskými výškami (Bpv) a dále mezi ETRS89 / WGS84 a S-42 a to u obou oběma směry. Program je určen pro operační systém Windows, využívající kvalitní transformační algoritmy prof. Jana Kosteleckého včetně Jungovy dotransformace a všech předností spojených s databázovým výběrem identických bodů s přesností 1 cm a globálním klíčem s přesností do 15 cm. Vzhled programu je ukázán na obr. 19 [8].

6.1.2 Groma



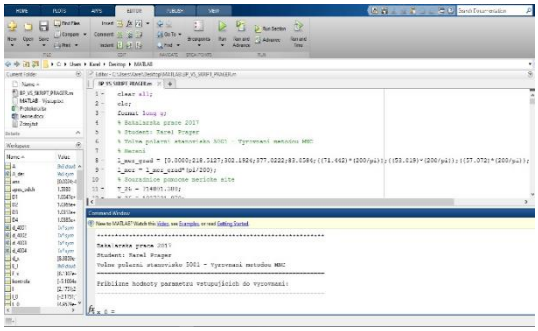
Obr. 20: Prostředí programu Groma

Groma (verze 8) je geodetický systém pracující v prostředí Windows. Systém je určen ke komplexnímu zpracování geodetických dat od surových údajů přenesených z totální stanice až po výsledné seznamy souřadnic, výpočetní protokoly a kontrolní kresbu. Lze v něm řešit všechny základní geodetické úlohy. Navíc obsahuje jednoduchou grafiku a možnost digitalizace rastrových dat. Umí zpracovávat data ve formátech všech běžných záznamníků, dávkově i jednotlivými výpočty. Vzhled programu je ukázán na obr. 20 [11].

6.1.3 Matlab

Matlab (verze R2014a) je interaktivní programové prostředí a skriptovací programovací jazyk.

Tento program je vyvíjen společností MathWorks a je k dispozici pro operační systémy Windows, Linux a Mac OS X. Matlab umožňuje počítání s maticemi, vykreslování 2D a 3D grafů funkcí, implementaci algoritmů, počítačovou simulaci, analýzu a prezentaci dat i vytváření aplikací včetně uživatelského rozhraní. Vzhled programu je ukázán na obr. 21 [16].



Obr. 21: Prostředí programu Matlab

6.2 Zpracování naměřených dat

6.2.1 Zpracování nivelačního měření

Zpracování zápisníků pro technickou a plošnou nivelaci proběhlo ihned po skončení měření kvůli zjištění, zda došlo nebo nedošlo k překročení mezních odchylek. U každého nivelačního pořadu bylo zjištěno převýšení v obou směrech a jejich rozdíl byl porovnán s mezní odchylkou. Po porovnání bylo vypočteno průměrné převýšení pro každý ze tří měřených nivelačních pořadů. Pomocí známých nadmořských výšek výchozích nivelačních bodů a vypočtených převýšení byla dvakrát vypočtena nadmořská výška pomocného bodu č. 4001. Výsledná hodnota byla určena prostým průměrem. Pro kontrolu vzájemné stability nivelačních bodů bylo porovnáno měřené převýšení a převýšení vypočtené jako rozdíl nadmořských výšek těchto bodů.

Dále byla v zápisníku zpracována polní zkouška. Zápisníky byly nakonec adjustovány, doplněny o údaje z měření a jsou uloženy v příloze 3. Výsledné hodnoty jsou vypsány v níže uvedených tabulkách. Z hodnot v tabulce 5 je patrné, že ani jedna z mezních odchylek nebyla překročena. Rozdíl nadmořské výšky bodu č. 4001 z obou nivelačních bodů je roven 11 mm (viz tab. 6). Při kontrole vzájemné stability nivelačních bodů v tabulce 7 nebyla překročena mezní odchylka a lze tedy tvrdit, že nivelační body jsou vůči sobě stabilní.

Tab. 5: Výpočet převýšení z nivelačního měření

Nivelační pořad	Převýšení TAM	Převýšení ZPĚT	Odchylka	Délka pořadu	Mezní odchylka	Vyhovuje	Výsledné převýšení
(bod-bod)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(ANO/NE)	(m)
Cg2-24 - 4001	-1,749	+1,747	0,002	564	0,021	ANO	-1,748
Cg2-26 - 4001	-8,299	+8,297	0,002	592	0,022	ANO	-8,298
Cg2-24 - Cg2-26	+6,550	-6,550	0,000	698	0,017	ANO	+6,550

Tab. 6: Výpočet nadmořské výšky bodu č. 4001

Bod	Nadmořská výška výchozích bodů	Převýšení	Nadmořská výška bodu č. 4001	Výsledná nadmořská výška
(číslo bodu)	(m)	(m)	(m)	(m)
Cg2-24	184,099	-1,748	182,351	182,346
Cg2-26	190,638	-8,298	182,340	

Tab. 7: Kontrola vzájemné stability nivelačních bodů

Nivelační pořad	Dané převýšení	Vypočtené převýšení	Odchylka	Délka pořadu	Mezní odchylka	Vyhovuje
(bod-bod)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(ANO/NE)
Cg2-24 - Cg2-26	6,539	6,550	-0,011	698	0,017	ANO

6.2.2 Zpracování GNSS měření

Při GNSS měření byly zjištěny souřadnice v systému ETRS89 s elipsoidickou výškou. Pro převod souřadnic na systém S-JTSK a Bpv byl použit program Transform MAX, kde byla použita transformace s vlastním vestavěným globálním transformačním klíčem. Do pozice druhého přijímače byla využita referenční stanice v síti CZEPOS (Mladá Boleslav), díky které došlo i ke zpřesnění výsledných souřadnic.

Tab. 8: Výsledné souřadnice z GNSS měření

Bod	První a druhé měření			Výsledné souřadnice		
(číslo bodu)	Y (m)	X (m)	H (m)	Y (m)	X (m)	H (m)
4001	715149,624	1028047,543	182,279	715149,628	1028048,048	182,295
	715149,631	1028048,553	182,310			
4002	715110,261	1027980,852	182,132	715110,259	1027980,855	182,147
	715110,256	1027980,858	182,162			
4003	715049,168	1027978,571	182,526	715049,170	1027978,574	182,537
	715049,171	1027978,576	182,548			
4004	715042,207	1028058,759	182,507	715042,213	1028058,750	182,517
	715042,218	1028058,741	182,526			
4005	715172,006	1028031,643	182,192	715172,011	1028031,635	182,207
	715172,015	1028031,627	182,222			

Výsledkem jsou dvoje transformované souřadnice bodů č. 4001, 4002, 4003, 4004 a 4005, protože na bodech bylo měřeno dvakrát.

Tudíž výsledné souřadnice byly určeny aritmetickým průměrem a jsou vypsány v tabulce 8. Maximální rozdíl mezi dvakrát určenými souřadnicemi je 18 mm v poloze a 31 mm ve výšce. V příloze 4 je uvedena technická zpráva vygenerována programem Transform MAX a v příloze 5 je uložen protokol určení bodů technologií GNSS.

6.2.3 Zpracování podrobného měření (orientační měření)

Z totální stanice byla stažena měřená data (formát ASC) přímo na externí disk. S tímto souborem se dále pracovalo v programu Groma (viz kapitola 6.3.6). Ze souboru byla vyjmuta data z orientačního měření, která byla ručně zpracována v přehledných tabulkách, a které jsou uloženy v příloze 6. Zpracovávaly se měřené vodorovné směry a zenitové úhly ve dvou polohách dalekohledu (redukce směrů na počátek, oprava o indexovou chybu) a dvakrát měřené šikmé délky (průměr ze dvou hodnot).

Matematické redukce délek

Naměřené šikmé délky se kromě fyzikálních redukcí (z teploty a tlaku) musely opravit i o redukce matematické (do vodorovné roviny, z nadmořské výšky) a o redukce do zobrazovací roviny S-JTSK. Princip redukce je ukázán na obr. 22. V tabulce 9 jsou vypsány vodorovné vzdálenosti mezi body PMS. Z nich je patrné, že rozdíl v délce mezi úrovní terénu a zobrazení se pohybuje okolo 1 cm. Výpočet matematických redukcí byl proveden podle níže uvedených vzorců a je uveden v příloze 6.

Postup redukce [1]:

1. Vodorovná délka podle zjednodušeného vzorce:

$$d_h = d_s \cdot \sin(z - \varphi),$$

   kde d_s je měřená šikmá délka, z je měřený zenitový úhel a φ je středový úhel tížnic, který se vypočte ze vzorce:

$$\varphi[gon] = 0{,}00998 \cdot d_s[km] \cdot \sin z.$$

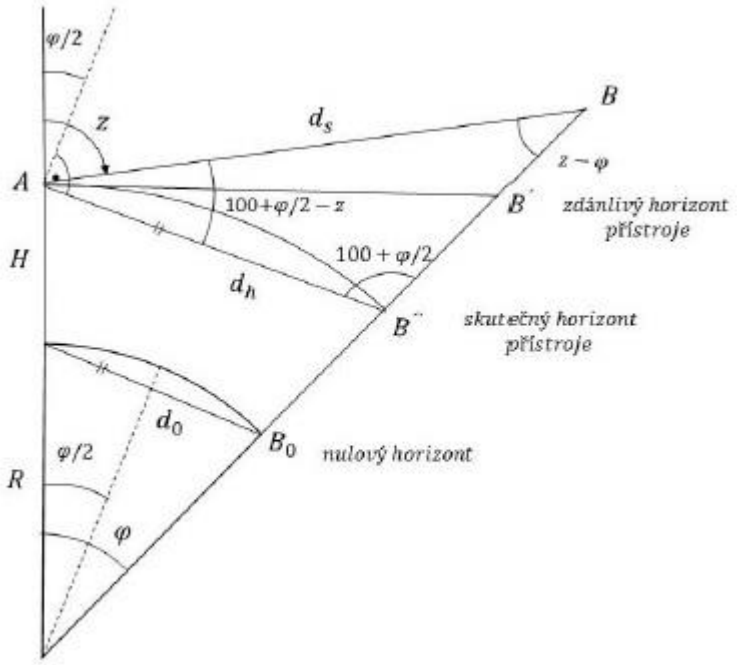
2. Redukce vodorovné délky na nulovou hladinu (R = 6 381 km je poloměr referenční koule, H je nadmořská výška pomocného bodu č. 4001):

$$d_0 = d_h \cdot \frac{R}{(R + H)}.$$

3. Redukce délky do zobrazovací roviny S-JTSK:

$$s = m \cdot d_0,$$

kde m je měřítko zobrazení.

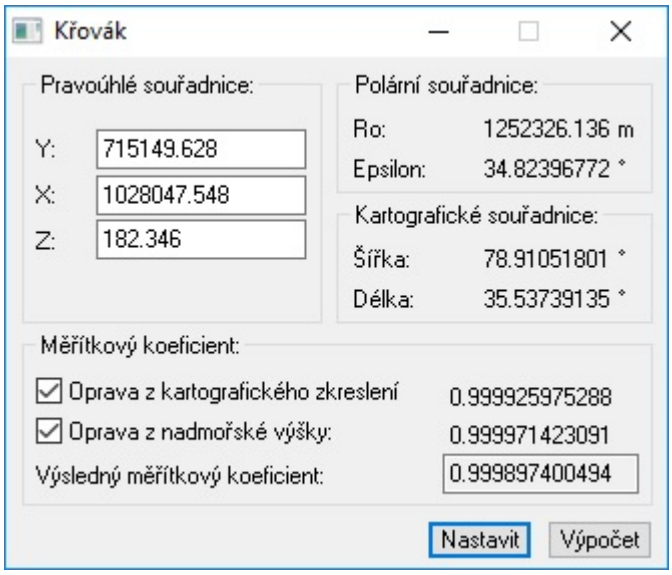


Obr. 22: Matematické redukce

Tab. 9: Výsledné vodorovné vzdálenosti mezi body PMS

Z bodu	Na bod	Vodorovná délka (terén)	Vodorovná délka (S-JTSK)
(číslo bodu)	(číslo bodu)	(m)	(m)
4001	4002	77,429	77,421
4001	4003	121,844	121,832
4001	4004	108,000	107,989
4001	4005	27,479	27,476
4002	4003	61,134	61,127
4002	4004	103,431	103,420
4003	4004	80,475	80,467

Poznámka: Měřítko zobrazení m bylo zjištěno v programu Groma pomocí funkce *„Křovák“*, do které se zadaly souřadnice a nadmořská výška bodu č. 4001 (viz obr. 23). Do měřítka je zahrnuta i redukce z nadmořské výšky, tudíž byl ručně proveden pouze převod šikmých délek na délky vodorovné a tyto délky byly poté vynásobeny zjištěným měřítkem.



Obr. 23: Dialog pro výpočet měřítkového koeficientu

6.3 Výpočetní metody pro určení souřadnic bodů PMS

6.3.1 Trigonometrické určování výšek

Nadmořské výšky pomocných bodů byly určeny trigonometricky z bodu č. 4001. Nadmořská výška volného stanoviska č. 5001 byla vypočtena z ostatních bodů PMS. Jednostranně zaměřený trigonometrický výškový rozdíl se vypočte podle vzorce:

$$h = d_s \cdot \cos\left(z - \frac{\varphi}{2}\right) + h_i - h_r,$$

kde $d_s(z)$ je šikmá délka (zenitový úhel), $h_i(h_r)$ je výška přístroje (cílového znaku) a φ je středový úhel tížnic.

Vypočetlo se převýšení tam a zpět a průměrem bylo určeno výsledné převýšení. Výsledné hodnoty jsou uvedeny v tabulkách 10 a 11. V tabulce 10 dosáhl maximální rozdíl v převýšení hodnoty 5 mm. Maximální rozdíl nadmořské výšky bodu č. 5001 z bodů PMS jsou 4 mm (viz tab. 11).

Tab. 10: Výpočet nadmořské výšky bodů č. 4002-4005

Z bodu	Na bod	Převýšení TAM	Převýšení ZPĚT	Výsledné převýšení	Nadmořská výška (Bpv)	
(číslo bodu)	(číslo bodu)	(m)	(m)	(m)	(číslo bodu)	(m)
4001(2)	4002	-0,150	+0,150	-0,150	4002	182,196
4001(2)	4003	+0,234	-0,231	0,233	4003	182,579
4001(2)	4004	+0,231	-0,226	0,229	4004	182,575
4001(1)	4005	-0,103	+0,098	-0,101	4005	182,245

Pozn.: Nadmořská výška pomocného bodu 4001 - H = 182,346 m (určena z nivelace).

Tab. 11: Výpočet nadmořské výšky volného polárního stanoviska č. 5001

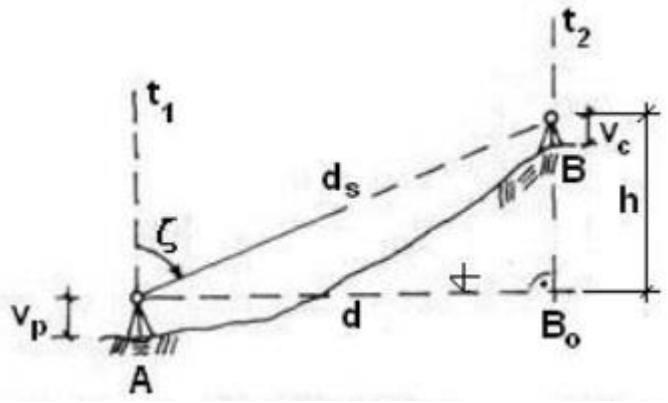
Z bodu	Nadmořská výška výchozích bodů	Převýšení	Nadmořská výška bodu č. 5001	Výsledná nadmořská výška
(číslo bodu)	(m)	(m)	(m)	(m)
4001	182,346	-2,120	184,466	184,467
4002	182,196	-2,271	184,467	
4003	182,579	-1,886	184,465	
4004	182,575	-1,894	184,469	

Pozn.: Nadmořská výška je vztažena k horizontu přístroje.

Princip metody

Na bodě A se známou výškou H_A je totální stanicí, jejíž výška v_p je změřena dvoumetrem, změřen zenitový úhel ξ na cíl, který je postaven na bodě B a má výšku v_c. Vzdálenost mezi body A a B je určena přímým měřením šikmé vzdálenosti (pomocí dálkoměru).

Převýšení dvou bodů se určuje na základě řešení trojúhelníka (pravoúhlého nebo obecného). Princip metody a výpočtu je zřejmý z obr. 24.



Obr. 24: Trigonometrické určení výšky

Přesnost je srovnatelná s technickou nivelací a se vzrůstající vzdáleností je výrazně zhoršována refrakcí, resp. její vertikální složkou. Při větší vzdálenosti (přes 300 m) je nutno uvažovat též vliv zakřivení Země [2].

6.3.2 Polygonový pořad

Touto metodou byly určeny souřadnice pomocných bodů č. 4002, 4003 a 4004. Polygonový pořad začínal na bodě č. 4001 s orientací na trigonometrický bod č. 26 a skončil na stejném bodě se stejnou orientací. Jednalo se tedy o uzavřený polygonový pořad. Do výpočtu vstupovaly souřadnice bodů č. 4001 (z GNSS měření) a 26, vodorovné směry a vodorovné délky.

Při výpočtu byly zjištěny hodnoty úhlového uzávěru a polohové odchylky, které byly porovnány z mezními odchylkami, které vycházejí z geometrických parametrů a kritérií polygonových pořadů. Pro výpočet mezní odchylky při úhlovém a souřadnicovém vyrovnání byly použity níže uvedené vzorce. V tabulce 12 jsou uvedeny výsledné souřadnice bodů PMS. V příloze 7 je uveden vyplněný formulář pro výpočet souřadnic bodů polygonového pořadu.

$$\Delta_\omega = 0{,}1 \cdot \sqrt{k+3}\,[gon],$$

kde k je počet bodů pořadu včetně bodů připojovacích.

$$\Delta_p = 0{,}005 \cdot \sqrt{\Sigma s} + 0{,}10\,[m],$$

kde Σs je součet délek stran pořadu.

Princip metody:

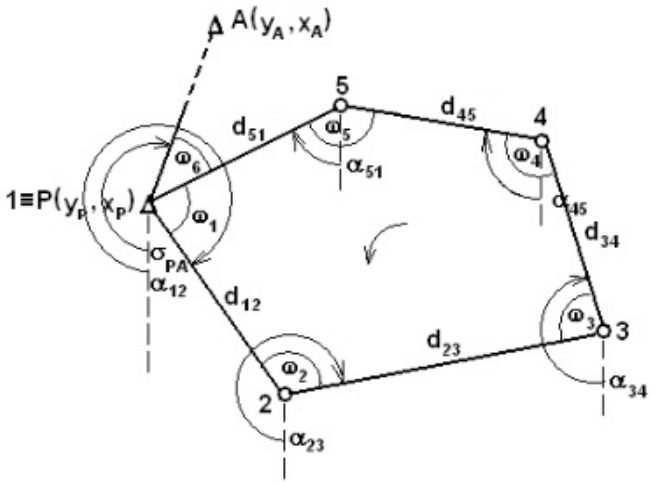
Metoda slouží pro určení souřadnic bodů, např. podrobného bodového pole (PBPP). Polygonové pořady vycházejí a končí na bodech, jejichž souřadnice jsou známy. V polygonových pořadech se měří levostranné vrcholové úhly a délky.

Z hlediska délky stran se dělí polygonové pořady na pořady s dlouhými stranami (200 až 1500 m) a na pořady s krátkými stranami (50 až 200 m).

Mezní poměr sousedních délek v polygonovém pořadu je 1 : 3. Délky se měří dvakrát a obousměrně, není-li to vyloučeno. Vodorovné směry se měří nejméně v jedné skupině [3].

Uzavřený polygonový pořad s orientací na počátečním bodě

Uzavřený polygonový pořad (s orientací na počátečním bodě) je zvláštní případ polygonového pořadu pro některé speciální případy geodetické praxe. Princip polygonového pořadu je ukázán na obr. 25.



Obr. 25: Uzavřeny polygonový pořad

Postup výpočtu:

Výpočet úhlového uzávěru

Součet vnitřních úhlů k-úhelníku:

$$[\omega] = (k-2) \cdot 2R.$$

Součet vnějších úhlů k-úhelníku:

$$[\omega] = (k+2) \cdot 2R.$$

Úhlový uzávěr:

$$O_\omega = (k-2) \cdot 2R - [{}'\omega] \; nebo$$

$$O_\omega = (k+2) \cdot 2R - [{}'\omega] \,,$$

podle toho, zda se měří levostranné vnitřní nebo vnější úhly.

Rozdělení úhlového uzávěru O_ω na jednotlivé úhly – úhlové vyrovnání

Jednotlivé úhly se opraví o hodnotu δ:

$$\delta = \frac{O_\omega}{k},$$

$$\omega_i = {}'\omega_i + \delta.$$

Výpočet směrníků

Vypočte se směrník σ_{1A} a poté směrníky jednotlivých stran:

$$\alpha_{12} = \sigma_{1A} + \omega_6 + \omega_1,$$

$$\alpha_{23} = \alpha_{12} + \omega_2 - 2R,$$

$$\alpha_{i,i+1} = \alpha_{i,i-1} + \omega_i - 2R.$$

Výpočet souřadnicových rozdílů

Souřadnicové rozdíly se určí ze vztahů:

$$\Delta y_{i,i+1} = d_{i,i+1} \cdot \sin \alpha_{i,i+1},$$

$$\Delta y_{i,i+1} = d_{i,i+1} \cdot \cos \alpha_{i,i+1}.$$

Protože u uzavřeného polygonového pořadu platí, že se vychází a končí na stejném bodě, proto musí být součet souřadnicových rozdílů roven 0:

$$[\Delta y_{i,i+1}] = [d_{i,i+1} \cdot \sin \alpha_{i,i+1}] = 0,$$

$$[\Delta x_{i,i+1}] = [d_{i,i+1} \cdot \cos \alpha_{i,i+1}] = 0.$$

V důsledku náhodných chyb měřených délek vzniknou odchylky:

$$O_y = 0 - [d_{i,i+1} \cdot \sin \alpha_{i,i+1}] = -[d_{i,i+1} \cdot \sin \alpha_{i,i+1}],$$

$$O_x = 0 - [d_{i,i+1} \cdot \cos \alpha_{i,i+1}] = -[d_{i,i+1} \cdot \cos \alpha_{i,i+1}],$$

$$O_p = \sqrt{O_x^2 + O_y^2} \leq \Delta_p.$$

Pokud vypočtená polohová odchylka nepřekročí mezní odchylku, tak se provede souřadnicové vyrovnání. Pomocí opravených souřadnicových rozdílů se vypočtou výsledné souřadnice bodů polygonového pořadu [3].

Tab. 12: Výsledné souřadnice bodů polygonového pořadu

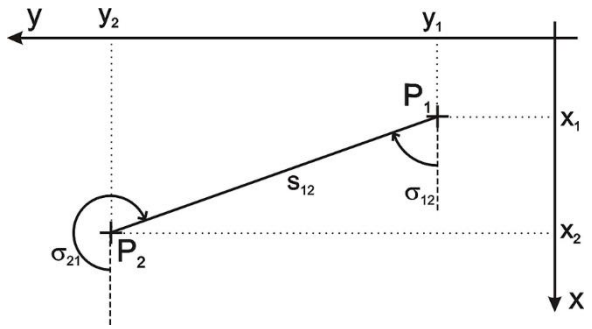
Bod	Polygonový pořad	
(číslo bodu)	Y(m)	X(m)
4002	715110,273	1027980,874
4003	715049,188	1027978,587
4004	715042,224	1028058,751

6.3.3 Výpočet rajónu

Touto metodou byly vypočteny souřadnice bodu č. 4005, který je součástí PMS. Souřadnice bodu byly vypočteny ze stanoviska č. 4001, na kterém byla změřena osnova vodorovných směrů, ze kterých byl s pomocí směrníků vypočten průměrný orientační posun, ke kterému byl připočten vodorovný směr na určovaný bod a výsledkem byl požadovaný směrník. V tabulkách 13 a 14 je ukázán postup výpočtu s výslednými hodnotami.

Princip metody

Pod pojmem rajón rozumíme orientovanou a současně délkově zaměřenou spojnici daného a určovaného bodu. Princip výpočtu je ukázán na obr. 26.



Obr. 26: Výpočet rajónu

Jsou-li známy souřadnice daného bodu P_1 (y_1, x_1), délka s_{12} a směrník σ_{12}, můžeme určit souřadnice určovaného bodu P_2 (y_2, x_2) ze vztahů:

$$y_2 = y_1 + s_{12} \cdot \sin \sigma_{12} = y_1 + \Delta y_{12},$$

$$x_2 = x_1 + s_{12} \cdot \cos \sigma_{12} = y_1 + \Delta x_{12}.$$

Souřadnicové rozdíly vypočteme tedy ze vztahů:

$$\Delta y_{12} = s_{12} \cdot \sin \sigma_{12},$$

$$\Delta x_{12} = s_{12} \cdot \cos \sigma_{12}.$$

Směrník na určovaný bod σ_{12} se vypočte tak, že k jinému (známému) směrníku σ_{13} se připočte změřený vodorovný úhel ω mezi body 2 a 3. Známý směrník se může vypočítat tzv. orientací osnovy, která spočívá ve výpočtu průměrného orientačního posunu z více měřených vodorovných směrů na body o známých souřadnicích.

Je-li délka rajónu větší než 800 m, měří se vodorovné směry ve dvou skupinách. Délka rajónu nesmí být větší než nejvzdálenější orientace [1].

Z tabulky 13 je vidět maximální rozdíl vypočtených orientačních posunů, a to 0,0119^g.

Tab. 13: Výpočet orientačního posunu na stanovisku č. 4001

Stanovisko	Cíl	Směrník	Vodorovný směr	Orientační posun	Výsledný orientační posun
(číslo bodu)	(číslo bodu)	(gon)	(gon)	(gon)	(gon)
4001	914080260	264,7122	0,0000	264,7122	264,7086
	4002	233,9463	369,2332	264,7131	
	4003	261,6966	396,9888	264,7078	
	4004	306,6165	41,9153	264,7012	

Tab. 14: Výpočet souřadnic rajónu č. 4005

Stanovisko	Souřadnice stanoviska	Orientační posun	Vodorovný směr	Směrník	Vodorovná délka	Výsledné souřadnice bodu č. 4005
(číslo bodu)	(m)	(gon)	(gon)	(gon)	(m)	(m)
4001	Y = 715149,628	264,7086	274,6650	139,3736	27,476	Y = 715172,014
	X = 1028047,548					X = 1028031,618

6.3.4 Volné polární stanovisko

Výpočet souřadnic volného polárního stanoviska č. 5001 proběhl v programu Matlab, kde byl sepsán vlastní výpočetní skript. Do výpočtu vstupovaly souřadnice bodů PMS č. 4001, 4002, 4003, 4004 a 26 (TB), zpracovaná měření z registrovaných dat (vodorovné směry a vodorovné délky), přibližné souřadnice volného stanoviska, přibližný orientační posun na tomto bodě, váhové koeficienty a zvolená apriorní směrodatná odchylka.

Přibližné souřadnice byly vypočteny v programu Groma, kde byla využita výpočetní funkce *„Volné stanovisko“*, do které se zadaly pouze vodorovné směry na tři libovolné měřené body (protínání zpět). Protokol z tohoto výpočtu je obsažen v příloze 8. Přibližný orientační posun byl zvolen libovolně, a to nulovou hodnotou. Váhové koeficienty byly určeny na základě úhlové a délkové přesnosti použitého přístroje. Hodnota apriorní směrodatné odchylky se rovnala jedné.

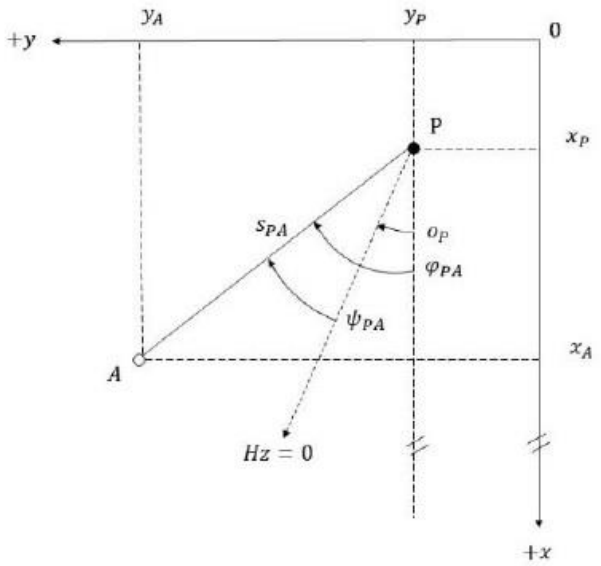
Pro výpočet byla použita metoda nejmenších čtverců (MNČ) pomocí zprostředkujících měření. Princip metody je dále uveden pomocí vzorců. Výpočetní skript a jeho výstupní soubor v textovém formátu jsou uvedeny v přílohách 9 a 10.

Vyrovnání zprostředkujících měření

Způsobu vyrovnání zprostředkujících měření se používá v případech, kdy hledané neznámé veličiny se neměří přímo, ale určují se prostřednictvím jiných měřených veličin, které jsou s neznámými ve známém vztahu. K vyrovnání dojde, jestliže máme nadbytečná měření, takže můžeme sestavit více rovnic, než je neznámých. Zprostředkující měření jsou zatížena nevyhnutelnými chybami, které se přenášejí i na odhady neznámých. Vyrovnáním se hledají nejspolehlivější hodnoty neznámých a jejich střední chyby, eventuálně vyrovnaná zprostředkující měření a jejich střední chyby. Podmínkou MNČ je $v^T \cdot P \cdot v = min.$

Parametry sítě:

- souřadnicový systém: S-JTSK,
- pracovní jednotky: metry, radiány,
- přesnost měřených směrů: 1,5 mgon,
- přesnost měřených délek: 3 mm + 2 ppm,
- apriorní směrodatná odchylka: $\sigma_0 = 1$,
- počet bodů v síti: 6 (914080260, 4001, 4002, 4003, 4004, 5001),
- počet neznámých parametrů: 3 (souřadnice + orientační posun),
- počet měřených směrů: 5,
- počet měřených délek: 4,
- rozměr matice plánu A: 9 x 3 (hodnost matice 3),
- počet nadbytečných měření: 6,
- způsob připojení sítě: vázaná síť.



Obr. 27: Grafické znázornění funkčních vztahů

Postup řešení [4], [12]:

Nejprve byl sestaven vektor měřených hodnot a vektor přibližných hodnot neznámých parametrů.

Poté byly sestaveny rovnice pro výpočet směrníku a délky ze souřadnic. Do těchto rovnic byly postupně dosazovány dané souřadnice orientačních bodů a přibližné souřadnice volného stanoviska č. 5001. Vypočtené směrníky a délky byly odečteny od měřených směrů a délek a tím byl vytvořen vektor redukovaných měření.

$$l = \begin{pmatrix} \psi_{PA} - arctg\dfrac{y_A - y_P}{x_A - x_P} \\ d_{PA} - \sqrt{(x_A - x_P)^2 + (y_A - y_P)^2} \end{pmatrix}$$

Dále byla sestavena matice vah, jejíž prvky byly voleny s ohledem na úhlovou a délkovou přesnost použitého přístroje.

$$p_\psi = \frac{\sigma_0^2}{\sigma_\psi^2}, p_d = \frac{\sigma_0^2}{\sigma_d^2}$$

V dalším kroku byla sestavena matice plánu, která obsahuje parciální derivace funkčních vztahů pro každý měřený bod podle neznámých parametrů. Dosazením daných a přibližných hodnot byla matice číselně vyjádřena.

Funkční vztahy:

$$\psi_{PA} - \left(arctg\frac{y_A - y_P}{x_A - x_P} - o_P\right) = 0,$$

$$d_{PA} - \sqrt{(x_A - x_P)^2 + (y_A - y_P)^2} = 0.$$

Matice plánu:

$$A = \begin{pmatrix} -\dfrac{x_A - x_P^0}{d_0^2} & \dfrac{y_A - y_P^0}{d_0^2} & -1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ -\dfrac{x_E - x_P^0}{d_0^2} & \dfrac{y_E - y_P^0}{d_0^2} & -1 \\ -\dfrac{y_B - y_P^0}{d_0^2} & -\dfrac{x_B - x_P^0}{d_0^2} & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ -\dfrac{y_E - y_P^0}{d_0^2} & -\dfrac{x_E - x_P^0}{d_0^2} & 0 \end{pmatrix}.$$

Z normálních rovnic byl vyjádřen přírůstek neznámých hodnot, který byl vypočítán pomocí matice plánu, vah a vektoru redukovaných měření. Tento přírůstek byl připočten k vektoru přibližných hodnot neznámých parametrů a tím byly získány vyrovnané hodnoty těchto parametrů.

$$(A^T \cdot P \cdot A) \cdot x - A^T \cdot P \cdot l = 0$$

$$x = (A^T \cdot P \cdot A)^{-1} \cdot A^T \cdot P \cdot l$$

Pro výpočet vyrovnaných hodnot měření byly zjištěny první opravy. Druhé opravy byly vypočteny tak, že vyrovnané hodnoty parametrů byly dosazeny do rovnic pro výpočet směrníku a délky a od těchto výsledků byly odečteny měřené hodnoty. Pro správnost vyrovnání se musí rozdíl oprav blížit nule.

$$v = A \cdot x - l$$

Nakonec byly vypočteny charakteristické přesnosti vyrovnání, mezi které patří aposteriorní směrodatná odchylka, která byla porovnána s volenou apriorní odchylkou. Aposteriorní směrodatná odchylka se rovná hodnotě 1,59.

$$\sigma'_0 = \sqrt{\frac{v^T \cdot P \cdot v}{n'}},$$

kde n‘ je počet nadbytečný měření (rozdíl počtu měření a počtu neznámých parametrů).

Dále kovarianční matice vyrovnaných neznámých parametrů a vyrovnaných měřených hodnot.

$$Q_{XX} = (A^T \cdot P \cdot A)^{-1}$$

$$Q_{LL} = A \cdot (A^T \cdot P \cdot A)^{-1} \cdot A^T$$

Z těchto matic byly zjištěny směrodatné odchylky výše vyjmenovaných hodnot a střední souřadnicová chyba vyrovnaných souřadnic volného stanoviska č. 5001. Střední souřadnicová chyb se rovná hodnotě 1 mm.

$$\sigma_{xy} = \sqrt{\frac{\sigma_x^2 + \sigma_y^2}{2}}$$

V rámci analýzy přesnosti bylo potřeba zjistit, zda aposteriorní směrodatná odchylka odpovídá předpokládané odchylce apriorní. Dle vzorce níže byl vypočten interval spolehlivosti s n‘ stupni volnosti pro aposteriorní odchylku. Kritické hodnoty mají rozdělení chí-kvadrát s hladinou významnosti α = 5 %.

$$P\left\{\sqrt{\frac{\chi^2_{n'}(1-\alpha/2)}{n'}} \leq \frac{\sigma'_0}{\sigma_0} \leq \sqrt{\frac{\chi^2_{n'}(\alpha/2)}{n'}}\right\} = 1 - \alpha$$

Ve výsledku bylo zkoumáno, zda se poměr směrodatných odchylek nachází ve vypočteném intervalu.

Z tabulky 15 je patrné, že se poměr odchylek nenachází v intervalu spolehlivosti. Tento nepříznivý fakt mohl být zapříčiněn krátkými délkami měřenými mezi volným stanoviskem a orientačními body.

Tab. 15: Analýza přesnosti

Apriorní směrodatná odchylka	Aposteriorní směrodatná odchylka	Poměr směrodatných odchylek	Interval spolehlivosti	Vyhovuje
1,00	1,59	1,59	(0,45 - 1,55)	NE

Tabulka 16 obsahuje přibližné a vyrovnané hodnoty neznámých parametrů spolu se směrodatnými odchylkami. Směrodatná odchylka v obou souřadnicích se rovná hodnotě 1 mm. Odchylka orientačního posunu dosahuje hodnoty 0,0007^{g}.

Tab. 16: Výsledky vyrovnání neznámých parametrů

Veličina	Přibližná hodnota	Vyrovnaná hodnota	Směrodatná odchylka
	(m/gon)	(m/gon)	(m/gon)
Y_{5001}	715081,667	715081,668	0,001
X_{5001}	1028025,508	1028025,509	0,001
Orientační posun	0,0000	261,5245	0,0007

V tabulce 17 jsou uvedeny měřené hodnoty, první a druhé opravy, vyrovnané hodnoty a směrodatné odchylky. V případě vodorovných směrů dosahuje maximální směrodatná odchylka hodnoty 0,0013^{g}, a v případě vodorovných délek 1 mm.

Tab. 17: Výsledky vyrovnání měřených veličin

Veličina	Měřená hodnota	První oprava	Druhá oprava	Vyrovnaná hodnota	Směrodatná odchylka
(směr/délka)	(gon/m)	(gon/m)	(gon/m)	(gon/m)	(gon/m)
$\psi_{914080260}$	0,0000	0,003156	0,003156	0,0032	0,0007
ψ_{4001}	218,5127	-0,000966	0,000966	218,5117	0,0012
ψ_{4002}	302,1924	0,000402	0,000402	302,1928	0,0011
ψ_{4003}	377,0222	-0,000829	-0,000829	377,0214	0,0011
ψ_{4004}	83,0584	0,001764	0,001764	83,0566	0,0013
d_{4001}	71,442	0,002351	0,002351	71,444	0,001
d_{4002}	53,019	-0,004376	-0,004376	53,015	0,001
d_{4003}	57,072	-0,005141	-0,005141	57,067	0,001
d_{4004}	51,589	-0,005687	-0,005687	51,583	0,001

6.4 Zhodnocení a porovnání metod pro výpočet souřadnic bodů PMS

V tabulce 18 jsou porovnány souřadnice bodů PMS určené polygonovým pořadem a rajónem se souřadnicemi z GNSS měření. Maximální rozdíl v souřadnicích dosahuje hodnoty 19 mm. V tabulce 19 jsou porovnány nadmořské výšky bodů PMS určené technickou nivelací a trigonometrickou metodou s výškami z GNSS měření. Největší odchylka nabývá hodnoty 58 mm. Z těchto hodnot lze usoudit, že měření metodou GNSS dává méně přesně výsledky, co se týče nadmořských výšek.

Tab. 18: Porovnání souřadnic

Bod	Polygonový pořad + Rajón		GNSS		Rozdíl	
(číslo bodu)	Y(m)	X(m)	Y(m)	X(m)	Y(m)	X(m)
4002	715110,273	1027980,874	715110,259	1027980,855	0,014	0,019
4003	715049,188	1027978,587	715049,170	1027978,574	0,018	0,013
4004	715042,224	1028058,751	715042,213	1028058,750	0,011	0,001
4005	715172,014	1028031,618	715172,011	1028031,635	0,003	-0,017

Tab. 19: Porovnání nadmořských výšek

Bod	Trigonometricky (nivelace)	GNSS	Rozdíl
(číslo bodu)	(m)	(m)	(m)
4001	182,346	182,295	0,051
4002	182,196	182,147	0,049
4003	182,579	182,537	0,042
4004	182,575	182,517	0,058
4005	182,245	182,207	0,038

6.5 Výpočet podrobných bodů

Výpočet podrobných bodů proběhl v programu Groma, kde byl nejdříve nastaven měřítkový koeficient pro převod naměřených délek do nulové hladiny a do Křovákova zobrazení. Dále byl vytvořen nový seznam souřadnic (formát CRD), do kterého byly postupně vloženy dané a vypočtené souřadnice bodů PMS. Do programu byl naimportován zápisník měření (formát ASC) všech naměřených dat, který byl následně uložen do seznamu měření (formát MES). Při importu zápisníku byly již všechny naměřené šikmé délky převedeny na délky vodorovné a opraveny právě o nastavený měřítkový koeficient. Seznam měření byl ještě hromadně zpracován a to tak, že byly zpracovány body, které byly měřeny ve dvou polohách dalekohledu a byla zpracována opakovaná měření (např. více měření stejných délek).

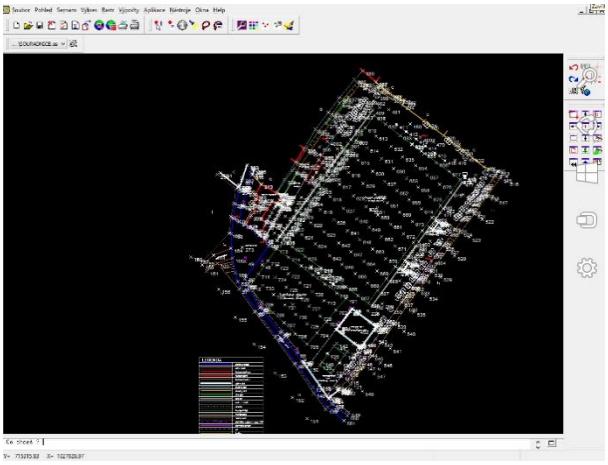
Pro hromadný výpočet souřadnic podrobných bodů byla použita funkce *„Polární metoda dávkou“*, ve které se zadal jako vstupní soubor seznam souřadnic a jako výstupní soubor seznam měření. Po stisknutí tlačítka *„Výpočet“* byly postupně po každém stanovisku počítány souřadnice podrobných bodů. Po výpočtu každého stanoviska se objevil dialog, ve kterém byly ukázány úhlové, délkové a výškové odchylky na měřené orientační body. Tyto odchylky byly kontrolovány kvůli možnému překročení mezních odchylek. Po výpočtu byl vygenerován výpočetní protokol, který je obsažen v příloze 13. Vypočtené souřadnice podrobných bodů byly automaticky uloženy do seznamu souřadnic, který byl následně vyexportován ve formátech STX (pro program Kokeš) a TXT (pro program Atlas DMT) pro grafické zpracování. Seznam měření a seznam souřadnic je uveden v příloze 11 a 12.

7 Grafické práce

7.1 Použité programy

7.1.1 Kokeš

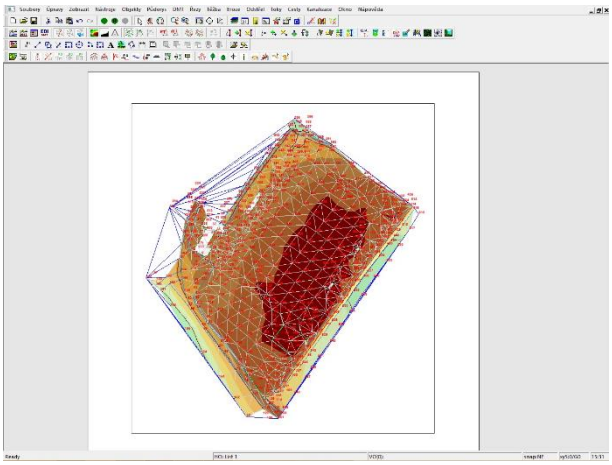
Kokeš je výpočetní a grafický systém, který zahrnuje editor rozsáhlých geografických dat uložených souborově ve výkresech, nejrůznějších rastrových podkladech a geodetických údajů o bodech uložených v seznamech souřadnic. Dále obsahuje moduly pro zpracování měření z terénu, geodetické a konstrukční výpočty, nástroje na kontroly a topologické úpravy dat atd. Je vhodným nástrojem pro všechny běžné geodetické práce a pro tvorbu a údržbu mapových děl. Program je vyvíjen společností Gepro. Vzhled programu je ukázán na obr. 28 [14].



Obr. 28: Prostředí programu Kokeš

7.1.2 Atlas DMT

Atlas DMT je výpočetní a grafický program, který je produktem společnosti Atlas. Jeho hlavním účelem je tvorba a upravování grafických výstupů nad digitálními modely terénu (DMT). Lze jej považovat za aplikaci typu CAD. Využívá se zejména pro řešení projektů v oblasti geodézie a kartografie, důlní a těžební činnosti, liniových staveb, ekologie a eroze, šíření signálu apod. Vzhled programu je ukázán na obr. 28 [6].



Obr. 29: Prostředí programu Atlas DMT

7.2 Tvorba mapy

Výkres mapy byl vytvořen v programu Kokeš, ve kterém byly nejdříve vhodně nastaveny parametry pro kresbu a případné konstrukční operace (např. redukce délek z nadmořské výšky a do zobrazovací roviny S-JTSK, tvorba protokolu atd.). Příslušné parametry byly nastaveny v záložce *„Nastavení programu“*. Pro tvorbu mapy byl založen soubor seznamu souřadnic (formát SS) a soubor výkresu pro vytváření samotné kresby (formát VYK). Při zakládání seznamu souřadnic byl nastaven příslušný souřadnicový systém (S-JTSK), pořadí souřadnic (Y-X) a jednotky (cm). Při zakládání výkresu byla nastavena obecná technologie kresby (WKOKES) a vztažné měřítko (1 : 1 000).

Do programu byl naimportován soubor (formát STX) se seznamem souřadnic všech pomocných a podrobných bodů, který byl vyexportován z programu Groma. Seznam souřadnic byl uložen do již vytvořeného seznamu v Kokeši (formát SS). Body byly zobrazeny v grafickém okně a byly označeny křížkem a vlastním číslem.

Než se začalo kreslit, bylo nutné dopočítat body, které nemohly být v terénu zaměřeny (např. body pravoúhlých výstupků). Pro zjištění polohy těchto bodů byly například použity oměrné míry, které byly naměřeny v terénu. Body byly dopočítány a kontrolovány pomocí výpočetních funkcí *„Konstrukční oměrné“*, *„Kontrolní oměrné“* a *„Průsečík přímka přímka“*. Nové body byly číslovány od č. 801 a automaticky ukládány do seznamu souřadnic. Při provádění výpočtů byl automaticky generován protokol, který obsahuje všechny početní operace a je uložen v příloze 14.

Dle měřického náčrtu z terénu byla vyhotovována mapa areálu. Pro kresbu byla částečně využita funkce *„Expert“*, která obsahovala předdefinované prvky v rámci nastavené obecné technologie WKOKES. Z funkce *„Expert“* byly použity převážně bodové znaky, mezi které patří například pomocný a výškový bod, sloup, lampa, hydrant atd. Liniové prvky obsažené v náčrtu byly kresleny pomocí funkce *„Tvorba linie“*, ve které byl nastaven soubor výkresu, vrstva, dále typ, tloušťka a barva čáry. Mezi liniové prvky se řadí například asfaltová a polní cesta, budova, rozhraní ploch, hranice hřiště, elektrické vedení, ploty atd. Podobně pomocí funkce *„Práce s textem“* byly tvořeny textové prvky, kterými byly popsány například čísla pomocných bodů, názvy významných ploch atd. Všechny bodové, liniové a textové prvky byly ukládány do příslušných vrstev. Přehled vrstev je popsán v tabulce 20.

Tab. 20: Přehled vrstev

Liniové prvky		Bodové prvky	
Prvek	Označení vrstvy	Prvek	Označení vrstvy
Asfaltová cesta	ASF_CES	Pomocný měřický bod	BOD
Polní cesta	POL_CES	Vodovodní studna	STUD
Zděná budova	BUD_ZED	Kovový sloup	SLOUP_KOV
Dřevěná budova	BUD_DREVO	Dřevěný sloup	SLOUP_DREVO
Plechová budova	BUD_PLECH	Lampa veřejného osvětlení	VOSS
Zděný plot	PLOT_ZED	Vodovodní podzemní hydrant	VODS
Drátěný plot	PLOT_DRAT	Kanalizační šachta	KANS
Dřevěný plot	PLOT_DREV	Kanalizační vpusť	KANS
Živý plot	PLOT_ZIVY	Místní světelná tabule	DOPS
Střecha	STRECH	Podrobný výškový bod	VYSBOD
Rozhraní ploch	ROZHR	Stožár elektrického vedení	ELES
Hranice pole	POLE_HRAN	Sloup elektrického vedení	ELES
Hranice hřiště	HRIS_HRAN	Strom	KUL
Elektrické vedení	ELENAD	Louka	KUL
Kovové zábradlí	ZABR_KOV	Orná půda	KUL
Dřevěná lavička	LAVI_DREV	Travnatá plocha	KUL
Terénní svah	SVAH	Zahrada	KUL
Terénní šrafy	SRAFY	-	-
Fotbalová síť	SIT	-	-
Obvod elektrického zařízení	ELEKTRO	-	-

V záložce *„Složené prvky“* byly využity některé speciální znaky jako jsou technické šrafy, šipka severky a síť křížků se souřadnicovými popisy. Některé body ve výkresu byly doplněny o nadmořské výšky, které byly redukovány o 180 metrů kvůli celkové přehlednosti. Jedná se zejména o hrací a tréninkovou plochu, na kterých byla měřena čtvercová síť.

Výkres byl doplněn o legendu výkresu, která byla vygenerována z již zmíněných složených prvků a vhodně upravena kvůli dobré čitelnosti a přehlednosti. Ve výkresu bylo vytvořeno popisové pole, které bylo vyplněno základními údaji o výkresu, zpracovateli a lokalitě. Výsledný výkres byl vytištěn ve formátu PDF v měřítku 1 : 1 000 (formát A3 na výšku) a uložen v příloze 19.

V Kokeši byl také vytvořen jednoduchý náčrt PMS. Výkres obsahuje pomocné body č. 4001- 4005, 5001 a trigonometrický bod č. 26, značky a popisy bodů, spojnice bodů, způsob stabilizace, síť křížků se souřadnicovými popisy, šipku severky a popisové pole se základními údaji. Kresba byla vytištěna ve formátu PDF v měřítku 1 : 2 000 (formát A4 na výšku) a je uložena v příloze 17.

7.3 Tvorba digitálního modelu terénu

Digitální model terénu byl vytvořen v programu Atlas DMT. Vstupním souborem byl textový soubor se seznamem souřadnic podrobných bodů z terénu. Výstupem je výkres DMT v měřítku 1 : 1 000.

7.3.1 Základní pojmy

Digitální Model Terénu (DMT)

DMT je prostorová plocha, která přibližně (podle kvality zadání) kopíruje skutečný (zaměřený) nebo projektovaný terén. Vzniká na základě zadaných 3D bodů nebo 3D čar. Zadanými body prochází plocha a mimo ně se dopočítává podle matematických vzorců tak, aby se blížila skutečnosti. Výpočet není založen na lineární interpolaci, ale modeluje hladký „oblý“ terén.

DMT je základem všech výpočtů, které Atlas provádí. Odvozením z DMT vznikají terénní profily (řezy), kubatury, vrstevnice, barevné výplně i 3D plochy.

Vstupní data

Hlavními zdroji dat pro vytváření (generování) DMT jsou textové soubory z geodetických zápisníků a výkresy ve formátu DXF. V obou případech je nutné mít některá data ve 3D (musí být zadána souřadnice Z).

Trojúhelníková síť

Základní zobrazení (reprezentace) DMT vzniká při jeho generaci a to tak, že Atlas zadané body spojuje do trojúhelníků, které se co nejvíce blíží trojúhelníkům rovnostranným. Uvnitř těchto trojúhelníků Atlas počítá výšku jinak (přesněji) než prostou interpolací. Spojnice mezi zadanými body jsou označovány jako hrany DMT.

Povinné spojnice (hrany)

Povinné spojnice zavádí uživatel, aby cíleně provedl změnu tvaru modelu. Model terénu je vytvářen způsobem, který vede k hladké ploše. Samotný terén ale obvykle obsahuje ostré zlomy, které jsou v modelu ošetřeny tak, že se zavádí terénní hrany.

Hrany je možné kreslit ručně přímo v Atlasu, a to v případě, že model je vytvořen z textového souboru.

Typy hran:

- *Lomové* – nejčastěji terénní hrany, pomocí nichž se modelují příkopy, okraje vozovek a ostré terénní zlomy. Lomové hrany způsobí ostrý zlom terénu v kolmém směru, podél hrany bude terén vyhlazen.
- *Povinné* – nevytvářejí ostré zlomy a v kolmém i příčném směru je terén vyhlazen. Používá se pro zvýraznění oblých hřebenů nebo údolí.
- *Ostrovní* – ohraničují uzavřeným polygonem plochu nazývanou ostrov, tj. oblasti, v níž se nevyhodnocují vrstevnice. Využívá se u staveb.
- *Přímé* – úsečky ve 3D. Hodí se pro modelování základnových jam a jiných umělých tvarů, kde je třeba docílit rovných ploch.

Obal

DMT musí být z výpočetních důvodů konvexní – tj. nesmí v něm být „zálivy“. Jde o takové části modelu, které musí být definovány, ale nejsou zaměřeny a jejich použití při výpočtech by znehodnotilo výsledky.

Atlas obal většinou správně rozezná již při generaci modelu. Jde o části, kde jsou body ve srovnání s většinou ostatních příliš daleko od sebe a při spojování sousedních bodů vznikají příliš „štíhlé“ trojúhelníky. Obal lze doladit ručně.

V místech DMT, která jsou definována jako „Obal“ neprobíhají žádná vyhodnocení – tj. nekreslí se vrstevnice, řezy jsou v nich přerušeny, do výpočtu kubatur není tato část zahrnuta.

Polygon

V Atlasu je za polygon považována jakákoliv uzavřená nebo otevřená lomená čára (vychází se z geodetické praxe). Používá se pro definici tras řezů a ohraničení oblasti, nad kterou probíhají různé funkce – výpočet kubatur, kreslení doplňkových vrstevnic apod.

List

Pracovní plocha, se kterou Atlas pracuje od založení nového výkresu s konkrétním rozměrem (např. formát A3). Velikost listu se volí při zakládání nového výkresu. Z rozměrů listu Atlas odvozuje relativní velikost textů, segmentů přerušovaných čar apod. na obrazovce. Velikost všech popisů a značek je zadávána v mm na „papíře“. Do listu se můžou kreslit přímo čáry, texty, tabulky atd.

Půdorys

Půdorys představuje okno v Listu, kterým je možné se dívat na model, rastr, importovanou kresbu atd. Modely terénu a další prvky, které jsou zadávány v jiné souřadnicové soustavě, než má List, je třeba vkládat do výkresu společně s Půdorysem nebo je vložit do Půdorysu již existujícího. Při vkládání modelu Atlas navrhne takové měřítko Půdorysu, aby se vešel na List. Půdorys má vždy zadané měřítko, které lze měnit.

Souřadnicové soustavy, měřítka

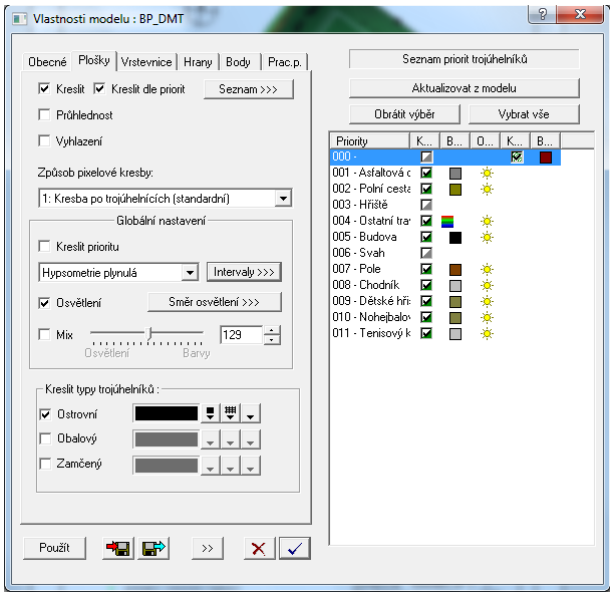
Výkres Atlasu obsahuje nejméně dvě souřadnicové soustavy – soustavu Listu (v mm) a soustavy vložených Půdorysů. Souřadnicové soustavy Půdorysů jsou označovány jako modelové a obvykle jsou určeny modelem, který je v půdorysu vložen.

Atlas umožňuje nastavení standardních souřadnicových systémů (S-JTSK, Kartézské). Vstupní data je možné zadávat v libovolných (místních) souřadnicích.

Měřítka jsou zadána v Půdorysech. Velikosti popisů, tloušťky a délky čar jsou zadány v milimetrech a nejsou závislé na měřítku. Výjimkou je popis (text), vložený v modelové soustavě do Půdorysu, jehož velikost je závislá na příslušném měřítku.

Priority

Součásti DMT (body, hrany, trojúhelníky) jsou opatřeny „Prioritou“ – atributem, který umožňuje rozlišovat části DMT (viz obr. 30). Lze tak například vymezit části DMT, kde se budou zobrazovat výplně (nebo kreslit vrstevnice apod.) [5].



Obr. 30: Přehled priorit

7.3.2 Postup tvorby

Při tvorbě modelu se postupovalo dle návodu [21].

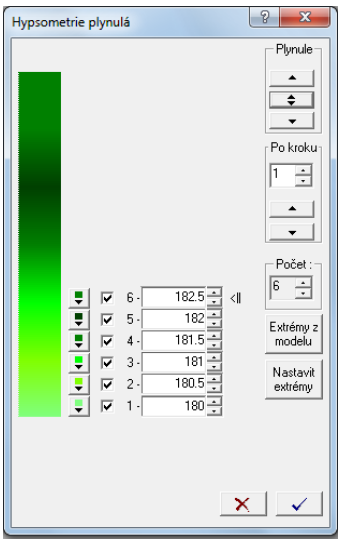
Po spuštění programu Atlas DMT byl založen nový výkres, ve kterém byla nastavena velikost stránky (A3 na výšku). Nastavený list výkresu byl zobrazen v grafickém okně.

Po použití funkce *„Generace modelu terénu“* se zobrazil dialog, do kterého byl přidán textový soubor se seznamem souřadnic podrobných bodů v požadované struktuře (CB Y X Z).

Touto operací byl automaticky vygenerován model, ke kterému se funkcí *„Založit i s půdorysem“* vytvořil půdorys, který byl vhodně umístěn do založeného výkresu.

Ve vlastnostech půdorysu bylo nastaveno měřítko 1 : 1 000. V tu chvíli výkres obsahoval pouze surový model s trojúhelníkovou sítí, který se musel upravit. Pomocí funkce *„Upravit obal modelu terénu“* byly upravovány hrany mezi body, které spolu nesouvisely, a kde by se neměly počítat vrstevnice. V oblasti obalu se vrstevnice negenerovaly.

Pro definování povinných hran byly zobrazeny body, které byly označeny značkou a příslušným číslem. Body bylo možno v průběhu úpravy různě editovat (přidávání, mazání atd.). Podle měřického náčrtu byly definovány jednotlivé hrany (lomové a ostrovní) přes funkci *„Vložit povinné hrany“*. Kvůli přehlednosti byla hranám přidělena libovolná barva. Při těchto úpravách byly automaticky upravovány tzv. pracovní vrstevnice (nevyhlazené), jejichž zobrazení bylo nastaveno ve vlastnostech modelu.



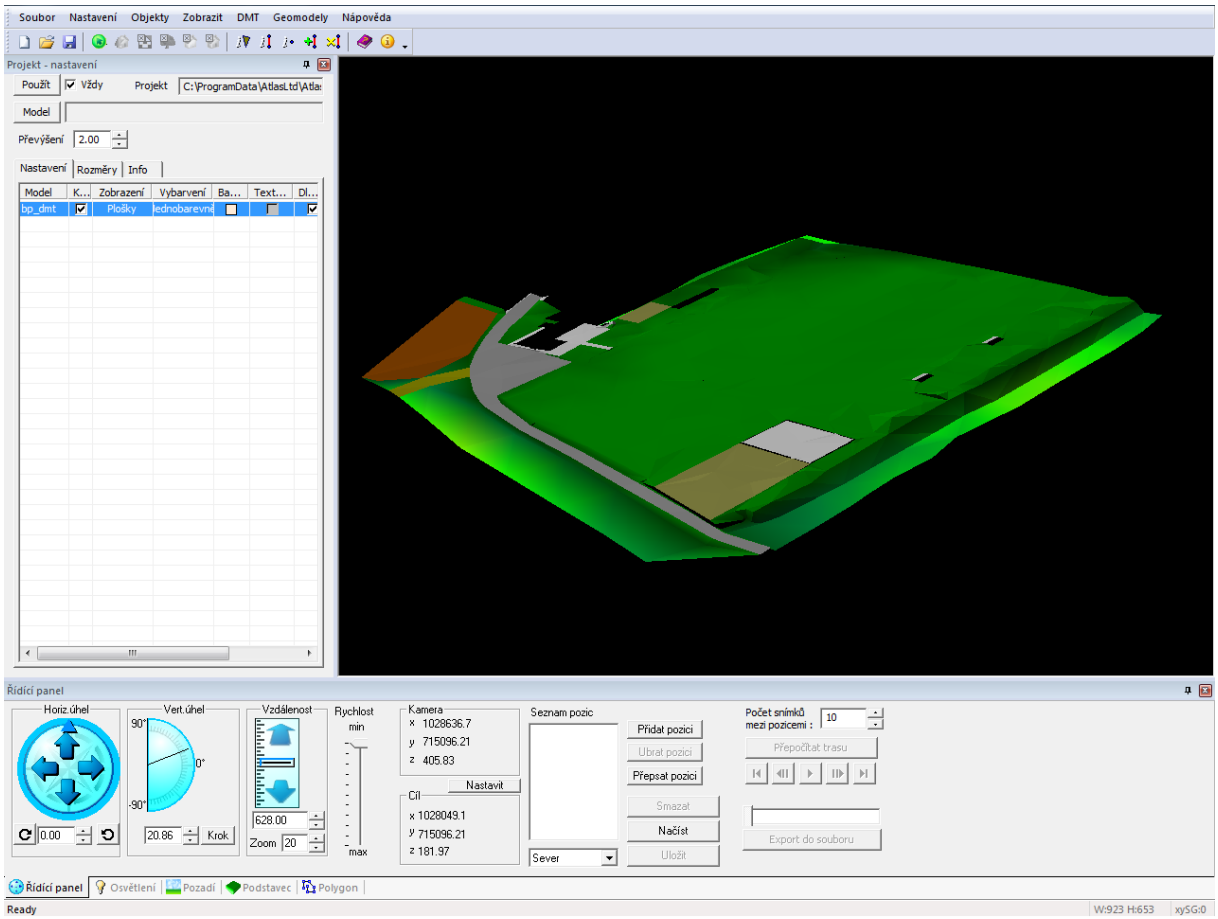
Obr. 31: Barevná hypsometrie

Pro tvorbu DMT byla jednotlivým trojúhelníkům přiřazena priorita, což je atribut, který umožňuje rozlišovat části DMT. Jednotlivým ploškám byla libovolně přidělena barva nebo barevně odstupňovaná hypsometrie podle skutečnosti (viz obr. 31).

Po editaci hran, plošek a bodů byly pomocí funkce *„Výpočet vrstevnic“* vygenerovány vrstevnice, které už oproti pracovním vrstevnicím byly vyhlazeny. Vyhlazení záviselo na zvoleném počtu dílků, který se dal nastavit před výpočtem vrstevnic. Vypočtené vrstevnice byly vizuálně vhodně upraveny (barvou, tloušťkou) a doplněny o popisy.

Výkres byl doplněn o polohopisné prvky, které byly tvořeny kreslícími prvky, mezi které patří úsečka, polygon, obdélník, kružnice atd. Kresba polohopisu probíhala dle měřického náčrtu podobně jako při tvorby mapy. Přes záložku *„Půdorys -> Objekty“* byla kresba doplněna technickými šrafami, šipkou severky a čtvercovou sítí se souřadnicovými popisy. Do oblasti mimo výkres byla vložena legenda a popisové pole. Po dokončení kresby byl výkres vytištěn ve formátu PDF v měřítku 1 : 1 000 (formát A3 na výšku) a je obsažen v příloze 20.

Pro zajímavost byl model pomocí funkce *„3D pohledy“* zobrazen v programu POGLedy (součást programu Atlas DMT), který slouží pro prohlížení DMT ve 3D (viz obr. 32). Program má řadu nastavení, s jejichž pomocí byl vytvořen výstup, který se podobá skutečnému terénu. Příloha 16 obsahuje fotografickou dokumentaci 3D modelu.



Obr. 32: Prostředí programu POGLedy

8 Závěr

Cílem bakalářské práce bylo vyhotovení mapy a digitálního modelu terénu sportovního areálu SK Jizera Předměřice ve vhodném měřítku v obci Předměřice nad Jizerou. Práce byla rozdělena na zaměření zájmové oblasti, zpracování naměřených dat a tvorbu mapy areálu a digitálního modelu terénu.

V zájmové oblasti byla vybudována pomocná měřická síť, která byla připojena na některé body polohové a výškové sítě, které se v dané lokalitě nacházely. Pro určení nadmořských výšek pomocných bodů ve výškovém systému Bpv byla použita nivelace a metoda trigonometrického určování výšek. Pro určení souřadnic pomocných a podrobných bodů v systému S-JTSK byla použita metoda GNSS a prostorová polární metoda. Pro nivelační měření byl použit přístroj Leica Sprinter 100 s nivelační latí obsahující čárový kód pro elektronické odečítání. Pro GNSS měření byl použit přijímač Spectra Precision EPOCH 35 včetně kontrolní jednotky Recon pro sběr dat. Pro polohopisné a výškopisné podrobné měření byla použita totální stanice Trimble M3, do které byla registrována naměřená data.

Nivelační měření bylo ručně zpracováno prostřednictvím formuláře, do kterého byly zapisovány hodnoty naměřené přímo v terénu. Nadmořské výšky pomocných bodů byly určeny z nivelačního měření a trigonometrickou metodou. Naměřené souřadnice pomocí GNSS přijímače byly zpracovány v programu Transform MAX, kde byly převedeny do systému S- JTSK. Data naměřená totální stanicí byla zpracována v programu Groma, kde také proběhl dávkový výpočet souřadnic podrobných bodů. Souřadnice pomocných bodů byly určeny polygonovým pořadem a výpočtem rajónu. Souřadnice volného stanoviska byly určeny metodou nejmenších čtverců, a to pomocí zprostředkujících měření v programu Matlab. Výsledkem všech výpočtů je seznam souřadnic pomocných a podrobných bodů.

Mapa byla vyhotovena v programu Kokeš, kde kresba probíhala na základě vypočtených podrobných bodů a měřického náčrtu, který byl ručně veden v terénu. Mapa obsahuje všechny polohopisné a výškopisné prvky, které se v zájmové oblasti nacházejí. Digitální model terénu byl vytvořen v programu Atlas DMT, kde vyhodnocování terénu probíhalo na základě podrobných bodů s nadmořskou výškou. Model obsahuje kromě polohopisných prvků také barevně odstupňované plochy na základě skutečnosti a dále vrstevnice.

Během měřických prací v terénu nenastaly žádné potíže, co se týče přístrojového vybavení a dalších jiných okolností. Při výpočetních operací nedošlo ani v jednom případě k překročení stanovených mezních odchylek, tudíž lze celé měření považovat za úspěšné a správně provedené.

Výsledkem bakalářské práce je výkres mapy areálu a digitálního modelu terénu v měřítku 1 : 1 000. Všechny výsledky měřických, výpočetních a grafických prací jsou součástí této práce v podobě příloh. Některé důležité hodnoty jsou vypsány v přehledných tabulkách, které se nacházejí v příslušných kapitolách.

Tato práce svým obsahem poukazuje na to, co bylo po dobu bakalářského studia na vysoké škole probíráno. Důkazem je použití většího množství měřických a výpočetních metod, než by bylo v běžné praxi nutné. Při tvorbě této práce byly používány různé přístroje a počítačové programy, což může vést k získání nových zkušeností a poznatků.

Seznam použitých zdrojů a literatury

[1] RATIBORSKÝ, Jan. *Geodézie 10*. 2. vydání Praha: České vysoké učení technické, 2005. ISBN 80-01-03332-5.

[2] RATIBORSKÝ, Jan. *Geodézie 2*. 1. vydání Praha: České vysoké učení technické, 2006. ISBN 80-01-02635-3.

[3] BLAŽEK, Radim, SKOŘEPA Zdeněk. *Geodézie 3*. 2. vydání Praha: České vysoké učení technické, 2006. ISBN 80-01-03100-4.

[4] SKOŘEPA, Zdeněk. Geodézie 4. 1. vydání České vysoké učení technické, 2014. ISBN 978-80-01-05481-9.

[5] PACINA, Jan, BREJCHA, Marcel. *Digitální modely terénu*. Ústí nad Labem: Univerzita J. E. Purkyně, Fakulta životního prostředí, 2014. ISBN 978-80-7414-848-4 (online: pdf)

Dostupné internetové zdroje:

[6] Atlas [online]. Dostupné z: http://www.atlasltd.cz/atlas-dmt.html [cit. 2017-05-14]

[7] Brožura vydaná k 85. výročí SK Jizera Předměřice [online]. Dostupné z: http://www.predmericenadjizerou.cz/aktuality/85_let_fotbalu.pdf [cit. 2017-05-14]

[8] Geoobchod [online]. Dostupné z: http://geoobchod.cz/geodeticke-programy-transform-max-verze-3-C-230-D-1191.html

[9] Geoprohlížeč – *Geoportál ČÚZK* [online]. Dostupné z: http://geoportal.cuzk.cz/geoprohlizec/ [cit. 2017-05-14].

[10] Geotronics [online]. Dostupné z: http://geotronics.cz/wp-content/uploads/2016/05/022543-155J-CZE_TrimbleM3_DS_A4_0414_LR-00000002.pdf [cit. 2017-05-14].

[11] Groma – Geodetický software [online]. Dostupné z: http://www.groma.cz/cz/groma]. [cit. 2017-05-08].

[12] IngGeo – portál inženýrské geodézie [online]. Dostupné z: http://inggeo.fsv.cvut.cz/wiki/doku.php?id=04_teorie_chyb [cit. 2017-05-14].

[13] Klub SK Jizera Předměřice [online]. Dostupné z: http://www.predmericenadjizerou.cz/sk_jizera.htm [cit. 2017-05-14]

[14] Kokeš. *Gepro spol. s r.o.* [online]. Dostupné z: http://www.gepro.cz/produkty/kokes/ [cit. 2017-05-08].

[15] Mapy [online]. Dostupné z: www.mapy.cz [cit. 2017-05-14].

[16] Mathworks [online]. Dostupné z: https://www.mathworks.com/products/matlab.html [cit. 2017-05-14]

[17] Obec Předměřice nad Jizerou [online]. Dostupné z: http://www.predmericenadjizerou.cz/obec.htm [cit. 2017-05-14].

[18] Spectra Precision [online]. Dostupné z: http://www.spectraprecision.com/ [cit. 2017-05-14]

[19] Gefos-Leica [online]. Dostupné z: http://www.gefos-leica.cz/ftp/Sprinter/SPRINTER100-100M_User_1-1-0cs_final.pdf [cit. 2017-05-14].

[20] Úvod do GNSS [online]. Dostupné z: ftp://athena.fsv.cvut.cz/EMEG/uvodGNSS.pdf [cit. 2017-05-14].

[21] Zjednodušený návod k programu Atlas DMT [online]. Dostupné z: http://k154.fsv.cvut.cz/~skorepa/Navod_Atlas_DMT_4_20_8.pdf [cit. 2017-05-14].

Seznam obrázků

Obr. 1: Poloha obce [15] 11
Obr. 2: Letecký pohled na obec [17] 11
Obr. 3: Znak klubu 13
Obr. 4: Slavnostní otevření hřiště v roce 1978 [7] 13
Obr. 5: Současné složení týmu mužů 14
Obr. 6: Zájmová oblast [15] 16
Obr. 7: Nivelační přístroj Leica Sprinter 100 17
Obr. 8: Totální stanice Trimble M3 18
Obr. 9: GNSS přijímač + kontrolní jednotka Recon 19
Obr. 10: Místní bodové pole a pomocná měřická síť (PMS) [15] 20
Obr. 11: Nivelační měření [15] 22
Obr. 12: Princip technické nivelace 23
Obr. 13: Princip polní zkoušky 24
Obr. 14: Princip RTK metody 25
Obr. 15: Síť referenčních stanic CZEPOS 25
Obr. 16: Polární metoda – polohopisná složka 27
Obr. 17: Polární metoda – výškopisná složka 28
Obr. 18: Princip konstrukčních oměrných 28
Obr. 19: Prostředí programu Transform MAX 29
Obr. 20: Prostředí programu Groma 29
Obr. 21: Prostředí programu Matlab 30
Obr. 22: Matematické redukce 33
Obr. 23: Dialog pro výpočet měřítkového koeficientu 34
Obr. 24: Trigonometrické určení výšky 35
Obr. 25: Uzavřeny polygonový pořad 36
Obr. 26: Výpočet rajónu 39
Obr. 27: Grafické znázornění funkčních vztahů 41
Obr. 28: Prostředí programu Kokeš 47
Obr. 29: Prostředí programu Atlas DMT 47
Obr. 30: Přehled priorit 52
Obr. 31: Barevná hypsometrie 53
Obr. 32: Prostředí programu POGLedy 54

Seznam tabulek

Tab. 1: Technické parametry nivelačního přístroje [19] 17
Tab. 2: Technické parametry totální stanice [10] 18
Tab. 3: Technické parametry GNSS přijímače [18] 19
Tab. 4: Atmosférické údaje pro fyzikální redukce 26
Tab. 5: Výpočet převýšení z nivelačního měření 30
Tab. 6: Výpočet nadmořské výšky bodu č. 4001 31
Tab. 7: Kontrola vzájemné stability nivelačních bodů 31
Tab. 8: Výsledné souřadnice z GNSS měření 31
Tab. 9: Výsledné vodorovné vzdálenosti mezi body PMS 33
Tab. 10: Výpočet nadmořské výšky bodů č. 4002-4005 34
Tab. 11: Výpočet nadmořské výšky volného polárního stanoviska č. 5001 35
Tab. 12: Výsledné souřadnice bodů polygonového pořadu 38
Tab. 13: Výpočet orientačního posunu na stanovisku č. 4001 39
Tab. 14: Výpočet souřadnic rajónu č. 4005 40
Tab. 15: Analýza přesnosti 44
Tab. 16: Výsledky vyrovnání neznámých parametrů 44
Tab. 17: Výsledky vyrovnání měřených veličin 44
Tab. 18: Porovnání souřadnic 45
Tab. 19: Porovnání nadmořských výšek 45
Tab. 20: Přehled vrstev 49

Seznam příloh

Příloha 1: Geodetické údaje trigonometrického bodu č. 26
Příloha 2: Nivelační údaje výškových bodů Cg2-24 a Cg2-26
Příloha 3: Zápisníky pro technickou a plošnou nivelaci
Příloha 4: Technická zpráva – určování bodů S-JTSK metodou GNSS
Příloha 5: Protokol určení bodů technologií GNSS
Příloha 6: Zpracování orientačního měření
Příloha 7: Výpočet souřadnic bodů polygonového pořadu
Příloha 8: Výpočet přibližných souřadnic volného stanoviska č. 5001
Příloha 9: Výpočetní skript z programu Matlab
Příloha 10: Výsledky skriptu z programu Matlab
Příloha 11: Seznam měření
Příloha 12: Seznam souřadnic
Příloha 13: Protokol o výpočtu souřadnic podrobných bodů – Groma
Příloha 14: Protokol o výpočtu souřadnic podrobných bodů – Kokeš
Příloha 15: Fotografická dokumentace sportovního areálu
Příloha 16: Fotografická dokumentace 3D modelu
Příloha 17: Náčrt pomocné měřické sítě
Příloha 18: Měřický náčrt
Příloha 19: Výkres mapy
Příloha 20: Výkres digitálního modelu terénu