ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ

STUDIJNÍ PROGRAM
GEODÉZIE A KARTOGRAFIE

STUDIJNÍ OBOR
GEODÉZIE, KARTOGRAFIE A GEOINFORMATIKA

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
GEODETICKÉ ZAMĚŘENÍ SOFTBALOVÉHO HŘIŠTĚ

Vedoucí práce: Dr. Ing. Zdeněk Skořepa

Katedra speciální geodézie

Květen 2021

Jakub BECK

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

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: B E C K Jméno: Jakub Osobní číslo: 486133

Zadávající katedra: Speciální geodézie

Studijní program: GEODÉZIE A KARTOGRAFIE

Studijní obor: Geodézie, kartografie a geoinformatika

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Geodetické zaměření softbalového hřiště

Název bakalářské práce anglicky: Geodetic measurement of the softball field

Pokyny pro vypracování:
Na základě rekognoskace terénu v zájmové lokalitě stabilizovat pomocné měřické body, určení souřadnic těchto bodů technologií GNSS RTK, zaměření podrobných bodů předmětů měření (výškově určované body polohopisu a terénní body), úprava měření před výpočty, výpočet souřadnic a nadmořských výšek volných polárních stanovisek a podrobných bodů. Na několika vybraných podrobných bodech vypočítat přesnost souřadnic (charakteristikou přesnosti je směrodatná odchylka souřadnicová), vyhotovení účelové mapy (vztažné měřítko 1 :500) a 3D modelu hřiště.

Seznam doporučené literatury:

/1/ SKOŘEPA, Z.: Geodézie 4. Dotisk 1. vydání. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, ČVUT v Praze, 2017. 132 s. ISBN 978-80-01-05481-9.

Jméno vedoucího bakalářské práce: Dr. Ing. Zdeněk Skořepa

Datum zadání bakalářské práce: 16. 2. 2021 Termín odevzdání bakalářské práce: 16. 5. 2021
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".

24. 2. 2021
Datum převzetí zadání

[redacted]
Podpis studenta(ky)

Abstrakt

Bakalářská práce Geodetické zaměření softbalového hřiště se zabývá geodetickým zaměřením nově zrekonstruovaného softbalového hřiště v Chomutově. Součástí je samotné měření podrobných bodů, zpracování měření v programech Groma a Matlab. Výstupem jsou výkresy a modely terénu areálu v programech Kokeš a Atlas DMT ve vztažném měřítku 1:500.

Klíčová slova

Vyrovnání MNČ, vyrovnávací rovina, volné stanovisko

Abstract

Bachelor's thesis Geodetic survey of the softball field deals with the geodetic survey of the newly reconstructed softball field in Chomutov. It includes the measurement of detailed points, processing of measurements in the Groma and Matlab programs. The output are drawings and terrain models of the area in the Kokeš and Atlas DMT programs on a reference scale.

Keywords

Adjustment MSE, adjustment plane, temporary free station

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně pod odborným vedení vedoucího práce Dr. Ing. Zdeňka Skořepy.

Dále prohlašuji, že všechny použité zdroje jsou v seznamu použité literatury.

V Chomutově 12. 5. 2021 *Jakub Beck*

Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucímu bakalářské práce Dr. Ing. Zdeňku Skořepovi za odborné vedení a vstřícnost při zpracování. Dále bych chtěl poděkovat Petru Latiňákovi za zapůjčení geodetického vybavení. Ještě bych chtěl poděkovat všem z rodiny a přátel, kteří mě podporovali.

Obsah

1 Úvod ... 7
2 Softball ... 8
3 Hřiště ... 9
4 Hřiště v Chomutově ... 10
5 Práce v terénu ... 11
5.1 Rekognoskace terénu ... 11
5.2 Použité přístroje ... 12
5.3 Měření ... 14
5.3.1 První den ... 14
5.3.2 Druhý den ... 15
5.3.3 Třetí den ... 16
5.3.4 Čtvrtý den ... 18
6 Zpracování zápisníku měření ... 19
7 Výpočetní postupy ... 20
7.1 Polární metoda ... 20
7.2 Trigonometrický výpočet výšek ... 21
7.3 Volné polární stanovisko ... 22
7.4 Vyrovnávací rovina ... 28
8 Zpracování výsledků ... 31
8.1 Kokeš ... 31
8.2 Atlas DMT ... 31
Závěr ... 32
Použitá literatura ... 33
Seznam obrázků ... 34
Seznam tabulek ... 35
Seznam příloh ... 36

1 Úvod

Tato bakalářská práce se zabývá geodetickým zaměřením nově zrekonstruovaného softbalového hřiště v Chomutově.
Toto téma jsem si vybral z toho důvodu, že na hřišti trávím mnoho času jako hráč a trenér. Dalším důvodem byla samotná výstavba nového softbalového hřiště, která se, vzhledem k malému rozsahu tohoto sportu, neděje často.
Samotné měření bylo prováděno za dohledu pana Petra Latiňáka z firmy Geodetické práce Chomutov, který mi zapůjčil přístrojové vybavení, a i přes nepřízeň počasí mi pomáhal při měřických pracích. Geodetické práce byly zpracovány v závazných systémech S-JTSK a Bpv.

Bakalářská práce je rozdělena na 3 části. První část je věnována měření, kde jsou popsány jednotlivé měřické dny a použité přístroje. Obsahem je také počáteční seznámení s tematikou.
Druhá část se zabývá číselným vyhodnocení měření, kde je popsán výpočet volného polární stanoviska pomocí metody nejmenších čtverců, vodorovné roviny a geodetických úloh.
Poslední část obsahuje zpracování souřadnic v grafických programech Kokeš a Atlas DMT a tisk výsledných výkresů map ve vztažném měřítku 1 : 500.

2 Softball

Softball je kolektivní pálkovací hra, která je odvozená od baseballu, a tedy mu je podobná. Softball byl původně vymyšlen jako jednodušší verze baseballu pro ženy nebo pro místa, kde není prostor na velké basebalové hřiště. Co mají společného?

Hraje se ve 2 týmech po 9 hráčích. Hraje se na takzvané směny, kdy jeden tým polovinu směny brání a druhý tým útočí, v půlce se vymění. Získat bod je možné pouze při útoku. Útočící hráč (pálkař) se snaží trefit míč hozený nadhazovačem. Cílem hry je trefit míč tak, aby ho obránci nechytili a útočník oběhl 4 mety, čímž dostane 1 bod.

Obránci jsou rozděleni na 3 typy. Nadhazovač, chytač a polař. Nadhazovač hází míč proti pálkaři do imaginárního obdélníku mezi koleny a lokty takovým způsobem, aby bylo pálení pro pálkaře co nejtěžší. Za pálkařem sedí chytač, který chytá nadhozy od nadhazovače, které pálkař netrefil. Pokud pálkař míč trefí, je úkolem polařů míč chytit a pálkaře vyřadit, buďto se pálkaře míčem dotknout nebo dostat míč na metu dříve, než tam pálkař doběhne. Vyhrává tým, který za 7 směn dá více bodů.

Nejzřetelnější rozdíly mezi softballem a baseballem jsou způsob nadhozu, délka hřiště a vzdálenosti v něm. Dále je mnoho rozdílů v pravidlech, ale těch si divák moc nevšimne.

Softball, jakožto oficiální sport, byl představen v roce 1926 v USA, ale už 40 let byl hrán jako méně nákladný baseball. Od roku 1965 se pravidelně pořádají mistrovství světa pro muže i ženy, na LOH 2021 v Tokiu bude softball jako jeden ze sportů.

Česká republika je v softballových kruzích brána jako jedna z nejlepších zemí na světě. Od přelomu milénia má mužská reprezentace více než 10 medailí z mistrovství Evropy a z roku 2019 8. místo z mistrovství světa, ženská reprezentace má 4 medaile z mistrovství Evropy.

Díky těmto výkonům si Česká republika vysloužila pořádání mistrovství světa mužů v Praze a Havlíčkově Brodě v roce 2019.

3 Hřiště

Softballové hřiště má podle [1] tvar čtvrtiny kruhu, kde se poloměr liší podle kategorií, viz obr. 1.

Velikost hřiště a vzdálenosti v něm nejsou pevně dané, kromě výjimek jako vzdálenost met a výchozí vzdálenost nadhazovače od pálkaře.

Vzdálenost mezi domácí metou a *homerunovým* plotem (poloměr kruhu) je rozdílná podle věkové/genderové kategorie hráčů (ženy, muži, kadeti, kadetky, žáci, žákyně). Pro mužskou soutěž je vzdálenost plotu 76,20 m. Vzdálenost nadhazovacího prkna od domácí mety je opět rozlišena podle kategorie. Pro mužskou soutěž je vzdálenost 14,02 m.

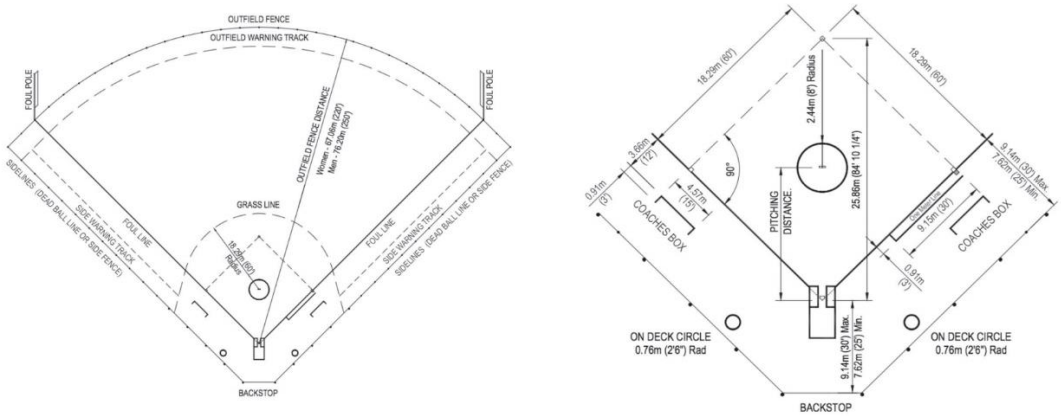
Vzdálenost mezi metami je konstantní pro všechny kategorie, a to 18,29 m do tvaru čtverce.

Hřiště dále obsahuje na obou stranách bezpečnostní pruhy mezi hrací plochou a plotem, který označuje zámezí, s rozměry mezi 7,62 m a 9,14 m.

Hřiště je rozděleno na vnitřní a vnější, kde vnitřní je antukové a vnější je travnaté. Hranice je dána jako kružnice se středem v nadhazovacím prkně a o poloměru 18,29 m.

Délky jsou převzaté z americké délkové míry.

V praxi jsou rozměry brány jako doporučené, kde pevně dané jsou vzdálenosti mezi metami a vzdálenost nadhazovacího prkna. Ostatní vzdálenosti (hlavně vzdálenost *homerunových* plotů) se liší podle stavebních možností a jsou kompenzovány například výškou *homerunového* plotu.



Obrázek 1 Softbalové hřiště a jeho rozměry

4 Hřiště v Chomutově

Chomutovské hřiště se nachází v ulici Bezručova 2779/91, 430 03 Chomutov.
Od konce roku 2018 do poloviny roku 2021 prošlo kompletní přestavbou.
Nyní hřiště vyhovuje všem regulím pro pořádání velkých turnajů.
V areálu se nyní nachází 2 propojená hřiště, jejichž součástí je hrací plocha, betonové střídačky (dug outy), výsledkové tabule, zázemí pro rozhodčí a zapisovače skóre. Dále rozšířená tribuna, budova se šatnami, barem a administrativou, světla pro umožnění večerních utkání, rozcvičovací plocha a tréninkové pálicí tunely.
Pro potřeby blízké základní školy je v areálu tartanová dráha určená pro sprint na 60 m, tartanový rozběh a pískové doskočiště pro skok daleký a antukový ovál pro delší tratě.

Obrázek 2 Softbalový areál Chomutov (foto z dronu) [8]

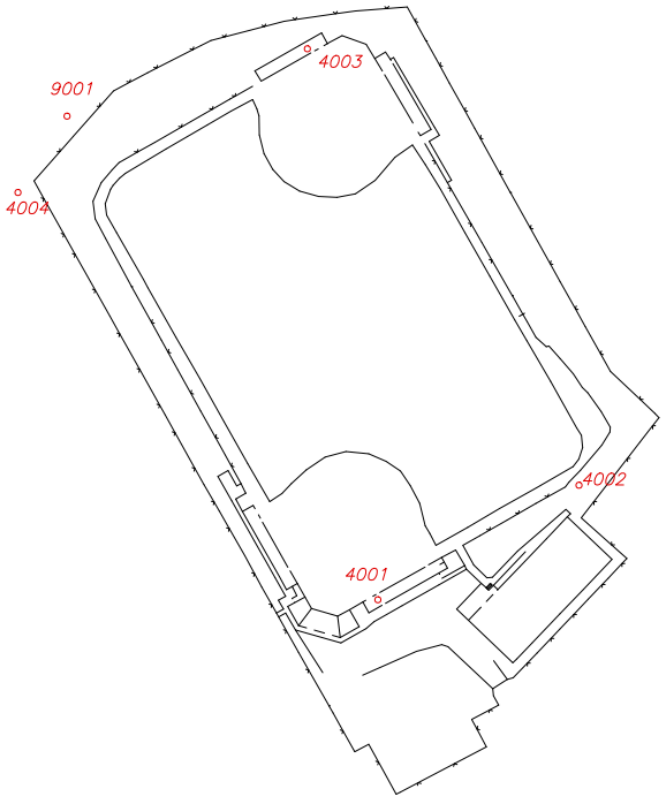
5 Práce v terénu

5.1 Rekognoskace terénu

Na stavbě a jejím okolí byla provedena rekognoskace terénu. Hlavním úkolem rekognoskace bylo nalezení vhodného místa pro stabilizaci pomocných měřických bodů a nalezení místa pro volná stanoviska s co největším rozhledem po areálu. Původně bylo zamýšleno, že pomocné měřické body budou mimo areál. Vzhledem k hustému oplocení areálu a porostu mimo areál by nebyla zajištěna vzájemná viditelnost ani viditelnost ze všech bodů na volná stanoviska.

Byly tedy vybrány body uvnitř areálu viz obr. 3, které byly výše položené a zároveň pokrývaly rohy areálu. Bod *4001* byl stanoven na hlavě šroubu na tribuně v jižní části areálu. Bod *4002* byl zřízen v jihovýchodní části areálu. Bod *4003* byl stanoven na hlavě šroubu na tribuně v severní části areálu. Bod *4004* byl zřízen mimo areál na asfaltové cestě označeným bílým kamínkem zapuštěným v asfaltu v severozápadní části.

Bod 9001 je zhušťovací bod č. 202.



Obrázek 3 Pomocné měřické body

5.2 Použité přístroje

Datum měření: 3.2., 9.2. a 11.2.2021

GNSS přijímač: Trimble R8s, číslo 5606R0144,1 ver.fw: 5.37

Obrázek 4 Trimble R8s [2]

Technologie sledování družic		Trimble 360
Počet kanálů		440
Sledované družice		GPS, Glonass,
		Galileo, BeiDou, SBAS
Přesnost měření RTK	polohová	8mm + 1ppm
	vertikální	15mm +1ppm
Váha	Anténa	1,52 kg
	Výtyčka s kontrolerem	3, 81 kg

Tabulka 1 Parametry Trimble R8s [3]

Totální stanice: Trimble S6 5 DR Plus, číslo 93210276, ver. fw: R12.5.54

Obrázek 5 Trimble S6 [4]

Měření délek	dosah na hranol	0,2m až 2500 m
	přesnost	2mm + 2ppm
Měření směrů	přesnost	1'' (0,3mgon)
Dalekohled	zvětšení	30x
Kompenzátor	typ	dvouosý
	rozsah	5,4'
Váha		5,25
Pracovní teplota		-20°C až 50°C

Tabulka 2 Parametry Trimble S6 [5]

Polní kontroler: Survey Controller SW: 3.10

Výtyčka a odrazný hranol Trimble.

Datum měření: 14.4.2021

Totální stanice: Trimble M3 číslo C652356

Obrázek 6 Trimble M3 [6]

Měření délek	Dosah na hranol	1,5m až 3000m
	Přesnost měření	2mm + 2ppm
Měření směrů	Přesnost měření	5'' (1,5mgon)
Dalekohled	Zvětšení	30x
Kompenzátor	Typ	dvouosý
	Rozsah	3,5'
Hmotnost		4,2kg
Pracovní teplota		-20°C až 50°C

Tabulka 3 Parametry Trimble M3 [7]

Výtyčka a odrazný hranol Leica.

5.3 Měření

Měření bylo rozděleno na 4 etapy, kdy každá připadla na jeden den. Vzhledem k vytíženosti místních geodetických firem a nemožnosti zapůjčení geodetického vybavení na fakultě bylo měřeno 3. 2., 9. 2. a 11. 2. 2021, zároveň bylo měření v terénu ztíženo vysokým sněhem v areálu a nízkou teplotou. Potřebné doměření bylo provedeno 14.4.2021 přístrojovým vybavením zapůjčeným na FSv.
Všechny orientace jsou měřeny ve dvou polohách a podrobné body jsou měřeny v jedné poloze.

5.3.1 První den

Lokalita: Softballové hřiště Chomutov
Teplota: 4.5 °C
Tlak: 960 hPa
Povětrnostní podmínky: silný vítr
Počasí: slabé sněžení, ke konci mlha

Během prvního dne byly určeny souřadnice pomocných měřických bodů *4001–4004*, viz tabulka 4, a stanoviska *4500* pomocí technologie GNSS – RTK viz obr. 4, a to s využitím dvou měření s odstupem 1 hodiny – viz tab. 1 výsledné souřadnice jsou určeny jako průměr.

Tabulka 4 Souřadnice pomocných měřických bodů

Č. b.	Y[m]	X[m]	H[m]
4001	809 075,480	990 490,412	367,697
4002	809 026,040	990 459,644	364,532
4003	809 092,693	990 355,406	367,660
4004	809 163,629	990 390,616	366,114
9001	809 151,580	990 371,849	366,575

Dodatečně byl zaměřen ještě další pomocný měřický bod číslo *4005*.

5.3.2 Druhý den

Lokalita: Softballové hřiště Chomutov

Teplota: 1,5 °C

Tlak: 982 hPa

Povětrnostní podmínky: bezvětří

Počasí: zataženo

Z přechodného (volného) polárního stanoviska *4501* byly zaměřeny zaprvé orientace (směry, délky) na body *4001*, *4003*. *4004*, *4005*, zadruhé bylo zaměřeno 501 podrobných bodů převážně ze severní časti areálu. Při automatickém režimu měření totální stanice bylo použito několik modů měření - volné měření pro viditelné pozemní hrany, automatické odečítání při zastavení pro zaměření hrací plochy, odsazování délkové či úhlové pro zaměření rohů budov či stromů. Problémy se vyskytly pouze oblastech se stromy, kde se hranol totální stanici často ztrácel a musela se tedy měnit výška cíle. Zatřetí byl vytvořen pomocný měřický bod *4006*.
Byla zaměřena hrací plocha, vše na severní a západní straně areálu, kromě rozmezí antuky a trávy, které nebylo pod vrstvou sněhu vidět.

Dosažené přesnosti stanoviska *4501* z vyrovnání metodou nejmenších čtverců (MNČ)
Apriorní hodnota směrodatné odchylky jednotkové: 1
Empirická hodnota směrodatné odchylky jednotkové: 3,37
Směrodatná odchylka souřadnicová: 0,004 m
Parametry střední elipsy chyb volného polární stanoviska *4501*

Tabulka 5 Střední elipsa chyb bodu 4501

a	0,0038 m
b	0,0035 m
α	69,0445 gon

Výpočet parametrů viz rovnice 12

5.3.3 Třetí den

Lokalita: Softballové hřiště Chomutov

Teplota: 4,0 °C

Tlak: 974 hPa

Povětrnostní podmínky: slabý vítr

Počasí: zataženo a slabé sněžení

Bylo postaveno nové volné stanovisko, bod *4502*, které se nacházelo za tribunou na jižní straně areálu, kam nebylo vidět ze stanoviska uprostřed hřiště. Zorientováno bylo body *4001, 4002, 4005* a úhlově na kostel sv. Barbory. Bylo zaměřeno 62 bodů převážně zadní strany tribuny a prostoru za ní. Zároveň byl zaměřen pomocný bod *4007*.
Další stanovisko bylo postaveno na příjezdové cestě, bod *4503*. Bylo zorientováno na body *4002, 4502,4001*. Z tohoto stanoviska byla zaměřena budova a rozcvičovací plac.
Posledním stanovisko, bod *4504* bylo postaveno mimo areál. Bylo zorientováno na body *4002* a *4006* a byla z něho změřena zadní strana budovy a svah za ní.

Dosažené přesnosti stanoviska *4502* po vyrovnání

Apriorní hodnota směrodatné odchylky jednotkové: 1

Empirická hodnota směrodatné odchylky jednotkové: 2,70

Směrodatná odchylka souřadnicová: 0,003

Parametry střední elipsy chyb volného polární stanoviska *4502*

Tabulka 6 Střední elipsa chyb bodu 4502

a	0,0035 m
b	0,0026 m
α	178,688 gon

Dosažené přesnosti stanoviska *4503* po vyrovnání

Apriorní hodnota směrodatné odchylky jednotkové: 1

Empirická hodnota směrodatné odchylky jednotkové: 6.67

Směrodatná odchylka souřadnicová: 0,008

Parametry střední elipsy chyb volného polární stanoviska *4503*

Tabulka 7 - Střední elipsa chyb bodu 4503

a	0.0088 m
b	0.0063 m
α	52,5298 gon

Dosažené přesnosti stanoviska *4504* po vyrovnání

Apriorní hodnota směrodatné odchylky jednotkové: 1

Empirická hodnota směrodatné odchylky jednotkové: 9.28

Směrodatná odchylka souřadnicová: 0.025 m

Parametry střední elipsy chyb volného polární stanoviska *4504*

Tabulka 8 Střední elipsa chyb bodu 4504

a	0,0329 m
b	0,0116 m
α	188,3635 gon

5.3.4 Čtvrtý den

Lokalita: Softballové hřiště Chomutov

Teplota: 6,0 °C

Tlak: 989 hPa

Povětrnostní podmínky: slabý vítr

Počasí: zataženo

Bylo postaveno volné stanovisko uprostřed hřiště. Stanovisko bylo zorientováno na body *4001,4003,4004,9001*. Při zpracování byla zjištěna vyšší odchylka na bodě *4003* a bylo tedy vyloučeno ze zpracování. Bylo zaměřeno 79 bodů, kde většina bodů byla na rozmezí antuky a jiné plochy. Tyto body bylo potřeba doměřit, protože v předchozích dnech měření byly pod vrstvou sněhu.

Dosažené přesnosti stanoviska *4505* po vyrovnání

Apriorní hodnota směrodatné odchylky jednotkové: 1

Empirická hodnota směrodatné odchylky jednotkové: 5.28

Směrodatná odchylka souřadnicová: 0.016

Parametry střední elipsy chyb volného polární stanoviska *4505*

Tabulka 9 - Střední elipsa chyb bodu 4505

a	0,0182 m
b	0,0128 m
α	33,9033 gon

Poznámka: Při výpočtu souřadnicových směrodatných odchylek byly vždy použity empirické hodnoty směrodatné odchylky jednotkové.

6 Zpracování zápisníku měření

Z měření v terénu je k dispozici elektronický zápisník měření.

V programu Groma bylo určeno měřítko zobrazení m = 0,999904525 a měřítkový koeficient pro redukci délek z nadmořské výšky: $R/(R + H)$ = 0,99994255, R = 6 381 km. Výchozím bodem pro výpočet byl bod *9001* se souřadnicemi

Y[m]	X[m]	H[m]
809 151,57	990 371,93	366,60

Výsledný koeficient je **0,99984708.**

Měřené šikmé délky byly redukovány na rovinné délky v S-JTSK, následně došlo k odstranění chyb v zápisníku, například chyba ve výšce signálu nebo kódu. Zápisník byl vyhodnocen pomocí funkcí v programovém systému Groma. Na výpočet souřadnic a výšek všech volných stanovisek byl použit vlastní skript z Matlabu - viz příloha 4. Bylo aplikováno vyrovnání MNČ, přibližné souřadnice volného polárního stanoviska byly určeny v Gromě pomocí shodnostní transformace. Nadmořské výšky byly vypočítány trigonometricky, odděleně, jako průměr z měření na jednotlivé orientace.

Vzhledem k rozdílným počtům orientací a měření musel být skript pro každou konfiguraci upraven. Součástí skriptu je: 1. redukce délek, byla provedena kontrola se zpracovaným zápisníkem měření v Gromě, 2. vyrovnání MNČ, 3. dvojí výpočet oprav, 4. výpočet charakteristik přesnosti – směrodatná odchylka souřadnicová, směrodatná odchylka jednotková, elipsa chyb.

7 Výpočetní postupy

7.1 Polární metoda

Polární metoda je nejpoužívanější způsob zaměření a výpočtu souřadnic určovaných bodů.

Výhodou této metody je při použití totálních stanic rychlost měření a snadné vyhodnocení.

Je potřeba znát souřadnice dvou bodů, z nichž jeden bod je stanovisko *A* totální stanice. Z tohoto bodu je zaměřen vodorovný směr na druhý známý bod – orientace (*B*) a na určovaný bod (*P*). Zjistí se i vzdálenost mezi stanoviskem a orientací a stanoviskem a určovaným bodem. Prakticky se metoda realizuje pomocí více orientací (případ použití BP výsledný orientační úhel je průměr).

Ze souřadnic stanoviska a orientace se vypočte směrník σ_{AB}

Rovnice 1 výpočet směrníku

$$tg\ \sigma_{\mathrm{AB}} = \frac{\Delta Y_{AB}}{\Delta X_{AB}}.$$

Z měření vodorovných směrů a vypočteného směrníku viz *rovnice 1* se určí orientační úhel o_P

$$o_P = \sigma_{AB} - \psi_{AB} \geq 0 \text{ gon},$$

nakonec je hledaný směrník α_{AP}

$$\alpha_{AP} = \psi_{AP} + o_P \leq 400 \text{ gon}.$$

výsledné souřadnice určovaného bodu jsou

Rovnice 2 výpočet souřadnicových rozdílů a souřadnic bodu P

$$\Delta X_{AP} = s_{AP}\ cos\ \alpha_{AP}$$

$$\Delta Y_{AP} = s_{AP}\ \sin \alpha_{AP}$$

$$X_P = X_A + \Delta X_{AP}$$

$$Y_P = Y_A + \Delta Y_{AP}.$$

7.2 Trigonometrický výpočet výšek

Metoda je při použití totálních stanic rychlá, početně jednoduchá pro určení výšky určovaného bodu či převýšení mezi dvěma body. Výhodou je také snadná použitelnost na delší vzdálenosti.

Nevýhodou je omezená přesnost měření oproti nivelaci

Rovnice 3 výpočet převýšení mezi 2 body

$$H_P = H_A + v_A + h - v_P,$$

kde H_A je nadmořská výška stanoviska, v_A je výška přístroje na bodem A, v_P je výška odrazného hranolu nad cílovým bodem,

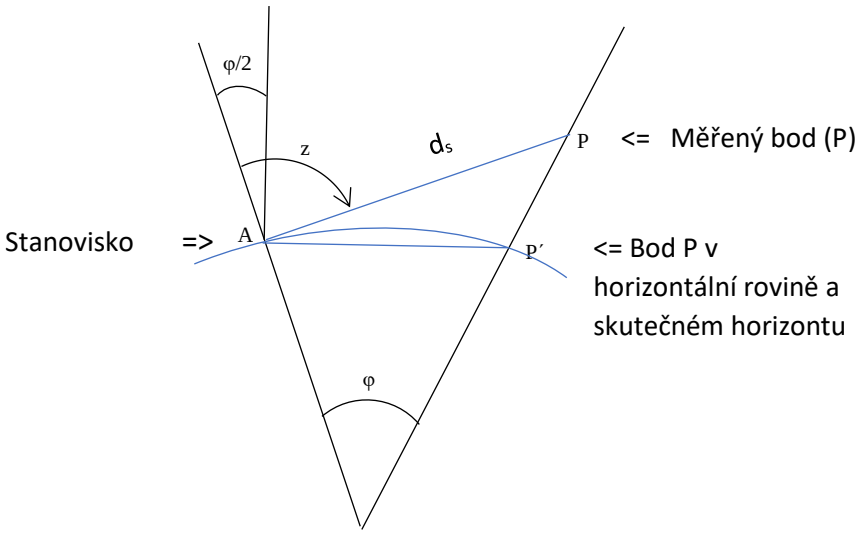
h je převýšení (bez uvážení refrakce pro krátké délky záměr, refrakční úhel $\rho = 0$)

Rovnice 4 výpočet převýšení

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

kde φ je sbíhavost tížnic v gonech

$$\varphi = \frac{d_s \sin z}{R} \cdot \frac{200}{\pi}.$$



Obrázek 7 Sbíhavost tížnic

7.3 Volné polární stanovisko

Volné polární stanovisko [9, 10] je měření z neznámého bodu *P* na okolní známé body (orientace), měřenými veličinami jsou směry a délky na orientace. V této bakalářské práci jsme pro určení neznámých souřadnic volného polárního stanoviska použili vyrovnání MNČ.

Výhodou volného polárního stanoviska je možnost si vybrat ideální místo pro měření, kde jediným omezením je viditelnost na okolní body, na které se připojujeme.

Vyrovnání MNČ volného stanoviska

Funkční vztahy pro délky a směry

Rovnice 5 funkční vztahy pro vyrovnání

$$F = s_{Pi} - \sqrt{(X_i - X_P^0)^2 + (Y_i - Y_P^0)^2} = 0$$

$$G = \psi_{Pi} - \left(arctg\ \frac{Y_i - Y_P^0}{X_i - X_P^0} - o_P \right) = 0$$

Je nutné znát měření ($2n \times 1$ vektor měření $\boldsymbol{L}$) a přesnost měření (směrodatné odchylky)

$$\boldsymbol{L} = (\psi_{P1}, \ldots . \psi_{Pn}, d_{P1}, \ldots . d_{Pn})^T,$$

n je počet orientací.

Vektor neznámých tvoří souřadnice stanoviska a orientační úhel (výšky v této BP jsou řešeny odděleně)

$$X = (\, X_s\ Y_s\ o_P)^T.$$

Dále je nutné znát souřadnice orientačních bodů, na které bylo měřeno, a přibližné souřadnice stanoviska, které byly v této BP určeny pomocí shodnostní transformace (měřítko transformace $q = 1$) – transformační klíč byl určen s vyrovnáním MNČ.

Vytvoříme si vektor redukovaných měření ***l***, který se skládá z rozdílů naměřených směrů a vypočtených směrníků a rozdílů naměřených délek, redukovaných do S-JTSK, a délek vypočítaných ze souřadnic

$$\boldsymbol{l} = (-o_1, \dots - o_n, d_1 - s_{P1}, \dots d_n - s_{Pn})^T,$$

kde

Rovnice 6 výpočty do matice vah

$$o_i = \alpha_{Pi} - \psi_{Pi} \geq 0,$$

$$\alpha_{P,i} = arctg\ \frac{Y_i - Y_P^0}{X_i - X_P^0},$$

$$s_{Pi} = \sqrt{(X_i - X_P^0)^2 + (Y_i - Y_P^0)^2}.$$

Vytvoříme diagonální matici vah ***P*** a tím každému měření přidělíme váhu. Měření nejsou obecně homogenní veličiny, k dispozici jsou různá měření (délky a směry) určená s rozdílnou přesností. Provádí se homogenizace měření, každému měřenému prvku je přiřazena váha podle obecného vztahu

Rovnice 7 výpočet váhy

$$p_i = \frac{\sigma_0^2}{\sigma_i^2},$$

kde

σ_0 je směrodatná odchylka jednotková, která přísluší fiktivnímu měření o váze 1, zvolená konstanta pro výpočet je v BP - $\sigma_0 = 1$

σ_i je známá směrodatná odchylka měřeného prvku.

Přesnost měřených směrů pro délky d < 90 m je $\sigma_{Hz} = \frac{90[\text{mgon}]}{d}$ viz poznámka, jinak $\sigma_{Hz} = 1{,}0$ mgon (Trimble S6) nebo $\sigma_{Hz} = 1{,}5$ mgon (Trimble M3)

pro délky platí $\sigma_d = 4$ mm.

Matice vah

$$\boldsymbol{P} = diag(p_1, \dots . p_n).$$

Linearizací funkčních vztahů, viz vzorec 5, pomocí Taylorova rozvoje dostaneme $2n \times 3$ matici $\boldsymbol{A}$ parciálních derivací podle určovaných neznámých

$$\boldsymbol{A} = \begin{pmatrix} \frac{\partial F_1}{\partial X_P} & \frac{\partial F_1}{\partial Y_P} & \frac{\partial F_1}{\partial O} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial F_n}{\partial X_S} & \frac{\partial F_n}{\partial Y_S} & \frac{\partial F_n}{\partial O} \\ \frac{\partial G_1}{\partial X_S} & \frac{\partial G_1}{\partial Y_S} & \frac{\partial G_1}{\partial O} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial G_n}{\partial Y_S} & \frac{\partial G_n}{\partial Y_S} & \frac{\partial G_n}{\partial O} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{\partial F_1}{\partial X_P} & \frac{\partial F_1}{\partial Y_P} & -1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial F_n}{\partial X_P} & \frac{\partial F_n}{\partial Y_P} & -1 \\ \frac{\partial G_1}{\partial X_P} & \frac{\partial G_1}{\partial Y_P} & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial G_n}{\partial Y_S} & \frac{\partial G_n}{\partial Y_S} & 0 \end{pmatrix}.$$

Systém rovnic oprav je

Rovnice 8 výpočet oprav

$$\boldsymbol{v} = \boldsymbol{A}\,\boldsymbol{dx} - \boldsymbol{l},$$

Vyrovnaná měření

$$\boldsymbol{L'} = \boldsymbol{L} + \boldsymbol{v}.$$

Podmínka MNČ je

$$\boldsymbol{v}^T\,\boldsymbol{P}\,\boldsymbol{v} = min.$$

Z toho vyplývají normální rovnice, jejich řešení jsou hledané neznámé

Rovnice 9 výpočet přírůstků

$$\boldsymbol{dx} = (\boldsymbol{A}^T\,\boldsymbol{P}\,\boldsymbol{A})^{-1}\,\boldsymbol{A}^T\,\boldsymbol{P}\,\boldsymbol{l}.$$

S kontrolou

$$\boldsymbol{A}^T\,\boldsymbol{P}\,\boldsymbol{v} = \boldsymbol{0}.$$

Dostaneme vektor přírůstků neznámých $\boldsymbol{dx}$, které přidáme k přibližným hodnotám neznámých a tím získáme vyrovnané souřadnice volného stanoviska a orientační úhel (přibližná hodnota orientačního úhlu se rovná 0)

Rovnice 10 výpočet vyrovnaných souřadnic

$$\boldsymbol{X} = \boldsymbol{X^0} + \boldsymbol{dx}$$

Abychom zjistili, zda bylo vyrovnání provedeno správně, vypočte se druhý výpočet oprav dle vzorce

$$\boldsymbol{v_2} = \boldsymbol{L_2^{'}} - \boldsymbol{L}.$$

Vektor vyrovnaných měření $\boldsymbol{L_2^{'}}$ je určený výpočtem z nelineárních funkčních vztahů a vyrovnaných souřadnic stanoviska a souřadnic známých bodů (orientací).

Charakteristiky přesnosti

Aposteriorní hodnota směrodatné odchylky jednotkové je

Rovnice 11 aposteriorní směrodatná odchylka jednotková

$$\sigma_0{}' = \sqrt{\frac{\boldsymbol{v^T}\,\boldsymbol{P}\,\boldsymbol{v}}{n'}}$$

kde n' je počet stupňů volnosti $n' = 2n - r(\boldsymbol{A})$ = $2n$ – 3, $r(\boldsymbol{A})$ = 3 je hodnost matice plánu $\boldsymbol{A}$.

Další použité vzorce:

Kovarianční matice neznámých

$$M_x = \sigma_0^2 \cdot Q_x,$$

kde

$$Q_x = (\boldsymbol{A^T}\,\boldsymbol{P}\,\boldsymbol{A})^{-1},$$

je matice váhových koeficientů neznámých.

Souřadnicová směrodatná odchylka

$$\sigma_{XY} = \sqrt{\frac{\sigma_X^2 + \sigma_Y^2}{2}}$$

Parametry elipsy chyb

Rovnice 12 výpočet parametrů elipsy chyb

Hlavní poloosa

$$a = \sqrt{\frac{\sigma_X^2 + \sigma_Y^2 + c}{2}},$$

vedlejší poloosa

$$b = \sqrt{\frac{\sigma_X^2 + \sigma_Y^2 - c}{2}},$$

kde

$$c = \sqrt{(\sigma_X^2 - \sigma_Y^2)^2 + 4\, cov^2(X_S, Y_S)},$$

směrník hlavní poloosy elipsy chyb

$$tg\ 2\alpha = \frac{2cov(X_S, Y_S)}{\sigma_X^2 - \sigma_Y^2}$$

Interval spolehlivosti pro $\sigma_0{}'$ a $n' = 3$

$$\sqrt{\frac{\chi^2_{n'}(1 - \frac{\alpha}{2})}{n'}} \leq \sigma_0{}' \leq \sqrt{\frac{\chi^2_{n'}(\frac{\alpha}{2})}{n'}}$$

$$0{,}26 \leq \sigma_0{}' \leq 1{,}77$$

kde $\chi^2_{n'}\left(1 - \frac{\alpha}{2}\right)$, $\chi^2_{n'}(\frac{\alpha}{2})$ jsou kritické hodnoty chi-kvadrát rozdělení pro α = 0,05.

Mezní hodnoty byly překročeny při všech výpočtech volného stanoviska, projevila se přesnost bodů podkladu určených GNSS, které jsou uvažovány ve vyrovnání jako bezchybné, což je běžná praxe.

Poznámka: K určení přesnosti pravoúhlých souřadnic bodů určených pomocí rajónu, slouží směrodatná odchylka polohová σ_{2D}. Pro krátké vzdálenosti záměr se odvodí úhlová přesnost z rovnosti podélné a příčné složky směrodatné polohové odchylky

$$\sigma_{2D} = \sqrt{\sigma_d^2 + d_s^2 \cdot \sigma_\omega^2}$$

$$\sigma_\psi = \frac{\sigma_d}{d_S\sqrt{2}} \cdot \frac{200\,000}{\pi} = \frac{0{,}002}{d_S\sqrt{2}} \cdot \frac{200\,000}{\pi} = \frac{90}{d_s[m]}\,[\text{mgon}].$$

7.4 Vyrovnávací rovina

Pomocí funkce Vyrovnávací rovina v programu Groma byla vypočítána rovnice obecné roviny pro prostor hrací plochy.

Rovnice obecné roviny je

Rovnice 13 rovnice obecné roviny

$$Ax + By + Cz + D = 0.$$

Tabulka 10 Koeficienty rovnice roviny – výsledky MNČ z Gromy

A	0,0002058907
B	0,00002885
C	-0,9999999784
D	137,30691

Kumulativní koeficient přimknutí roviny k terénu vzorec viz dále

0,326 m

Koeficienty *A, B, C* jsou souřadnice vektoru normály k rovině.

Skalárním součinem vektorů $e_3 = (0, 0, 1)^T$ a normály $n = (A, B, C)^T$ byl zjištěn úhel mezi normálou se svislicí.

$$\cos \alpha = C.$$

Zjištěna hodnota úhlu je 13,2 mgon

Dále byl zjištěn sklon roviny, která aproximuje hřiště

Rovnice 14 procentuální výpočet sklonu

$$s\% = 100 \tan \alpha = \ 0{,}02\%.$$

Terén hřiště je prakticky vodorovný.

Výpočet vodorovné roviny

Rovnice vodorovné roviny, rovnoběžná s rovinou XY je

$$z = K, \;\; z = H$$

Neznámá hodnota konstanty *K* se určí vyrovnáním MNČ.

Rovnice oprav

$$v_i = K - \; z_i, \quad i = 1, 2 \, , \ldots \, , n,$$

kde *n* je počet zaměřených bodů roviny.

Podmínka MNČ je $\sum vv$ = min.

Rovnice 15 podmínka MNČ

$$\sum v_i^2 = nK^2 - 2K\sum z_i + \sum z_i^2 = \; min.$$

Řešením vzorce 15 je

$$K = \frac{\sum z}{n}, \quad \sum v = 0.$$

Výsledky:

Průměrná výška hřiště *K*

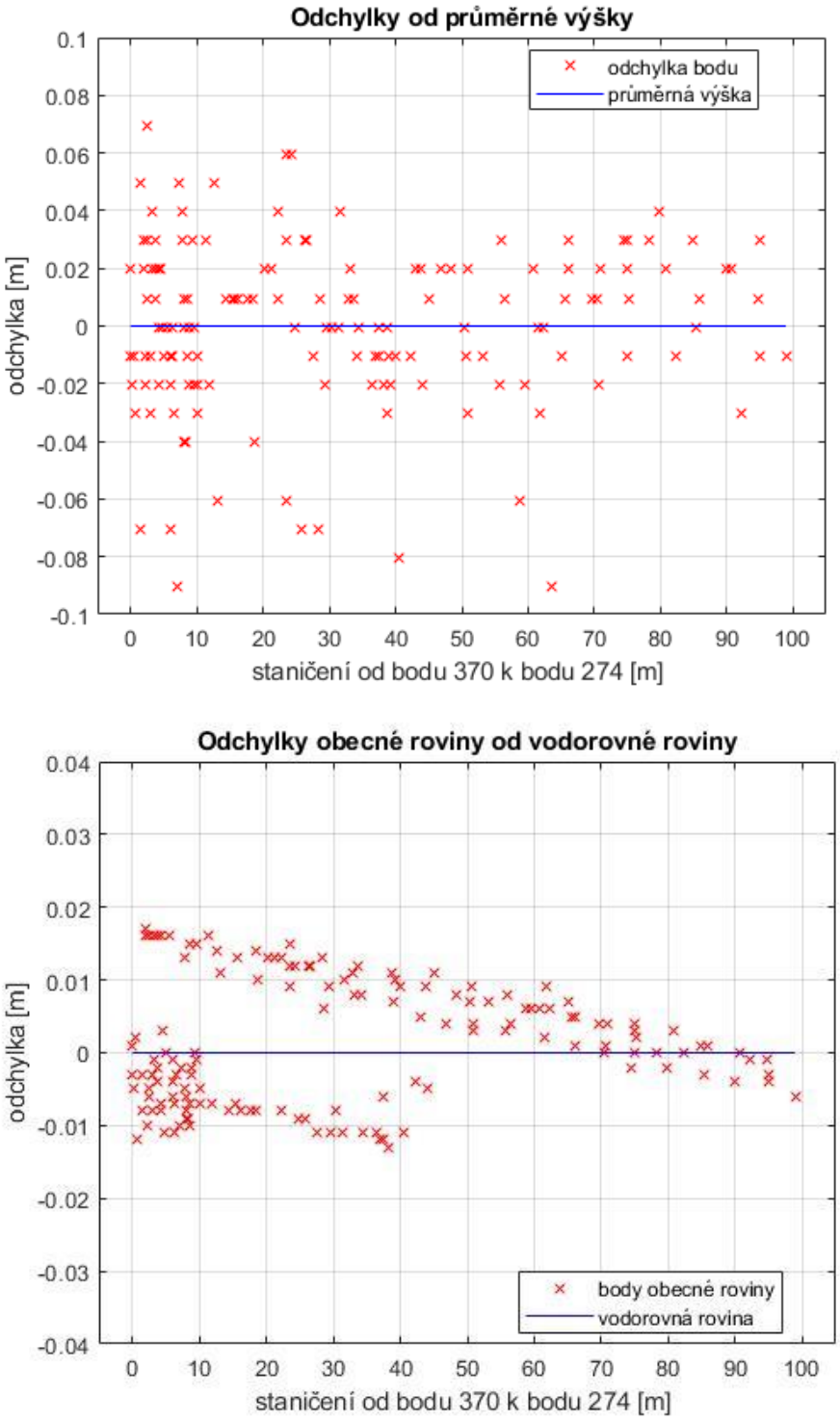
K = 364,570 m

Medián výšek je 364,570 m.

Kumulativní koeficient přimknutí vodorovné roviny k terénu je

Rovnice 16 kumulativní koeficient přimknutí

$$\sqrt{\sum vv} = 0{,}356 \; m$$



Obrázek 8 – Grafy odchylek terénu hřiště od průměrné výšky a porovnání vodorovné roviny a obecné roviny

8 Zpracování výsledků

Seznam souřadnic byl rozdělen do různých souborů, podle následného zpracování na výkres, vyrovnávací rovinu a 3D model.
Všechna zpracování byla provedena pro vztažné měřítko 1:500

8.1 Kokeš

Program byl vybrán kvůli snadné manipulaci s výkresem a seznamy souřadnic a spoluprací s programem Atlas DMT. Výstupním formátem výkresu je .vyk, který umožnuje slučování bodů, linií a ploch do vrstev, se kterými se dá následně pracovat jako s jedním celkem. Další výhodou jsou, při použití správné technologie, přednastavené bodové znaky a linie.
Pro zpracování výkresu byl nahrán seznam souřadnic, kde byly vytvořeny jednotlivé vrstvy. Kresba ve vrstvách byla provedena podle nahraných bodů a kódů. Použité barvy odpovídají terénu.

8.2 Atlas DMT

Atlas byl vybrán na základě toho, že to je jediný program pro vytvoření DMT, se kterým jsem se na fakultě zatím setkal. Ze souřadnic podrobných bodů byla vyhotovena trojúhelníková síť, vytvořen 3D model a následně byly vypočteny vrstevnic. Dále byla použita funkce 3D pohledy, kde je možné nastavit bod pohledu na model či osvětlení pro co nejlepší výstup.

Závěr

Tato bakalářská práce se zabývá geodetickým zaměřením nově zrekonstruovaného softbalového hřiště v Chomutově.

V seznamu souřadnic je celkově 853 bodů, v příloze č. 9 je ukázka 30 bodů.

Grafickým výsledkem je mapa ve vztažném měřítku 1 : 500 v programovém systému Kokeš a Atlas DMT, v závazných souřadnicových systémech S-JTSK a Bpv (nařízení vlády č. 430/2006 Sb.).

Výsledky mohou být použity například pro propagační účely oddílu nebo další projekční záměry za účelem případných úprav hřiště.

Číselnými výsledky jsou rozměry areálu, které se mohou podle výsledků upravit (přidání či ubrání antuky). Byla zjištěna rovinnost hrací plochy, která je podle výpočtu, viz obr. 8, prakticky vodorovná.

Použitá literatura

[1] Softball. *softball.cz 2019-2021* [online]. 2018 [cit. 2021-5-3]. Dostupné z: https://softball.cz/download/2019/Pravidla_Softball2019-2021_A6_press.pdf

[2] Totální stanice Trimble S6. *Alibaba.com* [online]. [cit. 2021-5-4]. Dostupné z: https://chinese.alibaba.com/product-detail/robotic-total-station-trimble-s6-60132898564.html

[3] Parametry totální stanice S6. *Trimble* [online]. [cit. 2021-5-4]. Dostupné z: https://geospatial.trimble.com/sites/geospatial.trimble.com/files/2019-06/022516-153F_TrimbleS5_DS_USL_0619_LR-sec.pdf

[4] GNSS aparatura Trimble R8. *Alibaba.com* [online]. [cit. 2021-5-4]. Dostupné z: https://spanish.alibaba.com/product-detail/trimble-r5-gnss-gps-rtk-rover-trimble-r8-gps-60028214282.html

[5] Parametry GNSS aparatury Trimble R8. *Trimble* [online]. [cit. 2021-5-4]. Dostupné z: https://geospatial.trimble.com/sites/geospatial.trimble.com/files/2019-03/Datasheet%20-%20Trimble%20R8s%20GNSS%20System%20-%20English%20USL%20-%20Screen.pdf

[6] *Totální stanice Trimble M3* [online]. [cit. 2021-5-4]. Dostupné z: https://www.geoobchod.cz/cs/totalni-stanice-trimble-m3-5cc/product

[7] Parametry totální stanice Trimble M3. *Geotronics.cz* [online]. [cit. 2021-5-4]. Dostupné z: http://geotronics.cz/wp-content/uploads/2016/05/022543-155J-CZE_TrimbleM3_DS_A4_0414_LR-00000002.pdf

[8] DUŠEK, R.: *Fotografie hřiště.*

[9] SKOŘEPA, Z.: Vyrovnání volného stanoviska MNČ. *Geodézie 4 pro 2. ročník studijního programu GEODÉZIE A KARTOGRAFIE* [online]. [cit. 2021-5-4]. Dostupné z: https://k154.fsv.cvut.cz/~skorepa/index_1.html

[10] ŠTRONER, M.: Vyrovnání volného stanoviska MNČ. *Inženýrská geodézie 2* [online]. [cit. 2021-5-4]. Dostupné z: https://k154.fsv.cvut.cz/~stroner/ING2/volne_stanovisko.pdf

Seznam obrázků

Obrázek 1 Softbalové hřiště a jeho rozměry 9
Obrázek 2 Softbalový areál Chomutov (foto z dronu) [8] 10
Obrázek 3 Pomocné měřické body 11
Obrázek 4 Trimble R8s [2] 12
Obrázek 5 Trimble S6 [4] 12
Obrázek 6 Trimble M3 [6] 13
Obrázek 7 Sbíhavost tížnic 21
Obrázek 8 - Odchylky od průměrné výšky roviny 30

Seznam tabulek

Tabulka 1 Parametry Trimble R8s [3] 12
Tabulka 2 Paramet ry Trimble S6 [5] 12
Tabulka 3 Parametry Trimble M3 [7] 13
Tabulka 4 Souřadnice pomocných měřických bodů 14
Tabulka 5 Střední elipsa chyb bodu 4501 15
Tabulka 6 Střední elipsa chyb bodu 4502 16
Tabulka 7 - Střední elipsa chyb bodu 4503 17
Tabulka 8 Střední elipsa chyb bodu 4504 17
Tabulka 9 - Střední elipsa chyb bodu 4505 18
Tabulka 10 Koeficienty rovnice roviny – výsledky MNČ z Gromy 28

Seznam příloh

Příloha č.1 Fotografie pomocných měřických bodŮ 37
Příloha č.2 Protokol GNSS 39
Příloha č.3 Protokoly Groma 42
Příloha č.4 Skript Matlab 50
Příloha č.5 Měřická síť
Příloha č.6 Výkres areálu
Příloha č.7 Model areálu s vrstevnicemi……..……53
Příloha č.8 3D pohled modelu……..……54
Příloha č.9 Seznam souřadnic bodů……..……55

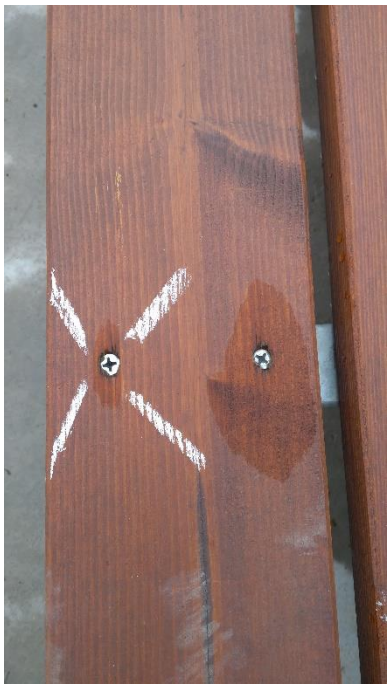
Příloha č.1

Fotografie pomocných měřických bodů

Bod č. *9001*

Bod č. *4004*

Bod č. *4001*



Bod č. *4003*

Příloha č.2

Protokol GNSS měření

Protokol určení bodů technologií GNSS

Lokalita (název): beck gnss	**Katastrální území:** Chomutov	Okres: Chomutov
Zhotovitel: Petr Latinak	**Protokol zpracoval:**	Dne: Chomutov

I. Přístroje GNSS

Přijímače: GPS+GLONASS;L1+L2

výrobce:	Trimble		
typ:	R8s		
číslo:	5606R01441		

Antény : integrovaná

výrobce:			
typ:			
číslo:			

II. Zaměření

(datum): 03.02.2021

Metoda: RTK s VRS	Použitá stanice nebo síť: Trimble VRS Now	Přístupový bod: TVN_CMR_PLUS
Interval záznamu: 1 sekunda	Elevační maska: 13°	Výška antény vztažena k: ARP (spodek závitu)

na nově určovaných bodech:

Minimální observační doba:	5s	Maximální hodnota PDOP (GDOP):	2.50	Nejmenší počet zaměření bodu:	2

III. Geocentrické souřadnice

Zpracovatelský program (název a verze): Trimble General Survey, 3.10
Souřadnice nepřipojeny/připojeny do: připojeno do ETRS89
Kontrola připojení: kontrola provedena pomocí výsledků nezávislého monitoringu VÚGTK

IV. Transformace do S-JTSK

Použit transformační postup: zpřesněná globální transformace mezi ETRS89 a S-JTSK
Zpracovatelský program (název a verze): Transformační modul zpřesněné globální transformace Trimble 2018 verze 1.0

V. Přílohy s jednotlivými výstupy z aparatur a zpracovatelských programů

		počet stran:
1	s hodnotami zaznamenanými aparaturou v průběhu měření (číslo bodu, výška antény, vztažný bod antény, počty družic, hodnota PDOP nebo GDOP, časy observačních dob a další údaje)	
2	s nastavením parametrů a s výsledky a charakteristikami přesnosti početního zpracování vektorů	
3	se souřadnicemi identických bodů pro transformaci spolu s odchylkami dosaženými po transformaci	
4	schéma rozložení identických bodů (ve vhodném měřítku nebo s uvedením vzdáleností mezi nimi v km)	
5	s hodnotami odchylek dosažených na kontrolních bodech pro připojení geocentrických souřadnic	
6	výpočet výsledných souřadnic nově určovaných bodů a hodnoty dosažené na kontrolních bodech pro připojení	

PROTOKOL GNSS (RTK) MERENI

Firma: Petr Latinak

Safarikova 2836

430 03 Chomutov

Zakazka: beck gnss

Meril:

Datum: 03.02.2021

Pristroj: Trimble R8s, fw: 5.37, vyr. c.: 5606R01441

Trimble General Survey SW: 3.10

Verze protokolu: 4.95

Souradnicovy system: Pouzit transformacni modul zpresnene globalni transformace Trimble 2018 verze 1.0 schvaleny CUZK pro mereni od 1.1.2018

Zona: Krovak_2018

Soubor rovinne dotransformace: KG2018

Vertikalni transformace

Model kvazigeoidu: CR2005

POUZITE A MERENE BODY

Cislo bodu	Y	X	Z	Presnost XY	Presnost Z	PDOP	Sit*	Pocet sat.	Antena	vyska; od**	Datum mereni	Zacatek mereni	Doba mereni[s]	Kod bodu
4001.1	809075.492	990490.411	367.678	0.013	0.014	1.68	1	VRS	10	2.00	SZ	03.02	08:23	5 4001
4002.1	809026.043	990459.642	364.556	0.018	0.025	2.50	1	VRS	8	2.00	SZ	03.02	08:28	5 4002
4003.1	809092.698	990355.407	367.689	0.016	0.018	2.00	1	VRS	9	2.00	SZ	03.02	08:33	5 4003
4004.1	809163.631	990390.622	366.108	0.015	0.017	1.57	1	VRS	11	2.00	SZ	03.02	08:41	5 4004
9001.1	809151.576	990371.854	366.585	0.015	0.017	1.59	1	VRS	11	2.45	SZ	03.02	08:44	5 9001
4001.2	809075.468	990490.413	367.715	0.024	0.039	2.23	1	VRS	9	2.00	SZ	03.02	09:58	5 4001
4002.2	809026.038	990459.646	364.508	0.032	0.052	1.78	1	VRS	11	2.00	SZ	03.02	10:10	5 4002
4003.2	809092.688	990355.405	367.630	0.012	0.019	1.80	1	VRS	11	2.00	SZ	03.02	10:13	5 4003
4004.2	809163.626	990390.609	366.120	0.011	0.019	1.82	1	VRS	11	2.00	SZ	03.02	10:16	5 4004
9001.2	809151.583	990371.844	366.564	0.010	0.017	1.82	1	VRS	11	2.00	SZ	03.02	10:17	5 9001

---

* Bod meren na: 1 VRS = Trimble VRS NOW CZ

2 = TOPNET

3 RTK = CZEPOS RTK a RTK3; 3 RTK3-MSM = CZEPOS RTK3-MSM;

3 PRS = CZEPOS RTK-PRS; 3 FKP = CZEPOS RTK-FKP;

3 MAX = CZEPOS VRS3-MAX; 3 iMAX = CZEPOS VRS3-iMAX;

3 MAXG = CZEPOS VRS3-MAX-GG; 3 iMAXG = CZEPOS VRS3-iMAX-GG;

3 CMR = CZEPOS VRS3-iMAX-GG_CMR; 3 CMR+ = CZEPOS VRS3-iMAX-GG_CMR+;

4 = GEOORBIT

5 = ostatni

** Vyska anteny merena od: FC = fazoveho centra; SZ = spodku zavitu; SN = stredu narazniku

Hodnoty PDOP oznacene * jsou mimo nastavenou toleranci: 7.00

Hodnoty s RMS oznacene # jsou mimo nastavenou toleranci: 40.00

Body oznacene ! NoFix ! pred cislem bodu nebyly pri mereni Fixovany!

PRUMEROVANI BODU----------

Cislo bodu	Y	X	Z	dY	dX	dZ
4001.1	809075.492	990490.411	367.678	-0.012	0.001	0.019
4001.2	809075.468	990490.413	367.715	0.012	-0.001	-0.018
4001	809075.480	990490.412	367.697	Cas.odstup:	0dnu,1:35:1	
4002.1	809026.043	990459.642	364.556	-0.003	0.002	-0.024
4002.2	809026.038	990459.646	364.508	0.002	-0.002	0.024
4002	809026.040	990459.644	364.532	Cas.odstup:	0dnu,1:42:6	
4003.1	809092.698	990355.407	367.689	-0.005	-0.001	-0.029
4003.2	809092.688	990355.405	367.630	0.005	0.001	0.030
4003	809092.693	990355.406	367.660	Cas.odstup:	0dnu,1:39:51	
4004.1	809163.631	990390.622	366.108	-0.002	-0.006	0.006
4004.2	809163.626	990390.609	366.120	0.003	0.007	-0.006
4004	809163.629	990390.616	366.114	Cas.odstup:	0dnu,1:35:4	
9001.1	809151.576	990371.854	366.585	0.004	-0.005	-0.010
9001.2	809151.583	990371.844	366.564	-0.003	0.005	0.011
9001	809151.580	990371.849	366.575	Cas.odstup:	0dnu,1:33:14	

Příloha č.3

Protokoly Groma

[8] VOLNÉ STANOVISKO
==========
Volné stanovisko: 4501
Transformační parametry:

Typ transformace: Shodnostní (3 parametry)
Měřítko : 1.000000000000 (0.0 mm/100m)

Souřadnicové opravy na identických bodech:

Bod	vY	vX
4004	0.015	-0.010
4003	0.001	-0.008
4002	-0.009	0.008
4001	-0.008	0.011

Střední souřadnicová chyba klíče m0: 0.009

Test protínání:

Minimální úhel protnutí [g]: Skutečná hodnota: 109.5264, Mezní hodnota: 170.0000
Geometrické parametry stanovené pro práci v katastru nemovitostí byly dodrženy.

Výsledné souřadnice:

Bod	Y	X	Z
4501	809060.657	990458.233	

Orientace osnovy na bodě 4501:

Bod	Y	X	Z
4501	809060.657	990458.233	

Orientace:

Bod	Y	X	Z
4004	809163.633	990390.613	366.12
4003	809092.709	990355.388	367.66
4002	809026.196	990462.328	365.77
4001	809075.473	990490.419	367.69

Bod	Hz	Směrník	V or.	Délka	V délky	V přev.	m0 Red.
4004	109.5051	136.9901	0.0021	123.174	0.019		0.0171
4003	153.2812	180.7669	0.0027	107.715	0.008		0.0171
4002	280.0330	307.5304	0.0144	34.694	0.010		0.0125
4001	0.0000	27.4637	-0.0193	35.426	0.007		0.0070 *

Orientační posun : 27.4829g
m0 = SQRT([vv]/(n-1)) : 0.0140g
SQRT([vv]/(n*(n-1))) : 0.0070g

Test polární metody:

Oprava orientace [g]: Skutečná hodnota: 0.0193, Mezní hodnota: 0.0800
Mezní odchylky stanovené pro práci v katastru nemovitostí byly dodrženy.

[8] VOLNÉ STANOVISKO

Volné stanovisko: 4503
Transformační parametry:

Typ transformace: Shodnostní (3 parametry)
Měřítko : 1.000000000000 (0.0 mm/100m)

Souřadnicové opravy na identických bodech:

Bod	vY	vX
2030	0.000	-0.000
4001	0.003	0.008
4002	-0.009	-0.006
4006	0.006	-0.002

Střední souřadnicová chyba klíče m0: 0.005

Test protínání:

Minimální úhel protnutí [g]: Skutečná hodnota: 91.1741, Mezní hodnota: 30.0000
Geometrické parametry stanovené pro práci v katastru nemovitostí byly dodrženy.

Výsledné souřadnice:

Bod	Y	X	Z
4503	809090.578	990508.155	

Orientace osnovy na bodě 4503:

Bod	Y	X	Z
4503	809090.578	990508.155	

Orientace:

Bod	Y	X	Z
2030	808990.830	990920.260	398.93
4001	809075.473	990490.419	367.69
4002	809026.196	990462.328	365.77
4006	809098.640	990492.669	364.59

Bod	Hz	Směrník	V or.	Délka	V délky	V přev.	m0 Red.
2030	215.4197	384.8816	0.0019				0.0136
4001	75.4400	244.9114	0.0113	23.305	-0.008		0.0101
4002	91.1565	260.6188	0.0022	79.016	0.011		0.0135
4006	0.0000	169.4447	-0.0154	17.454	0.005		0.0054 *

Orientační posun : 169.4601g
m0 = SQRT([vv]/(n-1)) : 0.0112g
SQRT([vv]/(n*(n-1))) : 0.0056g

Test polární metody:

Oprava orientace [g]: Skutečná hodnota: 0.0154, Mezní hodnota: 0.0800
Mezní odchylky stanovené pro práci v katastru nemovitostí byly dodrženy.

[8] VOLNÉ STANOVISKO

==========

Volné stanovisko: 4504
Transformační parametry:

Typ transformace: Shodnostní (3 parametry)
Měřítko : 1.000000000000 (0.0 mm/100m)

Souřadnicové opravy na identických bodech:

Bod	vY	vX
4001	-0.004	-0.000
4002	-0.004	-0.011
4007	0.008	0.011

Střední souřadnicová chyba klíče m0: 0.008

Test protínání:

Minimální úhel protnutí [g]: Skutečná hodnota: 97.3410, Mezní hodnota: 30.0000
Geometrické parametry stanovené pro práci v katastru nemovitostí byly dodrženy.

Výsledné souřadnice:

Bod	Y	X	Z

```
        4504   809061.286   990492.166
-------------------------------------------------------

Orientace osnovy na bodě 4504:
--------------------------------
         Bod          Y          X        Z
-------------------------------------------------------
        4504   809061.286   990492.166
-------------------------------------------------------
Orientace:
----------
         Bod          Y          X        Z
-------------------------------------------------------
        4001   809075.473   990490.419    367.69
        4002   809026.196   990462.328    365.77
        4007   809068.712   990536.962    364.40
-------------------------------------------------------
         Bod       Hz   Směrník     V or.     Délka   V délky   V přev.   m0 Red.
-----------------------------------------------------------------------------------------
        4001    0.0000  107.7991    0.0029    14.298    -0.004             0.0116
        4002  147.3522  255.1388   -0.0096    46.051     0.010             0.0028 *
        4007  302.6551   10.4581    0.0068    45.395     0.013             0.0088
-----------------------------------------------------------------------------------------
Orientační posun       : 107.7962g
m0 = SQRT([vv]/(n-1))  :   0.0086g
SQRT( [vv]/(n*(n-1)) ) :   0.0050g

Test polární metody:
--------------------
Oprava orientace [g]: Skutečná hodnota: 0.0096, Mezní hodnota: 0.0800
Mezní odchylky stanovené pro práci v katastru nemovitostí byly dodrženy.

[8] VOLNÉ STANOVISKO
====================
Volné stanovisko:  4506
Transformační parametry:
------------------------
Typ transformace: Shodnostní (3 parametry)
Měřítko  : 1.000000000000  (0.0 mm/100m)

Souřadnicové opravy na identických bodech:
         Bod          vY          vX
-------------------------------------------
        4002      -0.006      -0.010
        4007       0.006       0.010
-------------------------------------------
Střední souřadnicová chyba klíče m0: 0.012

Test protínání:
---------------
```

Minimální úhel protnutí [g]: Skutečná hodnota: 123.1662, Mezní hodnota: 170.0000
Geometrické parametry stanovené pro práci v katastru nemovitostí byly dodrženy.

Výsledné souřadnice:

Bod	Y	X	Z
4506	809016.278	990484.342	

Orientace osnovy na bodě 4506:

Bod	Y	X	Z
4506	809016.278	990484.342	

Orientace:

Bod	Y	X	Z
4002	809026.196	990462.328	365.77
4007	809068.712	990536.962	364.40

Bod	Hz	Směrník	V or.	Délka	V délky	V přev.	m0 Red.
4002	0.0000	173.0532	0.0137	24.138	0.007		
4007	276.8612	49.8870	-0.0137	74.273	0.011		

Orientační posun : 173.0395g
m0 = SQRT([vv]/(n-1)) : 0.0194g
SQRT([vv]/(n*(n-1))) : 0.0137g

Test polární metody:

Oprava orientace [g]: Skutečná hodnota: 0.0137, Mezní hodnota: 0.0800
Mezní odchylky stanovené pro práci v katastru nemovitostí byly dodrženy.

[8] VOLNÉ STANOVISKO

Volné stanovisko: 4510
Transformační parametry:

Typ transformace: Shodnostní (3 parametry)
Měřítko : 1.000000000000 (0.0 mm/100m)

Souřadnicové opravy na identických bodech:

Bod	vY	vX
4001	-0.014	0.012
4004	0.027	-0.019
9001	-0.013	0.008

Střední souřadnicová chyba klíče m0: 0.017

Test protínání:

Minimální úhel protnutí [g]: Skutečná hodnota: 125.5855, Mezní hodnota: 170.0000

Geometrické parametry stanovené pro práci v katastru nemovitostí byly dodrženy.

Výsledné souřadnice:

Bod	Y	X	Z
4510	809071.148	990439.553	

Orientace osnovy na bodě 4510:

Bod	Y	X	Z
4510	809071.148	990439.553	

Orientace:

Bod	Y	X	Z
4001	809075.473	990490.419	367.69
4004	809163.633	990390.613	366.12
9001	809151.590	990371.873	366.59

Bod	Hz	Směrník	V or.	Délka	V délky	V přev.	m0 Red.
4001	399.8601	5.3994	-0.0137	51.039	0.010		0.0007 *
4004	125.4246	130.9849	0.0073	104.602	0.033		0.0142
9001	138.9693	144.5287	0.0064	105.141	-0.015		0.0149

Orientační posun : 5.5530g

m0 = SQRT([vv]/(n-1)) : 0.0119g

SQRT([vv]/(n*(n-1))) : 0.0069g

Test polární metody:

Oprava orientace [g]: Skutečná hodnota: 0.0137, Mezní hodnota: 0.0800

Mezní odchylky stanovené pro práci v katastru nemovitostí byly dodrženy.

VYROVNÁVACÍ ROVINA

==========

Název: H:\BAk\souradnice\podorbne_rovina.crd

Vyrovnávací rovina:

Ax + By + Cz + D = 0

A: 0.0002058907

B: 0.0000288500

C:-0.9999999784

D: 137.30691

-0.079 : Bod s největší vzdáleností od roviny zpět (z bodů POUŽITÝCH pro výpočet roviny)

0.069 : Bod s největší vzdáleností od roviny vpřed (z bodů POUŽITÝCH pro výpočet roviny)

Bodů celkem : 151

[1] POLÁRNÍ METODA DÁVKOU

==========

Orientace osnovy na bodě 4503:

Bod	Y	X	Z
4503	809090.582	990508.160	364.37

Orientace:

Orientační posun : 169.4637g

m0 = SQRT([vv]/(n-1)) : 0.0023g

SQRT([vv]/(n*(n-1))) : 0.0003g

Test polární metody:

Oprava orientace [g]: Skutečná hodnota: 0.0129, Mezní hodnota: 0.0800

Mezní odchylky stanovené pro práci v katastru nemovitostí byly dodrženy.

Orientace osnovy na bodě 4504:

Bod	Y	X	Z
4504	809061.286	990492.165	364.44

Orientační posun : 107.7963g

m0 = SQRT([vv]/(n-1)) : 0.0019g

SQRT([vv]/(n*(n-1))) : 0.0002g

Test polární metody:

Oprava orientace [g]: Skutečná hodnota: 0.0090, Mezní hodnota: 0.0800

Mezní odchylky stanovené pro práci v katastru nemovitostí byly dodrženy.

Orientace osnovy na bodě 4506:

Bod	Y	X	Z
4506	809016.270	990484.338	363.21

Orientační posun : 173.0283g
m0 = SQRT([vv]/(n-1)) : 0.0022g
SQRT([vv]/(n*(n-1))) : 0.0004g

Test polární metody:

Oprava orientace [g]: Skutečná hodnota: 0.0063, Mezní hodnota: 0.0800
Mezní odchylky stanovené pro práci v katastru nemovitostí byly dodrženy.

Orientace osnovy na bodě 4501:

Bod	Y	X	Z
4501	809060.652	990458.240	364.60

Orientační posun : 27.4836g
m0 = SQRT([vv]/(n-1)) : 0.0013g
SQRT([vv]/(n*(n-1))) : 0.0001g

Test polární metody:

Oprava orientace [g]: Skutečná hodnota: 0.0080, Mezní hodnota: 0.0800
Mezní odchylky stanovené pro práci v katastru nemovitostí byly dodrženy.

Příloha č.4

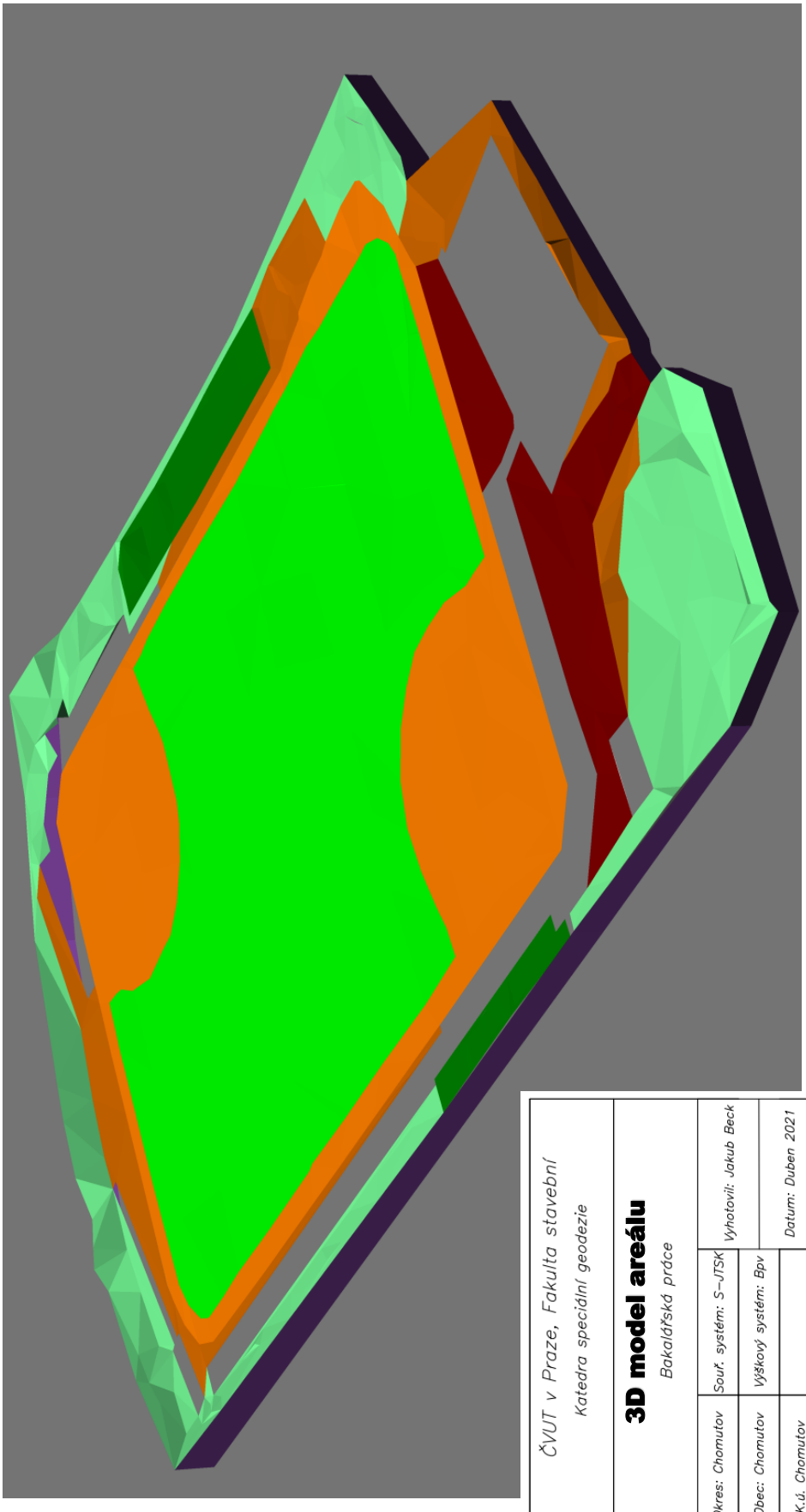
Skript Matlab, výpočet souřadnic volného stanoviska

```
clc
clear all
format long g

% Jakub Beck
% Bakalářská práce

%% redukce délek
merenizenitka = [ 94.7894 %4001
   100.8755               %4005
    98.2979                %4003
    99.1433                %4004
];

merenivzdalenost = [ 35.551 %4001
    34.702                  %4005
   107.771                  %4003
    123.198                 %4004
];

fi = 0.00998.*(merenivzdalenost/1000).*sin(merenizenitka*pi/200);
fi = fi*pi/200;

vzd = merenivzdalenost.*sin(merenizenitka*pi/200-fi);
vzd = 0.999847079794*vzd;



%% souřadnice orientací a stanoviska stanoviska

% zadané body Y X

B4001 = [809075.480   990490.412];
B4002 = [809026.196   990462.328];
B4003 = [809092.693   990355.406];
B4004 = [809163.629   990390.616];


merenihz0 = 0;
% prevod na rad
merenihz = [399.9971 %4001
    280.0302        %4002
    153.2783        %4003
   109.5022        %4004
];

merenihz = merenihz*pi/200;




% souřadnice z gromy

P= [809060.656 990458.238]
%% výpočet souřadnic bodu 514

%směrníky

sigmaP_4002 = atan2(B4002(1) - P(1),B4002(2)-P(2))+2*pi;
sigmaP_4003 = atan2(B4003(1) - P(1),B4003(2)-P(2));
sigmaP_4004 = atan2(B4004(1) - P(1),B4004(2)-P(2));
sigmaP_4001 = atan2(B4001(1) - P(1),B4001(2)-P(2));
```

```
%orientační posuny bodů

o4001 = sigmaP_4001 - merenihz(1)+2*pi ;
o4002 = sigmaP_4002 - merenihz(2);
o4003 = sigmaP_4003 - merenihz(3);
o4004 = sigmaP_4004 - merenihz(4);
% celkovy op (prumer)
op = (o4002 + o4003 + o4004 + o4001)/4

%%  vzdálenosti (Přibližné)

s0P_4001= sqrt((P(1)-B4001(1))^2 + (P(2)-B4001(2))^2);
s0P_4002 = sqrt((P(1)-B4002(1))^2 + (P(2)-B4002(2))^2);
s0P_4003 = sqrt((P(1)-B4003(1))^2 + (P(2)-B4003(2))^2);
s0P_4004 = sqrt((P(1)-B4004(1))^2 + (P(2)-B4004(2))^2);

%% vyrovnání MNČ

lsmery = [
    (merenihz(1) - sigmaP_4001)-2*pi
    merenihz(2) - sigmaP_4002
    merenihz(3) - sigmaP_4003
    merenihz(4) - sigmaP_4004 ];
ldelky = [
    vzd(1) - s0P_4001
    vzd(2) - s0P_4002
    vzd(3) - s0P_4003
    vzd(4) - s0P_4004];

l = [lsmery
    ldelky];
mP =
[1/(0.0025*pi/200)^2,1/(0.0025*pi/200)^2,1/(0.001*pi/200)^2,1/(0.001*pi/200)^2,1/(0.004)^2,1/(0.004)^
2,1/(0.004)^2,1/(0.004)^2]
mP= diag(mP)

A = [
    -((B4001(2)-P(2))/(s0P_4001^2)) (B4001(1)-P(1))/(s0P_4001^2) -1
    -((B4002(2)-P(2))/(s0P_4002^2)) (B4002(1)-P(1))/(s0P_4002^2) -1
    -((B4003(2)-P(2))/(s0P_4003^2)) (B4003(1)-P(1))/(s0P_4003^2) -1
    -((B4004(2)-P(2))/(s0P_4004^2)) (B4004(1)-P(1))/(s0P_4004^2) -1
    -(B4001(1)-P(1))/s0P_4001 -(B4001(2)-P(2))/s0P_4001 0
    -(B4002(1)-P(1))/s0P_4002 -(B4002(2)-P(2))/s0P_4002 0
    -(B4003(1)-P(1))/s0P_4003 -(B4003(2)-P(2))/s0P_4003 0
    -(B4004(1)-P(1))/s0P_4004 -(B4004(2)-P(2))/s0P_4004 0];

dx = inv(A'*mP*A)*A'*mP*l

Pvyr = [P(1)+dx(1) P(2)+dx(2)]
opvyr = dx(3)

%% charakteristiky přesnosti

v1 = A*dx - l
oprava= A'*mP*v1

 sigma0 = sqrt((v1'*mP*v1)/5)

 chi975 = sqrt(12.8325/5)
 chi025 = sqrt(0.8312/5)

 Ex = sigma0^2*inv(A'*mP*A);
 Ev = sigma0^2*(inv(mP) - A*inv(A'*mP*A)*A');
 Ell = sigma0^2*(A*inv(A'*mP*A)*A');

 %střední elipsa chyb P
 c_P = sqrt((Ex(2,2)-Ex(1,1))^2 + 4*(Ex(1,2))^2)
 a_P = sqrt((Ex(2,2) + Ex(1,1) + c_P)/2)
 b_P = sqrt((Ex(2,2) + Ex(1,1) - c_P)/2)
 alfa_P = (atan2(2*Ex(1,2),(Ex(2,2) - Ex(1,1))) )/2;
 alfa_P_gon = alfa_P*200/pi

 %střední chyby souřadnicové
 s_xy_P = sqrt((0.5)*(Ex(1,1)+Ex(2,2)))

 %druhý výpočet oprav
 v_s_4002 = atan2((B4002(1)-Pvyr(1)),(B4002(2)-Pvyr(2))) - opvyr - merenihz(2)+2*pi;
 v_s_4003 = atan2((B4003(1)-Pvyr(1)),(B4003(2)-Pvyr(2))) - opvyr - merenihz(3);
 v_s_4004 = atan2((B4004(1)-Pvyr(1)),(B4004(2)-Pvyr(2))) - opvyr - merenihz(4);
 v_s_4001 = atan2((B4001(1)-Pvyr(1)),(B4001(2)-Pvyr(2))) - opvyr - merenihz(1)+2*pi;

 v_d_4002 = sqrt((B4002(2)-Pvyr(2))^2 + (B4002(1) - Pvyr(1))^2) - vzd(2);
```

```
 v_d_4003 = sqrt((B4003(2)-Pvyr(2))^2 + (B4003(1) - Pvyr(1))^2) - vzd(3);
 v_d_4004 = sqrt((B4004(2)-Pvyr(2))^2 + (B4004(1) - Pvyr(1))^2) - vzd(4);
 v_d_4001 = sqrt((B4001(2)-Pvyr(2))^2 + (B4001(1) - Pvyr(1))^2) - vzd(1);

 for i = 1:4
     v1_gon(i) = v1(i)*200/pi;
 end
 v1_gon = [v1_gon'
     v1(5:8)];

 v2_gon = [
     v_s_4001*200/pi
     v_s_4002*200/pi
     v_s_4003*200/pi
     v_s_4004*200/pi
     v_d_4001
     v_d_4002
     v_d_4003
     v_d_4004
     ]

o= v1_gon -v2_gon

 mereni = [
     merenihz
     vzd];

 merenivyr = mereni + v1;
 merenivyr = [merenivyr(1:4)*200/pi
     merenivyr(5:8),
```

ČVUT v Praze, Fakulta stavební *Katedra speciální geodezie*		
Model areálu s vrstevnicemi *Bakalářská práce*		
Okres: Chomutov	*Souř. systém: S-JTSK*	*Vyhotovil: Jakub Beck*
Obec: Chomutov	*Výškový systém: Bpv*	
K.ú. Chomutov		*Datum: Duben 2021*
Měřítko upraveno pro tisk na A4		*Příloha č.* 7



ČVUT v Praze, Fakulta stavební Katedra speciální geodezie			
3D model areálu Bakalářská práce			
Okres: Chomutov	Souř. systém: S-JTSK	Vyhotovil: Jakub Beck	
Obec: Chomutov	Výškový systém: Bpv	Datum: Duben 2021	
K.ú. Chomutov			
Měřítko upraveno pro tisk na A4			Příloha č. **8**

Příloha č. 9

Seznam souřadnic bodů

1	809025.624	990470.346	364.55	plot
11	809051.765	990374.852	364.71	plot
21	809140.223	990365.723	365.00	plot
40	809024.937	990425.068	364.71	teren
61	809036.420	990462.526	364.59	hriste
91	809092.929	990465.858	364.56	hriste
115	809060.151	990417.934	364.56	hriste
145	809109.590	990390.642	364.57	hriste
172	809146.326	990405.614	364.67	teren
196	809028.728	990429.093	364.57	tabule
229	809083.095	990347.752	366.28	strom
253	809114.470	990453.614	364.62	svetlo
274	809085.321	990494.427	364.58	stena
304	809090.057	990355.409	364.55	dvere
342	809128.126	990367.171	364.57	rozbeh
366	809099.816	990490.535	364.61	chodnik
393	809048.718	990491.217	365.19	barak
417	809105.613	990360.796	364.50	tribuna
441	809093.045	990494.428	366.33	tribuna
468	809079.348	990491.591	366.92	schody
492	809107.950	990464.436	365.75	schody
516	809103.230	990487.428	364.61	klec
543	809094.866	990496.779	364.52	tribuna
570	809045.865	990516.242	363.22	branka
597	809064.077	990497.466	364.35	teren
627	809030.056	990471.052	370.96	okno1
657	809030.821	990493.844	364.46	barak
803	809119.065	990436.249	362.98	antuka
836	809072.077	990383.546	362.99	antuka
866	809028.616	990461.604	362.99	antuka