

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

KATEDRA BIOTECHNICKÝCH ÚPRAV KRAJINY

OBOR VODNÍ HOSPODÁŘSTVÍ



**ZAMĚŘENÍ VODNÍHO DÍLA
RYBNÍK KÚ ČECHTICE NA LUČNÍM POTOCE**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vedoucí práce: Ing. Jiří Loula

Bakalant: Tomáš Moudrý

ZADÁNÍ

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Tomáš Moudrý

Krajinářství
Vodní hospodářství

Název práce

Zaměření vodního díla

Název anglicky

Geodetic survey of waterworks

Cíle práce

Vyhotovení polohopisného a výškopisného plánu vodního díla Rybník k. ú. Čechtice na Lučním potoce. Zaměřen bude polohopis a výškopis vodního díla a blízkého okolí, dno a odtok z vodního díla. Geodetické plány slouží jako podklad projektu při výstavbě nových malých vodních nádrží nebo pro revitalizace stávajících děl.

Metodika

- 1) rekonoskace terénu
- 2) doplnění bodového pole o body, ze kterých bude provedeno podrobné měření
- 3) podrobné zaměření
- 4) převedení dat z totální stanice do počítače
- 5) výpočet souřadnic podrobných bodů
- 6) vyhotovení polohopisného a výškopisného plánu
- 7) výsledky měření
- 8) popis lokality a vodního díla, využití a technické parametry vodního díla
- 9) výstupy: polohopisný a výškopisný výkres situace, seznam podrobných bodů

Doporučený rozsah práce

40 stran

Klíčová slova

malá vodní nádrž, revitalizace, podklady pro projekt, polohopis, výškopis

Doporučené zdroje informací

- Blažek R. a Skořepa Z., 1999: Geodézie 30. Vydavatelství ČVUT, Praha.
- Čábelka M., 2008: Úvod do GPS. CITT Praha Akademie kosmických technologií oblast Galileo, Praha.
- ČÚZK, ©2015: Návod pro správu geodetických základů. Český úřad zeměměřičský a katastrální, Praha.
- CHAMOUT, L. – SKÁLA, P. – ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE. LESNICKÁ FAKULTA. *Geodézie*. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2003. ISBN 80-213-1049-9.
- Kavanagh B. F., 2010: *Surveying with Construction Applications*. Pearson Education, Inc., New Jersey.
- Mansfeldová J., 2008: Geodetické výpočty 1. část. SPŠ zeměměřická, Praha.
- RATIBORSKÝ, J. – ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE. STAVEBNÍ FAKULTA. *Geodézie 20*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002. ISBN 80-01-02635-3.
- RATIBORSKÝ, J. *Geodézie 10*. Praha: ČVUT, Stavební fakulta, 2000. ISBN 80-01-02198-.
- Šíma J., 2018: Historický vývoj zeměměřických činností ve veřejném zájmu a státních orgánů v civilní sféře (1919-2018). Český úřad zeměměřičský a katastrální, Praha.

Předběžný termín obhajoby

2019/20 LS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Jiří Loula

Garantující pracoviště

Katedra biotechnických úprav krajiny

Elektronicky schváleno dne 25. 3. 2020

prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 26. 3. 2020

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 26. 03. 2020

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Zaměření vodního díla“ vypracoval samostatně a citoval jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použil a které jsem rovněž uvedl na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědom, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze dne 12. 6. 2020

.....

Tomáš Moudrý

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu práce Ing. Jiřímu Loulovi za rady, pomoc a vedení při tvorbě a psaní této bakalářské práce. České zemědělské univerzitě v Praze děkuji za zapůjčení měřického vybavení. Dále bych poděkoval figurantce Kristýně Flaškové za pomoc při měření a své rodině za podporu během celého studia a při tvorbě této práce.

V Praze dne 12. 6. 2020

.....

Tomáš Moudrý

ABSTRAKT

Bakalářská práce se věnuje geodetickému zaměření malé vodní nádrže. Předmětem práce je Rybník k. ú. Čechtice v okrese Benešov. Zaměření bylo provedeno elektronickou totální stanicí. Pro polohové připojení do S-JTSK byl použit oboustranně připojený a oboustranně orientovaný polygonový pořad. Výškové připojení do Bpv bylo uskutečněno trigonometrickou nivelací. Body, ze kterých bylo provedeno podrobné měření, byly stabilizovány ocelovými roxorovými tyčemi. Podrobné měření bylo provedeno polární metodou. Výstupy byly vyhotoveny v programu KOKEŠ.

Klíčová slova: malá vodní nádrž, revitalizace, podklady pro projekt, polohopis, výškopis

ABSTRACT

The topic of this bachelor thesis is a survey of a small water reservoir. Subject of the survey is the Pond in the cadastral area Čechtice in the Benešov district. Surveying was done by an electronic total station. Polygon traverse connected and oriented on both ends was used for planimetric connection to S-JTSK. The altitude connection to Bpv was done by trigonometric leveling. The points for detailed measurements were stabilized by steel roxor rods. Detailed measurement was performed by the polar method. The outputs were prepared in the software KOKEŠ.

Key words: small water reservoir, revitalization, documents for the project, planimetry, altimetry

OBSAH

ZADÁNÍ	2
PROHLÁŠENÍ.....	4
PODĚKOVÁNÍ	5
ABSTRAKT.....	6
ABSTRACT.....	6
OBSAH.....	7
1. ÚVOD	10
2. CÍL	11
3. HISTORIE KARTOGRAFIE A GEODÉZIE.....	12
4. ÚKOLY GEODÉZIE.....	14
5. POLOHOVÝ SOUŘADNICOVÝ SYSTÉM.....	15
5.1 Souřadnice a polohový souřadnicový systém.....	15
5.2 Veličiny v geodézii.....	15
5.3 Směrník	16
6. MÍRY POUŽITÉ V GEODEZII	18
6.1 Délkové míry	18
6.2 Plošné míry.....	20
6.3 Úhlové míry	20
7. BODOVÁ POLE NA ÚZEMÍ ČR.....	22
7.1 Bodové pole polohové	22
7.1.1 Historie bodového pole polohového	22
7.1.2 Současnost bodového pole polohového.....	23
7.1.3 Umístění a informace o bodech.....	23
7.1.4 Stabilizace a ochrana polohových bodů.....	24
7.2 Bodové pole výškové	25
7.2.1 Historie bodového pole výškového.....	25
7.2.2 Současnost bodového pole výškového	25
7.2.3 Číslování a informace o nivelačních bodech	27
7.2.4 Stabilizace a ochrana výškových bodů.....	28
7.3 Tíhové pole.....	28
8. ZÁKLADNÍ ÚLOHY PRO URČENÍ SOUŘADNIC BODŮ PODROBNÉHO POLOHOVÉHO BODOVÉHO POLE.....	29
8.1 Orientace osnovy směrů	29
8.1 Rajón	30

8.2 Protínání vpřed z úhlů	31
8.3 Protínání vpřed z orientovaných směrů.....	32
8.4 Protínání z délek.....	33
8.5 Volné stanovisko	34
8.6 Polygonové pořady	34
8.6.1 Oboustranně připojený a oboustranně orientovaný polygonový pořad	36
8.6.2 Oboustranně připojený a jednostranně orientovaný polygonový pořad	38
8.6.3 Jednostranně připojený a jednostranně orientovaný polygonový pořad (volný polygonový pořad)	38
8.6.4 Oboustranně připojený a neorientovaný polygonový pořad (vetknutý polygonový pořad).....	39
8.6.5 Uzavřený polygonový pořad	41
8.7 Plošné sítě	42
8.8 GNSS (globální navigační satelitní systémy).....	42
8.8.1 Kosmický segment	43
8.8.2 Řídící segment	43
8.8.3 Uživatelský segment	44
8.8.4 Metody určení vzdálenosti.....	44
8.8.4.1 Kódové měření	44
8.8.4.2 Fázové měření.....	44
8.8.5 Metody měření	45
8.8.5.1 Rychlá statická metoda	45
8.8.5.2 RTK (real time kinematic).....	45
8.8.6 Nepřesnosti při určování souřadnic pomocí GNSS a jejich potlačení	45
8.8.6.1 Troposférická refrakce	45
8.8.6.2 Ionosférická refrakce	46
8.8.6.3 Multipath	46
8.8.6.4 Diferenční GPS (DGPS)	46
8.8.7 Souřadnicový systém WGS 84.....	47
9. METODY URČENÍ NADMOŘSKÉ VÝŠKY	48
9.1 Nivelace.....	48
9.1.1 Niveláčnické pořady	48
9.1.1.1 Vložený niveláčnický pořad	48
9.1.1.2 Uzavřený niveláčnický pořad.....	48
9.1.1.3 Volný niveláčnický pořad.....	49
9.1.2 Niveláčnické metody	49

9.1.2.1 Geometrická nivelace ze středu.....	49
9.1.2.2 Geometrická nivelace kupředu	49
9.1.4 Druhy nivelace	50
9.1.4.1 Technická nivelace	50
9.1.4.2 Přesná nivelace	50
9.1.4.3 Velmi přesná nivelace a zvláště přesná nivelace	51
9.1.4.4 Trigonometrické určení převýšení	51
9.1.4.5 Trigonometrická nivelace.....	52
9.2 Globální navigační satelitní systémy	52
10. METODY MĚŘENÍ VÝŠKOPISU.....	53
10.1 Plošná nivelace.....	53
10.2 Tachymetrie	53
10.2.1 Nitková tachymetrie.....	53
10.2.2 Elektronická tachymetrie	54
11. METODIKA	56
11.1 Rekognoskace terénu.....	56
11.2 Doplnění bodového pole.....	56
11.3 Podrobné měření	59
11.4 Převedení dat z totální stanice.....	59
11.5 Výpočet souřadnic podrobných bodů.....	60
11.6 Vyhotovení polohopisného a výškopisného plánu	60
11.7 Výsledky měření.....	60
11.8 Vodní dílo	61
11.8.1 Druh, účel a využití vodního díla	62
11.8.2 Hydrologické údaje	62
11.8.3 Zařízení vodního díla	63
11.8.4 Manipulace s vodou.....	65
11.8.5 Charakteristické čáry nádrže.....	65
11.9 Výstupy.....	66
12. ZÁVĚR	67
13. PŘEHLED LITERATURY A POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	68
14. SEZNAM OBRÁZKŮ	70
15. SEZNAM PŘÍLOH.....	71

1. ÚVOD

První zmínky o malých vodních nádržích (rybnících) na našem území pochází již z 10. století. Hlavní rozvoj budování rybníků u nás proběhl v 16. století. Odhadovaná plocha zabraná rybníky byla přibližně 180 000 hektarů. Dnes není tato plocha ani třetinová. V současnosti je udáváno, že vodní plochy na našem území pokrývají plochu kolem 50 000 hektarů. Od 16. století se sice zvětšil počet i plocha velkých nádrží, ale pro zadržení vody v krajině jsou nejdůležitější menší vodní plochy.

Malá vodní nádrž je vodní dílo, které má sypanou hráz, objem zadržované vody po hladinu ovladatelného prostoru nepřesahuje 2 miliony m³ a maximální hloubka nádrže není více než 9 metrů.

Úbytek rybníků na našem území proběhl především na konci 18. a začátku 19. století. Hlavním důvodem odstranění vodních ploch byla snaha o vytvoření nových zemědělských pozemků.

V současné době s opakujícím se suchem je obnovena snaha o budování těchto malých vodních nádrží. Jedním z podkladů pro výstavbu nové nebo revitalizaci stávající malé vodní nádrže je polohopisné a výškopisné zaměření.

V této bakalářské práci je provedeno polohopisné a výškopisné zaměření novější malé vodní nádrže v okrese Benešov v katastrálním území Čechtice. Měření bylo provedeno elektronickou totální stanicí.

2. CÍL

Cílem práce bylo vyhotovení polohopisného a výškopisného plánu vodního díla Rybník k. ú. Čechtice na Lučním potoce. Zaměřen bude polohopis a výškopis vodního díla a blízkého okolí, dno a odtok z vodního díla. Geodetické plány slouží jako podklad projektu při výstavbě nových malých vodních nádrží nebo pro revitalizace stávajících děl.

3. HISTORIE KARTOGRAFIE A GEODÉZIE

U spousty vědních oborů lze říci, že jsou stejně staré jako lidstvo samo. Geodézie na tom není o moc jinak. Již první lidé chtěli zakreslit okolní krajinu v místech svého pobytu, a tak dávno před naším letopočtem můžeme vidět prvopočátky geodézie a kartografie. V roce 1962 byl na Pálavě nalezen mamutí kel s vyrytým náčrtem tábořiště lovců mamutů. Stáří nálezu je odhadováno na 28 000 - 24 000 let před naším letopočtem.

Základy současné podoby kartografie a geodézie byly položeny ve starověkém Řecku před více než 2000 lety. Aristoteles zjistil kulatost Země, matematik Thalet z Milétu vytvořil hvězdnou mapu, Eratosthenes z Kyreny vypočetl délku obvodu Země a Klaudius Ptolemaios vytvořil soubor 8 knih o geografii Geografia. Římané tvořili pouze vojenské a administrativní mapy.

Následně začalo období úpadku evropského mapování. Mimo Evropu mapovali především Mayové, Aztékové a Číňané. Mapy Mayů a Aztéků byly velmi dekorativní. Naopak Číňané využívali nejen kompas pro učení směrů, ale začali s určováním výšek nivelací. Na starém kontinentu probíhal úpadek i během středověku. Velkou měrou k tomu přispělo náboženství. Aristotelův objev kulaté Země byl vyměněn za tvrzení, že Země je plochá se středem v Jeruzalémě. V této době vznikaly O-T mapy. Měly kruhový tvar písmene O a kontinenty byly rozmístěny do tvaru T.

Ve 13.-14. století s rozvojem mořeplavců vzniklo mnoho mapových děl. K vyhotovení map byl použit kompas. Nejvíce map vyhotovili Italové, Španělé, Holanďané a Francouzi. Na mořských hladinách byla zakreslena síť směrových růžic o 16 nebo 32 paprscích. Dalšími zapsanými údaji byl portulán, což je přehled vzdálenosti od pobřeží. Důraz byl kladen na průběh pobřeží. Vnitrozemí bylo označeno jako "*hic sunt leones*" - v překladu zde jsou lvi.

V novověku se opět začalo blýskat na lepší časy v oblasti mapování. Renesanční kartografie disponovala velkými jmény, například Leonardo da Vinci, Mikuláš Koperník, Giordano Bruno nebo Galileo Galilei. Pro rozvoj kartografie bylo klíčové období kolem roku 1450, ve kterém Jan Guttenberg vynalezl knihtisk. Následovalo období objevitelských cest na přelomu 15. a 16. století.

Další rozvoj přišel s objevením nového kontinentu. Kryštof Kolumbus roku 1500 vydal mapu Nového světa. V této době byla opět obnovena myšlenka, že svět má kulový tvar. To vedlo na konci 15. a začátku 16. století pány Behaima a Schönera k výrobě prvních glóbů. V této době byla vytvořena jedna z nejstarších map našeho území. V roce 1518 byla vyhotovena Klaudyánova mapa. Její rozměry jsou 1260 na 640 mm a měřítko je přibližně 1:637 000. Je rozdělena na dvě části. Horní část zobrazuje erby zemí, rodů a měst. V dolní části, která má rozměry 460 na 550 mm je zobrazena samotná mapa.

Koncem 16. století spatřily světlo světa první atlasy, vyráběné v kartografických domech. Nizozemec Gerardus Mercator v roce 1604 vydal soubor 107 map v Mercatorově atlase. Vznikaly panoramatické pohledy na města – veduty.

Revoluce přišla okolo roku 1700 se zapojením zeměměřictví. Proběhla triangulace, určování velikosti zemského tělesa a zeměpisných souřadnic. V 18. století byly stanoveny parametry zemského elipsoidu. V 19. století proběhla podrobná měření na území Francie, Itálie, Nizozemska a Belgie pro vznik modernějších map. Využita byla hlavně triangulace. Po roce 1956 proběhlo globální mapování celé Země a vznikla Mapa světa v měřítku 1:2 500 000. (Lebedová, 2008)

4. ÚKOLY GEODÉZIE

Stáří vědního oboru geodézie bylo popsáno již v kapitole o historii kartografie a geodézie. Samo o sobě slovo geodézie má řecký původ. Slovo lze rozložit a chápat jako dělit Zemi. Tento vědní obor má především za úkol měřit, počítat, zakreslovat objekty, povrch a vlastně i celou Zemi. Z toho plynou dva hlavní úkoly.

Zaprvé vzájemné určení polohy bodů na povrchu Země, jak v jejich vodorovné, tak i svislé poloze. Zadruhé zakreslení požadovaných bodů, co nejrealističtějším způsobem, do dvojrozměrného zobrazení. K tomu bylo zapotřebí stanovit tvar zemského tělesa a následně vytvořit polohové a výškové základy. (Ratiborský, 2000)

Nápomocná je matematická kartografie, která se zabývá zobrazením zemského povrchu do roviny. Zobrazení je voleno tak, aby eliminovalo některé z možných zkreslení.

Druhy zobrazení lze rozdělit na:

- ekvidistantní (zachovává délky)
- ekvivalentní (zachovává plochy)
- konformní (zachovává úhly)
- kompenzační (zkresluje vše, ale v menší míře) (Krtička, 2007)

5. POLOHOVÝ SOUŘADNICOVÝ SYSTÉM

5.1 Souřadnice a polohový souřadnicový systém

V geodézii jsou pro vyjádření polohy bodů používány pravoúhlé souřadnice. Z bodů stabilizovaných v terénu byla vytvořena síť. Následné mapování je vázáno k této síti.

Jedním ze závazných polohových souřadnicových systémů na našem území je Systém jednotné trigonometrické sítě katastrální – S – JTSK. Tento souřadnicový systém vychází z Křovákova zobrazení. S – JTSK byl určen počátkem a kladným směrem osy X. Kladný směr osy Y byl získán otočením kladného směru osy X o 100^{g} (obecně o R) po směru chodu hodinových ručiček, což je obecné pravidlo pro geodetické souřadnicové systémy.

V Systému jednotné trigonometrické sítě katastrální jde kladný směr osy X k jihu a kladný směr osy Y na západ. Následně je celé území České republiky (v době vzniku S-JTSK celé území Československa) v prvním kvadrantu. Z toho vzniká výhoda, že souřadnice vždy budou nabývat kladných hodnoty. Dále platí zákonitost, že hodnota souřadnice X je vždy větší, než hodnota souřadnice Y. (Mašín a kol., 1980)

5.2 Veličiny v geodézii

Pro výpočet souřadnice bodu musí být změřen nebo dán dostatečný počet veličin. Pro výpočet dvou souřadnic Y a X je zapotřebí alespoň dvou veličin získaných z měřených hodnot. Veličiny lze rozdělit do tří skupin.

Měřením v terénu je možné získat měřené veličiny, kterými jsou šikmé délky a směry mezi body.

Druhou skupinou jsou zprostředkující veličiny, které lze vypočítat z měřených veličin a současně ze souřadnic bodů. Takovými veličinami jsou vodorovné délky, úhly a směrník.

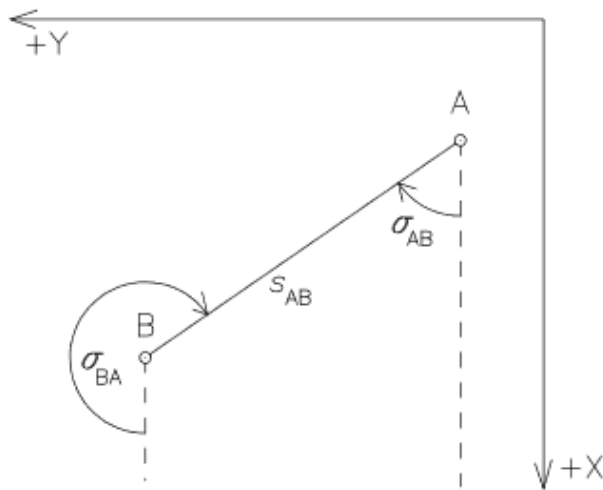
Poslední kategorie zahrnuje veličiny dané. Těmi jsou souřadnice bodů, které byly použity při výpočtech.

K výpočtu souřadnic bodů jsou použity následující veličiny:

- vodorovná vzdálenost mezi známým bodem a určovaným bodem
- úhel je brán od spojnice dvou bodů o známých souřadnicích na námi určovaný bod
- směrník (Mašín a kol., 1980)

5.3 Směrník

Směrník bývá označen řeckým písmenem σ (sigma). Písmeno je doplněno indexy bodů, mezi kterými je směrník určen. Například směrník σ_{AB} (obrázek 1) je úhel určený na bodě A od rovnoběžky s kladným směrem osy X až po spojnici bodů AB.



Obrázek 1: Vztah mezi směrniky (Mansfeldová, 2008)

Vztah mezi směrniky:

$$\sigma_{AB} = \sigma_{BA} \pm 2R \text{ (znaménko použijeme, aby platilo } 0 \leq \sigma < 4R)$$

K výpočtu směrniku σ_{AB} potřebujeme mít dány souřadnice bodů A, B. Z nich si vypočítáme souřadnicové rozdíly Δy a Δx :

$$\Delta y_{AB} = y_B - y_A$$

$$\Delta x_{AB} = x_B - x_A$$

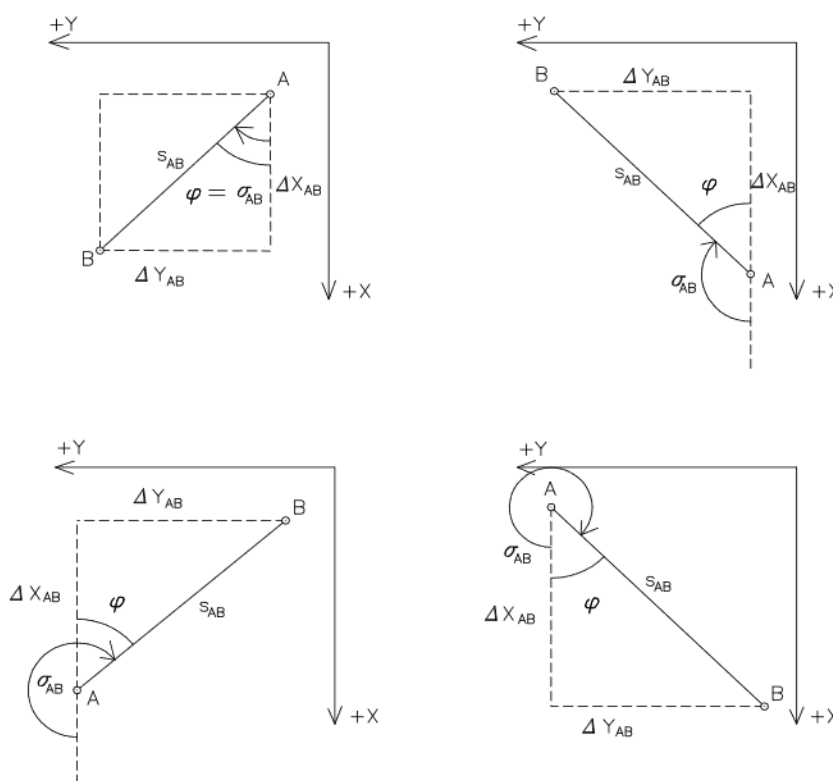
V dalším kroku, k výpočtu směrničky, si vypočítáme úhel φ . φ je ostrý úhel při bodu A, který svírá spojnice bodů A a B a rovnoběžka s kladným směrem osy X, procházející bodem A. Do vzorce dosadíme souřadnicové rozdíly v absolutní hodnotě:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{|\Delta y_{AB}|}{|\Delta x_{AB}|}$$

Podle znamének souřadnicových rozdílů bodů A a B určíme, v jakém kvadrantu směrnička leží. Pro následný výpočet směrničky použijeme vzorce pro příslušné kvadranty (obrázek 2), které jsou sepsány ve čtvrtém sloupci následující tabulky.

Kvadrant	Δy	Δx	σ_{AB}
I	+	+	$\sigma_{AB} = \varphi$
II	+	-	$\sigma_{AB} = 2R - \varphi$
III	-	-	$\sigma_{AB} = 2R + \varphi$
IV	-	+	$\sigma_{AB} = 4R - \varphi$

(Mansfeldová, 2008)



Obrázek 2: Směrnička σ_{AB} a úhel φ v kvadrantech (Mansfeldová, 2008)

6. MÍRY POUŽITÉ V GEODEZII

Jak již bylo zmíněno, veličinami pro určení polohy jsou směrník, délka a úhel. Přitom poslední dvě jsou přímo i nepřímo měřeny. Směrník je dopočten.

6.1 Délkové míry

V současné době je pro vyjádření délek využíván metr. Metr je délka dráhy, kterou urazí světlo ve vakuu za $1/299\,792\,458$ sekundy. Metr se označuje písmenem m. Lze ho dělit například následujícím postupem.

$$1 \text{ m} = 10 \text{ dm (decimetrů)}$$

$$1 \text{ m} = 100 \text{ cm (centimetrů)}$$

$$1 \text{ m} = 1000 \text{ mm (milimetrů)}$$

Délkové míry byly v dřívějších dobách používány především v obchodování. Dnes se snažíme stále vylepšovat a zpřesňovat metody měření vzdáleností. V minulosti, kdy nebyla zavedena metrická soustava, se ovšem používaly k určování délek nejčastěji části lidského těla. Tak vznikly míry jako například sáh, loket, stopa, píd', palec. Další názvy měr byly odvozeny od používaných měřidel, jako byla například míra provazec.

Míry mohly být doplněny názvem místa, kde byly určeny. Takto třeba vznikl loket pražský a loket vídeňský. V těchto zdánlivě identických mírách byl však poměrně značný rozdíl. Pokud by byl zakoupen pražský loket provazu, tak bychom obdrželi jen 0,5914 m. Ve Vídni by provaz dlouhý vídeňský loket měl ovšem 0,777558 m. Aby prodejci a kupci z různých míst našli sjednocení, byly na radnicích nebo v blízkosti tržišť umístěovány kovové tyče přesné místní míry.

Za dob Karla IV. nedaleko Dobyččího trhu (Tržiště velké), dnes se jedná o Karlovo náměstí, byl na Novoměstskou radnici umístěn etalon pražského lokte (obrázek 3). Z důvodu, jaký je dodnes napsán na pamětní desce umístěné na radnici: “Aby každý maje k tomu přístup volný, jistou míru toho lokte pražského sobě vzíti mohl“.



Obrázek 3: Etalon na Novoměstské radnici v Praze

Kolem poloviny 18. století se ustálila jednotná soustava zemských měr. Tyto míry byly shodné s měrami pražskými. Na území Moravy se uplatnily vídeňské míry. Mezi lety 1856 až 1856 byly na území monarchie přijaty míry a váhy dolnorakouské. Vídeňský sáh se rovnal 1,89648 m.

Mezitím ve světě přišel důležitý mezník v roce 1666 ve Francii, kde byla založena pařížská akademie věd. Akademie měla za hlavní úkol určit správný obvod Země.

Roku 1791 byl přijat za jednotku délky metr. Metr byl definován jako desetimiliontá část kvadrantu zemského poledníku, redukovaného na mořskou hladinu. Podkladem pro toto určení bylo měření části poledníku $2^{\circ} 20'$ východní délky, který prochází hlavním městem Francie.

Výsledná hodnota metru byla přenesena mezi značky na platinové tyči o průřezu $25 \times 4,05$ mm a teplotě 0° C. Název metr byl odvozen od řeckého výrazu metron, který lze přeložit jako míra.

Dne 25. 5. 1875 byla dvacítkou států uzavřena metrická konvence. K těmto státům se nakonec přidala většina světa. Současně byly určeny násobné a dílčí soustavy na základě desetinného dělení. Celá soustava byla nazvána metrickou soustavou. Definice metru se časem postupně měnila až do roku 1983. Od tohoto roku platí současná definice metru. (Ratiborský, 2000)

6.2 Plošné míry

Pro plošnou jednotku byl použit čtverečný sáh a dolnorakouské jitro. Jedno dolnorakouské jitro se rovnalo 1600 čtverečním sáhům. Následně po stanovení délky metru vznikly i jednotky plošné a objemové. Plošné jednotky dostaly přívlástek čtvereční a objemové krychlové. (Mašín a kol., 1978)

6.3 Úhlové míry

Úhel je svírán dvěma polopřímkami o společném počátku. Jejich počátek je vrchol úhlu a obě polopřímky jsou ramena úhlu. Úhly lze vyjádřit pomocí různých měř a jejich jednotek. Nejpoužívanější míry budou popsány níže.

Setinná míra se v geodezii používá nejčastěji. Základní jednotky jsou gony, ale v praxi se používá název grády. Gon (grád) je značen $^{\text{g}}$. Plný kruh $4R = 400^{\text{g}}$.

Dělení je následující.

$$1^g = 100^c \text{ (centigon nebo setinná (grádová) minuta)}$$

$$1^g = 10\,000^{cc} \text{ (decimiligon nebo setinná (grádová) vteřina)}$$

$$1^c = 100^{cc}$$

Pro vyjádření úhlu lze dále použít šedesátinnou míru. Šedesátinná míra má základní jednotky stupně $^{\circ}$. Hodnota 360° vyjadřuje plný kruh. Stupně lze dělit následujícím způsobem.

$$1^{\circ} = 60' \text{ (minuty)}$$

$$1^{\circ} = 3\,600'' \text{ (vteřiny)}$$

Třetí často používaný způsob k vyjádření velikosti úhlu je oblouková míra. Zde je úhel definován jako poměr délky oblouku středového úhlu k jeho poloměru. Plný kruh $4R$ má hodnotu 2π .

Dříve se například v hornictví používaly míry hodinové nebo míry dílcové, které byly využity ve vojenství. (Mašín a kol., 1978)

7. BODOVÁ POLE NA ÚZEMÍ ČR

V minulosti byly na našem území vybudovány sítě tří plošných bodových polí. Bodové pole polohové, výškové a tíhové. Od 20. let 20. století měla Česká republika vytvořeny kvalitní základy pro referenci ve všech třech polích. Následně na ně bylo navázáno podrobné měření, vytyčování hranic pozemků, zaměření staveb a další práce. (Císař a kol., 1977)

7.1 Bodové pole polohové

Snahou při budování bodového pole polohového je realizace bodů v terénu. Po jejich umístění následuje určení souřadnic. Tyto body jsou použity jako výchozí pro podrobné měření. Souřadnice jsou udávány v metrech. (Císař a kol., 1977)

7.1.1 Historie bodového pole polohového

První snaha o vybudování bodového pole byla katastrální triangulace, která proběhla v letech 1807-1860. Na našem území se práce konaly od roku 1821 do roku 1864.

Body byly budovány číselnou i grafickou triangulací. Body I.-III. řádu byly budovány číselnou triangulací a body IV. řádu pouze grafickou triangulací, která spočívala pouze v protnutí směrů v mapách. Rozměr sítě byl dán pouze čtyřmi přímo měřenými délkovými základnami.

Body byly stabilizovány ve většině případů dřevěnými kůly, které byly po 20 až 30 letech nahrazovány stabilizačními mezníky. Stabilizační mezníky byly označeny písmeny K.V. (Katastral Vermessung – katastrální zaměření). Problémem u nahrazování kůly mezníky bylo časté nepřesné umístění mezníku na bod.

Souřadnicové soustavy byly pro území Čech, Moravy a Slezska oddělené. Pro Čechy byl Gusterberský systém s počátkem na trigonometrickém bodu Gusterberg. Pro Moravu a Slezsko byl Svatoštěpánský systém, který měl počátek v trigonometrickém bodu sv. Štěpán ve Vídni. Průběh os Y a X byl u obou systémů stejný. Kladná větev osy X jde ve směru poledníku na jih. Kladný směr osy Y jde o R po směru chodu hodinových ručiček.

Mezi lety 1862-1898 proběhla vojenská triangulace pro evropské stupňové měření. Z výsledků stupňového měření bylo možno zjistit rozměry Země. Principem stupňových měření bylo určení vzdálenosti dvou bodů ležících na stejném poledníku,

popřípadě rovnoběžce. Kolem stovky bodů bylo převzato z katastrální triangulace. Vojenská triangulace měla 22 délkových základů. Plošná síť měla nedostatky především na Moravě. Základním bodem byl Hermannskogel (severovýchodně nedaleko Vídně). Kameny označeny M.T. (Militar-Triangulierung – vojenská triangulace).

Rok po vzniku samostatné republiky vznikla Triangulační kancelář. Jejím přednostou se stal Ing. Josef Křovák. Triangulační kancelář měla především za úkol vytvořit nové kartografické zobrazení a novou trigonometrickou síť. V letech 1920-1957 proběhly práce na vybudování Jednotné trigonometrické sítě katastrální. Na části území byly převzaty měřené osnovy směrů z vojenské triangulace. Z vojenské triangulace bylo převzato 107 identických bodů a dopočítány u nich souřadnice Y a X v Křovákově zobrazení. Postupně se síť zhušťovala body I, II, III a IV řádu. Zhušťování umožňovalo podrobné měření. Body IV. řádu byly od sebe vzdáleny přibližně 2,5 km. Roku 1957 byly ukončeny triangulační práce a síť pokrývala celé území tehdejšího státu.

Od roku 1931 až do roku 1954 byla budována Astronomicko-geodetická síť. Z velké části byly použity jako identické body z JTSK I. řádu. Během prací bylo změřeno 227 trojúhelníků, které měly dohromady 144 vrcholů.

V období 1956-1958 proběhlo spojení a následné vyrovnání Astronomicko-geodetické sítě s ostatními zeměmi východní Evropy. (Císař a kol., 1977)

7.1.2 Současnost bodového pole polohového

V současné době lze rozdělit polohové základy České republiky do tří skupin. První je základní polohové bodové pole (ZBPB). Do něj patří referenční síť nultého řádu, Astronomicko-geodetická síť, Česká státní trigonometrická síť a geodynamická síť. Druhá skupina zahrnuje zhušťovací body (ZhB) a do třetí patří podrobné polohové bodové pole. (Ratiborský, 2002)

7.1.3 Umístění a informace o bodech

Umístění bodu základního polohového bodového pole je vybíráno tak, aby nedoházelo k ohrožování bodu a signalizace byla jednoduchá. Byla snaha umístit bod na takové místo, ze kterého bylo možno orientovat na okolní body.

K jednotlivým bodům je přiděleno číslo, případně název a k jaké evidenční jednotce patří – viz vyhláška 31/1995 Sb. Číslování bodů v Systému jednotné trigonometrické sítě katastrální je následující.

Body ZPBP a ZhB jsou číslovány v rámci triangulačního listu (území o velikosti 10 x 10 km) a body PPBP jsou číslovány v rámci jednotlivých katastrálních území. Rozmezí číslování jednotlivých řádů je 1–199 pro ZPBP, 201–499 pro ZhB a pro PPBP od 501–3999. Dočasné pomocné body se obvykle číslují od 4001.

Každý bod má své geodetické údaje, v nichž je zapsáno mimo jiné, o jaký druh bodu se jedná, k jakému roku je zapsaný stav platný, v jakém kraji, okresu a obci se bod nachází, jeho číslo a název, souřadnice, pokud má zajišťovací body tak jejich souřadnice, popřípadě nadmořská výška a místo ke kterému se vztahuje, půdorysný náčrt situace, místopisný popis, orientace na okolní body, stabilizační údaje, katastrální území a nárys trvalého signálu. (Ratiborský, 2002)

7.1.4 Stabilizace a ochrana polohových bodů

Body jsou trvale stabilizovány a dle nutnosti chráněny příslušným opatřením. Stabilizace bodů je provedena několika způsoby dle toho, do jaké kategorie polohového bodového pole bod spadá. Nejčastěji jsou použity povrchová stabilizace se dvěma podzemními značkami nebo povrchová stabilizace s jednou podzemní značkou. Některé body jsou označovány jako body s trvalou signalizací. Jsou to body jejichž poloha se vztahuje k napojení makovice na věž kostela. Takový bod nemůže mít ve své stabilizaci podzemní značky, proto má ve své blízkosti zajišťovací body.

Trigonometrické a zhušťovací body jsou opatřeny ochrannými znaky. Prvním je červeno-bílá nebo černo-bílá ochranná tyč. Druhý prvek je umístěn na ochranné tyči a je jím tabulka s nápisem “STÁTNÍ TRIANGULACE POŠKOZENÍ SE TRESTÁ“. Některé z významnějších bodů jsou chráněny betonovou skruží, tříbokou pyramidou, ochranným nebo vyhledávacím kopcem. Na trigonometrickém bodu může být postaveno speciální zařízení. Tímto zařízení může být zvýšené měřické postavení, signál nebo měřická věž. (Sálová, 2008a)

7.2 Bodové pole výškové

7.2.1 Historie bodového pole výškového

Již ve druhé polovině 19. století probíhala nivelační měření. Na území tehdejší monarchie dostal za úkol Vojenský zeměpisný ústav vybudovat výškové síť. Mezi lety 1873–1896 proběhlo měření od tehdejšího výchozího bodu v Terstu, který byl vztažen ke střední hladině Jaderského moře. Měřické práce byly provedeny metodou velmi přesné nivelace. Bylo vytipováno sedm lokalit pro umístění základních nivelačních bodů. Území muselo být především geologicky stabilní. Síť byla propojena se sousedními státy a v letech 1918-1938 proběhlo doplnění sítě. Československo převzalo část rakousko-uherské sítě. Z Rakousko-Uherských základů Československo převzalo i tři základní nivelační body – Lišov, Strečno a Trebušany.

V následujícím období od roku 1939 do roku 1960 byla vybudována Československá státní jednotná nivelační síť s výchozím bodem Lišov. V roce 1947 se přidalo dalších šest základních nivelačních bodů – Svárov, Žirovnice, Teplice, Železná Ruda, Bojkovice a Krnov.

Jedna z největších změn v budování výškové sítě na našem území přichází se zavedením nového výškového systému Balt po vyrovnání – Bpv. V 50. letech minulého století byly sjednoceny výškové systémy zemí střední a východní Evropy. Systém Balt po vyrovnání je vztažen ke střední hladině Baltského moře na vodočtu v Kronštatu. Rozdíl mezi výškami v systému Balt po vyrovnání oproti Jadranském systému není konstantní. Rozdíl se pohybuje okolo – 40 cm.

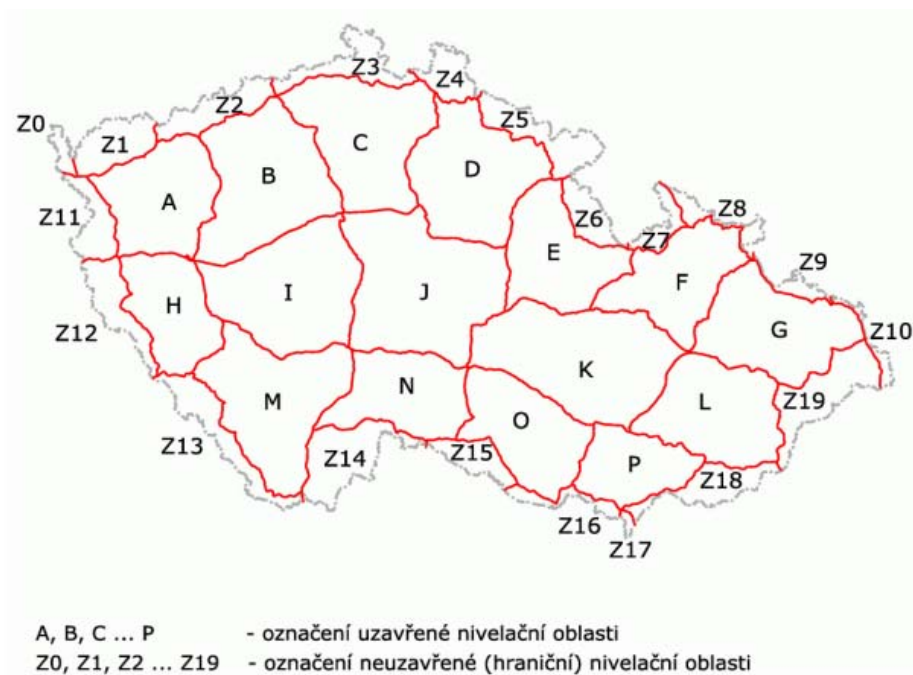
V roce 1961 v Moskvě proběhla důležitá schůzka zástupců geodetických služeb. Byl schválen společný projekt na obnovu výškových sítí. Na našem území započaly práce roku 1961 a byly provedeny Československou geodetickou službou. Práci se zúčastnili i geologové, kteří pomáhali volit spolehlivá a stabilní místa. Byl zvolen nový výchozí bod Pecný. Po roce 1989 byla naše síť zařazena do celoevropské jednotné nivelační sítě – UELN. (Šíma, 2018)

7.2.2 Současnost bodového pole výškového

Dnešní výškové bodové pole lze rozdělit na základní výškové bodové pole-ZVBP a podrobné výškové bodové pole – PVBP. Do ZVBP patří základní nivelační body a body České státní nivelační sítě (ČSNS) I. – III. řádu. PVBB lze dále dělit

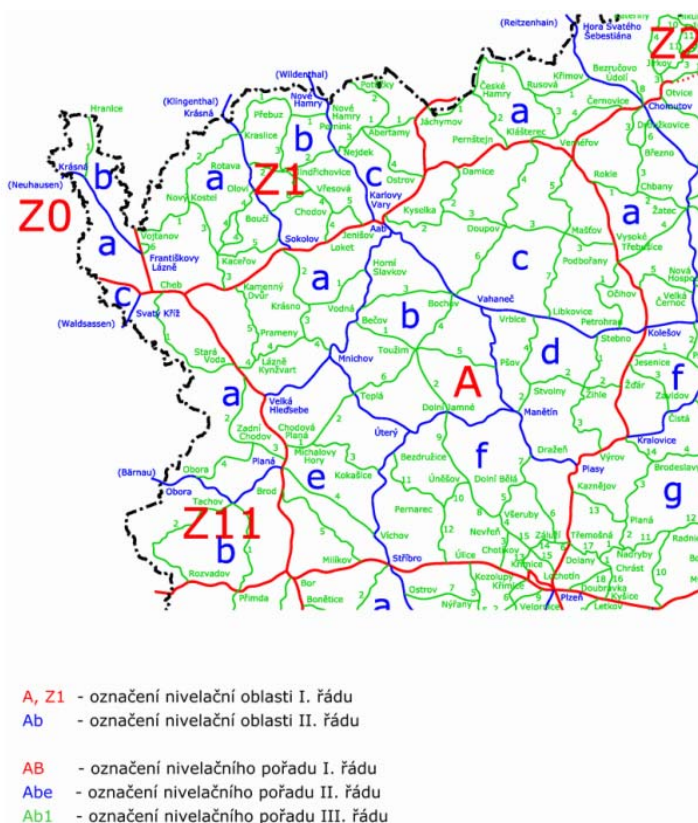
na nivelační síť IV. řádu, plošné nivelační sítě, stabilizované body technických nivelací.

Území státu bylo rozděleno na uzavřené nivelační oblasti I. řádu, které byly ohraničeny nivelačními pořady I. řádu. Nivelační oblasti I. řádu jsou označovány velkými písmeny. V oblastech státních hranic jsou nivelační oblasti označeny písmenem Z s indexem (např. Z₁) (obrázek 4).



Obrázek 4: Přehled nivelačních oblastí I. řádu ČSNS (ČÚZK, 2015)

Nivelační oblasti I. řádu byly dále děleny nivelačními pořady II. řádu na nivelační oblasti II. řádu. Nivelační oblasti II. řádu jsou označeny malými písmeny. Ty byly následně děleny nivelačními pořady III. řádu. Nivelační pořady v oblastech III. řádu jsou označeny čísly (obrázek 5). Obdobně byly rozděleny nivelační oblasti III. řádu nivelačními pořady IV. řádu.



Obrázek 5: Přehled nivelačních oblastí (ČÚZK, 2015)

Balt po vyrovnání je závazným výškovým systémem. Vzdálenost bodů nivelační sítě v nezastavěném území je menší než 1 kilometr. V zástavbě je snaha, aby průměrná vzdálenost mezi nivelačními body byla okolo 0,3 kilometru. (Blažek a Skořepa, 1999)

7.2.3 Číslování a informace o nivelačních bodech

Nivelační pořady I. řádu jsou označeny dvojicí velkých písmen označující sousední oblasti a názvy počátečního a koncového nivelačního bodu (např. NO Jihlava–Jemnice).

Označení nivelačního pořadu II. řádu vychází z velkého písmene I. řádu, dvou malých písmen označující styčné oblasti II. řádu a opět z názvů počátečního a koncového nivelačního bodu (např. Nab Pelhřimov – Jindřichův Hradec).

Označení nivelačního pořadu III. řádu je složeno z velkého písmena I. řádu, malého písmena II. řádu, pořadovým číslem a názvem místa začátku a konce nivelačního pořadu (např. Na4 Mlýny – Soběslav). Jednotlivé nivelační body jsou označeny číslem pořadu a pořadím od výchozího nivelačního bodu. (Blažek a Skořepa, 1999)

Každý nivelační bod má své nivelační údaje. Ty obsahují informaci mimo jiné, o jaký nivelační pořad se jedná, označení daného bodu, označení předchozího bodu v nivelačním pořadu, vzdálenost v kilometrech od předchozího bodu v pořadu i vzdálenost od počátečního bodu, nadmořskou výšku bodu, rok určení výšky, místopis s popisem, stav a stáří objektu, v jakém okrese, obci a katastrálním území se bod nachází, na jakém listu ZM-50 a SMO-5 se bod nachází. (Sálová, 2008b)

7.2.4 Stabilizace a ochrana výškových bodů

Stabilizace bývá provedena třemi nejčastějšími způsoby. Nejpoužívanějšími způsoby stabilizace jsou čepová nebo hřebová značka. Dalším může být skalní stabilizace s vodorovnou ploškou s křížkem nebo vrchlíkem. K ochraně výškových bodů jsou použity červeno-bílé nebo černo-bílé ochranné tyče, která má tabulku s nápisem “STÁTNÍ NIVELACE POŠKOZENÍ SE TRESTÁ“. U některých bodů je provedena ochrana pomocí betonové skruže, ochranným nebo vyhledávacím kopcem. (Blažek a Skořepa, 1999)

7.3 Tíhové pole

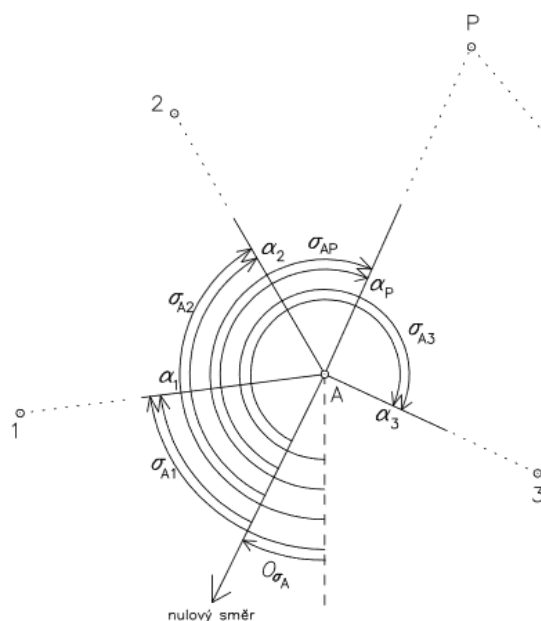
Tíhové pole obsahuje body, které mají určenou hodnou tíhového zrychlení. (Slovník VÚGTK, 2019) Tíhové body se dělí na body základního tíhového pole a body podrobného tíhového pole. (Slovník VÚGTK, 2019) Tíhové pole v této práci nebylo použito, proto zde není více rozepsáno.

8. ZÁKLADNÍ ÚLOHY PRO URČENÍ SOUŘADNIC BODŮ PODROBNÉHO POLOHOVÉHO BODOVÉHO POLE

Tyto úlohy slouží k vytvoření nebo doplnění bodového pole polohového v zájmové lokalitě, tak aby se zjednodušily práce v terénu a bylo možno zaměřit všechny potřebné prvky. Níže budou popsány jedny z nejpoužívanějších úloh.

8.1 Orientace osnovy směrů

V této úloze je zapotřebí počátek osnovy směrů přesunout do směru osy X. Orientační posun $O\sigma_A$ je úhel, který svírá nulový směr a rovnoběžka s osou X procházející bodem A (obrázek 6).



Obrázek 6 Orientace osnovy směrů (Mansfeldová, 2008)

Dáno: A, 1, 2, 3 [Y, X] Měřeno: osnovy směrů α na bodě A Výsledek: σ_{AP}

Výpočet směrníku σ_{AP} zahájíme výpočtem směrníků σ_{A1} , σ_{A2} , a σ_{A3} ze zadaných souřadnic.

Hodnotu orientačního posunu pro každý směr vypočteme:

$$O\sigma_{Ai} = \sigma_{Ai} - \alpha_i$$

Pokud jsou rozdíly mezi orientačními posuny v mezních odchylkách, tak můžeme vypočítat průměrnou hodnotu orientačního posunu.

$$O\sigma_A = \frac{\Sigma O\sigma_A}{i}$$

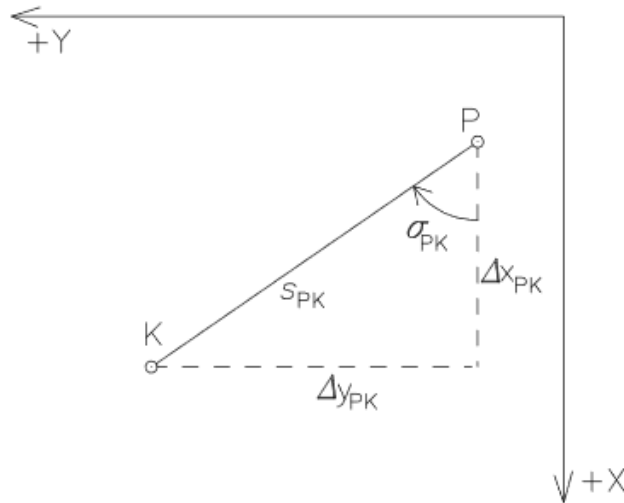
i – počet průměrovaných orientačních posunů

Směrník σ_{AP} můžeme vypočítat:

$$\sigma_{AP} = O\sigma_A + \alpha_p$$

8.1 Rajón

K výpočtům v této úloze potřebujeme změřit délku orientované úsečky a vypočítat směrník (obrázek 7). Dále musí být známy souřadnice počátečního bodu této úsečky.



Obrázek 7 Délka orientované úsečky a směrník (Mansfeldová, 2008)

Dáno: P [Y, X], σ_{PK} (vypočten z měření) Měřeno: S_{PK} Výsledek: K [Y, X]

Souřadnice bodu K získáme pomocí výpočtu souřadnicových rozdílů Δx_{PK} a Δy_{PK} . Souřadnicové rozdíly dostaneme výpočty z pravoúhlého trojúhelníka.

$$\Delta y_{PK} = S_{PK} * \sin \sigma_{PK}$$

$$\Delta x_{PK} = S_{PK} * \cos \sigma_{PK}$$

Tyto souřadnicové rozdíly přičteme k počátečnímu bodu P. Celé výsledné rovnice výpočtu souřadnic Y_K a X_K jsou následující.

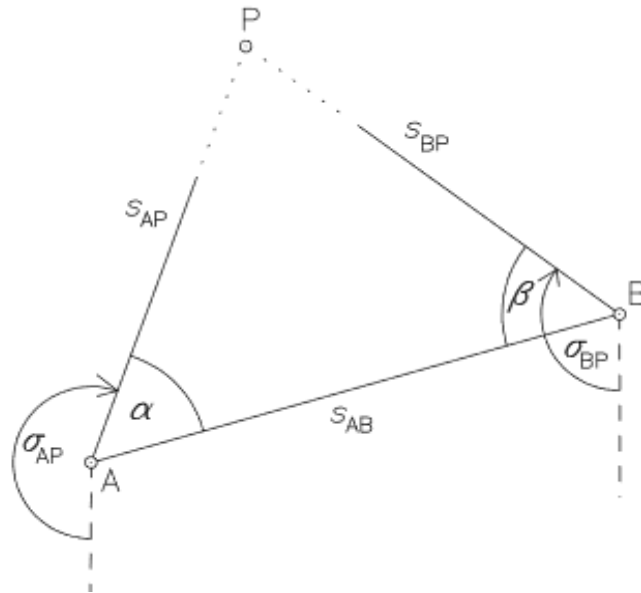
$$Y_K = Y_P + S_{PK} * \sin \sigma_{PK}$$

$$X_K = X_P + S_{PK} * \cos \sigma_{PK}$$

(Mansfeldová, 2008)

8.2 Protínání vpřed z úhlů

V této úloze jsou na dvou známých bodech měřeny vrcholové úhly mezi známými body a určovaným bodem (obrázek 8). Výpočet lze převést na úlohu rajónu nebo provést transformaci.



Obrázek 8: Protínání vpřed z úhlů (Mansfeldová, 2008)

Dáno: A, B [Y, X] Měřeno: α , β Výsledek: P [Y, X]

Výpočet pomocí převedení na rajón zahájíme výpočtem délky S_{AB} a směrníku σ_{AB} a σ_{BA} .

Poté vypočteme směrníky σ_{AP} a σ_{BP} :

$$\sigma_{AP} = \sigma_{AB} - \alpha$$

$$\sigma_{BP} = \sigma_{BA} + \beta$$

Výpočet stran S_{AP} a S_{BP} vychází ze sinové věty:

$$\frac{S_{BP}}{\sin \alpha} = \frac{S_{AP}}{\sin \beta} = \frac{S_{AB}}{\sin(\alpha + \beta)}$$

Po úpravě dostáváme:

$$S_{AP} = S_{AB} * \frac{\sin \beta}{\sin(\alpha + \beta)}$$

$$S_{BP} = S_{AB} * \frac{\sin \alpha}{\sin(\alpha + \beta)}$$

Na závěr vypočteme dvakrát (z bodu A i z bodu B) souřadnice bodu P. Výsledky se mohou vlivem zaokrouhlování lehce odlišovat.

$$Y_P = Y_A + S_{AP} * \sin \sigma_{AP}$$

$$X_P = X_A + S_{AP} * \cos \sigma_{AP}$$

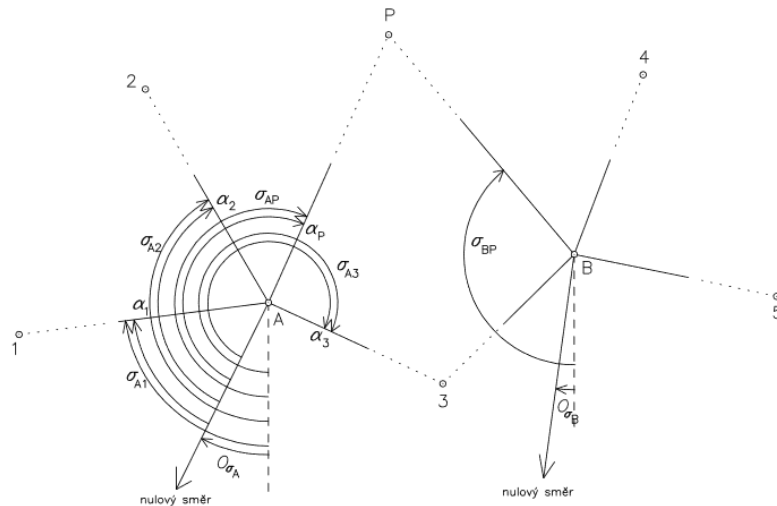
$$Y_P = Y_B + S_{BP} * \sin \sigma_{BP}$$

$$X_P = X_B + S_{BP} * \cos \sigma_{BP}$$

(Mansfeldová, 2008)

8.3 Protínání vpřed z orientovaných směrů

Tento typ protínání je použit v případě, že je znám směrník na určovaný bod ze dvou známých bodů. Směrník byl vypočten například úlohou orientace osnovy směrů (obrázek 9).



Obrázek 9: Protínání vpřed z orientovaných směrů (Mansfeldová, 2008)

Dáno: A, B, 1, 2, 3,4,5 [Y, X] Vypočteno: σ_{AB} , σ_{BA} , σ_{AP} , σ_{BP} Výsledek: P [Y, X]

Výpočet souřadnic bodu P lze provést opět převodem na úlohu rajónu. Ze zadaných souřadnic je vypočtena délka S_{AB} a směrníky σ_{AB} a σ_{BA} . Úhly α a β získáme:

$$\alpha = \sigma_{AB} - \sigma_{AP}$$

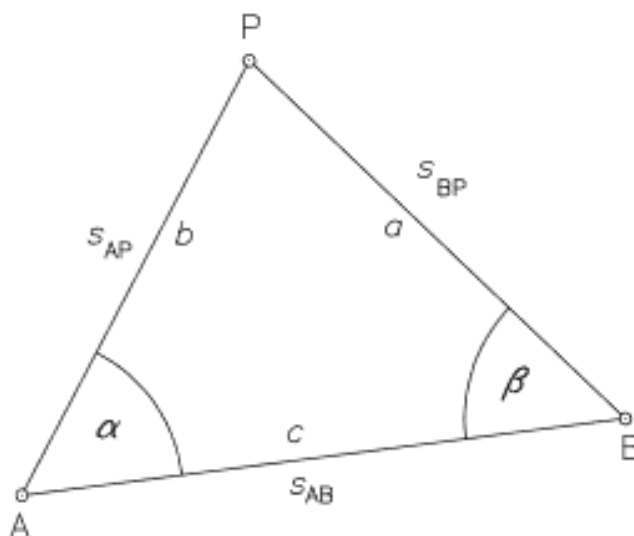
$$\beta = \sigma_{BP} - \sigma_{BA}$$

Výpočty délek S_{AP} a S_{BP} a souřadnic bodu P je stejný jako u protínání vpřed z úhlů převedením na úlohu rajónu. (Mansfeldová, 2008)

8.4 Protínání z délek

Na rozdíl od předešlých protínání máme u této úlohy známy délky mezi určovaným a známými body.

Prvním způsobem určení souřadnic bodu P může být opět pomocí převedení na úlohu rajónu (obrázek 10). Druhým způsobem výpočtu je transformace.



Obrázek 10: Protínání z délek (Mansfeldová, 2008)

Dáno: A, B [Y, X] Měřeno: s_{AP} , s_{BP} Výsledek: P [Y, X]

Ze zadaných souřadnic vypočteme délku s_{AB} , směrnik σ_{AB} a směrnik σ_{BA} .

Výpočty úhlů α a β jsou provedeny kosinovou větou:

$$s_{BP}^2 = s_{AP}^2 + s_{AB}^2 - 2 * s_{AP} * s_{AB} * \cos \alpha$$

$$s_{AP}^2 = s_{AB}^2 + s_{BP}^2 - 2 * s_{AB} * s_{BP} * \cos \beta$$

Pomocí úpravy získáme výsledné vzorce:

$$\cos \alpha = \frac{s_{AP}^2 + s_{AB}^2 - s_{BP}^2}{2 * s_{AB} * s_{AP}}$$

$$\cos \beta = \frac{s_{BP}^2 + s_{AB}^2 - s_{AP}^2}{2 * s_{AB} * s_{BP}}$$

Za použití úhlů α , β a směrniců σ_{AB} , σ_{BA} lze vypočítat směrníky σ_{AP} , σ_{BP} .

$$\sigma_{AP} = \sigma_{AB} - \alpha$$

$$\sigma_{BP} = \sigma_{BA} + \beta$$

Rovnice rajónu jsou stále stejné. Výpočet je proveden z obou známých bodů. Výsledné souřadnice se mohou lišit vlivem zaokrouhlení.

$$Y_P = Y_A + S_{AP} * \sin \sigma_{AP}$$

$$X_P = X_A + S_{AP} * \cos \sigma_{AP}$$

$$Y_P = Y_B + S_{BP} * \sin \sigma_{BP}$$

$$X_P = X_B + S_{BP} * \cos \sigma_{BP}$$

(Mansfeldová, 2008)

8.5 Volné stanovisko

Tato metoda je použita v případě, že měření bylo provedeno z bodu o neznámých souřadnicích. Ze stanoviska bylo provedeno měření na známě body. Výpočet souřadnic stanoviska je metodou nejmenších čtverců. (Mansfeldová, 2008)

8.6 Polygonové pořady

Polygonový pořad si lze představit jako lomenou čáru, která začíná na bodu o známých souřadnicích a spojuje polygonové body. Vrcholy polygonového pořadu se nazývají polygonové body a délky mezi těmito body vytváří polygonové strany.

Pro určení souřadnic polygonových bodů musíme změřit délky polygonových stran a levostranné vrcholové úhly. Levé strana se určí dle směru výpočtu polygonového pořadu. (Mansfeldová, 2008) Sousední polygonové strany by měly být voleny tak, aby měly podobnou délku. Celý polygonový pořad by měl být co nejvíce přímý. Počet nutných veličin (dle typu úlohy) musí být totožný s počtem určovaných hodnot. Nadbytečné veličiny vedou k vyrovnání měření.

Vysvětlení označení bodů a hodnot v následující tabulce.

P – počáteční bod polygonu **K** – koncový bod polygonu

Q – bod, na který je provedena orientace z bodu **P**

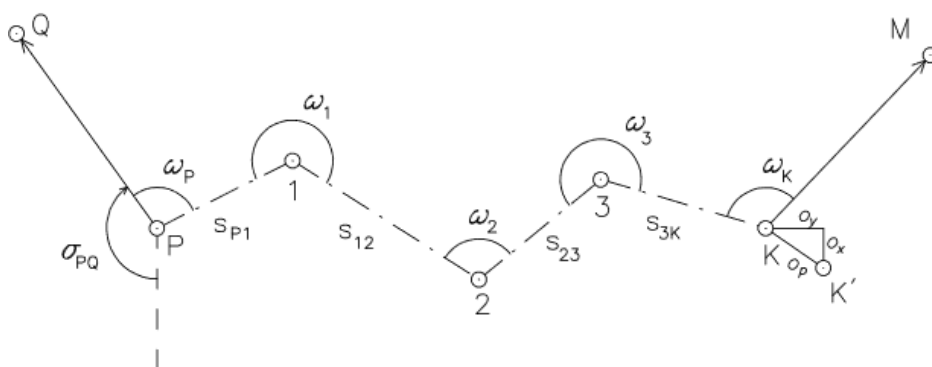
M – bod, na který je provedena orientace z bodu **K**

s – délka polygonové strany ω – levostranný úhel

DRUH POLYGONOVÉHO POŘADU	DANÉ HODNOTY	MĚŘENÉ HODNOTY	POČET NADBYTEČNÝCH HODNOT	POUŽITÉ VYROVNÁNÍ
oboustranně připojený a oboustranně orientovaný polygonový pořad	Q, P, K, M [Y, X]	s, ω	3	úhlové + souřadnicové
oboustranně připojený a jednostranně orientovaný polygonový pořad	P, K, Q [Y, X]	s, ω	2	souřadnicové
jednostranně připojený a jednostranně orientovaný polygonový pořad (volný polygonový pořad)	P, Q [Y, X]	s, ω	0	žádné
oboustranně připojený a neorientovaný polygonový pořad (vetknutý polygonový pořad)	P, K [Y, X]	s, ω	1	souřadnicové
uzavřený polygonový pořad	P, Q [Y, X]	s, ω	3	úhlové + souřadnicové

8.6.1 Oboustranně připojený a oboustranně orientovaný polygonový pořad

Tento druh polygonového pořadu je nejspolehlivější (obrázek 11). Známe souřadnice počátečního bodu (P) i koncového bodu (K). Dále máme souřadnice orientací (Q a K). Orientace na počátečním bodě je na bod Q a orientace na koncovém bodě na bod M. Měříme levostranné úhly a vzdálenosti mezi jednotlivými body.



Obrázek 11: Oboustranně připojený a oboustranně orientovaný polygonový pořad (Mansfeldová, 2008)

Dáno: Q, P, K, M [Y, X] Měřeno: s, ω Výsledek: 1, 2, 3 [Y, X]

Nejprve provedeme výpočet úhlového uzávěru $O\omega$.

$$O\omega = \sigma_{KM} - (\sigma_{PQ} + [\omega] - 4 * 2R)$$

Úhlový uzávěr, který nepřekročil mezní odchylku úhlového uzávěru $\Delta\omega$, rovnoměrně rozdělíme na jednotlivé úhly. Opravy (označené δ) mají stejné znaménko jako úhlový uzávěr $O\omega$. Po rozdělení oprav lze provést následující kontrolní výpočet:

$$\sigma_{KM} = \sigma_{PQ} + \sum \omega' - 4 * 2R$$

ω' – opravené vrcholové úhly

Výpočet směrniců mezi určenými body lze provést podle následujícího vzorce.

$$\alpha_{i,i+1} = \sigma_{PQ} + \sum_{n=i}^i \omega_i + \delta * i - 2 * R * (i - 1)$$

Výpočet začíná na počátečním bodu P.

Následuje výpočet souřadnicových rozdílů.

$$\Delta y'_{ij} = S_{ij} * \sin \alpha_{ij}$$

$$\Delta x'_{ij} = S_{ij} * \cos \alpha_{ij}$$

Tyto souřadnicové rozdíly musí být opraveny, proto vypočteme souřadnicové uzávěry o_y a o_x . Výpočet souřadnicových rozdílů zahájíme výpočtem hodnot Δy_{PK} a Δx_{PK} (má býti).

$$\Delta y_{PK} = Y_K - Y_P$$

$$\Delta x_{PK} = X_K - X_P$$

Hodnoty (jest):

$$[\Delta y'] = \Sigma \Delta y'$$

$$[\Delta x'] = \Sigma \Delta x'$$

Výsledný výpočet souřadnicových rozdílů:

$$o_y = \Delta y_{PK} - [\Delta y']$$

$$o_x = \Delta x_{PK} - [\Delta x']$$

Hodnotu polohového uzávěru O_p získáme:

$$O_p = \sqrt{o_y^2 + o_x^2}$$

Pokud polohový uzávěr O_p nepřekračuje mezní odchylku polohového uzávěru Δ_p , tak rozdělíme souřadnicový uzávěr úměrně absolutním hodnotám souřadnicových rozdílů. Tento způsob rozdělení hodnoty O_p je jedním z nejpoužívanějších.

$$\delta_{yi} = \frac{o_y}{\Sigma |\Delta y'|} * |\Delta y'_{ij}|$$

$$\delta_{xi} = \frac{o_x}{\Sigma |\Delta x'|} * |\Delta x'_{ij}|$$

δ_{yi} , δ_{xi} – opravy souřadnicových rozdílů Y a X

o_y , o_x – souřadnicové uzávěry souřadnic Y a X

$\Sigma |\Delta y'|$, $\Sigma |\Delta x'|$ - součty absolutních hodnot souřadnicových rozdílů souřadnic Y a X

Výpočet souřadnic určovaných bodů provedeme následujícími rovnicemi.

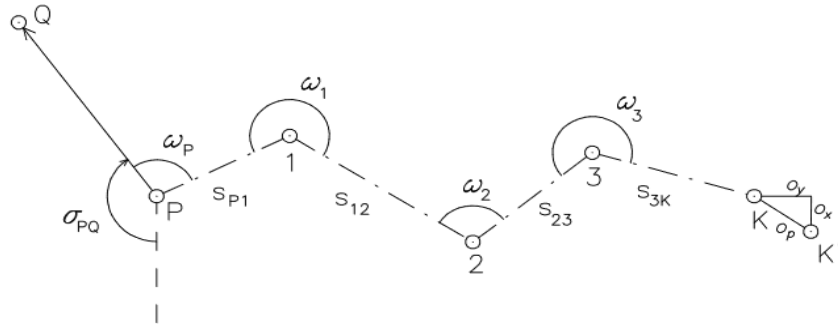
$$Y_i = Y_{i-1} + \Delta Y'_{i-1,i} + \delta_{yi-1,i}$$

$$X_i = X_{i-1} + \Delta X'_{i-1,i} + \delta_{xi-1,i}$$

Při konečném výpočtu souřadnic musí být souřadnice bodu K shodná se zadanými souřadnicemi bodu K. (Ratiborský, 2000)

8.6.2 Oboustranně připojený a jednostranně orientovaný polygonový pořad

V případě, že délka polygonového pořadu je menší než 1,5 km, tak můžeme pořad orientovat jen jednostranně (obrázek 12). Výpočet je stejný jako oboustranně připojeného a oboustranně orientovaného polygonového pořadu, ale do výpočtu není zahrnuto úhlové vyrovnání. Provádíme pouze souřadnicové vyrovnání. (Mansfeldová, 2008)



Obrázek 12: Oboustranně připojený a jednostranně orientovaný polygonový pořad (Mansfeldová, 2008)

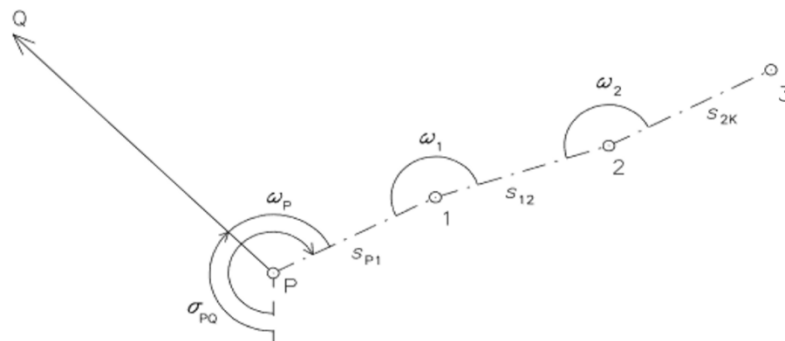
Dáno: P, K, Q [Y, X] Měřeno: s, ω Výsledek: 1, 2, 3 [Y, X]

8.6.3 Jednostranně připojený a jednostranně orientovaný polygonový pořad (volný polygonový pořad)

Tento druh polygonového pořadu nemá žádné nadbytečné hodnoty, které by umožnily provést vyrovnání (obrázek 13). První směrník získáme ze vzorce:

$$\sigma_{P1} = \sigma_{PQ} + \omega_P \text{ (směrník } \sigma_{PQ} \text{ získáme ze zadaných souřadnic)}$$

Další směrníky získáme obdobně jako u předchozích polygonů. Výpočet probíhá jako u oboustranně připojeného a oboustranně orientovaného polygonového pořadu, ovšem nezahrnuje úhlové ani souřadnicové vyrovnání. (Ratiborský, 2000)

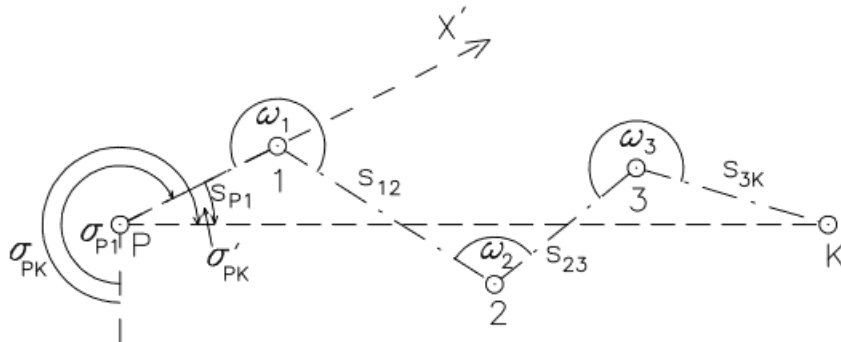


Obrázek 13: Volný polygonový pořad (Mansfeldová, 2008)

Dáno: P, Q [Y, X] Měřeno: s, ω Výsledek: 1, 2, 3 [Y, X]

8.6.4 Oboustranně připojený a neorientovaný polygonový pořad (vetknutý polygonový pořad)

V případě, že nám chybí orientace a máme pořad na obou koncích polohově připojen, získáme vetknutý polygonový pořad (obrázek 14). Ve výpočtu nemůžeme hned použít směrnik z počátku P na první určovaný bod 1, proto se do výpočtu zapojí místní souřadnicový systém. Tento pořad by měl být kratší, než 1,5 km a mít maximálně čtyři polygonové strany.



Obrázek 14: Vetknutý polygonový pořad (Mansfeldová, 2008)

Dáno: P, K [Y, X] Měřeno: s, ω Výsledek: 1, 2, 3 [Y, X]

Výpočet zahájíme v místním souřadnicovém systému. Jeho počátek umístíme do bodu P a kladná větev osy X' bude ve straně S_{P-1}. Kladný směr osy Y' bude posunut o R ve směru chodu hodinových ručiček.

Vypočteme souřadnice bodu K [Y', X'] v místní souřadnicové soustavě.

$$Y'_K = Y'_P + \Sigma \Delta y'$$

$$X'_K = X'_P + \Sigma \Delta x'$$

Jednotlivé rozdíly jsou spočteny ze směrniků a délek v místním souřadnicovém systému postupem jako u předchozích polygonů.

Poté vypočteme ze souřadnic v místním systému vzdálenost S'_{PK} a směrnik σ'_{PK}.

Vzdálenost S'_{PK} je vypočtena z Pythagorovy věty.

$$S'_{PK} = \sqrt{\Delta y'_{PK} + \Delta x'_{PK}}$$

Ve vzorci jsou použity souřadnicové rozdíly Δy'_{PK} a Δx'_{PK}, které vypočteme:

$$\Delta y'_{PK} = Y'_K - Y'_P$$

$$\Delta x'_{PK} = X'_K - X'_P$$

Pro výpočet směrníku σ'_{PK} lze použít vzorec.

$$\operatorname{tg} \sigma'_{PK} = \frac{|\Delta y'_{PK}|}{|\Delta x'_{PK}|}$$

Tyto hodnoty porovnáme s délkou (S_{PK}) a směrníkem (σ_{PK}) vypočtených z cílového souřadnicového systému. Rozdíly délek musí být v mezních odchylkách polohového uzávěru. Pokud odchylky nebyly překročeny můžeme pokračovat výpočtem prvního směrníku σ_{P1} . K tomuto výpočtu potřebujeme směrníky σ'_{PK} a σ_{PK} .

K výpočtu směrník σ_{PK} je použit stejný vzorec, ale se souřadnicemi bodů v cílovém souřadnicovém systému.

$$\operatorname{tg} \sigma_{PK} = \frac{(Y_K - Y_P)}{(X_K - X_P)}$$

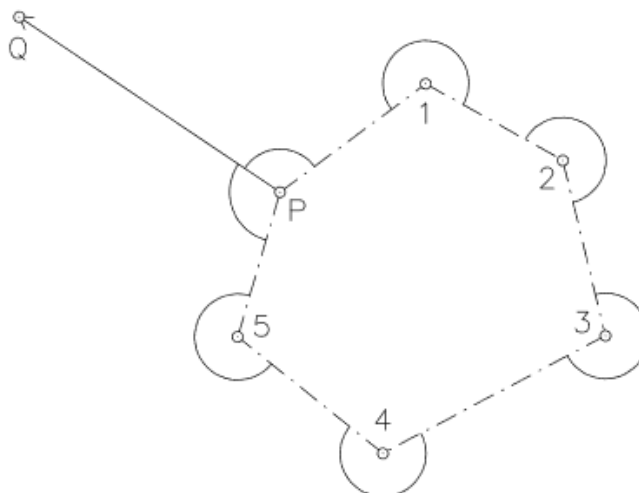
Na závěr odečtením těchto směrníků získáme směrník σ_{P1} . Tento směrník je zároveň úhlem stočení obou souřadnicových systémů.

$$\sigma_{P1} = \sigma_{PK} - \sigma'_{PK}$$

Po výpočtu prvního směrníku následuje výpočet zbylých směrníků. Ve výpočtu odpadne úhlové vyrovnání. Po výpočtu směrníků proběhne výpočet souřadnic polygonových bodů. U souřadnicového vyrovnání je postup stejný jako u oboustranně připojeného a oboustranně orientovaného polygonového pořadu. (Mansfeldová, 2008)

8.6.5 Uzavřený polygonový pořad

Speciálním druhem polygonového pořadu je polygon uzavřený (obrázek 15). V praxi to znamená, že pořad začne i skončí na stejném bodě. Postup výpočtu je totožný jako u oboustranně připojeného a oboustranně orientovaného polygonového pořadu.



Obrázek 15: Uzavřený polygonový pořad (Mansfeldová, 2008)

Dáno: P, Q [Y, X] Měřeno: s, ω Výsledek: 1, 2, 3, 4, 5 [Y, X]

Jediným rozdílem je výpočet hodnoty úhlového uzávěru u úhlového vyrovnání. Tuto hodnotu získáme z matematické poučky u součtu vnitřních, respektive vnějších úhlů n-úhelníku.

Pokud máme měřené levostranné úhly ω vnitřní, tak hodnota má být (Ω) je spočtena ze vzorce.

$$\Omega = (n-2) * 2R$$

Pokud jsou levostranné úhly ω vnější, tak se vzorec změní na následující podobu.

$$\Omega = (n+2) * 2R$$

U obou vzorců je počet vrcholových úhlů v polygonovém pořadu označen písmenem n.

Úhlový uzávěr $O\omega$ získáme:

$$O\omega = \Omega - \Sigma\omega$$

Ten pak porovnáme s mezní odchylkou úhlového uzávěru $\Delta\omega$. Následné vyrovnání i zbytek výpočtu polygonu je opět stejný, jako u oboustranně připojeného a oboustranně orientovaného polygonového pořadu. (Mansfeldová, 2008)

8.7 Plošné sítě

Plošné vytyčovací sítě mohou být polohové i výškové. Slouží k vytyčování prvků pro výstavbu nebo přestavbu. Tvary a rozměry sítí jsou závislé na velikosti zájmového území, rozsahu stavebních prací a typu terénu. Vyrovnání je provedeno metodou nejmenších čtverců. Tato úloha není záležitost této práce. (SPŠ Zeměměřická, 2014)

8.8 GNSS (globální navigační satelitní systémy)

Původně měla navigace sloužit k navádění vojáků, raket, lodí, letadel a další vojenské techniky a zbraní na nepřátelské cíle. Již v 70. letech minulého století v USA začal vznikat první a nejznámější systém GNSS, systém GPS – NAVSTAR. Dnes se GNSS skládají z několika systémů podobných GPS – NAVSTAR. (Mansfeldová, 2012)

Nejprve by bylo vhodné vysvětlit původ a význam zkratky. GNSS jsou globální navigační satelitní systémy (z anglického originálu global navigation satellite system). Základním principem určení polohy GNSS je prostorové protínání. V současnosti má svůj navigační satelitní systém několik zemí, ty nejznámější jsou vypsány v tabulce níže.

Země původu systému	Název globálního navigačního satelitního systému
USA	GPS – NAVSTAR
Rusko	GLONASS
Evropská kosmická agentura	GALILEO (částečně funkční, ale předpokládané plné spuštění v roce 2020)
Čína	Beidou
Japonsko	Quasi – Zenith satellite system
Indie	NAVIC

Všechny globální navigační satelitní systémy mají velice podobnou strukturu. Rozdíly mezi nimi jsou v detailech. Hlavní dělení GNSS je na tři

segmenty – kosmický, řídicí a uživatelský. Toto rozdělení bude podrobněji rozepsáno u GPS-NAVSTAR (dále jen GPS). (Cibulka, 2018)

8.8.1 Kosmický segment

V kosmickém segmentu GPS je minimální počet družic 24. Ovšem počet družic obíhající naši Zemi se pohybuje okolo 30. Tento počet závisí na stáří a stavu družic, které jsou neustále nahrazovány modernějšími typy. Družice obíhají na šesti téměř kruhových drahách. Na každé z nich je minimálně 6 družic. Družice se pohybují rychlostí 11 300 km/h ve výšce 20 200 km nad povrchem Země. Oběžná doba jedné družice je 11 hodin a 58 minut. Družice jsou opatřeny přijímačem, vysílačem, atomovými hodinami, procesory a dalším vybavením.

Družice vysílají navigační zprávu, která mimo jiné obsahuje parametry dráhy družice, popis stavu družice, kontrolu atomových hodin, efemeridy a almanach. Efemeridy jsou údaje o oběžných drahách a almanach obsahuje informace o poloze a stavu ostatních družic. (Mansfeldová, 2012)

8.8.2 Řídicí segment

Řídicí segment u GPS je tvořen pěti monitorovacími stanicemi, třemi pozemními vysílači, jedné hlavní stanice a jednoho hlavního řídicího centra. Pět stanic je rozmístěno kolem nejdlejší rovnoběžky, tedy rovníku. Konkrétně na Havajských ostrovech, na Marshallových ostrovech, na ostrově Ascension (střední Atlantik), na ostrově Diego Garcia (střed Indického oceánu) a v Colorado Springs v USA. Vysílače jsou na ostrovech Ascension, Diego Garcia a na Havaji. Hlavní pozemní stanice je umístěna na základně Falcon ve státě Colorado. Nejdůležitější je hlavní řídicí středisko na letecké základně v Colorado Springs. Systém je potom řízen z ředitelství Navstar na letecké základně v Los Angeles.

Každá z pěti monitorovacích stanic je opatřena přesnými přijímači a tvoří síť pro určování efemerid. Stanice dvacet čtyři hodin denně přijímají a ukládají signály z družic, které následně přeposílají do hlavní stanice. V hlavní stanici se z obdržených údajů vypočtou efemeridy družic a parametry družicových hodin. Efemeridy následně slouží k navigaci v reálném čase. Pozemní řídicí stanice jsou vybaveny komunikátory pro spojení se satelity.

Stanice jsou rozmístěny tak, aby každá družice mohla během dne navázat tři spojení s jednou stanicí. Řídicí segment je určen i pro správu a údržbu družic

na oběžných drahách. Dále se podílí na jejich stahování a vypouštění nových družic. (Čábelka, 2008)

8.8.3 Uživatelský segment

Třetím segmentem je segment uživatelský, ten zjednodušeně obsahuje přijímače. Přijímačů je několik druhů lišících se přesností, počtem přijímaných signálů, rychlostí měření apod. Přijímače mají ovšem společný základní princip měření polohy, který spočívá v určení vzdáleností od družic k uživateli. Následně je provedeno prostorové protínání se snahou co nejpřesněji získat určenou polohu. (Mansfeldová, 2012)

8.8.4 Metody určení vzdálenosti

Měření vzdáleností může být provedeno kódovým nebo fázovým měřením.

8.8.4.1 Kódové měření

Při určování vzdálenosti kódovým měřením je měřena doba šíření elektromagnetického vlnění. Družice vysílá kódy na stejné frekvenci a vysílání pravidelně opakuje. Elementy vysílaných kódů mají přesné informace. Přijímač porovná čas přijetí signálu s časem jeho vyslání družicí. Signál byl vyslán v čase t_1 a byl přijat v čase t_0 jejich odečtením je získána doba potřebná k uražení vzdálenosti mezi družicí a přijímačem.

Pokud je určen čas cesty signálu, tak lze dopočítat pseudovzdálenost. Pro výpočet může být použit následující vzorec.

$$S_{pse} = c * (t_0 - t_1)$$

S_{pse} – pseudovzdálenost

c – rychlost světla ve vakuu (cca 300 000 km/s)

t_0 – čas přijetí signálu v přijímači, který vysílala družice v čase t_1

t_1 – čas vyslání signálu z družice

Přesnost pseudovzdálenosti se pohybuje okolo desítek metrů. Princip kódového měření využívají civilní navigace (autonavigace, turistické, ...) a některé aparatury pro GIS (geografické informační systémy). (Čábelka, 2008)

8.8.4.2 Fázové měření

Fázové měření využívá znalosti vlnové délky signálů a měří fázové doměrky. Obdobný princip je použit u fázových dálkoměrů totálních stanic. K výpočtu

pseudovzdálenosti jsou využity frekvence o odlišných vlnových délkách. Například u nosné vlny L1 je hodnota vlnové délky λ_1 přibližně 19 cm a nosná vlna L2 má vlnovou délku λ_2 kolem 24 cm. Přijímače jsou schopny rozlišit 1/100 těchto vlnových délek z čehož vyplývá, že fázové měření je přesnější než kódové měření. Přesnost určení pseudovzdálenosti je v jednotkách metrů.

Pokud při měření je použita dvoufrekvenční aparatura, tak je minimalizován vliv ionosféry. Proto se fázové měření používá v geodézii. Fázové měření ovšem využijí i některé aparatury GIS.

Princip určení pseudovzdálenosti probíhá na základě statistických metod zjištění počtu celých vlnových délek a fázového doměrku. (Čábelka, 2008)

8.8.5 Metody měření

Metod určení polohy pomocí GNSS aparatur je více, níže budou popsány hojně užívané metody.

8.8.5.1 Rychlá statická metoda

Doba observace je v řádu několika minut. K měření lze použít i samostatný přijímač. Přesnější určení polohy lze dosáhnout při použití dvojice přijímačů, kde je jeden na známém bodě (kap. 8.8.6.4 Diferenční GPS (DGPS)). Tato metoda pouze registruje přijímané signály, které jsou zpracovány postprocesingem. (Čábelka, 2008)

8.8.5.2 RTK (real time kinematic)

Kinematická metoda v reálném čase je jedna z novějších metod. Metoda RTK pro přesné měření spojena s DGPS (kap. 8.8.6.4 Diferenční GPS (DGPS)). Využívá radiového přesunu korekcí fázového měření z referenčního bodu k přijímači provádějící podrobné měření nebo vytyčování. Výhodou je určení souřadnic přímo v terénu nikoliv postprocesing. (Čábelka, 2008)

8.8.6 Nepřesnosti při určování souřadnic pomocí GNSS a jejich potlačení

Určování polohy je zatíženo chybami a u GNSS tomu není jinak. Následně budou popsány některé z chyb zhoršující přesnost určování souřadnic u GNSS.

8.8.6.1 Troposférická refrakce

Troposféra je nejnižší a nejhustší část atmosféry. V troposféře se vyskytuje mimo jiné i vodní pára. Chyby v určení pseudovzdálenosti způsobené troposférou jsou

odstraněny nejrůznějšími modely. Čím je družice níž nad horizontem, tím je zapotřebí větší korekce. (Čábelka, 2008)

8.8.6.2 Ionosférická refrakce

Ionosféra je horní vrstva atmosféry a vyskytuje se v ní velký objem volných elektronů. Vliv ionosféry na chyby v určení polohy pomocí GNSS je větší během dne než v noci. Přes den může chyba v měření vzdálenosti být i větší než 10 m. Ionosféra ovlivňuje každou z nosných vln odlišně. Korekce se určují z obsahu elektronů v této vrstvě. Obsah lze stanovit modelováním nebo přímo určit ionosférickou sondáží. Dalším způsobem získání korekcí je početní eliminací. Zde je využit rozdílný vliv na dvě nosné vlny. To je důvodem proč každá družice vysílá na dvou frekvencích. Z toho plyne, že dvoufrekvenční přijímače jsou konstruované na odstraňování chyb způsobených ionosférou. V praxi lze určit vliv ionosféry a troposféry pomocí obráceného postupu měření a pomocí signálu GPS přijímačů stanovit hodnoty ionosférické a troposférické refrakce. (Čábelka, 2008)

8.8.6.3 Multipath

Měření probíhající v intravilánu nebo zalesněné oblasti může být zatíženo chybou z odraženého signálu. Multipath označuje mnohočetné šíření signálu. Ten se může odrazet například od budov a je zdrojem nahodilých chyb, které se složitě opravují. (Čábelka, 2008) Chybě se předchází umístěním krycího talíře na aparaturu. Dalším způsobem je odlišení signálu z družice od odraženého dle směru polarizace. Neodražený je pravotočivě polarizován, ale po odrazu je změněn na levotočivě polarizovaný. Moderní přijímače tento problém dokáží obstojně odstranit. (Čábelka ex. Švábenský, 2008)

8.8.6.4 Diferenční GPS (DGPS)

Metoda diferenční GPS předpokládá korelaci mezi chybami v určení pseudovzdáleností mezi družicí a dvojicí blízkých přijímačů. Toto je praktikováno k výraznému zvýšení přesnosti určování polohy přijímače. U metody DGPS je hlavním faktorem umístění referenční stanice na bodu o známé poloze v systému WGS 84. (Čábelka ex. Švábenský, 2008) Princip určení polohy spočívá v možnosti nepřetržitého určování chyb stanovení polohy referenční stanice. Tato hodnota chyby u určení polohy referenční stanice je podobná chybě, se kterou je určena poloha uživatelova přijímače nacházejícího se v okolí referenční stanice. DGPS je používáno ve všech aparaturách, které jsou schopny tuto metodu provést. (Čábelka, 2008)

8.8.7 Souřadnicový systém WGS 84

Zkratka WGS 84 znamená Světový geodetický systém 1984 (v anglickém originálu World Geodetic System 1984). Předchůdci toho systému byly systémy WGS 60, WGS 66 a WGS 72. WGS 84 je vydán ministerstvem obrany USA v roce 1984. Je světově uznávaný standart definující souřadnicový systém, referenční elipsoid a geoid pro geodezii a navigaci.

WGS 84 je globální geocentrický geodetický systém. Souřadnicový systém WGS 84 je pravotočivá kartézská soustava souřadnic, která má střed v těžišti Země (s přesností kolem 2 m). Kladná větev osy X směřuje z těžiště Země k průsečíku nultého poledníku s rovníkem. Kladná větev osy Z jde z těžiště Země k severnímu pólu a kladná větev osy Y jde z těžiště Země a je kolmá na osu X a osu Z. Osa Y prochází průsečíkem poledníku 90° východní délky a rovníku. (Čábelka, 2008)

9. METODY URČENÍ NADMOŘSKÉ VÝŠKY

V této kapitole budou popsány jedny z nejčastějších způsobů určení nadmořské výšky.

Metody určení nadmořské výšky:

- nivelace
 - technická
 - přesná
 - velmi přesná a zvlášť přesná
 - trigonometrická
- GNSS

9.1 Nivelace

9.1.1 Niveláčnické pořady

Niveláčnické pořady můžeme mít vložené, uzavřené, volné nebo tvořící plošnou niveláčnickou síť. Jednotlivé niveláčnické pořady jsou složeny z niveláčnických oddílů. Niveláčnické oddíly tvoří niveláčnické sestavy.

Niveláčnická sestava je složena z postavení niveláčnického stroje mezi niveláčnickými latěmi. Latě s niveláčnickým strojem jsou v přímce. Na body určované nebo o známých výškách dáváme latě přímo. U bodů, které jsou mezilehlé a neurčujeme jejich výšku použijeme pod latě niveláčnickou podložku.

Niveláčnický oddíl je několik po sobě jdoucích niveláčnických sestav mezi dvojicí stabilizovaných bodů.

Samotný niveláčnický pořad je složena z niveláčnických oddílů a vede ze známého bodu na známý bod. (Blažek a Skořepa, 1999)

9.1.1.1 Vložený niveláčnický pořad

Niveláčnický pořad začíná i končí na bodu o známé nadmořské výšce. Počáteční a koncový bod není totožný. (Blažek a Skořepa, 1999)

9.1.1.2 Uzavřený niveláčnický pořad

Niveláčnický pořad začíná i končí na stejném bodu, který má známou nadmořskou výšku. (Blažek a Skořepa, 1999)

9.1.1.3 Volný nivelační pořad

Obdobně jako předchozí nivelační pořady začíná na bodu o známé výšce, ale končí na určovaném bodu. (Blažek a Skořepa, 1999)

9.1.2 Nivelační metody

Metody nivelace můžeme rozdělit na geometrickou nivelaci ze středu a na nivelaci vpřed. Z těchto metod je přesnější nivelace ze středu.

9.1.2.1 Geometrická nivelace ze středu

Nejpoužívanější nivelační metoda je geometrická nivelace ze středu. Při ní je nivelační přístroj postaven přibližně do středu spojnice dvou bodů. Na bodech jsou postaveny nivelační latě. Po urovnání záměrné přímky stroje do vodorovné polohy a latí do svislé je odečteno čtení z každé latě.

Pokud vzdálenost, převýšení nebo viditelnost nedovolí vytvořit mezi dvojicí určených bodů jednu sestavu, je vytvořen jeden či více pomocných mezibodů. Poté nivelační sestavy od známého nebo určovaného bodu přes pomocné body až k druhému (známému nebo určovanému) bodu tvoří nivelační oddíl.

Čtení na lati je označováno jako vzad a vpřed. Označení vyplývá ze směru měření nivelačního pořadu. Pořad je ukončen na koncovém bodě, který se liší dle druhu pořadu. Tímto postupem nivelace jsou odstraněny některé z chyb nivelačního přístroje. (Blažek a Skořepa, 1999)

9.1.2.2 Geometrická nivelace kupředu

U této metody se nivelační stroj staví přímo nad body. Nivelační lať je postavena na následujícím bodu. Na rozdíl od geometrické nivelace ze středu se měří výška přístroje nad bodem.

Tato metoda není téměř používána pro svou pracnost, nižší přesnost a vliv chyb přístroje.

Výpočet nivelačního zápisníku

Výpočet začneme součtem záměr vzad a součtem záměr vpřed. Dále dopočítáme výsledné převýšení z měření označeným Δh (hodnota jest).

$$\Delta h = \Sigma_z - \Sigma_p$$

Σ_z – suma četní vzad

Σ_p – suma četní vpřed

Následně vypočteme převýšení, kterého má být dosaženo ΔH (hodnota má býti).

$$\Delta H = H_K - H_P$$

H_K – nadmořská výška koncového bodu nivelačního pořadu

H_P – nadmořská výška počátečního bodu nivelačního pořadu

Pro výpočet výškového uzávěru oh je použit tento vzorec.

$$oh = \Delta H - \Delta h$$

Dle druhu nivelačního pořadu vypočteme dopustnou odchylku Δ_{max} . Pokud jsme nepřekročili dopustnou odchylku, tak rovnoměrně rozdělíme výškový uzávěr oh k záměrům vzad. Při výpočtu výšek s opravenými hodnotami musí výpočet končit na hodnotě známé výšky koncového bodu. (Blažek a Skořepa, 1999)

9.1.4 Druhy nivelace

9.1.4.1 Technická nivelace

Tento druh nivelace je jedním nejpoužívanějších způsobů, kterým jsou určovány výšky většiny bodů. Nivelační přístroj musí být vybaven dalekohledem s minimálně 16násobným zvětšením a libelou citlivosti 60". K měření postačí latě s pevnou patkou, které mohou být sklopné, skládací nebo zasouvací. Dále postačí lehké nivelační podložky. Stativ lze použít také skládací.

Sestavy mohou být v rovině voleny až 120 metrů dlouhé a jsou pouze krokované. Výška záměry nad terénem by neměla být pod 0,3 m. Střední kilometrová chyba technické nivelace je 1,5 až 5 mm.

Mezní odchylka pro nivelační pořad technické nivelace o délce 1 km je $\Delta_{max} = 40$ mm. Mezní odchylka Δ_{max} vypočtena podle vzorce:

$$\Delta_{max} = 40 * \sqrt{L}$$

L – délka nivelačního pořadu v km

(Blažek a Skořepa, 1999)

9.1.4.2 Přesná nivelace

Přesná nivelace se používá při měření nivelačních pořadů v nivelačních oblastech III. a IV. řádu. Přesná nivelace je použita při úlohách, kde je požadována

vyšší přesnost, například deformace stavebních objektů. Niveláčnická libela musí mít citlivost alespoň 20,6“ a dalekohled minimálně zvětšení 24násobné. Použitým vybavením je stativ s pevnými nohama, těžké litinové niveláčnické podložky nebo hřeby, latě jsou celistvé s krabicovou libelou.

Záměry se rozměřují na přesnost 1 dm, ale nepřekračují 50m. Záměra na terénu je minimálně nad 50 cm. Střední kilometrová chyba přesné nivelace je 0,3 až 1,5 mm.

Mezní odchylka pro niveláčnický pořad přesné nivelace o délce 1 km je $\Delta_{\max} = 5$ mm. Mezní odchylka Δ_{\max} vypočtena podle vzorce:

$$\Delta_{\max} = 5 * \sqrt{R}$$

R – délka niveláčnického pořadu v km

(Blažek a Skořepa, 1999)

9.1.4.3 Velmi přesná nivelace a zvlášť přesná nivelace

Tyto nivelace se používají v měření na sítích I. a II. řádu, měření vertikálních posunů, určování poklesů, náklonů apod. Používají se nejpřesnější niveláčnické přístroje libelové i kompenzátorové. Střední kilometrová chyba velmi přesné nivelace 0,3 mm a lepší. Samotné měřické práce patří do předmětu vyšší geodézie. (Blažek a Skořepa, 1999)

9.1.4.4 Trigonometrické určení převýšení

Při této úloze se převýšení mezi dvěma body získá řešením trojúhelníku. Trojúhelník je definován měřenou šikmou vzdáleností a zenitovým úhlem (svislý úhel mezi směrem k zenitu a na zaměřovaný cíl) (obrázek 16).

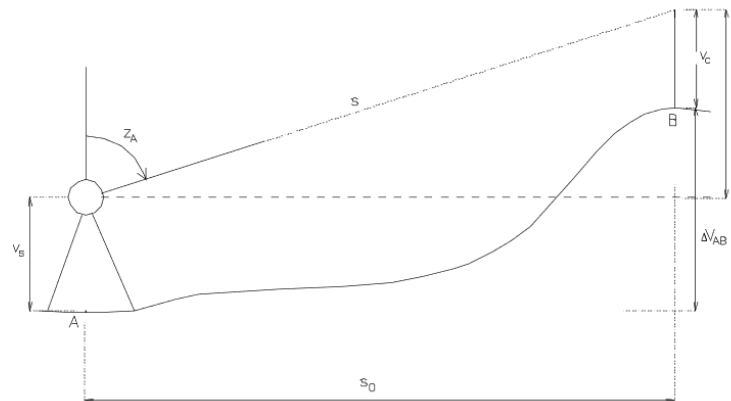
Převýšení h vypočteme pomocí vzorce.

$$h = \cos z * s$$

h – převýšení (mezi horizontem stroje a cílem)

z – výsledný zenitový úhel

s – šikmá vzdálenost (mezi horizontem stroje a cílem)



Obrázek 16. Trigonometrická nivelace (Mansfeldová, 2008)

Výsledné výslednou nadmořskou výšku bodu B vypočteme ze vzorce.

$$V_B = V_a + v_s + h - v_c$$

V_B – nadmořská výška bodu B

V_A – nadmořská výška bodu A

v_s – výška osy dalekohledu nad terénem

v_c – výška středu cíle nad terénem

h – převýšení (mezi horizontem stroje a cílem)

(Kavanagh, 2010)

9.1.4.5 Trigonometrická nivelace

Tato úloha je tvořena postupným trigonometrickým urovnáním převýšení mezi dvojicí bodu o známé nadmořské výšce.

9.2 Globální navigační satelitní systémy

GNSS mohou sloužit i pro určování nadmořské výšky bodů. Přesnost u určení nadmořské výšky pomocí GNSS je řádově nižší než přesnost určování polohy u GNSS.

10. METODY MĚŘENÍ VÝŠKOPISU

Při některých měřických úlohách je zapotřebí určit nejen polohu podrobných bodů, ale i jejich výšky. Poté lze průběh terénu vyjádřit několika způsoby, například vrstevnicemi nebo výškovými kótami. Měření výšek může probíhat zároveň s určováním polohy podrobných bodů.

Metody měření výškopisu

- plošná nivelace
- tachymetrie
 - nitková tachymetrie
 - elektronická tachymetrie

10.1 Plošná nivelace

Tato metoda je využívána, pokud je zapotřebí určit nadmořské výšky se zvýšenou přesností. Před nivelací bylo již provedeno polohové zaměření nivelovaných bodů. Tato metoda se odlišuje od technické nivelace rozdíly v postupu měření. Po změření záměry vzad jsou měřeny záměry bočně. Princip měření je obdobný jako u záměr vzad a vpřed na určované body. Do zápisníku jsou hodnoty čtení zapsány do zvlášť připraveného sloupce.

Výpočet začíná klasickým vyrovnáním zápisníku pouze se čtením hodnot vzad a vpřed. Následně je proveden výpočet nadmořské výšky bodů určených bočně, při kterém je boční čtení odečítáno příslušné výšky horizontu nivelačního přístroje. (Mašín a kol., 1978)

10.2 Tachymetrie

Při tachymetrii probíhá určování polohy i výšky podrobných bodů zároveň. Název řeckého původu znamená rychloměření. Nejprve se určí tachymetrická stanoviska. Poloha podrobných bodů je určena pomocí směrníku se vzdáleností a nadmořská výška trigonometricky. (Blažek a Skořepa, 1999)

10.2.1 Nitková tachymetrie

Po změření výšky horizontu přístroje nad bodem jsou provedeny záměry orientace. Při měření na body jsou přečteny hodnoty lat'ového úseku (je vymezen dálkoměrnými ryskami), čtení na střední rysce, vodorovný a svislý úhel. Podrobné

měření je provedeno obdobným způsobem Měření jsou realizována v jedné poloze dalekohledu.

Pro výpočet vodorovné vzdálenosti je použit vzorec.

$$s = k * l * \sin^2 z$$

s – vodorovná vzdálenost

k – násobná konstanta (k = 100)

l – laťový úsek

z – zenitový úhel

Převýšení lze počítat následujícím vzorcem.

$$h = \frac{1}{2} * k * l * \sin 2z$$

h – převýšení

k – násobná konstanta (k = 100)

l – laťový úsek

z – zenitový úhel

Poloha bodů je po dopočítání směrníku určena rovnicemi pro rajón. Výsledná výška je vypočtena vzorcem níže.

$$H_p = H_s + h + v_p - v_z$$

H_p – nadmořská výška podrobného bodu

H_s – nadmořská výška stanoviska

h – převýšení

v_p – výška osy dalekohledu nad terénem

v_z – čtení na střední rysce

(Blažek a Skořepa, 1999)

10.2.2 Elektronická tachymetrie

Elektronické dálkoměry využívají fázové nebo pulzní měření. Technologie je obdobná jako u určování pseudovzdálenosti v oblasti GNSS.

Fázové měření je založeno na principu měření celých vlnových délek a fázového doměrku. Fázový doměrek je určen ze vzájemného posunu vyslaných vln o různé vlnové délce.

$$S = \lambda * n + \Delta\lambda$$

S – šikmá délka

λ – vlnová délka

n – počet celých vlnových délek

$\Delta\lambda$ – fázový doměrek

Pulzní měření využívá informaci o rychlosti vyslaného paprsku.

$$S = \frac{v * t}{2}$$

S – šikmá délka

v – rychlost paprsku v daném prostředí

t – čas mezi vysláním paprsku a jeho opětovném navracení po odrazu od cíle

Po změření výšky horizontu stroje na bodem (stanoviskem) proběhne měření na body orientace, následováno měřením podrobných bodů. Při měření tachymetrie s elektrooptickými dálkoměry jsou měřeny šikmé vzdálenosti (vodorovné dopočteny), zenitové úhly. Dále je nezbytné poznamenat výšku středu hranolu nad bodem.

Polohu podrobných bodů lze počítat rovnicemi pro rajón. Pro výpočet výšek jsou změřeny veškeré hodnoty, které použijeme na metodu trigonometrického určování výšek. (Blažek a Skořepa, 1999)

11. METODIKA

11.1 Rekognoskace terénu

První prací před samotným měřením byla rekognoskace terénu. Během ní byly vyhledány body, které byly použity pro měření oboustranně připojeného a oboustranně orientovaného polygonového pořadu. Zvoleny byly trigonometrické body číslo 26 (Na Kopci) a číslo 29 (Na Dědině) oba body jsou na TL 2205. Dále byly vyhledány orientační body. K tomuto účelu byly vyhledány a použity body číslo 20 (Borovnice, kostel), 201 (Čechtice, zvonice) a 263 (Křivsoudov, kostel).

Dalšími vyhledávanými body byly body pro výškové připojení. V prvním kroku byl vyhledán nivelační bod pro výškové připojení zvolených stanovisek okolo vodního díla. Pro tento účel byl použit nivelační bod Jdi-26.1. Pro ověření nivelačního bodu Jdi-26.1 byl vyhledán další nivelační bod Jdi-25.1.

Následně, již v blízkosti vodního díla, proběhla volba míst pro stanoviska na měření podrobných bodů. Stanoviska byla volena tak, aby bylo možno cílit vzájemně mezi nimi. Dále byla volena na místech, ze kterých bylo možno měřit větší část zájmového území. Tato volba byla ovlivněna především vzrostlou vegetací, která omezovala měření.

11.2 Doplnění bodového pole

Doplnění bodového pole bylo provedeno metodu oboustranně připojeného a oboustranně orientovaného polygonového pořadu. Polygonový pořad byl veden z trigonometrického bodu 26 Na Kopci, s orientací na trigonometrický bod 20 Borovnice, kostel, přes body 4101, 4102, 4103, 4001, 4103, 4104, 4105, 4106, 4107, 4108 a ukončen na trigonometrickém bodu 29 Na Dědině s orientací na zhušťovací bod 263 Křivsoudov, kostel. Stabilizován byl pouze bod 4001.

Z měřených hodnot byla trigonometrickou nivelací určena nadmořská výška všech bodů polygonového pořadu. Tyto výšky vycházely z trigonometrických bodů, proto byly použity jen pro výpočet hodnot oprav vodorovných délek vlivem nadmořské výšky.

Měřeny byly šikmé vzdálenosti (2x tam, 2x zpět), zenitové úhly ve dvou polohách a vodorovné úhly ve dvou skupinách. Souřadnice bodů 4003, 4004, 4005, 4006 a 4007 byly určeny rajónem.

Následovalo určení nadmořské výšky bodů 4001, 4003, 4004, 4005, 4006 a 4007. V prvním kroku bylo nutné ověřit správnost nivelačních bodů Jdi-25.1 a Jdi 26.1. Na určení nadmořských výšek stanovisek i pro ověření správnosti nivelačních bodů byla použita trigonometrická nivelace.

Ověření bylo provedeno vloženým pořadem trigonometrické nivelace vedeným z nivelačního bodu Jdi-25.1 na nivelační bod Jdi-26.1.

Po ověření nivelačního bodu Jdi-26.1 byl veden uzavřený pořad trigonometrické nivelace, kterým byla určena nadmořská výška bodu 4001. Po výpočtu zápisníku a nadmořské výšky bodu 4001 byly trigonometricky dopočteny výšky bodů 4003, 4004, 4005, 4006 a 4007.

Při měření bylo potřeba potlačit různé vlivy a chyby na měřené hodnoty.

Měření úhlů při polygonovém pořadu proběhlo ve dvou skupinách. Během určování stanovisek rajónem proběhlo měření úhlů v jedné skupině.

Důvodem měření úhlů ve dvou skupinách je zpřesnění měření.

Indexová chyba

Měření zenitových úhlů je zatíženo chybami. Jednou z nejvýraznějších je indexová chyba. Její odstranění spočívá v patřičném měřickém postupu, který je následován výpočtem.

Měřický postup spočívá v měření zenitových úhlů ve dvou polohách. V případě, že by přístroj neměl indexovou chybu byl by součet úhlů změřených v první a druhé poloze dalekohledu roven $4R$.

Hodnotu indexové chyby i zjistíme pomocí následujícího vzorce.

$$i = \frac{4R - (z_I + z_{II})}{2}$$

z_I – zenitový úhel měřený v první poloze dalekohledu

z_{II} – zenitový úhel měřený ve druhé poloze dalekohledu

Opravený zenitový úhel z_{I_0} získáme:

$$z_{I_0} = z_I + i$$

Následně lze pro kontrolu udělat součet obou opravených zenitových úhlů, který by měl být vždy $4R$.

$$(z_I + i) + (z_{II} + i) = 4R$$

(Chamout a Skála, 2003)

Refrakce

Tato chyba je způsobena jevem, který působí zakřivení paprsku v horizontální i vertikální rovině. Tento jev je způsobem průchodem paprsku přes prostředí s odlišnými vlastnostmi. Tato chyba je odstraňována výpočtem navázaným na měřický postup.

Vlivem Refrakce je ovlivněno především měření zenitových úhlů. Dále se chyba může projevit v navazujících výpočtech jako je například vypočtení převýšení. Naměřené zenitové úhly mohou být opravovány o hodnotu refrakčního úhlu, je-li tento úhel znám. (Ratiborský, 2000)

Vliv zobrazení

Hodnoty redukce délek ze zobrazení je možno odečíst graficky z diagramu. Během výpočtu byly použity hodnoty opravy ze zobrazení -9 mm na 100 m.

Vliv nadmořské výšky

Hodnota opravy z nadmořské výšky Δs byla do měření zapracována pomocí výpočtu z následujícího vzorce:

$$\Delta s = -S * \frac{H}{R + H}$$

S – vodorovná délka

H – nadmořská výška v místě měření

R – poloměr Země

Přepočet šikmé délky na vodorovnou

Totální stanicí byla změřena mimo jiné šikmá délka a zenitový úhel. Z těchto veličin byla šikmá délka převedena výpočtem na vodorovnou. Tento převod byl proveden kvůli následným výpočtům, kde je do vzorců (např. rovnice rajónu, redukce vlivu zobrazení a nadmořské výšky) dosazována vodorovná délka.

11.3 Podrobné měření

Měření podrobných bodů bylo provedeno polární metodou. Při měření polární metodou jsou měřeny úhly a vzdálenosti. (Kotal a Pražák, 1990)

Podrobné měření bylo provedeno z předem určených stanovisek 4001, 4003, 4004, 4005, 4006 a 4007. Orientace byla provedena vždy na co největší možný počet okolních stanovisek.

Výšky byly určeny trigonometricky.

U orientací byly úhly měřeny ve dvou polohách a délky dvakrát. Během následujícího podrobného měření byly úhly měřeny pouze v první poloze a délky jen jednou.

11.4 Převedení dat z totální stanice

Měřená data byla z totální stanice přenesena do počítače. Následně bylo pracováno s daty ve formátu .txt. Hodnoty byly zkontrolovány a data byla upravena do formátu pro zpracování programem KOKEŠ.

11.5 Výpočet souřadnic podrobných bodů

V programu KOKEŠ byl založen seznam souřadnic, do kterého byly ručně vloženy souřadnice bodů 4001, 4003, 4004, 4005, 4006 a 4007. Dále byl založen seznam souřadnic pro budoucí výpočet souřadnic podrobných bodů. Po předchozí úpravě dat následovalo jejich nahrání do programu KOKEŠ.

K výpočtu souřadnic podrobných bodů byla použita úloha **měření dávkou**. Během výpočtu souřadnic podrobných bodů z jednotlivých stanovisek program zobrazil maximální rozdíl orientačního posunu. U žádného ze stanovisek nedošlo k překročení mezní hodnoty orientačního posunu 0,0800 ‰. Souřadnice byly na závěr uloženy do předem připraveného seznamu souřadnic.

11.6 Vyhotovení polohopisného a výškopisného plánu

Po výpočtu souřadnic podrobných bodů následovalo jejich zobrazení v programu KOKEŠ. Byl založen nový výkres, ve kterém byly pospojovány liniové a plošné objekty polohopisu. Bodové prvky byly vyjádřeny mapovými značkami.

Výškopis je zobrazen pomocí výškových kót.

11.7 Výsledky měření

Přesnost u oboustranně připojeného a oboustranně orientovaného polygonového pořadu byla následující.

Úhlový uzávěr	$\omega = -0,0078^{\text{g}}$
Mezní úhlový uzávěr	$\Delta\omega = \pm 0,0316^{\text{g}}$
	$\Delta\omega > \omega$

Pro výpočet mezního úhlového uzávěru byl použit následující vzorec:

$$\Delta\omega = 100 * \sqrt{n}$$

n – počet vrcholových úhlů polygonového pořadu

Polohový uzávěr	$\omega_p = 0,10$
Mezní polohový uzávěr	$\Delta_p = 0,14 \text{ m}$
	$\Delta_p > \omega_p$

K výpočtu mezního polohového uzávěru byl také použit vzorec:

$$\Delta_p = 0,011 * \sqrt{\Sigma s} + 0,12$$

s – délka polygonové strany v km

K výpočtu mezních odchylek trigonometrických nivelací byl opět použit vzorec:

$$\Delta h = 40 * \sqrt{r}$$

r – délka nivelačního pořadu v km

Přesnost pořadu trigonometrické nivelace pro ověření nivelační bodů měl přesnost.

Dosažená odchylka oh = -0,004 m

Mezní odchylka $\Delta h = +/- 0,026$ m

$\Delta h > oh$

Pořad trigonometrické nivelace pro určení nadmořské výšky stanovisek byl změřen s přesností následující.

Dosažená odchylka oh = -0,036 m

Mezní odchylka $\Delta h = +/- 0,042$ m

$\Delta h > oh$

11.8 Vodní dílo

Umístění: Vodní dílo se nachází ve Středočeském kraji v okrese Benešov severně od obce Čechtice (k. ú. Čechtice 618 888) parcelní číslo 1280/5 (obrázek 17).

Typ vodní nádrže: průtočný rybník

Název vodního díla: Rybník k. ú. Čechtice

Vlastník a uživatel vodního díla: Zemědělské družstvo Čechtice

Obsluha vodního díla: Ing. Josef Kolanda

Osoba zodpovědná za manipulaci s vodou a provoz díla: Ing. Josef Kolanda

Správce vodního toku: Povodí Vltavy, státní podnik

Správce povodí: Povodí Vltavy, státní podnik

Príslušný vodoprávní úřad: MÚ Vlašim, odbor životního prostředí

Kategorie vodního díla: IV (ve smyslu § 61, odst. 2, zák. č. 254/2001 Sb. o vodách)

Ohrožené obyvatelstvo žijící v území na toku pod vodním dílem: 0 obyvatel



Obrázek 17: Pohled na vodní dílo od jihozápadu

11.8.1 Druh, účel a využití vodního díla

Účelem je vzdouvání povrchových vod, zachycení části povodňových vln, pro extenzivní rybochov a další nespecifikované účely.

11.8.2 Hydrologické údaje

Číslo hydrologického pořadí: 1-09-02-1050-0-00

Vodní tok: Luční potok

Plocha povodí po profil hráze díla: 1,745 km²

Průměrná dlouhodobá roční výška srážek: 671 mm

Průměrný dlouhodobý roční průtok: 10 l/s

M-denní průtoky Q_m v l/s

M	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	335	364
Q_m	23	16	12	10	8,5	7,0	6,0	5,0	4,0	3,0	2,5	1,5	1,0

N-leté průtoky Q_N v m^3/s

N	1	2	5	10	20	50	100
Q_N	1,3	1,8	2,7	3,4	4,2	5,4	6,3

11.8.3 Zařízení vodního díla

Výpustné zařízení: prefabrikovaný otevřený požerák s dvojitou dlužovou stěnou
(obrázek 18)



Obrázek 18: Výpustné zařízení

Bezpečnostní přeliv: Nachází se v levé části hráze a je dimenzován pro převedení $Q_{100L} = 6,3 \text{ m}^3/\text{s}$ (obrázek 19).



Obrázek 19: Bezpečnostní přeliv

Těleso hráze: Jedná se o zemní sypanou homogenní hráz (obrázek 20). Hráz je vůči vodní ploše přímá/čelní. Návodní svah opevněn kamennou rovnáninou. Vzdušný svah ohumusován a oset travní směsí.



Obrázek 20: Hráz vodního díla

11.8.4 Manipulace s vodou

Při jakékoliv manipulaci s vodou musím být dodržen asanační průtok v korytě pod hrází. Hodnota asanačního průtoku je $Q_{330} = 2,5$ l/s. Pokud je průtok pod hrází nižší, tak je přibližně roven přítoku do vodního díla.

Vypouštění běžných průtoků je prováděno přes dlužovou stěnu požeráku. Pokud je třeba z jakéhokoliv důvodu přistoupit ke snížení hladiny, tak nelze snižovat rychleji než 0,5 m za den. Toto opatření je z důvodu zabránění vyplavení jemných částic z hráze a břehů. Doba vypouštění vodního díla je minimálně 13 dnu.

Rybník bude každoročně vypuštěn v období od 15. listopadu do 31. března. V tomto období plní funkci poldru nebo funkci suché nádrže s částečným stálým nadržem do 35% z celkového prostoru vodního díla.

11.8.5 Charakteristické čáry nádrže

výška hladiny [m]	plocha hladiny [m ²]	objem vody [m ³]	celkový objem [m ³]
0	0	0	0
0,5	930	232,5	233
1	2 272	800,5	1 033
1,5	3 717	1 497,3	2 530
2	5 419	2 284,0	4 814
2,5	7 096	3 128,8	7 943
3	9 041	4 034,3	11 977
3,5	10 734	4 943,8	16 921
4	12 715	5 862,3	22 783
4,5	14 625	6 835,0	29 618
5	17 044	7 917,3	37 536
5,5	19 639	9 170,8	46 706
6,15	21 000	13 207,7	59 914
6,85	22 500	15 225,0	75 139

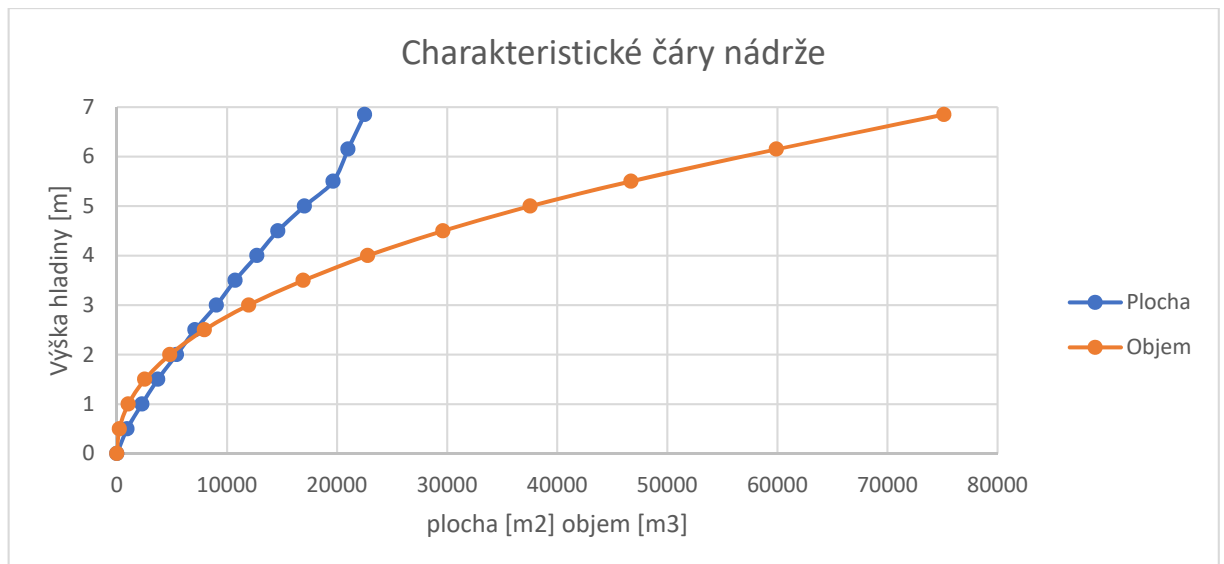
Plocha nádrže při provozní hladině: 21 000 m²

Plocha nádrže při maximální hladině: 25 500 m²

Objem nádrže při provozní hladině: 59 914 m³

Objem nádrže při maximální hladině: 75 139 m³

Retenční prostor nádrže neovladatelný: 15 225 m³



Pro kapitolu 9.8 Vodní dílo byl zdrojem Manipulační řád vodního díla.

11.9 Výstupy

Po vyhotovení polohopisného a výškopisného plánu byly vyexportovány tři kresby. První zachycuje čistou polohopisnou kresbu. Na druhém výstupu jsou zobrazeny body s čísly a polohopisná kresba. Třetím výstupem je zobrazený polohopis, na kterém jsou místo čísel bodu zobrazeny jejich nadmořské výšky. Dalšími výstupy jsou seznamy souřadnic, které jsou také v příloze práce. Během měření v terénu byl vyhotoven polní náčrt, který je v příloze práce.

12. ZÁVĚR

Měření polygonu a nivelací se uskutečnilo v březnu roku 2019. Podrobné měření proběhlo v červnu až srpnu 2019. Výstupy zobrazují okolí Rybníku k. ú. Čechtice. Výstupy jsou rozděleny na tři soubory. Seznam souřadnic stanovisek a podobných bodů je v příloze práce. Výsledky mohou sloužit jako orientační podklady úprav v okolí malé vodní nádrže.

13. PŘEHLED LITERATURY A POUŽITÝCH ZDROJŮ

Blažek R. a Skořepa Z., 1999: Geodezie 30. Vydavatelství ČVUT, Praha.

Cibulka M., 2018: Globální navigační satelitní systémy (GNSS). Mendelova univerzita v Brně, Brno.

Císař J., Boguszak F. a Janeček J., 1977: Mapování. Kartografie n.p., Praha.

Čábelka M., 2008: Úvod do GPS. CITT Praha Akademie kosmických technologií oblast Galileo, Praha.

ČÚZK, ©2015: Návod pro správu geodetických základů. Český úřad zeměměřičský a katastrální, Praha.

Chamout L. a Skála P., 2003: Geodezie. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.

Kavanagh B. F., 2010: Surveying with Construction Applications. Pearson Education, Inc., New Jersey.

Kotal M. a Pražák J., 1990: Mapování 2. Geodetický a kartografický podnik Praha s. p., Praha.

Krtička L., 2007: Úvod do kartografie. Ostravská univerzita, Ostrava.

Lebedová H., 2008: Kartografie. SPŠ zeměměřická, Praha.

Mansfeldová J., 2008: Geodetické výpočty 1.část. SPŠ zeměměřická, Praha.

Mansfeldová J., 2012: GNSS. SPŠ zeměměřická, Praha.

Mašín Z. a kol., 1978: Geodézie I.. Kartografie, n.p., Praha.

Mašín Z. a kol., 1980: Geodézie II.. Kartografie, n.p., Praha.

Ratiborský J., 2000: Geodezie 10. Vydavatelství ČVUT, Praha.

Ratiborský J., 2002: Geodezie 20. Vydavatelství ČVUT, Praha.

Sálová E., 2008a: Vývoj polohových základů na území České republiky. SPŠ zeměměřická, Praha.

Sálová E., 2008b: Vývoj výškových základů na území České republiky. SPŠ zeměměřická, Praha.

SPŠ Zeměměřická, ©2014: Plošné sítě. SPŠ Zeměměřická, Praha.

Šíma J., 2018: Historický vývoj zeměměřických činností ve veřejném zájmu a státních orgánů v civilní sféře (1919-2018). Český úřad zeměměřický a katastrální, Praha.

ČÚZK, © 2019: Tíhové bodové pole. (online) [cit. 2019.09.10], dostupné z

[https://geoportal.cuzk.cz/\(S\(wtcub3evhqhsbjxstfniffi\)\)/Default.aspx?mode=TextMeta&side=bodpole&metadataID=CZ-CUZK-DBP-TBP&menu=273](https://geoportal.cuzk.cz/(S(wtcub3evhqhsbjxstfniffi))/Default.aspx?mode=TextMeta&side=bodpole&metadataID=CZ-CUZK-DBP-TBP&menu=273)

Slovník VÚGTK, © 2019: Tíhový geodetický bod. (online) [cit. 2019.09.10], dostupné z

https://www.vugtk.cz/slovník/3540_schwerepunkt-r

Manipulační řád

14. SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Vztah mezi směrníky (Mansfeldová, 2008)	16
Obrázek 2: Směrník σ_{AB} a úhel φ v kvadrantech (Mansfeldová, 2008).....	17
Obrázek 3: Etalon na Novoměstské radnici v Praze	19
Obrázek 4: Přehled nivelačních oblastí I. řádu ČSNS (ČÚZK, 2015).....	26
Obrázek 5: Přehled nivelačních oblastí (ČÚZK, 2015)	27
Obrázek 6 Orientace osnovy směrů (Mansfeldová, 2008).....	29
Obrázek 7 Délka orientované úsečky a směrník (Mansfeldová, 2008).....	30
Obrázek 8: Protínání vpřed z úhlů (Mansfeldová, 2008)	31
Obrázek 9: Protínání vpřed z orientovaných směrů (Mansfeldová, 2008)	32
Obrázek 10: Protínání z délek (Mansfeldová, 2008)	33
Obrázek 11: Oboustranně připojený a oboustranně orientovaný polygonový pořad (Mansfeldová, 2008).....	36
Obrázek 12: Oboustranně připojený a jednostranně orientovaný polygonový pořad (Mansfeldová, 2008).....	38
Obrázek 13: Volný polygonový pořad (Mansfeldová, 2008)	38
Obrázek 14: Vetknutý polygonový pořad (Mansfeldová, 2008)	39
Obrázek 15: Uzavřený polygonový pořad (Mansfeldová, 2008).....	41
Obrázek 16. Trigonometrická nivelace (Mansfeldová, 2008)	52
Obrázek 17: Pohled na vodní dílo od jihozápadu	62
Obrázek 18: Výpustné zařízení	63
Obrázek 19: Bezpečnostní přeliv	64
Obrázek 20: Hráz vodního díla	64

15. SEZNAM PŘÍLOH

1. Geodetické a nivelační údaje stávajících bodů
2. Geodetické údaje nově stabilizovaných bodů
3. Přehledky měřických sítí a kladu měřických náčrtů
4. Zápisníky měření a výpočetní formuláře
5. Měřické náčrty
6. Protokol z programu KOKESŠ
7. Seznamy souřadnic
8. Polohopisné a výškopisné plány