

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ

STUDIJNÍ PROGRAM: GEODÉZIE A KARTOGRAFIE

STUDIJNÍ OBOR: GEODÉZIE, KARTOGRAFIE A GEOINFORMATIKA



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

GEODETICKÉ PRÁCE PRO PŘÍPRAVU PROJEKTU REVITALIZACE

RYBNÍKA V K.Ú. SEDLEČKO

SURVEYING MEASUREMENTS FOR REVITALIZATION OF A POND IN
SEDLEČKO

Vedoucí práce: Ing. Tomáš Křemen, Ph.D.

Katedra speciální geodézie

2019

Jakub Vynikal



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Vynikal

Jméno: Jakub

Osobní číslo: 468527

Zadávací katedra: Katedra speciální geodézie

Studijní program: Geodézie a kartografie

Studijní obor: Geodézie, kartografie a geoinformatika

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Geodetické práce pro přípravu projektu revitalizace rybníka v k.ú. Sedlečko

Název bakalářské práce anglicky: Surveying Measurements for Revitalization of a Pond in Sedlečko

Pokyny pro vypracování:

Vybudování bodového pole.

Zaměření polohopisu a výškopisu dané lokality a jejího okolí.

Vypracování mapového podkladu.

Zaměření profilu dna a sedimentu.

Výpočet objemu sedimentu k odtěžení.

Seznam doporučené literatury:

RATIBORSKÝ, Jan. Geodézie: (polohopis). 1. vyd. Praha: ČVUT, 1995. 136 s. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-01-01269-7.

Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Tomáš Křemen, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: 19.2.2019

Termín odevzdání bakalářské práce: 26.5.2019

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

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 nutně 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“.

19.2.2019

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)



Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Tomáše Křemene, Ph.D. a veškeré podklady, ze kterých jsem čerpal, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

.....

místo, datum

.....

Jakub Vynikal



Poděkování

Především bych rád poděkoval vedoucímu mé práce, Ing. Tomáši Křemenovi, PhD. za vstřícný přístup a trpělivost.

Dále mé díky patří rodině: mému otci Pavlu Vynikalovi za zázemí geodetické firmy, mému bratrovi Vojtěchu Vynikalovi za obětavou pomoc při měření a mé matce Michaele Vynikalové za důležitou podporu. Nakonec děkuji Ing. Antonínu Kavanovi za zpracování projektu revitalizace.



Abstrakt

Předmětem této bakalářské práce je zaměření polohopisného a výškopisného plánu v okolí rybníka Písečák v katastrálním území Sedlečko a zaměření jeho profilů dna a sedimentu. Výstupy byly následně použity pro projekt revitalizace. Popsány jsou přípravné práce, způsoby měření a navazujícího zpracování a výpočtů. Výsledkem je digitální mapa v systému S-JTSK a vypočtený objem sedimentu.

Klíčová slova

Objemy, účelová mapa, rybník, sedimenty, tachymetrie, Sedlečko

Abstract

Subject of this bachelor thesis is planimetric and altimetric measurement of surroundings of the pond Písečák in the cadastral territory of Sedlečko, and determination of the profiles of the pond's bottom and sediments. The results were used for the project of revitalization. Described aspects are preparation works, methods of measurements, calculations and elaboration. The outcome is a digital thematic map of the area and calculated volume of sediment.

Key words

Volumes, thematic map, pond, sediments, tachymetry, Sedlečko



1.	Úvod.....	8
2.	Zájmová oblast.....	9
2.1	Okolí rybníka	9
2.2	Rybník Písečák.....	10
3.	Rozsah a účel prací	12
4.	Měřické metody	14
4.1	Úvaha o celkové přesnosti měření	14
4.2	Polární metoda	14
4.3	Metoda GNSS	16
4.3.1	Metoda RTK	16
4.4	Metody měření sedimentu.....	17
4.4.1	Měření profilů olovnicí.....	17
4.4.2.	Měření polární metodou a GNSS.....	17
4.4.3	GNSS-RTK se sonarem	17
4.4.4	Měření duálním LIDAREm.....	18
4.5	Způsob výpočtu objemu.....	18
4.5.1	Delaunayova triangulace.....	19
4.5.2	Výpočet objemů z TIN	20
5.	Použité přístroje a software.....	21
5.1	Přístroje a terénní pomůcky	21
5.1.1	Totální stanice Trimble S5.....	21
5.1.2	GNSS přijímač Trimble R6	22
5.1.2	Controller Trimble TSC3.....	22
5.1.3	Další pomůcky v terénu	23
5.2	Software	24
5.1.1	Trimble Access	24
5.1.2	Geus	24
5.1.3	Groma	25



5.1.4	Kokeš + Atlas DMT.....	25
6.	Měření v terénu.....	26
6.1	Rekognoskace terénu	26
6.1.1	Bodové pole	26
6.3	Měření podrobných bodů	27
6.3.1	Stanoviska.....	27
6.3.2	Ověření bodového pole.....	29
6.3.2	Měření sedimentu	30
6.3.3	Polohopis a výškopis	31
7.	Zpracování	32
7.1	Exportování z controlleru.....	32
7.2	Tvorba výkresu.....	32
7.2.1	Tvorba profilů	33
7.2.2	Výpočet vrstevnic	33
7.3	Výpočet objemů	34
8.	Výsledky	36
9.	Realizace.....	37
10.	Závěr	39
	Seznam použité literatury a zdrojů	40
	Seznam použitých zkratk	42
	Seznam tabulek	43
	Seznam obrázků.....	44
	Seznam příloh	45



1. Úvod

V době nynější ekonomické konjunktury, geodézie, spolu se stavebnictvím jako takovým, zažívá rozmach. Značnou část geodetického povolání tvoří tvorba účelových map, digitálních modelů terénu a obecně zaměření skutečného stavu pro další projekční a stavební práce. Ať už jde o budovy, dopravní komunikace, či krajinné prvky. Poslední zmíněnou oblastí se zabývá tato bakalářská práce.

Konkrétně se jedná o revitalizaci dlouhodobě neudržovaného rybníka v katastrálním území Sedlečko, zvaného Písečák. V současné době, kdy panují dlouhá a suchá léta, je politika nakloněna krajinným úpravám směřujícím ke zvýšení schopnosti krajiny zadržovat vodu. Proto bude tento projekt plánovaně plně hrazen z dotací, což ale vyžaduje bezchybnou přípravu projektu a dodržení všech právních předpisů, včetně těch zabývajících se ochranou přírody, která souvisí s faktem, že lokalita se nachází v Chráněné krajinné oblasti Slavkovský les.

Pro plánované stavební úpravy je třeba vyhotovit kompletní projekt, který bude zahrnovat budoucí profil dna, novou hráz s nouzovým přelivem, stavidlo (tzv. požerák) a ostatní stavební a krajinné úpravy v okolí. Pro projekt je nutné vytvořit mapový podklad, který projektantovi pomůže získat představu o současném stavu okolí, a na jehož základě ve shodě s investorem rozhodne o budoucí podobě, včetně výšky vodní hladiny (a tedy rozloze zaplavené oblasti). Zároveň je třeba zaměřit profil dna a vypočítat objem sedimentu, který bude třeba odtěžit. To je nutné pro odhad finanční náročnosti prací a výběr adekvátního úložiště sedimentu, které by se mělo z logistických důvodů nacházet co nejbliž. Tvorba těchto podkladů je moje práce, která bude popsána v tomto textu.

Mou motivací pro výběr tohoto tématu byl především zájem o krajinu a její zkrášlování, jelikož letitá lidská díla, především v oblastech bývalých Sudet, jsou mnohdy ve špatném stavu v důsledku jejich zanedbávání, přestože by mohla dobře sloužit svému účelu. Zároveň mám zájem na ochraně krajiny před vysycháním. Daný rybník se nachází nedaleko mého bydliště, což mou motivaci podpořilo.

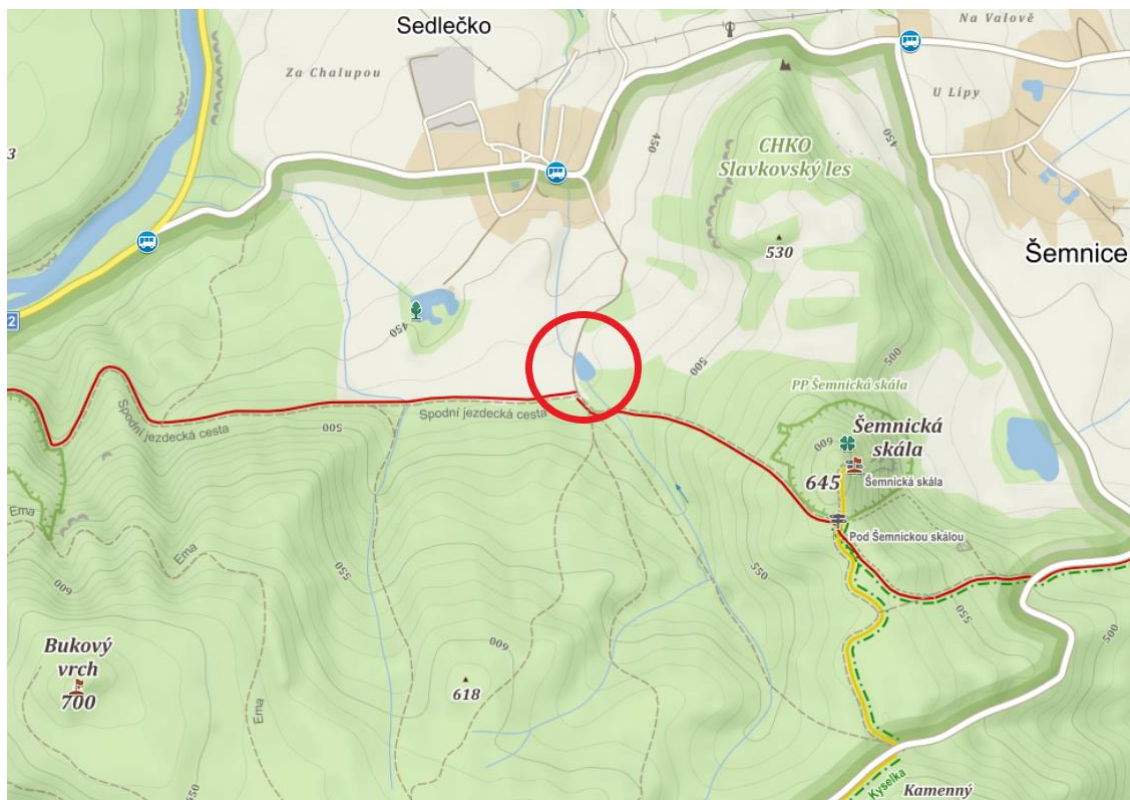


2. Zájmová oblast

Jedná se o lokalitu na západě České Republiky, nedaleko krajského města Karlovy Vary, u vesnice Sedlečko (ve stejnojmenném katastrálním území, část obce Šemnice). Samotný rybník je umístěn nedaleko od obce na jih.

2.1 Okolí rybníka

Okolní krajina je lesnatá, kopcovitá a poznamenaná vulkanickou činností blízkých Doupovských hor. Bukový vrch, u jehož úpatí se rybník nachází, je postranním sopouchem doupovského stratovulkánu, jehož masiv tvoří především čedič a v lokalitě rybníka i znělec. Stejněho původu je rovněž i nedaleká Šemnická skála, jejíž vrchol skýtá daleký výhled, a jejíž okolí bylo vyhlášeno přírodní památkou. Další zdejší pamětihodností je zřícenina hradu Andělská hora nebo Skalky skřítků (národní přírodní památka), což jsou skalní dutiny vzniklé geologickou činností. Rybník i zmíněné vrcholy jsou součástí severovýchodního výběžku Chráněné krajinné oblasti Slavkovský les. Lokalita rybníku je na obrázku 1. Sedlečko je obklopeno poli a loukami, směrem na jih se zvedá zalesněný hřeben kopců, u jejichž úpatí je Písečák.



Obrázek 1 - mapa okolí se zvýrazněnou zájmovou lokalitou [1]



Obrázek 2 - Šemnická skála v roce 1870 [2]

První zmínka o obci Šemnice pochází z roku 1203. Původní obyvatelstvo bylo zřejmě slovanské, ale později bylo postupně nahrazeno německým. Přílehlé obce byly do konce 2. světové války obývány převážně Němci, z této doby pravděpodobně pochází i sám rybník a kamenná navigace jeho odtoku. Obživou bylo především zemědělství, zprvu soukromé, od 50. let družstevní. Nyní obhospodařují polnosti z větší části soukromí zemědělci. Někteří občané dojíždějí za prací do Karlových Varů, do závodu Karlovarské minerální vody, a.s. závod Kyselka, nebo pracují u Vojenských lesů a statků. [2]

Na území již zmíněných Doupovských hor se nachází Vojenský prostor Hradiště, který zde vznikl po odsunu německého obyvatelstva. Nemá stálé osídlení, a i přes částečné zpřístupnění jeho periferií slouží dodnes armádním účelům včetně občasných mezinárodních cvičení.

2.2 Rybník Písečák

Rybník se nachází zhruba 500 metrů jižně od centra vsi Sedlečko pod zalesněným svahem. Jeho rozloha je přibližně 0.25 hektaru, nachází se v nadmořské výšce zhruba 470 metrů v Bpv. Pozemky v lokalitě jsou vedeny jako ostatní a vodní plocha. Rybník je dlouhodobě neudržován, pouze v roce 2015 byly vykáceny stromy na břehu a v okolí. Po hrázi vede zpevněná šterková cesta, využívaná pro těžbu dřeva a hospodářské účely



spojené s blízkým polem. Pod cestou je odtok z rybníka zatrubněn a pokračuje do Sedlečka. Původní propustek se zanesl a nějakou dobu voda volně přetékala cestu, nový odtok byl zabudován během rekonstrukce přilehlé cesty, ale je pouze provizorní a hráz je nadále nestabilní, hrozí její podemletí.

Na dně se v průběhu dekád nahromadila silná vrstva sedimentu, jehož hloubka na mnoha místech přesahuje metr. Tvoří ho směs bláta a jemného písku. Hloubka vody od sedimentu k hladině je v nejhlubších místech rovněž okolo metru. Využíván je k hospodářským účelům, tedy především k chovu ryb, v době horkého léta ale kvůli svému stále mělčímu dnu přestává být vhodný pro ryby, i z tohoto důvodu je tedy třeba sediment odtěžit. Přítok rybníku se nachází v jeho jižní části, kde tvoří jakousi deltu v důsledku nedostatečného vedení přítoku. Při přívalových deštích do rybníku přitéká s velkou vodou i značné množství písku a zeminy z lesa, které objem sedimentu dále zvětšují. Proto bude před nátokem do nádrže vytvořena tůň, která bude sloužit jako usazovací prostor pro splaveniny. Tím bude vytvořena ochrana nádrže před zanášením sedimenty.



Obrázek 3 - pohled na současný stav rybníku v létě (2018)



3. Rozsah a účel prací

Pojem revitalizace je obecně definován podle Branišova výkladového slovníku ekologie [3]:

„Soubor opatření (činností) vedoucích k obnovení nebo k nápravě přirozených funkcí člověkem poškozených ekosystémů, společenstev, stanovišť, krajinných celků apod. Cílem je též zvýšení estetické hodnoty krajiny. Nejčastějším revitalizačním úsilím je náprava režimu toků a částí jejich povodí. Revitalizační opatření nejsou pouze úpravy koryt toků (vytváření meandrů) a zemní práce (geomorfologické zásahy), ale též odstranění příčin degradace prostředí (splachy hnojiv z polí), odstraňování nevhodné vegetace či dosadba vegetace původní i návrat původního typu obhospodařování (pastva, sečení atd).“

V kontextu této konkrétní revitalizace jde o několik klíčových aspektů, a to:

- 1.) Zlepšení účelnosti – jde jednak o hospodářské účely, tedy hlavně rybolov, ale zároveň o obecnou snahu o zadržení vody v krajině z důvodu sucha, s tím souvisí i případné využití rybníka jako nouzový rezervoár užitkové vody například pro zavlažování.
- 2.) Pomoc ekosystému – vzhledem k lokalitě v CHKO a přítomnosti několika zákonem chráněných živočišných a rostlinných druhů (rak říční, ropucha obecná, a další) je další prioritou vyvážený ekosystém, zároveň je třeba z tohoto důvodu postupovat podle právních předpisů o ochraně přírody a práce provádět s ohledem na tuto skutečnost. V nátokové části zátopy bude vytvořena litorální zóna. Tím dojde k vytvoření ekologicky cenného prostředí mokřadního charakteru s příbřežními porosty keřů a stromů. Vodní plocha se přirozeně začlení do stávajícího území a vytvoří v údolnici vodoteče nový vodní a mokřadní biotop. Současně budou vytvořeny podmínky pro úkryt a hnízdění ptactva a drobných živočichů v břehových porostech.
- 3.) Zvýšení estetické hodnoty – navrácení přirozeného rázu zanedbané venkovské krajiny a celkové zkrášlení okolí.
- 4.) Dlouhodobá perspektiva – všechny cíle by měly být uspokojeny na co nejdelší dobu, aby nebylo třeba vynakládat další prostředky na údržbu. Z toho logicky vyplývá požadavek na to, aby se rybník opětovně nezanесl sedimentem.



Přípravnou částí revitalizace se zabývá tato bakalářská práce. Jak již bylo popsáno v úvodu, jde především o vyhotovení dokumentace, ze které projektant získá komplexní představu o současném stavu lokality, aby mohl navrhnout konkrétní řešení a postup. Tím se rozumí především polohopisný a výškopisný plán. Podle pravidel ministerstva zemědělství [4] pro udělení dotace na odbahnění musí být mimo jiné součástí žádosti o dotaci:

„...stanovení průměrné výšky sedimentu a odhad kubatury sedimentu, včetně výškopisného a polohopisného zaměření dna rybníka nebo vodní nádrže (podélný řez a příčné řezy ve vzdálenosti max. 40 metrů)...“

Po předání podkladů, zpracování projektu a vyřešení právních náležitostí nastanou stavební a krajinné úpravy. Podrobnosti o nich jsou popsány na konci práce, v kapitole 9.



4. Měřické metody

V této kapitole je obecný popis možných metod zpracování zakázky, jejich výhody a úskalí.

4.1 Úvaha o celkové přesnosti měření

Před měřením je třeba vzít v úvahu požadovanou přesnost měření, které chceme dosáhnout, v závislosti na účelu a požadavcích zakázky. Většina měřených prvků v zájmové oblasti byly terénní hrany na nezpevněném povrchu, kde je třeba dodržovat postupy pro tvorbu map velkých měřítek. Je tedy nutné generalizovat a snažit se jednoduše vystihnout tvar terénu, aby výsledná mapa byla přehledná. Přesnost bodů výškového tachymetru je okolo deseti centimetrů. Totéž platí i o zaměření sedimentu, který je často nerovnoměrný, určení dna je mnohdy nejisté a vypočtený objem má mít spíše orientační charakter. O něco zodpovědnější měření bylo nutné v oblasti hráze, kde v budoucnu má být bezpečnostní přeliv, tedy důležité jsou především výšky bodů. U cesty a prvků infrastruktury je přesnost větší, v řádu centimetrů.

Přístroje popsané v následující kapitole jsou pro tyto účely dostačující. Použitá totální stanice má přesnost měření délek $2 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}$, a úhlovou přesnost jednu šedesátinnou vteřinu. Pro RTK měření GNSS přijímačem Trimble R6 je přesnost trochu nižší a velmi záleží na viditelnosti satelitů. V běžných podmínkách dosahuje přesnosti okolo 3–5 centimetrů.

4.2 Polární metoda

Pro většinu podrobných bodů byla použita polární metoda, která spočívá v transformaci z polárních souřadnic, daných orientovaným směrem a délkou, do pravoúhlých souřadnic. Souřadnice jsou vypočteny pomocí rajónu.

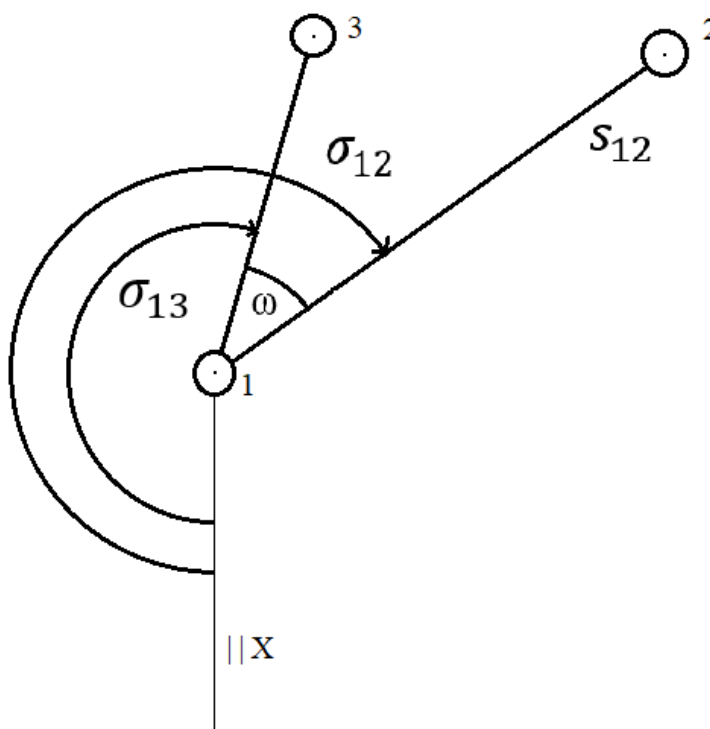
Pod pojmem rajón rozumíme orientovanou a délkově zaměřenou spojnicí daného a určovaného bodu. Jsou-li známy souřadnice daného bodu 1 (Y_1, X_1), vodorovná délka s_{12} a směrnik σ_{12} můžeme určit souřadnice určovaného bodu ze vztahů [5]:

$$Y_2 = Y_1 + s_{12} \cdot \sin \sigma_{12}$$

$$X_2 = X_1 + s_{12} \cdot \cos \sigma_{12}$$



Směrník na určovaný bod σ_{12} se vypočte tak, že k jinému (známému) směrníku σ_{13} , se připočte změřený vodorovný úhel ω mezi body 2 a 3. Stručný náčrt je na obrázku 4.



Obrázek 4 - polární metoda graficky

Vodorovná délka se získá redukcí délky naměřené. Fyzikální redukce započítávají vliv teploty a tlaku na měřenou délku. Matematické redukce obnášejí převést šikmou délku na vodorovnou (pomocí zenitového úhlu z), do nulové výškové roviny (d_0) a posléze roviny zobrazení (s).

$$d = d_s \cdot \sin z$$

$$d_0 = d \cdot \frac{R}{R + H}$$

$$s = d_0 \cdot m$$

kde H je nadmořská výška lokality, R je poloměr Země (6380 km) a m je měřítko Křovákova zobrazení v dané lokalitě. Všechny redukce přístroj provádí sám.

Zároveň je prováděn i výpočet výšky bodu, jde tedy o prostorovou polární metodu.

$$H_2 = H_1 + d_s \cdot \cos z + v_p - v_c$$

kde $v_p - v_c$ je rozdíl výšek přístroje a cíle. Vzhledem k tomu, že v tomto případě nebylo použito záměr delších než 200 m, není třeba uvažovat zakřivení Země. Výšky jsou počítány v systému Bpv.



4.3 Metoda GNSS

Základním způsobem určování bodového pole v současné době jsou metody GNSS. Pracují na základě komunikace pozemního přijímače s družicemi na oběžné dráze na principu protínání délek.

Přijímač je schopen měřit buď fázi nosné vlny, nebo pomocí PRN (pseudo random noise) kódu čas, který uplyne mezi vysláním signálu družicí a jeho zachycením anténou přijímače. Pro přesnější výsledky se používají dvojité diferencovaná pozorování (diference mezi dvěma přijímači a mezi dvěma družicemi), kde výhodou je odstranění chyb přijímače a družice. [6]

Přesnost určení polohy bodu charakterizuje veličina DOP (Dilution Of Precision). Slovník VÚGTK uvádí DOP jako „bezrozměrný parametr udávající vliv geometrie prostorového uspořádání družic GNSS a přijímače v konkrétní epoše na přesnost určení polohy. Běžně se používají: parametr horizontální přesnosti (HDOP) a parametr přesnosti polohy (PDOP), méně často i parametr vertikální přesnosti (VDOP), parametr geometrické přesnosti (GDOP), parametr přesnosti času (TDOP). Hodnota DOP roste se zhoršující se geometrií vzájemné polohy družic a přijímače a tím i s klesající přesností určení dané veličiny.“ [7] Její nejnížší hodnota je 1 a s jejím zvyšováním se zhoršuje kvalita observace. Měření s hodnotou DOP vyšší než 8 nejsou vhodná pro použití v geodézii [8]. Nejběžněji se používají statická a především RTK metoda.

4.3.1 Metoda RTK

„V základní konfiguraci se měřicí aparatura skládá z přijímače po dobu měření umístěného na bodě o známých souřadnicích, tzv. „base“, a z přijímače, který se pohybuje po určovaných nebo vytyčovaných bodech, tzv. „rover“. Měření je počítáno v reálném čase, mezi base a rover musí být permanentní datové spojení realizované např. radiomodemy nebo trvalým připojením na internet prostřednictvím GSM. Base může být nahrazen sítí virtuálních stanic, pak měření probíhá pouze s jedním přijímačem s trvalým připojením na internet k poskytovateli korekcí. Toto řešení je v současné době jednoznačně nejpoužívanější.“ [9]

Sítí virtuálních referenčních stanic je v ČR několik, poskytovatelem může být buď veřejnoprávní (sít' CZEPOS, kterou provozuje ČÚZK), nebo privátní subjekt. Pro toto měření byla použita referenční sít' firmy Geotronics – Trimble VRS NOW.

Dosahovaná přesnost je za běžných podmínek 3-5 centimetrů.



4.4 Metody měření sedimentu

V této kapitole bylo čerpáno především z [10].

Pro výpočet objemu sedimentu je třeba určit profil jeho vrchu, ale i profil dna, respektive hloubku sedimentu. V současnosti existují rozličné metody mapování dna pod vodní hladinou, těmi se zabývají následující odstavce, jde ale vesměs jen o metody pro určení povrchu sedimentu, nikoli však dna.

4.4.1 Měření profilů olovnicí

Nad hladinou se natáhne měřické pásmo a v jeho směru se poté ve vybraných místech spouští olovnice připevněná na další měřické pásmo. Tak se zaměří svislá vzdálenost mezi pásmem a dnem. Tato metoda se v praxi využívá pouze okrajově, je velmi neefektivní a neumožňuje automatické ukládání dat. Uplatnění má jen tehdy, když nejsou jiné technické prostředky k dispozici nebo nemají dostatečný dosah, protože měřické pásmo může být i několik set metrů dlouhé. Neposkytuje velkou představu o průběhu zaměřeného dna a hlavní nevýhoda spočívá v měření charakteristiky dna „naslepo“, měřič nevidí přesně to, co měří a nemůže tedy podchytit lokální terénní odlišnosti a dobře je interpretovat. V měkkém bahnitém sedimentu je tato metoda navíc krajně nespolehlivá, protože olovnice se může propadnout do větší hloubky, než je povrch sedimentu. Přesnost závisí na podmínkách.

4.4.2 Měření polární metodou a GNSS

Metoda probíhá za pomoci totální stanice, nebo GNSS roveru. Je proveditelná za předpokladu, že se měřič může bezpečně pohybovat po dně. V opačném případě je nutné používat loď, což ale s sebou nese nevýhodu, že měřič na dno nevidí, a tudíž nemusí vždy správně podchytit charakter zaměřovaného povrchu. Rychlost měření je oproti předešlé metodě značně rychlejší, stejně tak je řádově přesnější, dosahuje přesnosti centimetrů. Byť samozřejmě opět záleží na charakteru sedimentu. Výsledkem je hustá síť bodů, která může kompenzovat případnou neznalost průběhu dna. Tato metoda byla v této práci použita, především z důvodu své efektivnosti a rychlosti.

4.4.3 GNSS-RTK se sonarem

Při využití GNSS nebo polární metody v kombinaci se sonarem je měřič na člunu navíc vybaven sonarem pro přesné určování hloubek. Sonar vysílá zvukové vlny směrem ke dnu, které se od něj odrazí zpět. Sbírá vrácené zvukové vlny, které po zpracování



graficky znázorní ve formě grafu na displeji. Jedná se o velmi efektivní metodu, kdy sonar komunikuje s GNSS-RTK přijímačem a v reálném čase měří hloubku pod hladinou. Nové troj-frekvenční sonary mají dosah několik set metrů. Na měření je potřeba jen jeden člověk. Omezením může být malá rychlost záznamu bodů, vzrostlá vegetace rušící příjem GNSS, nebo výškově velmi nepravidelné dno, ve kterém vyšší výběžky omezují registraci hlubších míst. Očekávaná přesnost je centimetrová.

4.4.4 Měření duálním LIDARem

Jde o specifickou metodu, která spočívá v tzv. leteckém batymetrickém laserovém skenování povrchu pod hladinou. Princip spočívá v emitování paprsků ve dvou úrovních spektra, které měří dva úseky – mezi jednotkou a hladinou/povrchem a mezi jednotkou a dnem. Metoda není vhodná pro hloubky větší než 50 metrů a její přesnost je okolo decimetru, ale je jednoznačně nejrychlejší. Zároveň je ale ze všech nejnákladnější, a určená pro větší vodní plochy.

Toto byly metody, kterými je možno zjistit profil sedimentu, nikoli však dna. Tato disciplína je mnohem problematičtější, jelikož dno je přes vrstvu sedimentu pro akustické/laserové metody nedosažitelné. Jako nejschůdnější metoda se jeví propíchnutí sedimentu až na dno pro změření jeho hloubky. I z tohoto důvodu bylo měření provedeno polární metodou s hranolem na výtyčce, kdy v jednom bodě byl měřen vršek i spodek sedimentu a jeho hloubka je tedy v každém bodě zřejmá.

4.5 Způsob výpočtu objemu

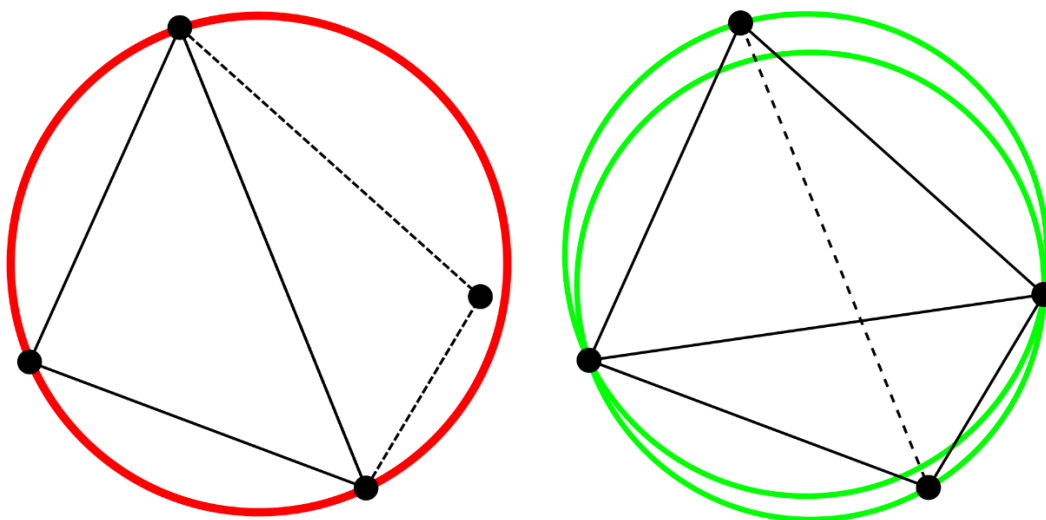
Při určování objemů bývá třeba v důsledku generalizace nahradit nepravidelné tvary zemního tělesa tvary geometrickými, jejichž objemy lze jednoduchými matematickými operacemi vypočítat. Nejčastěji se při výpočtu objemů používá TIN (Triangulated Irregular Network – nepravidelná trojúhelníková síť). Objem tělesa nad srovnávací rovinou, jehož povrch je definován TIN, se určí jako součet objemů trojbokých kolmých hranolů seříznutých rovinou nerovnoběžnou s rovinou podstavy.

Trojúhelníkových kombinací je možné na dané množině bodů vytvořit skutečně mnoho, z nichž mnohé ale nejsou účelné. Proto se dodává podmínka, která pro konkrétní účel dává optimální výsledek. Pro modelování terénu je žádoucí, aby se síť co nejvíce přimykala ke skutečnému povrchu a měla vypovídací hodnotu [11].



4.5.1 Delaunayova triangulace

Triangulaci je nejlepší provést Delaunayovou metodou, která využívá opsané kružnice trojúhelníkům, aby výsledné trojúhelníky byly co nejbližší trojúhelníkům rovnostranným, a tudíž nejlépe vystihovaly model terénu. V žádné kružnici, která je opsaná libovolnému trojúhelníku, nesmí ležet další bod. Pokud tomu tak je, triangulaci je třeba provést jinou kombinací (obrázek 5). Vyplývající podmínkou je, aby součet dvou úhlů, které jsou protilehlé k základně, která je společná daným dvěma trojúhelníkům, nebyl větší než 180° , což je případ trojúhelníku s červenou opsanou kružnicí.



Obrázek 5 - chybný bod navíc v kružnici a následná oprava triangulace [12]



4.5.2 Výpočet objemů z TIN

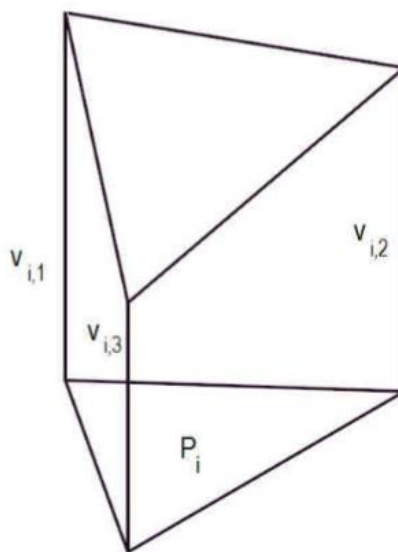
Výpočet objemu je již záležitostí jednoduché geometrie. Je třeba nejprve vypočítat výměru podstavy hranolu ze souřadnic, a to l'Huillierovým vzorcem [13]:

$$P = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n [x_i \cdot (y_{i+1} - y_{i-1})]$$

Poté už z obecného vzorce pro výpočet objemu kolmého hranolu (obrázek 6) lze odvodit finální vzorec:

$$V = \sum_{i=1}^n P_i \cdot \frac{v_{i,1} + v_{i,2} + v_{i,3}}{3}$$

Protože ale výsledkem měření budou dvě trojúhelníkové sítě, kde je žádoucí zjistit objem mezi nimi, bude třeba vypočítat jejich rozdíl. K tomuto účelu bude zvolena referenční rovina, která bude pod oběma povrchy, budou vypočteny dva objemy, které se od sebe následně odečtou.



Obrázek 6 - kolmý trojboký hranol [13]



5. Použité přístroje a software

5.1 Přístroje a terénní pomůcky

5.1.1 Totální stanice Trimble S5

Čerpáno z oficiálních informací od výrobce [14].



Obrázek 7 - TS Trimble S5

Polární měření bylo prováděno robotickou totální stanicí Trimble S5 s úhlovou přesností 1“, která disponuje elektronickou libelou, optickým centrovačem, nekonečnými ustanovkami, magnetickým otočným mechanismem, bezhranolovým dálkoměrem a automatickým cílením na hranol. Pro podrobné měření s nižšími nároky na přesnost je k dispozici režim Tracking, který je rychlejší než běžný režim Standard. Pro fyzikální redukce má integrovaný tlakoměr. Parametry přístroje jsou popsány v tabulce 1.

Tabulka 1 - specifikace Trimble S5

Přesnost libely	Krabicová	8"/2mm
	Elektronická dvojosá	0.3"
Přesnost měření délek	Hranol (režim Standard)	2 mm + 2 ppm
	Hranol (režim Tracking)	4 mm + 2 ppm
	Bezhranol (režim Standard)	2 mm + 2 ppm
	Bezhranol (režim Tracking)	4 mm + 2 ppm
Dosah dálkoměru	Hranol	0.2 – 5500 m
	Bezhranol	1 – 2200 m
Přesnost měření úhlů		1" (0.3 mgon)
Kompenzátor	Typ	dvojosý
	Přesnost	0.15 mgon
	Rozsah	±100 mgon
Váha		5.5 kg
Baterie	Li-Ion	5000 mAh
Certifikace odolnosti		IP65



5.1.2 GNSS přijímač Trimble R6



Obrázek 8 - rover Trimble R6

Čerpáno z oficiálních informací od výrobce [15].

Tento GNSS přijímač byl použit pro vytvoření bodového pole, disponuje připojením k GPS, QZSS, GLONASS, Galileo a Beidou. Může měřit statickou i RTK metodou, přičemž pro RTK společnost Trimble má vlastní síť referenčních stanic VRS NOW, v jejichž rámci se přístroj připojí k uměle vytvořené virtuální referenční stanici. Má vlastní slot na SIM kartu a technologii Bluetooth pro připojení ke controlleru. Další parametry jsou popsány v tabulce 2 níže.

Tabulka 2 - specifikace Trimble R6

Přesnost statické metody	Horizontální	3 mm + 0.1 ppm
	Vertikální	3.5 mm + 0.4 ppm
Přesnost RTK metody	Horizontální	8 mm + 1 ppm
	Vertikální	15 mm + 1 ppm
Baterie		2600 mAh
Certifikace odolnosti		IP67

5.1.2 Controller Trimble TSC3

Čerpáno z oficiálních informací od výrobce [16].

Pro ovládání obou výše zmíněných přístrojů slouží controller TSC3. Jako operační systém je použit Windows Mobile, který se ovládá odporovým 4.2“ LCD displejem a plnohodnotnou QWERTY klávesnicí. Geodetický software, přes který se ovládají přístroje, a který provádí všechny výpočetní operace, se nazývá Trimble Access. Pro připojení k totální stanici využívá 2.4 GHz rádiových vln a k připojení ke GNSS je použit Bluetooth. Má integrovaný vlastní GPS přijímač, který slouží k rychlému vyhledání robotickou totální stanicí, dále kompas, vlastní GMS modem a slot na SIM kartu. Je rovněž odolný, s certifikací IP67 a kapacita baterie je 2600 mAh. Controller ukládá všechna data o měření (konvenčním i GNSS) a rovnou počítá volná stanoviště a



Obrázek 9 - Trimble TSC3

souřadnice prostorovou polární metodu, které následně zanáší do orientační mapy. Po měření lze exportovat již vypočtený seznam souřadnic. Tento proces rovněž zrychluje proces zpracování dat, usnadňuje orientaci v terénu a vylučuje omyly manuálního zpracování.

Funkce, která integruje měření všemi přístroji do jednoho procesu, se nazývá Integrated Surveying. Na výtyčku s hranolem požitou pro tachymetr se připevní i GNSS přijímač. V průběhu připojování na bodové pole se zaměří stabilizovaný bod metodou GNSS a rovnou se změří totální stanicí bez zvednutí výtyčky z bodu. Celý proces měření se tak podstatně zrychlí a zároveň vyloučí možné omyly z určení výšky cíle, či špatného určení připojovacího bodu. Je však třeba

nastavit do controlleru rozdíl výšky GNSS antény vůči výšce vztažené k hranolu, ten je v této konfiguraci roven 57 mm.

Tato metoda byla v této práci použita pouze při doměření podrobných bodů tachymetru, kdy bylo optimální přepínat mezi zrovna dostupnou metodou měření kvůli viditelnosti.

5.1.3 Další pomůcky v terénu

Pro tachymetrické měření byl na souši použit hranol Trimble 360° se součtovou konstantou + 2 mm na výtyčce Seco. Pro měření sedimentu byla použita dlouhá výtyčka s hranolem Geodimeter (konstanta 0 mm). Dále stativ pro totální stanicí Seco, dvoumetr pro změření výšky přístroje nad stanovištěm, dřevěné kolíky, nastřelovací hřeby a palice.



5.2 Software

5.1.1 Trimble Access

Trimble Access je nativní prostředí pro controller TSC3. Je to modulární polní software, který kompletně řeší sběr dat, vytyčování, výpočetní úlohy a správu dat [17]. Přes tento program se ovládá totální stanice a GNSS přijímač. Dále je v něm uložen transformační klíč, který transformuje GNSS souřadnice z elipsoidu WGS84 do S-JTSK.

Trimble Access jednotlivé zakázky nazývá ‚joby‘ (přípona *.job*), ke každému jobu je přidružený jeho souřadnicový systém, připojené soubory a aktivní mapy. Job je proprietární binární soubor čitelný pouze pro software společnosti Trimble, ale umožňuje export jednotlivých součástí jobu (seznamy souřadnic, protokoly GNSS) do textových souborů, případně do celkového zápisníku s příponou *.sdr*.

Při práci v terénu je užitečná orientační mapa, kterou je možno podložit ortofotem/katastrální mapou. Usnadňuje orientaci a umožňuje interaktivně pracovat s body, vytyčovat je, nebo počítat linie, vzdálenosti, osy a výměry. Díky interaktivní mapě a kódování odpadá nutnost měřického náčrtu, jelikož veškeré nutné informace pro tvorbu výkresu jsou zanášeny do mapy.

5.1.2 Geus

Geus je geodetický software pro operační systém Windows pro tvorbu jednodušších výkresů a map. Operuje pouze ve 2D, tudíž není vhodný například pro náročnější stavební dokumentaci, ale pro účel této bakalářské práce je dostačující. Geus podporuje práci s rastrovými mapami včetně jejich přímého stahování ze zdrojů na internetu. Obsahuje veškeré funkce pro práci s výměnným formátem katastru (*.vfk*), který obsahuje mimo jiné katastrální mapu a je volně stažitelný z webu ČÚZK [18]. Umožňuje export všech potřebných výstupů pro tvorbu geometrických plánů. Kresbu lze následně exportovat do DXF, DGN, DWG atd. [19]

V tomto programu (verze 23) byl vytvořen přiložený mapový podklad. Zároveň disponuje i výpočetní částí pro typické geodetické úlohy, tu však nebylo třeba v tomto případě použít, jelikož Trimble Access umožňuje vyexportovat již hotový seznam souřadnic.



5.1.3 Groma

Groma je jednoduchý a intuitivní výpočetní program pro geodety pro Windows, jeho hlavním účelem jsou geodetické úlohy jako protínání, výpočet polární metody dávkou, či polygonový pořad. Umí zpracovávat data ve formátech všech běžných záznamníků, dávkově i jednotlivými výpočty. Umožňuje práci s více soubory, je možno otevřít několik seznamů souřadnic, přetahovat myší body z jednoho seznamu do druhého, volit, který soubor má být aktivní apod. [20]

Groma (verze 12.2) zde byla použita pro automatickou tvorbu trojúhelníkové sítě a následný výpočet objemu sedimentu.

5.1.4 Kokeš + Atlas DMT

Kokeš je všestranný program pro geodetické výpočty, výkresy, vektorizaci a mnoho dalšího. Atlas DMT je produkt, který se specializuje na tvorbu digitálních modelů terénu, vrstevnicových plánů a komplexní práci s výškopisem. Tyto dva programy umí spolupracovat při tvorbě vrstevnic, čehož bylo využito pro tvorbu podkladové výškopisné vrstvy. Kokeš navíc nabízí pohodlnou konstrukci řezů, které byly rovněž tvořeny zde.



6. Měření v terénu

Předmětem bylo zaměření polohopisu a výškopisu zájmové lokality společně s profily dna a sedimentu pro vyhotovení mapového podkladu pro projekt. Použité metody byly prostorová polární metoda za pomoci robotické totální stanice a metoda GNSS RTK pro body tachymetru nedostupné totální stanicí (tzn neviditelné přes překážku). Výměra zájmové lokality činí zhruba 3 hektary.

6.1 Rekognoskace terénu

Rekognoskací se rozumí zjišťování stavu skutečností na místě, kde se mají konat geodetické práce v terénu [7]. Byla provedena 29. června 2018 za účelem nalezení bodů polohového a výškového pole pro kontrolu pole vybudovaného metodou GNSS. Zároveň bylo třeba s ohledem na viditelnost bodů vytipovat místa pro stanoviska.

6.1.1 Bodové pole

Situace s bodovým polem v lokalitě nebyla ideální. Blízko se nacházel pouze jeden zhušťovací bod. Další body vhodné pro souřadnicové připojení v lokalitě nebyly, bylo tedy třeba vytvořit si vlastní.

Bodové pole v okolí zájmové lokality bylo vytvořeno dne 29.6. metodou GNSS RTK. Zvoleny byly body s dobrou viditelností na oblohu. Každý bod byl zaměřen nejméně třicetisekundovou observací. V souladu s vyhláškou ČÚZK [21] bylo měření



Obrázek 10 - příklady stabilizace bodového pole

provedeno podruhé o hodinu později. Obě měření byla zprůměrována na výsledné souřadnice. U všech observací vyjma jedné byla hodnota PDOP menší než 2. Celkem bylo takto zaměřeno šest bodů, stabilizovány byly kolíkem se značkou na vrchu, nebo nastřelovacím hřebem (obrázek 11).



Souřadnice z tabulky 4 níže vznikly průměrováním ze dvou epoch. Tyto souřadnice byly vyexportovány ve formátu .csv a před podrobným měřením importovány do nového jobu.

Tabulka 3 - body bodového pole určené GNSS

Číslo bodu	Y [m]	X [m]	Z [m]
4001	843675.565	1011786.675	470.521
4002	843687.889	1011862.954	472.601
4003	843692.411	1011894.876	471.294
4004	843759.026	1011825.881	468.195
4005	843782.167	1011913.043	469.025
4006	843780.650	1011963.070	471.412

6.3 Měření podrobných bodů

Ve dnech 30.6., 1.7., a 4.7. byly z vytvořeného bodového pole zaměřeny podrobné body tachymetru a body sedimentu a dna.

Ještě před samotným měřením byla v Geusu naimportována katastrální mapa z formátu .vfk, vyexportována ve formátu .dxf a .txt se souřadnicemi lomových bodů katastrálních hranic. Následně byly soubory připojeny k jobu do controlleru, čímž se hranice zobrazily v přehledové mapě.

Před měřením byla do přístroje zadána teplota vzduchu pro fyzikální redukce délek, tlak přístroj měří sám. Pro snazší pozdější tvorbu výkresu byly k bodům připisovány kódy, které stručně charakterizují objekt bodu.

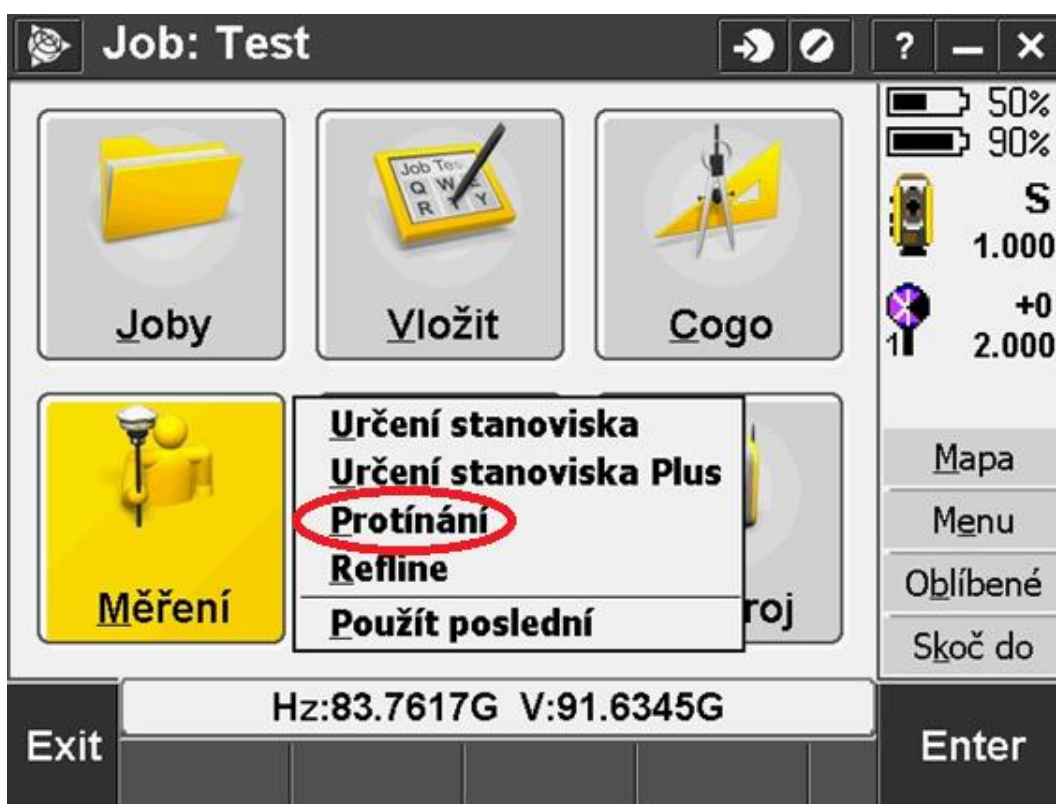
Na podzim přišel od projektanta požadavek na doměření části okolí severně od rybníka, jelikož dané místo bylo možno použít jako úložiště sedimentu (k čemuž ale nakonec nedojde). Toto doměření však již nebylo provedeno mnou, což je zmíněno v podkapitole níže.

6.3.1 Stanoviska

Totální stanice, pokud to viditelnost na orientace umožňovala, byla vždy postavena na volné stanovisko, s co největším počtem orientací. Výhodou volného stanoviska je, že přístroj lze postavit na jakémkoli místě, doporučuje se orientovat alespoň na tři body. Zároveň se neuplatní možná chyba z centrace.



Přístroj byl vždy postaven a zhorizontován pomocí elektronické libely. Orientace na bodové pole byly vždy měřeny na výtyčku nastavenou na nejkratší výšku, v obou polohách (tedy v jedné skupině), v módu přístroje Standard a se zprůměrováním pěti konsekventních měření. V softwaru Trimble Access funkce *Protínání* (obrázek 12) sama volné stanovisko spočítá, a při nadbytečném počtu měřených veličin uvede i a posteriori směrodatnou odchylku stanoviska. Protínání bylo vždy provedeno z alespoň tří bodů bodového pole. K nim ještě byla vždy, kdy to bylo možné, zaměřena úhlová orientace na vzdálený vysílač na Klínovci (cca 18 km), která zajišťovala přesnou úhlovou orientaci v JTSK.



Obrázek 11 - prostředí Trimble Access a funkce "Protínání" [17]

Správnost určení stanovisek byla průběžně kontrolována převytyčením podrobných bodů nebo ostatních bodů bodového pole. Vzhledem k nadbytečným měřením totální stanicí při určení stanoviska bylo vždy možno odhadnout přesnost určení bodového pole GNSS v kontextu přesnějšího měření totální stanicí. Souřadnicové opravy z transformace nepřesahovaly 2 cm.

Pro jedno stanovisko bylo třeba použít centrovaný rajon, zaměřený také se zvýšenou přesností popsanou výše, i z něj bylo orientováno na Klínovec.

Kompletní seznam stanovisek, jejich orientací a bodů z nich měřených, je sepsán níže v tabulce 5.



Tabulka 4 - schéma stanovišek, jejich orientací a bodů z nich měřených

stanovisko	orientace	podrobné body
4101	4001, 4002, 4003, 4004, 4005, 4006, K	1 – 326
4102	4001, 4003, 4004, K	327 – 424, 5001, 5002
5001	5002, 4004, K	425 – 470
4103	4002, 4005, 4006, K	471 – 564
4104	4002, 4003, 4006	565 – 653
-GNSS-	--	654, 785 – 799
4105	4001, 4004, 5002	655 – 664
4106	4002, 4004, K	665 – 734
4107	4007, 4008, 4009	755 – 784, 800 – 857

Tlustá čára v tabulce odděluje mnou provedené měření a doměření, kterého jsem se již neúčastnil. Zatímco první etapa proběhla 30. června až 4. července, stanoviška 4105, 4106 a 4107 byla měřena až 30. října, 2. listopadu a 4. listopadu, kdy jsem byl indisponován. Orientace *K* značí vzdálenou orientaci na Klínovec.

Poslední stanovisko již nebylo z důvodu viditelnosti možné připojit na původní bodové pole, tudíž byly ad hoc zaměřeny metodou GNSS tři nové orientace (4007, 4008, 4009), ze kterých bylo spočítáno volné stanovisko 4107.

6.3.2 Ověření bodového pole

Pro zjištění případné systematické chyby v určení polohy GNSS se doporučuje bodové pole ověřit o stávající polohové a výškové body v okolí. To bylo provedeno z volného stanoviska s připojením na všechny body GNSS.

Nedaleký bod ZhB 245 byl sice nalezen (zhruba 10 cm pod terénem, obrázek 12), byl ale poškozen nedávnou rekonstrukcí účelové cesty a po pozdějším kontrolním vytyčení bylo potvrzeno, že v poloze i ve výšce byl chybně položen v řádu decimetrů.

Podle [22] musí rozdíly nově určených a původních souřadnic bodů ZPBP ΔX a ΔY v JTSK splňovat kritérium:

$$\Delta X^2 + \Delta Y^2 \leq 13$$



Obrázek 12 - vyhledání bodu ZhB 245

kde ΔX resp. ΔY jsou vyjádřeny v centimetrech. Tato podmínka byla porušena, neboť v každé souřadnici byla odchylka 10 cm.

Polohu nicméně bylo možno ověřit na nedalekou katastrální stabilizaci vlastnických hranic kódu kvality 3, kde směrodatná odchylka souřadnicová je $\sigma_{xy} = 0.14$ m, což je u daného bodu splněno (tabulka 3).

Tabulka 5 - porovnání souřadnic ověřovacího bodu

Bod 1004	Y [m]	ΔY [m]	X [m]	ΔX [m]
Daný	843730.540	-0.061	1011780.510	0.062
Vytyčený	843730.601		1011780.448	

Body katastru nemovitostí ale nemají ve svých údajích výšku. Ověřit výškové připojení bylo tedy problematické, neboť nivelační pořad probíhal nejbližší podél řeky, a nejbližší viditelný bod s výškou byl bod ZhB 228, vzdálený zhruba 900 metrů. Přes náhodné chybové vlivy vlnění vzduchu a refrakce, které se nevyhnutelně během měření na tuto vzdálenost uplatní, jsme se rozhodli bod ověřit. Pro tento účel bylo třeba vypnout v totální stanici automatické cílení, jelikož při delších záměrách je nespolehlivé. Výpočet byl proveden ručně, se započtením zakřivení Země. Výsledná chyba ve výšce (průměr z obou poloh) byla okolo tří centimetrů.

6.3.2 Měření sedimentu

Body 1–142 jsou body sedimentu. Pro výpočet orientačního objemu sedimentu bylo třeba zaměřit jeho povrch a ve stejném bodě i dno. Pro tento účel byla použita dlouhá výtyčka (3.8 metru vysoká). Figurant s ní chodil v rybníce, voda dosahovala zhruba jednoho metru (obrázek 13). Vždy nejprve hrot výtyčky postavil na blátivý sediment, kde byl zaměřen bod s kódem h , poté výtyčku zapíchl co nehlouběji, kde byl zaměřen bod s kódem d . Snažil se při tom vystihnout případné nerovnosti v profilu dna. Aby byl povrch sedimentu změřen na správné výšce, ujišťoval se figurant, jestli se hrot výtyčky neboří pod měkký povrch. Hloubka sedimentu dosahovala na některých místech až 1.8 metru, většinou okolo jednoho metru. Plocha rybníka byla body pokryta pravidelně, zhruba po



pěti metrech. 143–182 jsou body s kódem x , které značí místa blízka břehu rybníka, kde sediment končí, a na kterých se oba povrchy spojují.



Obrázek 13 - způsob měření sedimentu

6.3.3 Polohopis a výškopis

Ze čtyř volných stanovisek (4101–4104) a jednoho rajonu (5001) bylo postupně zaměřeno 471 podrobných bodů, číslovaných od 183. Měření byly v první poloze, v rychlejším režimu Tracking. Pro šestnáct dalších bodů tachymetru nedosažitelných totální stanicí (654, 785–799) byla použita RTK metoda (funkce *Rychlý bod* – krátké observace).

Měřené prvky byly terénní hrany, krajnice cesty, hladina rybníka u břehu, průběh strouhy potoka, betonový propustek na hrázi, odtokové trubky a významné stromy, případně hranici lesa. Mimo jasně definované prvky terénu se zaměřovaly další body tachymetru s výškami, aby měl projektant komplexní představu o výškopisu.

7. Zpracování

Tato kapitola se zabývá zpracováním naměřených dat a jejich převedením do výsledných výstupů, které byly požadovány projektantem.

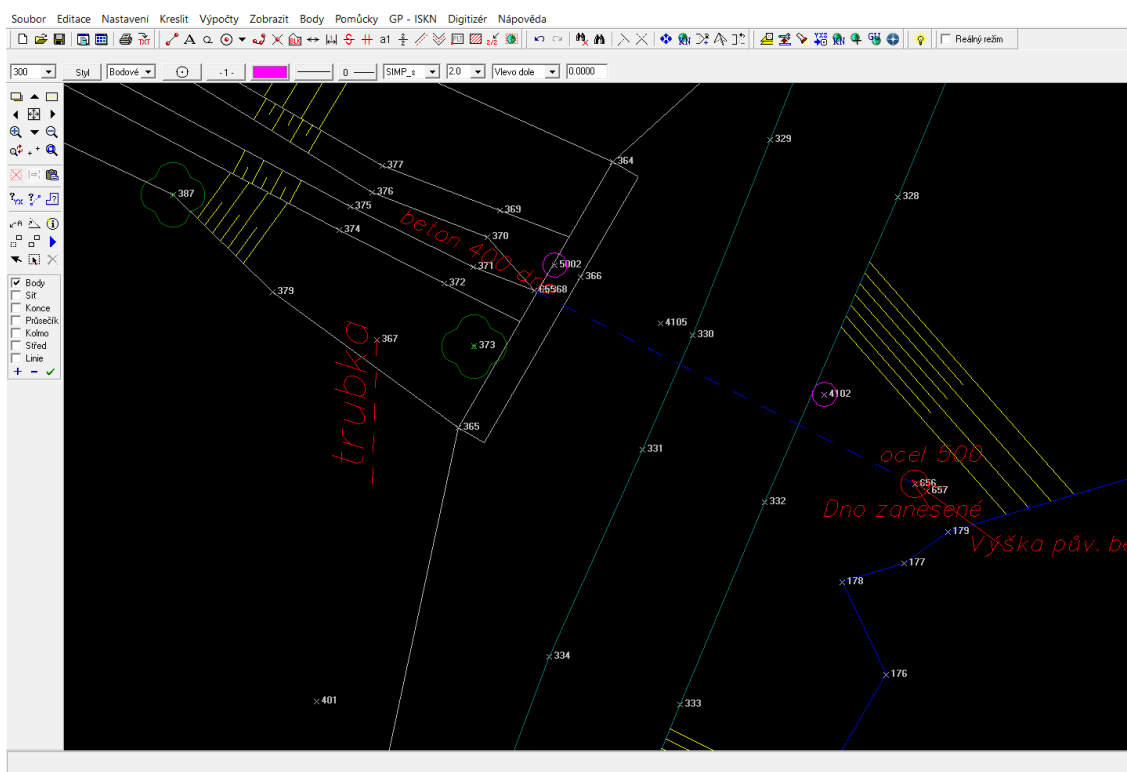
7.1 Exportování z controlleru

Pro tvorbu výkresu a výpočet objemu sedimentu je třeba vyexportovat seznam souřadnic z controlleru. V menu *Joby*, dále *Import/Export* je možno exportovat mnoho typů textových souborů. Kromě seznamu souřadnic byly ještě vyexportovány:

- protokol o měření totální stanicí, který obsahuje výčet určených stanovisek (a jejich reziduí), jejich orientací a měřených a vytyčených bodů
- kompletní protokol GPS, obsahující všechny body měřené metodou GNSS s údajem o jejich přesnosti, PDOP a počtu satelitů
- pro případné doplňující výpočty nebo kontroly v Gromě byl vyexportován i zápisník ve formátu *.sdr*

7.2 Tvorba výkresu

Seznam souřadnic byl nahrán do softwaru Geus. Pomocí kódů, které byly během měření zaznamenávány k bodům, byla tvořena kresba mapy. Pro usnadnění kresby



Obrázek 14 - prostředí Geus a příklad zpracování výkresu



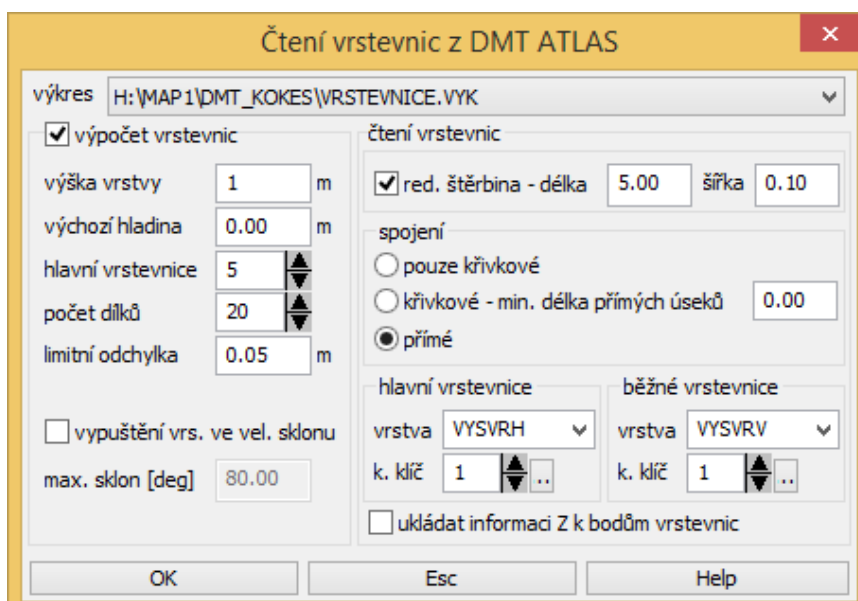
umožňuje Geus připojení podkladové katastrální mapy, či ortofoto mapy. Do výkresu byly zaneseny terénní hrany se svahovými šrafami, účelová cesta, významné stromy, vodohospodářské prvky a vodní plocha rybníka. Průběhy potrubí byly odhadnuty a jeho prvky popsány. Pro bodové prvky byly využívány značky. Výřez zpracování části výkresu v oblasti propustku je na obrázku 14. Výšky změřených bodů byly uloženy do samostatné vrstvy, rovněž i kódy a čísla bodů. Celý výkres byl podložen katastrální mapou, která byla stažena ve výměnném formátu katastru *.vfk* a naimportována do Geusu.

7.2.1 Tvorba profilů

Pro tvorbu profilů je nejprve nutné si určit čáru řezu, na kterou se pomocí průsečíku s trojúhelníkovou sítí dopočítají body s interpolovanými výškami. Byly zvoleny dva profily, na sebe přibližně kolmé. Podélný profil začíná na bodě 180 a končí na bodě 160. Příčný profil vede z bodu 167 na bod 150. Pomocí funkce *Pomůcky -> Průsečík přímek* v Geusu byly v pravidelných intervalech doplněny mezilehlé body. Geus sice umí vytvořit výškové profily, ale Kokeš umožňuje i vložení dvou profilů pod sebe, což bylo v tomto případě žádoucí, aby byly profily sedimentu i dna v jediném výkresu. Takže dopočítané souřadnice byly nahrány do Kokeše, a profily byly vytvořeny tam. V profilech je mimo jiné vyznačena i výška hladiny. Ve výkresu jsou profily vyznačeny červenou barvou včetně jejich směru ve vrstvě 6.

7.2.2 Výpočet vrstevnic

Geus neumožňuje tvorbu vrstevnic, tedy byl opět použit Kokeš, tentokrát ve spojení s Atlas DMT. Atlas nejdříve vygeneruje trojúhelníkovou síť, kterou lze upravovat



Obrázek 15 - práce s vrstevnicemi v Kokeši



přidáním povinných hran. To bylo provedeno, zaměřené terénní hrany byly označeny jako lomové do vrstvy L nového výkresu. Z trojúhelníkové sítě byly načteny vrstevnice podle zadaných parametrů a přidány do výkresu (obrázek 15). Vzhledem k nepravidelnosti tvaru vrstevnic bylo nutno některé segmenty ručně upravit, aby vrstevnice byly pravidelné a lépe odpovídaly realitě. Nakonec byly popsány a zesíleny hlavní vrstevnice (po pěti metrech) a výkres s nimi byl vyexportován ve formátu *.dgn*. Ten byl nahrán do Geusu a vložen do vrstvy 8. Čáry terénních hran i se svahovými šrafovými byly ve výkresu ponechány, protože lépe znázorňují některé prvky terénu, které vrstevnice nevystihnou (např. polní cestu).

Výsledný výkres byl exportován do AutoCAD formátu *.dwg*, který byl následně odeslán projektantovi. Tento export má za následek změnu souřadnic na opačné, kvůli atypické souřadnicové soustavě JTSK. Výkres byl zasílán vícekrát přepracovaný, protože se vyskytly již zmíněné dodatečné požadavky, v *.pdf* příkládaná verze je pouze s užším okolím. V tabulce 6 je stručný přehled vrstev výkresu a jejich obsah.

Tabulka 6 - použité vrstvy ve výkresu a jejich stručný popis

Číslo vrstvy	Obsah vrstvy
1	Polohopis – terénní prvky, infrastruktura
2	Digitální mapa katastru
5	Stromy
6	Čáry profilů
8	Vrstevnice
9	Tabulka
10	Vysvětlivky, další texty
18	Značky bodů
19	Čísla bodů
20	Výšky bodů
21	Čtvercová síť

7.3 Výpočet objemů

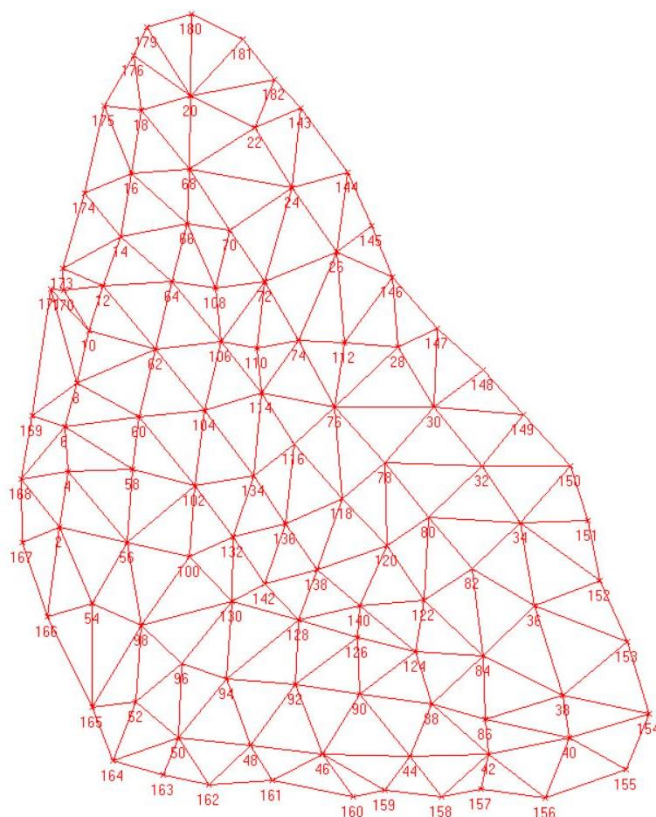
Pro výpočet objemu sedimentu byl využit systém Groma, konkrétně funkce *Výpočet* -> *Kubatury* (obrázek 16). Jako základní rovina, od které se počítaly objemy kolmých trojbokých hranolů, byla určena 464 m Bpv. Od té byly spočteny dva objemy, první po



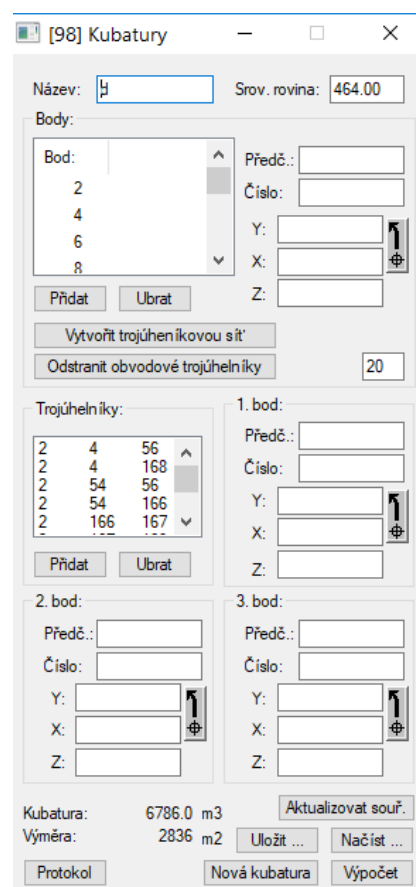
body na sedimentu (kód h), druhý po body na dně (kód d). K oběma množinám patřily i body průseku s kódem x . Groma sama navrhne trojúhelníkovou síť pomocí Delaunayovy triangulace a spočítá a sečte objemy jednotlivých hranolů [20]. Spodní a horní trojúhelníková síť (obrázek 15) jsou, vzhledem ke zhruba stejné poloze bodů v horizontálním směru, téměř identické.

Výsledkem jsou dva objemy, které od sebe stačí odečíst. Povrchový objem byl spočten na 8244.7 m^3 , objem ke dnu byl 6786.0 m^3 . Rozdíl mezi nimi, a tedy výsledný objem sedimentu, je **1458.7 m^3** . Vedlejším výstupem je rozloha rybníka, ta činí 2836 m^2 . Průměrná výška sedimentu je tedy zhruba **51 cm**.

Povrch sedimentu byl měřen relativně přesně (v centimetrech), totéž se ale nedá říct o jeho dně. Nejistota v určení dna je v takové hloubce vysoká, a pohybuje se v decimetrech. Průměrná hloubka sedimentu, spočítaná vydělením objemu povrchem, je okolo půl metru. Pokud uvážíme průměrnou nejistotu dna 10 – 15 centimetrů, přesnost výsledného objemu může být $\pm 25\%$.



Obrázek 17 - trojúhelníková síť dolního povrchu vygenerovaná Gromou



Obrázek 16 - výpočet kubatur ze spodního povrchu



8. Výsledky

Výsledkem této bakalářské práce je výkres ve formátu *.dwg* (příloha e2), z něj vytisknutý výkres ve formátu *.pdf* (přílohy 1 a e3), který je přiložen k této práci v tištěné podobě. K výkresu se váže i seznam souřadnic ve formátu *.txt* (příloha e5). Profily dna jsou ve formátu *.pdf* v příloze e4, resp. vytištěné v příloze 2. Konečně je výsledkem i vypočtený objem sedimentu, který činí 1458.7 m^3 s odhadovanou nejistotou 25%.

Vedlejším výstupem pro kontrolu jsou protokoly. Mezi ty se řadí protokol o měření totální stanicí (příloha e6), který popisuje do detailů schéma měření popsané v tabulce 5, protokol měření a průměrování GNSS observací (příloha e7), protokol o výpočtu objemů a trojúhelníkové sítě z Gromy (příloha e8) a zázpisník měření totální stanicí ve formátu *.sdr* (příloha e9).



9. Realizace

V této kapitole bylo čerpáno z průvodní technické zprávy k projektu od Ing. Kavana.

Po vyhotovení projektu nastane samotná realizace. Prvním krokem bude překopání hráze a vypuštění nádrže. Konkrétní úpravy, které budou následovat, jsou:

Odbahnění a úprava dna

Z celé plochy stávající zátopy bude odstraněn veškerý sediment. Po vypuštění nádrže budou ve vrstvě sedimentu vyhloubeny odvodňovací rýhy. Dno nádrže bude zarovnáno a vyspádováno směrem k nejnižšímu místu. U nátoky do nádrže bude vytvořena litorální zóna¹ s maximální hloubkou 600 mm. Část stávajícího sedimentu bude ponechána v litorální zóně, aby byla umožněna obnova stávajících druhů mokřadní vegetace.

Sediment bude třeba po odbahnění někam uložit, k tomu je třeba najít vhodné místo k jeho uskladnění. Pokud se po chemickém rozboru ukáže být nezávadným, bude možné ho použít jako hnojivo pro ornou půdu na blízkých polích.

Obnova vypouštěcího zařízení

Stávající nefunkční požerák² bude beze zbytku odstraněn i s výpustným potrubím kromě výústního čela, které zůstane zachováno. V zátopě bude osazen nový požerák. Požerák bude umístěn do paty návodního svahu na základ z monolitického betonu a bude vybaven uzamykatelným poklopem. Základ bude proveden na podkladní beton. Požerák bude prefabrikát z monolitického betonu s trojitou dlužovou stěnou a dubovými hradítky. Z požeráku bude vyvedeno nové výpustné potrubí. Pod hrází bude ukončeno ve stávajícím betonovém čele. Pod jeho vyústěním bude pročištěno stávající koryto potoka v délce 20,0 m od nánosů. Stávající opevnění koryta bude zachováno.

Obnova bezpečnostního přelivu

Bezpečnostní přeliv je navržen jako korunový přímý, lichoběžníkového profilu se sklonem svahů 1:20. Přeliv je situován v severní části nádrže. V místě navrhovaného přelivu se nachází stávající zpevněná cesta. V úseku přelivu bude svrchní vrstva cesty odstraněna, bude vytvořen přeliv a poté bude koruna hráze a přeliv dokončen novým povrchem zpevněné komunikace tvořeným šterkem.

¹ Litorální zóna je na okraji jezera nebo oceánu, střídavě suchá a zaplavovaná

² Požerák je typ vypouštěcího zařízení rybníka, srov. [23]



Obnova opevnění hráze

Ze stávající hráze bude odstraněn návodní líc. Bude provedena nová těsnící ostruha a nový násyp návodního líce se sklonem svahu 1:3. Veškerý materiál pro násyp hráze bude vytěžen ze zemníku v blízkosti stavby. V celé délce návodního svahu bude provedena těsnící ostruha. Opevnění návodního líce hráze bude provedeno pohozením z drceného kameniva, návodní líc bude opevněn do výše koruny hráze. Koruna hráze bude tvořena zpevněnou komunikací.

Vytvoření retenční tůň

Před nátokem do nádrže bude vytvořena tůň o ploše cca 300 m². Při přívalových deštích dochází k zanášení zátopy rybníku písčítým materiálem, tůň bude sloužit hlavně jako usazovací prostor proti nadměrnému zanášení nádrže. K tůni bude vytvořen přístup pro stavební mechanizaci ze stávající cesty, aby bylo umožněno čištění tůně od nánosů sedimentu.



10. Závěr

Cílem práce bylo vybudovat bodové pole, zaměřit polohopis, výškopis lokality a profil dna a sedimentu, vypracovat mapový podklad a vypočítat orientační objem sedimentu k odtěžení. Všechny tyto body byly splněny.

Stručný postup obnášel rekognoskaci terénu, doplnění bodového pole metodou GNSS, zaměření všech bodů v zájmové lokalitě, včetně těch pod hladinou rybníka, pomocí totální stanice. Dále zpracování přehledného výkresu v Geusu, vykreslení výškových profilů dna a vypočítání přibližného objemu sedimentu pomocí TIN v Gromě.

Finálními výstupy jsou výkres ve formátu *.dwg*, profily dna a vypočtený objem a průměrná výška sedimentu. Tyto výsledky byly předány projektantovi. Projekt byl vytvořen a jeho realizace by měla nastat ve druhé polovině tohoto roku.

V současné době se řeší právní náležitosti revitalizace, především z oblasti životního prostředí. Většina dotčených orgánů státní správy se vyjádřila kladně, některé s výhradami. Kvůli populaci některých chráněných druhů je třeba vypuštění rybníka odsunout na nejdříve 1. července tohoto roku. Zároveň se diskutuje o úložišti sedimentu. Byl proveden jeho chemický rozbor, který nezjistil žádnou závadnost, tudíž bude pravděpodobně možné jej použít jako hnojivo.



Seznam použité literatury a zdrojů

- [1] *Mapy.cz* [online]. Seznam.cz, OpenStreetMap, 2019 [cit. 2019-03-31]. Dostupné z: mapy.cz
- [2] *Obec Šemnice* [online]. Obec Šemnice, 2019 [cit. 2019-03-31]. Dostupné z: <https://www.semnice.cz/stripky-z-historie>
- [3] BRANIŠ, Martin a kol. *Výkladový slovník vybraných termínů z oblasti ochrany životního prostředí a ekologie*. Praha: Karolinum, 2004. ISBN 8071847585.
- [4] Pravidla pro poskytování dotací. Ministerstvo zemědělství [online]. Praha, 2017 [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: http://eagri.cz/public/web/file/537891/_129_280_Pravidla_podepsana_M.PDF
- [5] RATIBORSKÝ, Jan. *Geodézie: polohopis*. Praha: České vysoké učení technické, 1995. ISBN 8001012697.
- [6] MERVART, Leoš. *Základy GPS*. Praha: ČVUT, 1993.
- [7] Slovník VÚGTK. *Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický* [online]. VÚGTK, 2019 [cit. 2019-03-31]. Dostupné z: <https://www.vugtk.cz/slovník/index.php>
- [8] ŠVÁBENSKÝ, Otakar, Alexej VITULA a Jiří BUREŠ. *Inženýrská geodézie II*. Brno: VUT v Brně, 2007.
- [9] ŠTRONER, Martin. Globální navigační satelitní systémy (GNSS). *Katedra speciální geodézie* [online]. Praha: FSV ČVUT [cit. 2019-03-31]. Dostupné z: http://k154.fsv.cvut.cz/vyuka/geodezie_geoinformatika/vy1/OBS/GNSS_obs.pdf
- [10] NOVÁK, Pavel a kol. *Nové technologie batymetrie vodních toků a nádrží pro stanovení jejich zásobních kapacit a sledování množství a dynamiky sedimentů* [online]. Praha, 2017 [cit. 2019-03-31]. Dostupné z: http://r.fzp.czu.cz/vyzkum/metodiky/metodika_batymetrie.pdf. Metodika. ČZU.
- [11] Triangulace. *Katedra geomatiky ZČU* [online]. Plzeň [cit. 2019-03-31]. Dostupné z: <https://kgm.zcu.cz/studium/ugi/cviceni/ch08s01.html>
- [12] Delaunay triangulation. *Wikipedia* [online]. [cit. 2019-03-31]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Delaunay_triangulation
- [13] ŠTRONER, Martin. Určování ploch a objemů. *Katedra speciální geodézie* [online]. Praha: FSV ČVUT [cit. 2019-03-31]. Dostupné z: http://k154.fsv.cvut.cz/~stroner/GEY2/pred_2_Metrologie_Plochy_Objemy.pdf



- [14] Trimble S5. *Trimble Geospatial* [online]. Trimble, 2019 [cit. 2019-03-31].
Dostupné z: <https://geospatial.trimble.com/products-and-solutions/trimble-s5>
- [15] Trimble R6. *Trimble Geospatial* [online]. Trimble, 2019 [cit. 2019-03-31].
Dostupné z: <https://community.trimble.com/docs/DOC-1621>
- [16] Trimble TSC3. *Trimble Geospatial* [online]. Trimble, 2019 [cit. 2019-03-31].
Dostupné z: <https://geospatial.trimble.com/products-and-solutions/trimble-tsc3>
- [17] Trimble Access. *Geotronics* [online]. Geotronics Praha, 2016 [cit. 2019-03-31].
Dostupné z: <http://geotronics.cz/geodezie/software/trimble-access/>
- [18] Výměnný formát ISKN. *Český úřad zeměměřický a katastrální* [online]. ČÚZK, 2019 [cit. 2019-03-31]. Dostupné z: <https://www.cuzk.cz/Katastr-nemovitosti/Poskytovani-udaju-z-KN/Vymenny-format-KN/Vymenny-format-ISKN-v-textovem-tvaru.aspx>
- [19] GEUS. *GEUS* [online]. GEUS ware s.r.o., 2019 [cit. 2019-03-31]. Dostupné z: <https://www.geus.cz/inpage/geus/>
- [20] Groma - kubatury (manuál). *Groma* [online]. Geoline, spol., 2017 [cit. 2019-03-31]. Dostupné z: http://groma.cz/cz/man/calc_volume.html
- [21] Vyhláška 31/1995 Sb., příloha 9, odst. 5. *Český úřad zeměměřický a katastrální* [online]. ČÚZK, 2019 [cit. 2019-03-31]. Dostupné z: <https://www.cuzk.cz/Predpisy/Pravni-predpisy-v-oboru-zememerickeho-a-katastru/31-1995.aspx>
- [22] Návod pro správu geodetických základů České Republiky. *Český úřad zeměměřický a katastrální* [online]. ČÚZK, 2019 [cit. 2019-03-31]. Dostupné z: [https://www.cuzk.cz/Predpisy/Resortni-predpisy-a-opatreni/Navody-CUZK/Navod_pro_spravu_geodetickych_zakladu_151086722-\(1.aspx](https://www.cuzk.cz/Predpisy/Resortni-predpisy-a-opatreni/Navody-CUZK/Navod_pro_spravu_geodetickych_zakladu_151086722-(1.aspx)
- [23] Požerák. *Wikipedia* [online]. [cit. 2019-03-31]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Po%C5%BEer%C3%A1k>



Seznam použitých zkratk

S-JTSK	Souřadnicový systém Jednotné trigonometrické sítě katastrální
Bpv	Výškový systém Balt po vyrovnání
TIN	Triangulated Irregular Network
CHKO	Chráněná krajinná oblast
GNSS	Global Navigation Satellite Systems
GPS	Global Positioning System, americká součást GNSS
GLONASS	Součást GNSS Ruské federace
QZSS	Japonská součást GNSS
RTK	Real Time Kinematic
PDOP	Position Dilution Of Precision
VÚGTK	Výzkumný ústav geografický, topografický a kartografický
ČÚZK	Český úřad zeměměřický a katastrální
GSM	Global System for Mobile communications
WGS84	World Geodetic System
LIDAR	Light Detection And Ranging
ZPBP	Základní polohové bodové pole
ZhB	Zhušťovací bod
CZEPOS	Síť referenčních pevných GNSS stanic ve správě Zeměměřického úřadu
VRS Now	Síť referenčních pevných GNSS stanic společnosti Trimble

Seznam tabulek

Tabulka 1 - specifikace Trimble S5	21
Tabulka 2 - specifikace Trimble R6	22
Tabulka 3 - body bodového pole určené GNSS	27
Tabulka 4 - schéma stanovisek, jejich orientací a bodů z nich měřených	29
Tabulka 5 - porovnání souřadnic ověřovacího bodu	30
Tabulka 6 - použité vrstvy ve výkresu a jejich stručný popis.....	34

Seznam obrázků

Obrázek 1 - mapa okolí se zvýrazněnou zájmovou lokalitou [1]	9
Obrázek 2 - Šemnická skála v roce 1870 [2]	10
Obrázek 3 - pohled na současný stav rybníku v létě (2018).....	11
Obrázek 4 - polární metoda graficky	15
Obrázek 5 - chybný bod navíc v kružnici a následná oprava triangulace [12].....	19
Obrázek 6 - kolmý trojboký hranol [12].....	20
Obrázek 7 - TS Trimble S5.....	21
Obrázek 8 - rover Trimble R6.....	22
Obrázek 9 - Trimble TSC3	23
Obrázek 10 - příklady stabilizace bodového pole.....	26
Obrázek 11 - prostředí Trimble Access a funkce "Protínání" [16].....	28
Obrázek 12 - vyhledání bodu ZhB 245.....	30
Obrázek 13 - způsob měření sedimentu.....	31
Obrázek 14 - prostředí Geus a příklad zpracování výkresu.....	32
Obrázek 15 - práce s vrstevnicemi v Kokeši	33
Obrázek 16 - výpočet kubatur ze spodního povrchu	35
Obrázek 17 - trojúhelníková síť dolního povrchu vygenerovaná Gromou.....	35

Seznam příloh

Tištěné

Příloha 1 - vytištěný výkres v měřítku 1:1000

Příloha 2 - vytištěné profily dna v měřítku 1:500/50

Elektronické

Příloha e1 - čti mě

Příloha e2 - výkres ve formátu *.dwg*

Příloha e3 - výřez výkresu ve formátu *.pdf*

Příloha e4 - podélný a příčný profil dna rybníka v *.pdf*

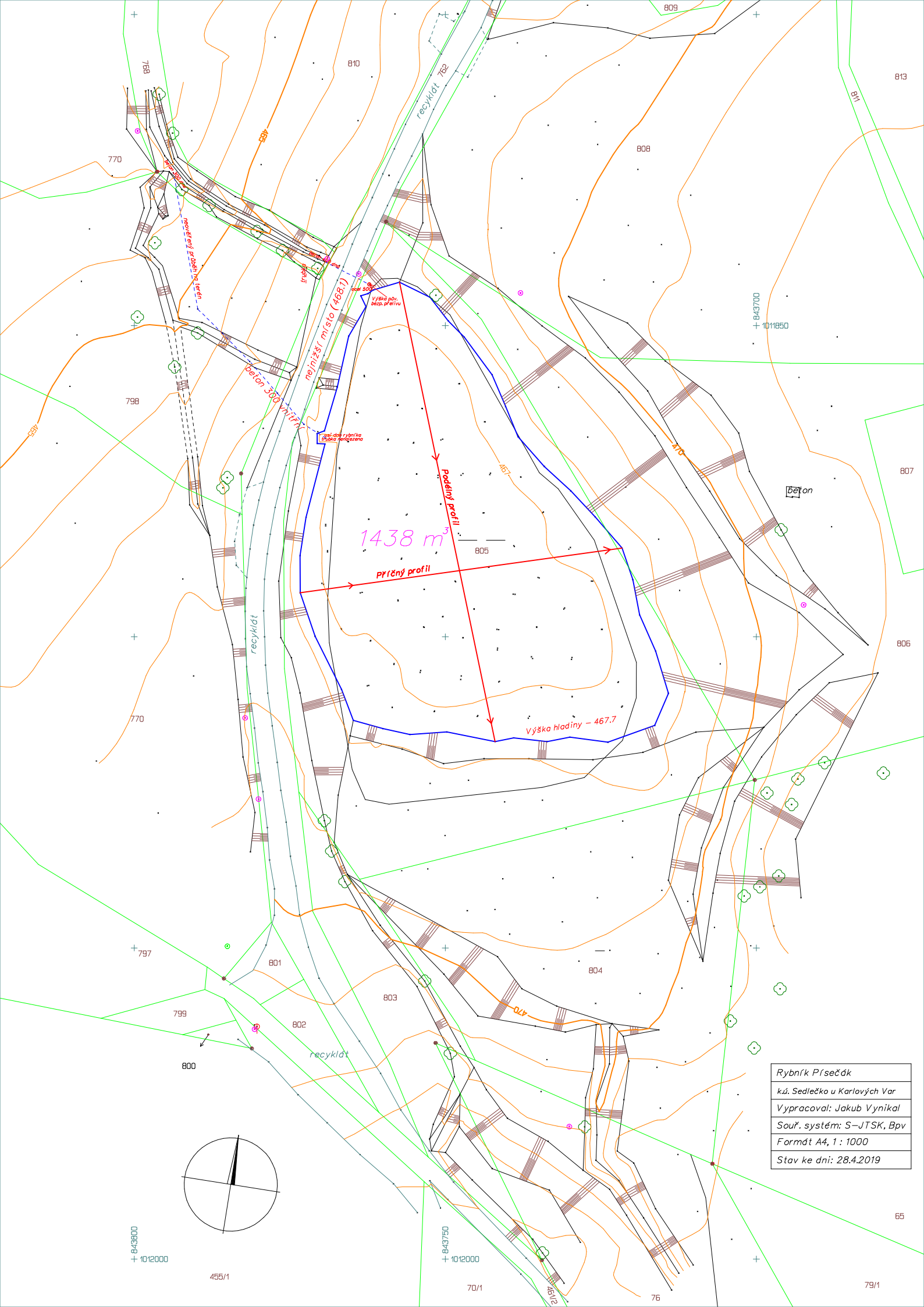
Příloha e5 - seznam souřadnic

Příloha e6 - protokol o měření totální stanicí

Příloha e7 - protokol o měření a průměrování GNSS

Příloha e8 - protokol o výpočtu kubatur z Gromy

Příloha e9 - zápisník měření ve formátu *.sdr*



Rybník Písečák
k.ú. Sedlečko u Karlových Var
Vypracoval: Jakub Vynikal
Souř. systém: S-JTSK, Bpv
Formát A4, 1 : 1000
Stav ke dni: 28.4.2019

+ 643800
+ 1012000

455/1

+ 643750
+ 1012000

70/1

+ 643700
+ 101850

79/1

65

806

807

813

770

798

770

+ 797

799

800

801

802

803

804

810

808

809

nejnižší místo (468.1)

beton 300 vřtřín

recyklát

recyklát

recyklát 762

467

470

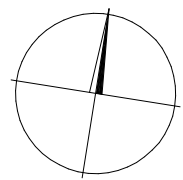
Výška hladiny - 467.7

1438 m³

Přřný profil

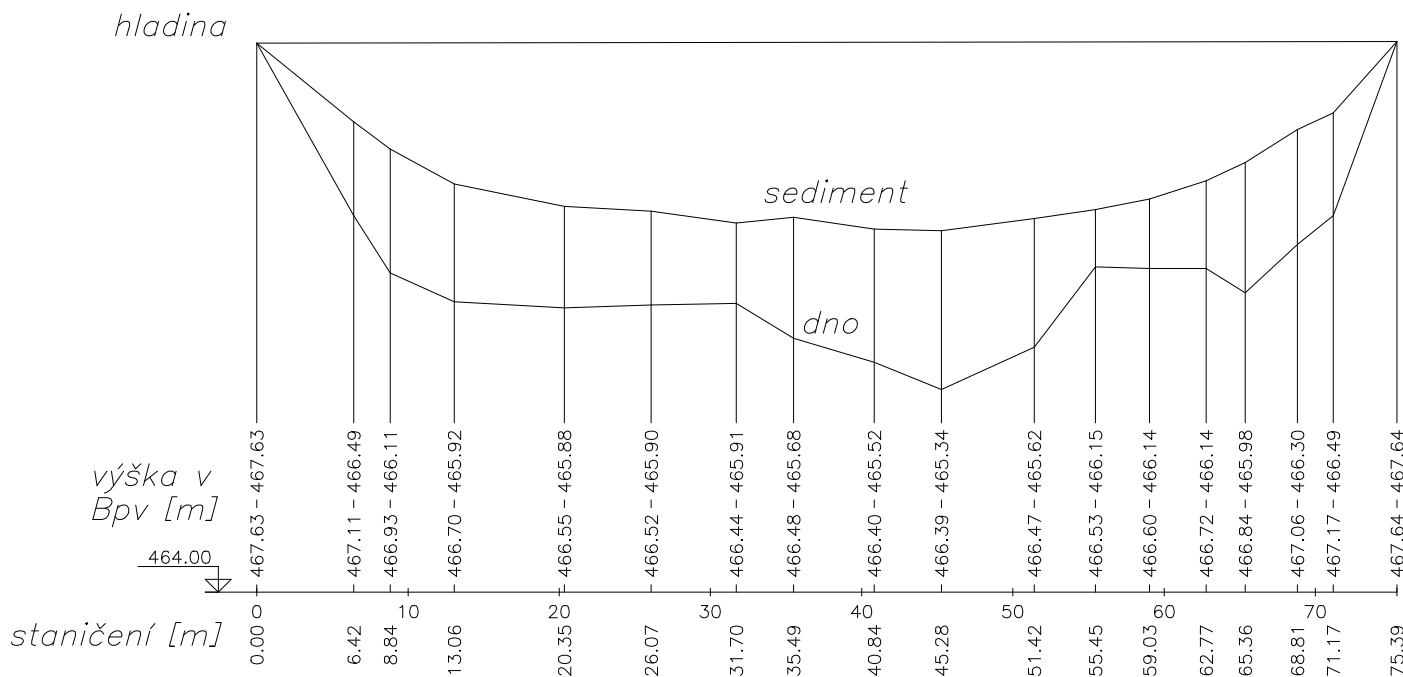
Podřný profil

Beton

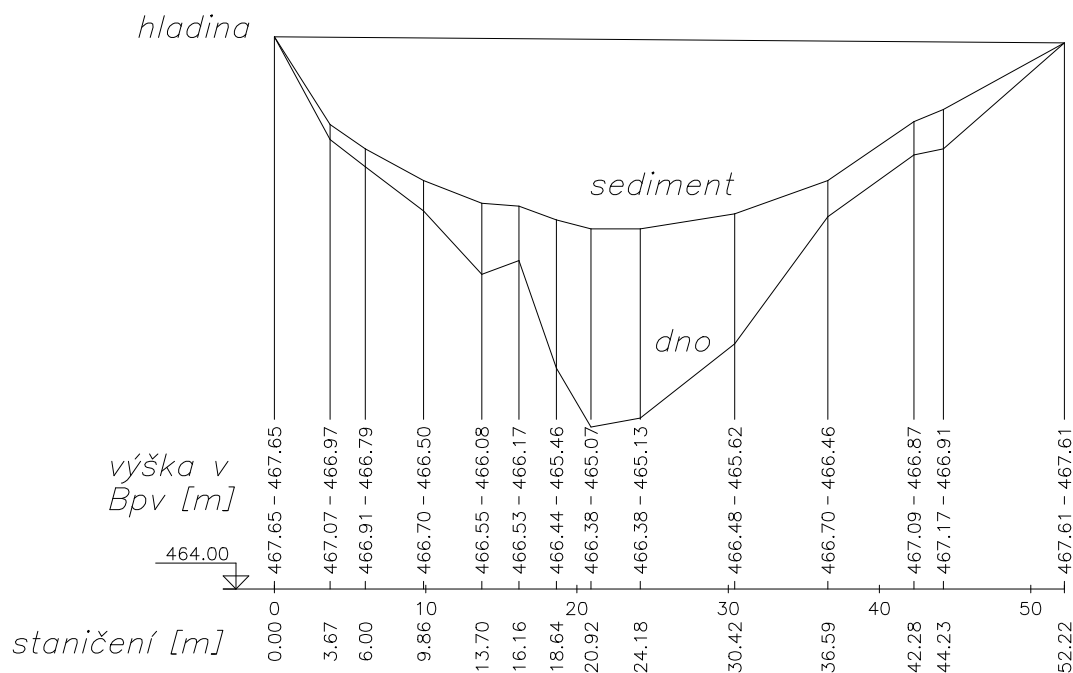


Rybník Písečák, k.ú. Sedlečko u Karlových Var

Podélný profil sedimentu



Příčný profil sedimentu



1:500/50

Zpracoval: Jakub Vynikal