

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

Katedra aplikované geoinformatiky a územního plánování



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Ovlivnění zemské tíže vodní hmotou v nádrži Orlík

Vedoucí práce: doc. Mgr. Jan Kropáček, Ph.D.

Diplomant: Bc. Tomáš Starosta

2021



**Česká zemědělská univerzita v Praze
Fakulta životního prostředí**

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Autor práce: Tomáš Starosta
Studijní program: Krajinné inženýrství
Obor: Regionální environmentální správa
Vedoucí práce: doc. Mgr. Jan Kropáček, Ph.D.
Garantující pracoviště: Katedra aplikované geoinformatiky a územního plánování
Jazyk práce: Čeština

Název práce: **Ovlivnění zemské tíže vodní hmotou v nádrži Orlík**

Název anglicky: **Impact of the water mass of Orlik reservoir on gravity field**

Cíle práce: Z dochovaných historických gravimetrických měření, ještě před zatopením přehrady je dochováno cca 16 identických bodů. Tato měření budou zopakována.

Tato měření budou rozšířena o 30 nových bodů.

Bude zjištěn vliv vodní hmoty na tíži při různé výšce vodní hladiny.

Bude navržen a ověřen postup, který by měl být aplikovatelný na středně velké vodní nádrže, které je v rámci gravimetrického mapování Zeměměřického úřadu možné změřit.

Metodika: Pro doplnění historických bodů s gravimetrickým měřením bude vytvořen návrh dalších cca 30 bodů v bezprostřední blízkosti vodní hladiny pro následnou analýzu vlivu vodní hmoty. Na základě navržených bodů a zjištěné tíže bude vytvořen tíhový

model a zjištěn vliv vodní hmoty na tíži při různé výšce vodní hladiny.

Doporučený rozsah práce: 60 stran

Klíčová slova: nádrž Orlík, vliv vodní hmoty na tíhové pole, gravimetrie

Doporučené zdroje informací:

1. Hirt, Christian, et al. "New ultrahigh-resolution picture of Earth's gravity field." *Geophysical research letters* 40.16 (2013): 4279-4283.
2. Olejník, Stanislav. *Vývoj gravimetrických základů na území České republiky*. Praha: Zeměměřický úřad, 1997, 31 s.
3. Zhang, K. F., et al. "Time variations of the Earth's gravity field and crustal deformation due to the establishment of the Three Gorges reservoir." *Journal of Geodesy* 70.7 (1996): 440-449.

Předběžný termín obhajoby: 2020/21 LS - FŽP

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci Ovlivnění zemské tíže vodní hmotou v nádrži Orlík jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne

31.3.2021

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval panu docentovy Kropáčkovy za vedení tak zajímavého a náročného tématu diplomové práce. Dále bych poděkoval svému pracovišti oddělení gravimetrie na Českém úřadě zeměměřickém a katastrálním. Děkuji kolegům za podnět zpracování diplomové práce a za věcné rady. Děkuji panu doktorovi Martinovi Ledererovi za myšlenku zpracování diplomové práce a za umožnění měření v pracovní době. Dále bych chtěl poděkovat doktorovi Otakarovi Nesvadbovi za pomoc při terénním měření a zpracování dat z měřičských přístrojů a kolegovi inženýrovi Petru Lukavcovi taktéž za pomoc při měření v terénu. V neposlední řadě děkuji za podporu svých blízkých.

Ovlivnění zemské tíže vodní hmotou v nádrži Orlík

Abstrakt

Tato diplomová práce řeší vliv vodního sloupce v přehradě Orlík na zemskou tíži. Cílem bylo zjistit, jak velký vliv voda má na ovlivnění tíže, a také zjistit, jak se bude tíže měnit v závislosti na výšce hladiny.

U velkých jezer, nebo přehradních nádrží lze změnu zjistit pomocí dálkového průzkumu země za pomoci družic. Menší objekty, jako jsou rybníky a přehradní nádrže v České republice nelze pomocí družice změřit objektů, proto bylo nutné zjišťování pozemním měřením v terénu. Výsledkem bude 3D model přehrady k zjištění změn při kolísání vodní hladiny. Vedlejším cílem je možná aplikace na postupu na jiné vodní přehrady, rybníky a objekty způsobené důlní činností jako například výsypky a doly v mostecké pánvi.

Klíčová slova: nádrž Orlík, vliv vodní hmoty na tíhové pole, gravimetrie

Influence of Earth's ductile water masses in the Orlik reservoir

Abstract

This diploma thesis deals with the influence of the water column in the Orlik dam on the earth's gravity. The aim was to find out how much water has an effect on the gravity, and also to find out how the gravity will change depending on the water level.

In the case of large lakes or dam reservoirs, it is difficult to detect the change by remote sensing of the earth with the help of satellites. Smaller objects, such as ponds and dam reservoirs in the Czech Republic, cannot be measured by satellite, so it was necessary to detect them by ground measurements in the field. The result will be a 3D model of the dam to detect changes in water level fluctuations. A secondary goal is the possible application of the process to other dams, ponds and objects caused by mining activities such as dumps and mines in the Most basin.

Keywords: reservoir Orlik, influence of water mass on gravity field, gravimetry

Obsah

Seznam obrázků	10
Seznam použitých zkratk	10
1 Úvod.....	11
2 Cíl práce a metodika	13
2.1 Cíl práce	13
2.2 Metodika	13
3 Teoretická východiska	16
3.1 Počátek vodních přehrad v ČR.....	16
3.1.1 Historie přehrady Orlík.....	17
3.1.2 Další díla Vltavské kaskády.....	19
3.1.3 Stavba a využití přehrady Orlík	20
3.2 Gravimetrie	23
3.2.1 Novodobá historie měření.....	23
3.2.2 Dálkové tíhové měření.....	26
3.2.3 Pozemní měření	28
3.3 3D Modelování vodních nádrží.....	29
4 Vlastní práce	31
4.1 Použitá data	31
4.2 Zpracování dat.....	31
4.2.1 Georeferencování mapových podkladů	32
4.2.2 Práce s vektorovými daty.....	32
4.3 Získávání dat z terénu	33
4.3.1 Optická nivelace a nivelační lat'	34
4.3.2 Souprava GNSS	35
4.3.3 Gravimetr pro relativní měření CG-5 od firmy Scintrex	35
4.3.4 Měření v okolí vodní nádrže Orlík	35
4.4 Tvorba digitálních modelů	37
4.4.1 Příprava DMR 4G	37
4.4.2 Definování terénních modelů v zatopené oblasti.....	39
4.4.3 Vizualizace terénu.....	43
4.5 Působení vodní hladiny na zemskou tíži v různých výškách vodní hladiny....	45
5 Výsledky a diskuse	47
5.1 Výsledky	47
5.2 Diskuze.....	49
6. Závěr.....	50

Seznam použitých zdrojů	52
Seznam datových zdrojů	53
Přílohy.....	54

SEZNAM OBRÁZKŮ

OBRÁZEK 1. ZMĚNA KRAJINY POD ZÁMKEM ORLÍK ZA 120 LET.....	19
OBRÁZEK 2. TM 10 - PROJEKT PŘEHRADY Z ROKU 1958.....	20
OBRÁZEK 3. SOUČASNÁ PODOBA PŘEHRADY ORLÍK.....	22
OBRÁZEK 4. ZÁKLADNÍ GEODYNAMICKÁ SÍŤ.....	26
OBRÁZEK 5. TM S-1952 1 : 25 000 ZNÁZORNĚNÍ VÝŠKY HLADINY A HLOUBKY ŘEKY VLTAVY	33
OBRÁZEK 6. OVĚŘENÍ HISTORICKÉHO BODU Z ROKU 1949	34
OBRÁZEK 7. DMR 4G BEZ VODNÍ HLADINY (VÝŘEZ).....	38
OBRÁZEK 8. ZNÁZORNĚNÍ VÝŘEZ TIN.....	40
OBRÁZEK 9. VÝŘEZ DMR POD HLADINOU	42
OBRÁZEK 10. PŮVODNÍ ÚDOLÍ TOKU VLTAVY.....	44
OBRÁZEK 11. DMR V DOBĚ MĚŘENÍ 17.7.2020	44
OBRÁZEK 12. MAPY DMR PŘEHRADY ORLÍK.....	48

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

DMR 4G	D igitální M odel R eliéfu 4 G enerace
SMO-5	S tátní M apa O dvozená 1 : 5 000
WGS 84	W ordl G eodetic S ystem 1984 – Světový geodetický systém 1984
ZABAGED	Z ákladní B áze G eografických D at
DMT	D igitální M odel T erénu
DMR	D igitální M odel R eliéfu

1 ÚVOD

Česká krajina se za posledních sto let výrazně změnila. Na počátku 20 století proběhlo nespočet zásahů v přírodní krajině. Některé zásahy mají značný vliv na život mnoha obyvatel i dnes. Z důvodů vytvoření nových pracovních míst otevřením dolů, lomů a průmyslových továren se také rozrostla města, která z důvodu zvýšení pracovní poptávky musela vybudovat rozsáhlá sídliště napojená na technickou infrastrukturu. Proto se kvůli zvyšujícímu se počtu obyvatel navyšovala také produkce potravin. To vedlo k vytvoření nových zemědělských ploch a zvýšení efektivity zemědělské produkce. Pro vyšší počet obyvatel a více zemědělských ploch bylo nutné zajistit dostatečné množství pitné vody nejenom pro obyvatele, ale také pro dobytek a závlahu. První úvahy o vzniku Vltavské kaskády existují již za vlády Ferdinanda I., který se zasadil o zlepšení splavnosti řeky výstavbou jezů. Pro větší lodě byla Vltava splavná jen od Štěchovic přes Prahu a do Mělníku. Pro lodě bez parního pohonu byla Vltava splavná od Českých Budějovic do Mělníku (Pánek, Tůma a kol. 2018). Z toho důvodu se ke konci 19. století uvažovalo o vybudování vodních nádrží.

Vodní nádrže se dělí z hlediska účelu na dvě hlavní kategorie a to: nádrže ochranné a zásobovací k zadržení pitné vody. K vybudování vodní nádrže je nutné vytvořit studii, ve které bude podrobně prozkoumaná geologie daného místa. Také je nutné zjistit jaké objekty se nacházejí na toku, aby se zamezilo případnému znečištění a v neposlední řadě znát chování toku v různých měsících. Proto byly některé vodní nádrže navrhovány tak, aby zabránily záplavám na středních a dolních tocích řek v dobách tání sněhu a přívalových deštích v letních měsících. Naopak v měsících s nižšími dešťovými srážkami byly takto důmyslně postavené vodní nádrže schopné regulovat tok řek ke snadné plavbě lodí. V první polovině dvacátého století se také uvažovalo o hydroenergetickém využití přehradních nádrží.

Soustava vodních nádrží, která je schopna regulovat odtok vody se nachází i v České republice. Vltavská kaskáda, jak se jí často říká se skládá z několika přehrad. Na horním toku Vltavy se nachází vodní nádrž Lipno I. a Lipno II., dále po toku je vodní nádrž Hněvkovice a vodní nádrž Kořensko. Přehrada vodní nádrž Orlická se nachází nedaleko města Krásná hora nad Vltavou. Na přehradu Orlická navazuje vodní nádrž Kamýk, Slapy a téměř před hlavním městem České republiky se nachází dvě menší vodní nádrže Štěchovice a Vrané. Mezi ty nejvýznamnější patří vodní nádrž Orlická, která má několik prvenství. Před stavbou vodní nádrže v první polovině 20. století byla provedena gravimetrická měření, v místech dnešní zatopené oblasti a jejího přilehlého okolí. Jelikož probíhalo již před výstavbou přehrad lze s jistotou

říct, že dnešní hodnoty měření se budou lišit. Vystává tedy otázka, o kolik se liší dříve naměřené hodnoty a jaký vliv má vodní hmota orlické přehrady na gravitační zrychlení Země.

Tím, že česká krajina se mění každým dnem. Je pro naše oddělení gravimetrie na Českém úřadě zeměměřickém a katastrálním důležité, jak se mění tíže v zatopených a odtěžených oblastech. Výběr tohoto tématu se upnul na již zmíněnou orlickou přehradu, protože je relativně blízko Prahy a výška vodního sloupce v ní by mohla formulovat zajímavé výsledky.

2 CÍL PRÁCE A METODIKA

2.1 Cíl práce

Hlavním cílem práce je zjistit, jaký vliv má vodní hmota v různých nadmořských výškách Orlíku na gravitační zrychlení Země. Součástí hlavního cíle jsou postupné kroky a dílčí úkoly.

1. Analyzovat dřívější měření
2. Vytvořit nové body pro nové měření
3. Vytvořit výškový model přehrady k určení tíže v určité výškovém stupni vodního sloupce
4. Zjištění vlivu vodní hmoty na zemský povrch

Splnění dílčích úkolů vede ke splnění hlavního cíle, který bude moci být aplikován nejen na zkoumané území, ale bude moci být využit jako model pro Zeměměřický úřad k aplikování na další vodní nádrže v České republice.

2.2 Metodika

V závislosti na cíli práce je v rámci teoretické části potřeba analyzovat dříve použité metody gravimetrického měření. Ze starých map lze odvodit přibližné polohopisné údaje míst, kde probíhala měření. Z databáze a gravimetrických deníků zeměměřického úřadu (ZÚ) lze získat údaje o tíži v místech měření. Vzhledem k tomu, že většina bodů gravimetrického měření se dnes nachází v zatopené oblasti bude možné rekognoskovat pouze ta místa, která nejsou zatopená a jsou k nim dochované místopisné údaje pro určení téměř přesné polohy (identické body). V návaznosti na prozkoumání dřívějších bodů, byly vytvořeny nové body v bezprostřední blízkosti vodní hladiny pro účely gravimetrického mapování. Současně budou nové body využity k tvorbě výškového modelu přehrady.

Mapovací práce terénu budou započaty v letních měsících roku 2019. Podle počtu nově navržených bodů a bodů identických z historického měření se očekává čtyř denní měřičský úsek. K měření bude využito služební auto Volkswagen Caddy 1.6i červené barvy. Z důvodu náročnosti sběru dat gravimetrem, GNSS a nivelačními přístroji bylo zapotřebí mapovat ve dvoučlenné posádce vozu.

Na základě připravených přehledových map, v nichž jsou zakresleny totožné a nově vzniklé body, viz přílohy 2 a 3. Okružní cesta, při níž je nutné připojení a následné odpojení na

bodů gravimetrické sítě před a po měření, se zvolí v blízkosti denního úseku. Jedná se o názvy bodů gravimetrické sítě s číselným označením: Čimelice s č. b. 3241.01, Kamýk nad Vltavou č. b. 3238.02, Písek č. b. 3261.02 a Zvíkovské podhradí č. b. 3248.00.

Čísla měřených bodů jsou rozdělena do třech kategorií označená **I, R, N**.

I – značí identický bod, o kterém jsou známy polohopisné údaje s naměřenou hodnotou z 50 let 20. století.

R – body významné z hlediska zjištění tíže.

N – body nově vytvořené a navržené v bezprostřední blízkosti tak, aby bylo možné získat informaci o vlivu vodní přehrady.

Dochované body bude nutno přesně vytyčit podle polohopisných údajů z měřických zápisníků. Body bylo nutné vytyčit pásmem k přibližnému určení polohy a určit známou výšku, taktéž ze zápisníků. Identické body se nacházely v místech, ke se výška měření určovala k nivelační značce umístěné na domech, nebo k nivelačnímu kameni s nivelační značkou. Od značek se následně odečítala výška pomocí nivelačního přístroje a nivelační latě tak, jak to probíhalo dříve. Nicméně k ověření byl využit také GNSS systém.

U ostatní neidentických bodů s označením R a N byl pro určení přesné polohy a výšky využit pouze systém GNSS.

V případě identických bodů byl gravimetr umístěn podle zápisníku a místopisu tak, aby byla dosažena co největší přesnost. U bodů R a N se gravimetr umístil do bezprostřední blízkosti GNSS, pro zachování nejvyšší korektnosti měření. Vzhledem k omezenému času a velkému počtu bodů bude gravimetru nastaven pětiminutový měřičský interval. Během pěti minut se spočítá 5 čtení, z nichž se vezme poslední čtení. Poslední čtení je důležité, protože při manipulaci s gravimetrem (vyndání a následném zandání gravimetru do speciální přepravky) může dojít k otřesům. Z toho důvodu se volí delší časový úsek měření, kdy se přístroj stabilizuje. Při měření je potřeba dávat pozor a sledovat okolí, aby nedošlo k otřesům způsobených nestabilitou podloží převážně průjezdem větších dopravních prostředků po komunikaci. Přesto, že má gravimetr svojí záznamovou paměť, byla data zapsána do gravimetrického zápisníku k dalšímu zpracování, archivaci a porovnání z dřívějšího měření.

V další fázi byl vytvořen model vodní hmoty za pomocí softwaru ArcMap a ArcScene od společnosti ESRI. Vodní hmota působící na zemskou tíži v přehradě Orlický náhon bude statistickou metodou porovnána a doplněna interpolací o další pomocné body tak, aby bylo možné vytvořit odpovídající model přehrady. Model bude ukazoval, jak se změní tíže v závislosti na výšce hladiny, pakliže je známá hustota vody.

Z důvodu neznámého tvaru terénu dna přehrady se z Topografických map systému S-1952 určí výška známých oblastí. Z map lze vyčíst nejen výškopisné informace z vrstevnic a kotovaných bodů, ale mapy současně obsahují výškopisné informace o řece. V některých místech jsou uvedeny výšky vodní hladiny řeky, a především hloubka řeky. Interpolací výškopisných údajů byl vytvořen digitální model terénu.

Předpokládáme, že vodní hladina nebude vždy konstantní vlivem dešťů nebo sucha. Proto bude třeba získat data vodní hladiny, ty dny, kdy probíhalo také gravimetrické mapování. Data byla získána od správy Povodí Vltavy.

Na základě vytvořeného DMT, získaných dat z výšky vodní hladiny a naměřené tíže, předpokládáme, že dokážeme vytvořit model vypovídající o vlivu vodní hmoty na zemskou tíži. Je nám známo, že při snížení vodní hladiny se také tíže zmenší a při zvětšení vodní hladiny se naopak tíže zvýší. Zásadním zjištěním bude o kolik tato změna bude.

3 TEORETICKÁ VÝCHODISKA

Teoretická část je řazena do tří hlavních kapitol. První kapitola pojednává o projektech vodních nádrží na řece Vltavě. Protože se uvažovalo o stavbě více přehradních objektů o různé velikosti, bylo toto téma diskutováno řadu let. Zdlouhavý proces byl zapříčiněn převážně politickou situací a mapováním oblastí. V podkapitolách je popsána stavba a vliv přehrady Orlík na obyvatele zátopové oblasti a dalších zasažených míst, jako jsou významné kulturní památky hradu a zámků. Druhá kapitola se zaměřuje na měření zemské tíže od začátku minulého století až po současnost. V kapitole jsou zmíněny dřívější metody měření, měřické způsoby, a využitím znalostí zemské tíže za minulého režimu a dnes. V kapitole jsou také popsány druhy gravimetrů, jejich výhody a způsob použití. Poslední kapitola se zabývá prací se softwarem a způsobu tvorby 3D modelu terénu.

3.1 Počátek vodních přehrad v ČR

Inspirace k výstavbě přehrad přišla již koncem 19. století ze západních zemích. Kouba (2007) ve své práci uvádí, že první projekty byly zpracovány inženýrem Františkem Radoušem. Ambiciózní projekt vytvořený v roce 1911 se zmiňuje o vybudování dvou obřích přehradních objektů u Slap a Orlíku a dvou menších vodních děl u Kamýku a nad Štěchovicemi. Smělý projekt Radouše byl smeten ze stolu také proto, že počítal s úplným zrušením plavby po Vltavě. Před první světovou válkou vzniklo nespočet návrhů, jak by se dala vodní energie využít, ale žádný z předložených návrhů neměl doloženou dokumentaci týkající se geologie, hydrogeologie, hospodářství a ani samotné výstavby jednotlivých přehradních děl. Během první světové války přichází s kompromisem ředitelství pro stavbu vodních cest, které chtělo využít přehrady k plavbě, tak i k hydroenergetickým účelům. Ani v tomto případě nebyla zpracovaná dokumentace týkající se objektů a podloží.

Zlom přichází až po válce, jež započali důkladné mapovací práce. Z důvodů vyšší potřeby elektrické energie v meziválečném období byly projekty upraveny a přeorientovány na hydroenergetické přehradní nádrže. Další významný projekt, který Kouba (2007) zmiňuje je z roku 1922 od Hromase a Štěpána, který se později stal předlohou budoucí Vltavské kaskády. Za první republiky se přehrady staly diskutovaným politickým tématem. Bezvýsledný boj dnešní podoby Vltavské kaskády, jež trval po celou dobu první republiky, odstartovala výstavba zdymadla u Vraného nad Vltavou roku 1930. Následující stavba Štěchovické přehrady byla

započata v roce 1938. Jednalo se o druhý objekt z Vltavské kaskády, jež byl po sedmi letech dokončen.

Po roce 1948 stavba Vltavské kaskády nabrala rychlý spád. Důvodem bylo hned několik faktorů. Mezi hlavní faktory v poválečném období lze zařadit nutnost velkého množství vodních zásob pro závlahu, průmyslové objekty a zdroj pitné vody pro lidi. Další významy činitelem byla potřeba navýšení energetických zdrojů. Využití vodní energie k hydroenergetickým účelům sebou přineslo i řadu výhod. Vodní elektrárny v České republice slouží převážně jako doplňkový zdroj elektrické energie, které jsou schopné dosáhnout plného výkonu v řádech sekund. Z toho důvodu, dokážou okamžitě vyrovnat bilanci elektrické sítě (ČEZ 2019).

V době socialismu byly přehrady využity i jako nástroj propagandy k ekonomickému povznesení oblasti. Lidem, žijícím v blízkosti vodních děl bylo slíbeno, že přehrady vzbudí zájem široké veřejnosti z hlediska turistiky a rekreace. Ovšem nikdo z místních nevěděl, v jakých přesných lokalitách bude hráz umístěna.

Roku 1955 byla dokončena Slapská přehrada, která je umístěna v bezprostřední blízkosti štěchovického vzdutí. Dva roky před dokončením Slapské přehrady, tedy roku 1953 byl s konečnou platností vytvořen projekt Vodohospodářským střediskem v Praze na umístění přehrady Kamýk a Orlík.

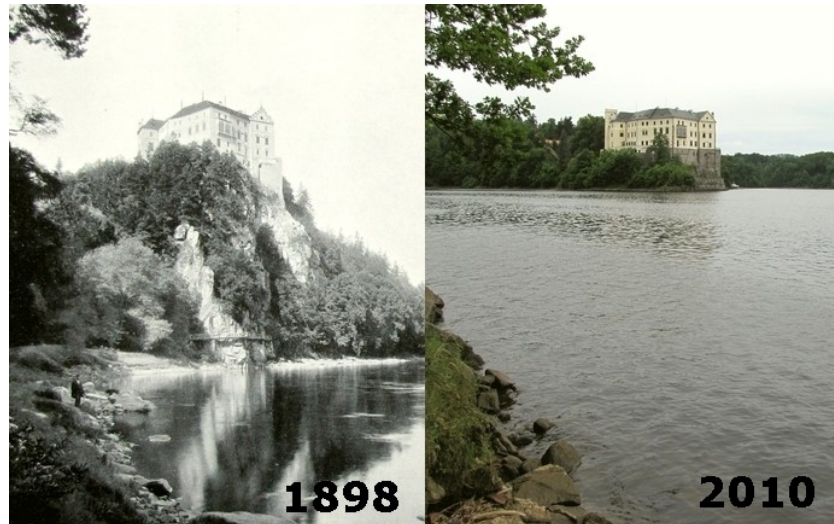
3.1.1 Historie přehrady Orlík

První zmínky o stavbě přehrady Orlík poházejí již z přelomu 20. století. V té době jak, již bylo zmíněno se diskutovalo pouze o umístění a účelu. Nicméně proběhly také přípravné mapovací práce terénu. Mapováním se zjišťovaly nejenom geologické podmínky pro umístění hráze, ale byla provedena studie zátopové oblasti. Na základě této studie byla zjištěna zátopová oblast a výška vodní hladiny v určitých místech nově vznikající vodní nádrže.

Samotná stavba probíhala za komunistického režimu v 50 let 20.století. Doba komunistického režimu byla prospěšná především pro stavbu monstrózních betonových staveb inspirované tehdejšími sovětským svazem. Jak uvádí Kouba (2007) teprve v druhé polovině dekády schválila vláda ČSR úvodní projekt Vodního díla Orlík a o pět měsíců později, tedy v květnu následujícího roku, byla stavbě udělena projekční připravenost. Následujícího roku 1957 v dubnu započala samotná stavba hráze.

Ještě před samotnou stavbou byla provedena analýza oblasti geology, hledající vhodné umístění hráze. Z toho důvodů probíhaly sondáže pátrající po tvrdém podloží. Ideální podloží bylo nalezeno v roce 1950 a od této doby probíhaly geologické práce pouze v profilu údolí. Současně se také spustily stavební práce na přehradě Lipno. Jelikož se jednalo o velké projekty, nebylo dostatek dělníků. Proto byly vytvořeny plány k optimálnímu využití pracovní síly pro oba, na téže dobu gigantické objekty. Počítalo se také s propagandou v podobě mediální kampaně. Kampaně měla nejen přilákat více dělníků, ale především měla poukázat na politickou situaci, díky níž je možné vytvořit tak důležité a významné objekty, jako byla vodní díla v jižních Čechách. Plakáty také informovaly o velkých stavbách komunismu v SSSR (Kouba, 2007). Druhým typem propagandy vzhledem k nedostatku dělníků bylo vytvoření kampaně k náboru pracujících a odpočinku po práci. Kouba (2007) ve své práci uvádí také třetí nástroj propagandy zaměřující se na stav a výsledky stavby v jednotlivých etapách, do nichž patří time-management stavebních plánů a time-management usilovně pracujících dělníků na velkolepém vodním díle.

Přestože přehrada ovlivnila řadu starousedlíků, nikdo nevznesl žádné protesty. Výjimkou byl protest voraře Husa, který i přes své připomínky neuspěl. Protesty v této době nebyly ani na místě, převážně díky politické situaci a potřebě této stavby, jež byla v zájmu státu. Jediný významnější protest, který vznesl Státní památkový úřad bylo zničení krajinného prostředí v blízkosti hradu Orlík, Zvíkov a Koloděj, vytvoření nádrže bahna, zničení Vltavského kaňonu atd., viz obrázek č. 1. Připomínky ohledně splavnosti řeky vznesl Okresní národní výbor Týn nad Vltavou, který z hlediska historie byl významně spjat s vorařstvím. Zmíněné protesty byly neúspěšné, a tak byli starousedlíci nuceni před dokončení stavby opustit své domovy, nacházející se v zátopové oblasti a vorařství upadlo do zapomnění.



Obrázek 1. Změna krajiny pod zámekem Orlík za 120 let.

Zdroj: <http://m.hedvabnastezka.cz/prace-zahranici/letem-ceskym-svetem-1898/?reply=112017>

3.1.2 Další díla Vltavské kaskády

Neméně známá, později dostavená díla Vltavské kaskády jsou Lipno I a Lipno II z roku 1958. Často se o nich mluví jako o jihočeském moři, protože tvoří největší vodní plochu v České republice dosahující téměř k 50 km² (Kuthan, 2019). Lipenská přehrada vlivem zaplavení rozsáhlého území v příhraničí byla často spojována se špionážními bezpečnostními aférami.

Další vybudování přehrady bylo mezi Slapskou přehradou a Orlíkem. Nově vybudovaná nádrž měla sloužit k vyrovnání špičkových odtoků z přehrady Orlík. Kamýk, jak byla přehrada pojmenována, byla dostavěna roku 1962. Její celková plocha činí 1,95 km² (Obec Kamýk nad Vltavou, 2020). I přesto, že Kamýk sloužil jako vyrovnávací nádrž, první na Vltavské kaskádě, byla postavena již roku 1943.

Vodní dílo Štěchovice je nádrž nacházející se nejbliže Praze a má jednu s nejmenších ploch zatopené oblasti, přesto plní významnou roli vyrovnání špičkových odtoků ze Slap a Orlíku. Ačkoli je to nejstarší a ve své podstatě nejdéle rozestavěná přehrada, jež se její začátky včetně koncepčních návrhů datují k první republice, byla přehrada dokončena až roku 1945. Štěchovice jsou jediné vodní dílo na Vltavské kaskádě, které umožňuje v době nízkého odběru elektrické energie přečerpávat vodu do uměle vytvořené nádrže na vrchu Chlum (Atlas Česka, 2021).

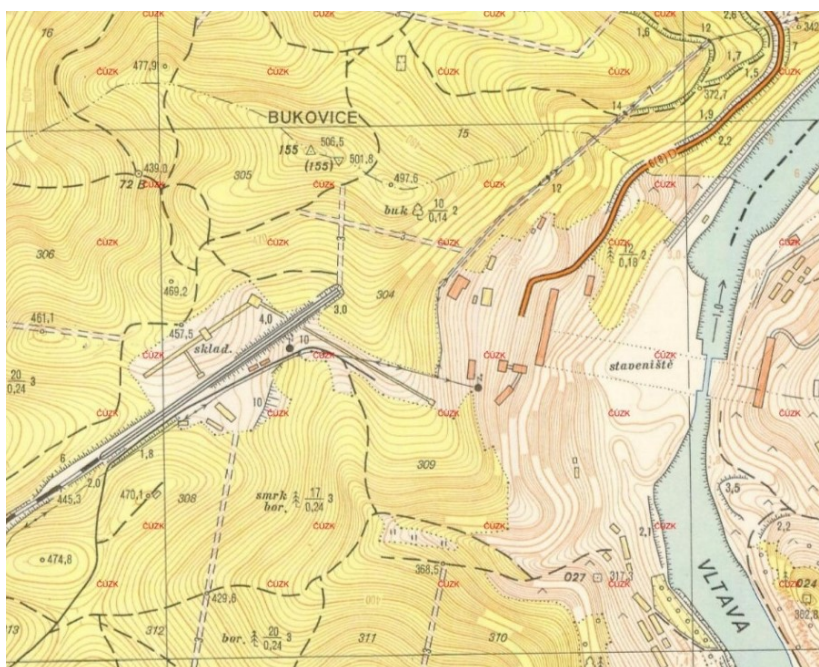
Poslední dvě nejnovější přehrady jsou Hněvkovice a Kořensko. Obě tyto přehrady byly vybudovány během 5 let, a to mezi lety 1986 – 1991. Vodní dílo Kořensko je ve své podstatě

jez se čtyřmi poli. Součástí díla je vodní elektrárna a plavební komora (Broža a kol., 2005). Hlavní úloha přehrady spočívá k potřebám jaderné elektrárny Temelín. Nádrž Kořensko měla chránit před odpadními vodami z elektrárny a zamezit oteplení říčního toku pod přehradou. Druhá novodobější nádrž jsou Hněvkovice, které též plní účely hlavně pro jadernou elektrárnu Temelín. Vodní dílo slouží primárně jako zdroj technologické vody k chlazení elektrárenských okruhů. Sekundární využití přehrady je k energetickým a rekreačním účelům, rozloha přehrady je více než 2,6 km² a objem zadržované vody činí přes 21 miliónů m³ (TV-ADams, 2021).

Následující kapitola blíže specifikuje postup stavby a následná využití naší přehrady, která je předmětem zájmu této diplomové práce.

3.1.3 Stavba a využití přehrady Orlík

Stavba hráze započala po analýze geologického podloží a všech potřebných měření. V první etapě bylo nutné nejprve vystěhovat obyvatele, obývající území navrhované přehrady a v bezprostřední blízkosti. Plánovanou přehradu je možné vidět na obrázku č. 2. Pozoruhodné je, že i obec Solenice, nacházející se pod přehradou byla z větší části stavbou také ovlivněna. I zde byli obyvatelé přestěhováni, ne však z důvodu zatopení nebo stavby hráze, ale kvůli výstavbě bytových domů pro dělníky a později správce a údržbáře dokončeného vodního díla.



Obrázek 2. TM 10 - projekt přehrady z roku 1958

Zdroj: https://archivnimapy.cuzk.cz/uazk/topos52/topos_data/010k/M_33_89_A_b_3_index.html

Z technického hlediska je zajímavé, že vodní dílo Orlík bylo jako první československý vodohospodářský projekt konzultován s odborníky z tehdejšího SSSR (Kouba, 2007). Po schválení projektu technickými odborníky byla stavba zahájena roku 1954. Obec Solenice měla díky stavbě deset nově vybudovaných dvoupodlažních zděných domů s ústředním topením a přívodem pitné vody. Solenice měla také bohaté občanské vybavení jako například: nemocnici, obchodní dům, kulturní dům a závodní kuchyň. Další sídliště pro pracující dělníky vzniklo v přibližně 15 kilometrech vzdáleném Milíně. Odtud byli pracovníci sváženy autobusy. Z důvodu velkého množství pracujících a nedostatku ubytovacích míst, byli dělníci ubytováni v lesní chatě, mlýně, škole i u občanů Zlákovic. Proto se také stavěly provizorní bytovky a následně i velká sídliště.

S pokračující výstavbou dále probíhaly i geologické práce. Geologové se od hráze přesunuli výše proti směru řeky, kde se zabývali geologickým průzkumem celé zátopové oblasti. Větší zájem geologů se zaměřoval především na historické objekty, které mohly být nenávratně poškozeny. Z toho důvodu se muselo vyřešit zabezpečení proti sesuvům a zničením hradu Zvíkov, zámku Orlík a Koloděje.

Kouba (2007) uvádí, že výstavba samotného vodního díla se již od první chvíle setkávala s řadou problémů. Nejprve chyběli dělníci pracující na stavbě, posléze byla špatně vybudovaná silniční infrastruktura, a tak byli dělníci nuceni chodit pěšky. Když se počet pracujících zvýšil v roce 1955 k požadovanému množství, tedy 5 000 dělníků, chyběly stavební stroje. Dělníci si také stěžovali na špatné plánování a zpožděné dodávání nákresů, které vedlo k zpomalení výstavby, a hlavně nedostatku práce. Proto si pracovníci často brali dovolené. Přesto, že vodní dílo Orlík bylo už třetí významnější stavbou na Vltavské kaskádě po Slapech a Lipnu, očekávaly se lepší výsledky.

Ač byl začátek stavby sebevíc náročný, postupem času se práce zrychlovala. Přibylo více pracovních strojů a dělníci byli lépe organizováni. Jelikož stavba zprvu nabrala velký skluz, z toho důvodu byly zavedeny denní i noční směny plnící hlavní úkoly. Podivuhodné je, že přesto byla přehrada dokončena přibližně o osm měsíců dříve (Košutová, 2012).

29. září 1960 se vodní dílo Orlík uzavřelo a přehrada se začala napouštět. O sedm měsíců později byl uveden do provozu první turbogenerátor, poslední čtvrtý byl namontován až v březnu roku 1962. Během té doby se v květnu roku 1961 zprovoznila turbína a stavební práce na vodním díle byly dokončeny v prosinci roku 1962. Pozvolným napouštěním přehrady se dokončovaly rekultivační práce a další bezpečnostní práce, které se táhly až do roku 1966. K těmto pracím patří již zmíněné zpevnění skal hloubkovou injektáží pod hradem a zámky, dále

to byly demontáže a přesunutí řetězového empírového mostu a kostelu sv. Bartoloměje. Během stavby přehrady vznikla také železniční vlečka pro zásobování stavby, a silniční most, který je dodnes brán jako největší jednoobloukový most na světě (Košutová, 2012). Naneštěstí toto monumentální dílo z dob komunismu má jen dvě oběti z řad dělníku podílejících se na stavbě.

Konečná podoba přehradní nádrž Orlík se nachází přibližně 90 km před Prahou, je znázorněna na obrázku č. 3. Jakožto největší vodní dílo v republice tvoří také nejvýznamnější článek vltavské kaskády. O významnosti tohoto díla není pochyb, přehrada se může pyšnit i řadou nej v České republice. Orlík má nejdelsí a nejvyšší hráz, která byla postavena. Po dokončení přehrady se výška hladiny zvedla o 75 metrů a zámek Orlík, po němž byla přehrada pojmenována, nacházející se vysoko nad údolím, se vlivem zatopení nachází jen pár metrů nad hladinou (Košutová, 2012). Hlavní účely tohoto vodního díla jsou akumulace vody pro nadlepení průtoků Vltavy a Labe ke snazšímu splouvání lodí, ochrana před povodněmi a výroba elektrické energie. Elektrárna, do níž je voda přiváděna čtyřmi ocelovými potrubími o průměru 625 centimetrů zabetonovanými v hrázi je umístěna na levé straně přehrady u paty hráze. Uvnitř jsou čtyři Kaplanovy turbíny o celkovém výkonu elektrárny 364 MW (Košutová, 2012). K vedlejším účelům patří rekreace, vodní sporty, rybaření a plavba v nádrži.



Obrázek 3. Současná podoba přehrady Orlík

Zdroj: <http://www.nebeske.cz/gallery/orlik-prehrada/>

Při povodni v srpnu roku 2002 byla přehradní nádrž Orlík zatížena vodou, na jakou v době výstavby nebyla dimenzovaná. Naštěstí zvýšený přítok zachytila, a tak svoji úlohu ochrany splnila a obyvatelům byl dán dostatečný časový prostor k evakuaci v obcích a městech včetně Prahy pod ním. Orlík extrémní povodně přečkal, ale značné škody byly spatřeny na

objektech přiléhajících k hrázi jako například elektrárna a příjezdová silnice k ní (Povodí Vltavy, 2013).

3.2 Gravimetrie

Gravimetrie je vědní a praktický obor, který se zabývá studiem tvaru a rozměrů zemského tělesa. Zkoumá přitažlivou sílu planety a odstředivé síly, dané rotací Země. Tíže je v tom případě úměrná tíhovému zrychlení, které lze na povrchu měřit. Protože má zemská kůra různou geologickou strukturu není rozložení tíhového zrychlení na zemském povrchu konstantní. Současně lze také prozkoumat užité nerosty a suroviny, jež nám naše planeta poskytuje. K těmto účelům jsou využity přístroje a metody, pomocí nichž lze určit zemskou tíži. Znalost zemské tíže je nezbytná k odvození tvaru hladinových ploch, k určení tížnicových odchylek a k přesné redukci výškových měření. V současnosti se k měření používají daleko více sofistikované přístroje, které za pomoci rozložení geologických hustot dokážou určit tíhové anomálie v prostředí. Z toho důvodu je možné diferencovat různé litologické typy, jako například zatopené i prázdné podzemní dutiny, porušené zóny, tektoniku atd. Změřené hodnoty jsou následně přiřazeny tabulkovým hodnotám fyzikálních veličin. Husté měření hodnot tíhového zrychlení a sledování změn drah družic umožňuje vytvořit model normálního tíhového zrychlení z něhož následně může být vypočítán geoid¹.

Obecně se gravimetrie v této práci zaměřuje na vliv vody. Jelikož je Země tvořena téměř ze třech čtvrtin vodou (Pavelková, Chmelová, Frajer, 2014), je zemská tíže touto fyzikální veličinou významně ovlivněna. K pozorování velkých vodních ploch se využívají hlavně dálkové systémy, které jsou podobně popsány v kapitole 3.2.2 Dálkové tíhové systémy. Otázka je, do jaké míry je ovlivněna zemská tíže v menším zájmovém území například po odtěžení povrchového lomu, malých jezer nebo vytvoření umělé přehradní nádrže, na které není možné aplikovat metodu dálkového měření. Ke zjištění tíže v takovém to lokálním měřítku je zapotřebí využít statickou metodu. Na statickou metodu se více zaměřuje kapitola 3.2.3 pozemní měření.

3.2.1 Novodobá historie měření

Český úřad zeměměřický a katastrální (ČÚZK, 2018) ve své publikaci uvádí, že studium gravimetrie se v průběhu 20. století dočkalo řady převratných změn. Hlavní změna spočívá v metodě měření. Do dvacátých let 20. století vznikaly měření ještě pomocí kyvadel, které

¹ Geoid – těleso blízké skutečnému tvaru země

měly větší chybovou přesnost. Publikace ČÚZK (2018) se zmiňuje o kyvadlové měřicí technice, jež byla použita mezi lety 1889–1895. Technika dosahovala přesnosti na hoře Říp 15 mGal. Gal je jednotka zrychlení používaná právě v gravimetrii a je definována jako 1 centimetr za sekundu na druhou, mGal je pak jedna tisícina centimetru na sekundu na druhou. Během druhé světové války byla uskutečněna relativní tíhová měření na 10 tíhových bodech v českých městech pod vedením K. Weikena s úrovní přesností 1 mGal. Tato přesnost byla dosažena také pomocí kyvadla. Vyšší přesnost byla dosažena pomocí čtyřkyvadlového Fechnerového přístroje. Tíhové body se později používaly jako kyvadlové stanice. Klíčové části Fechnerova přístroje tvoří stativ, čtyři proti sobě kmitající invarová kyvadla, dvě zrcátka, stavěcí šrouby k horizontálnímu srovnání přístroje. Zpočátku se doba kyvu kyvadla určovala vizuálním Sterneckovým² pozorovacím způsobem pomocí tzv. koincidenčního přístroje. Později bylo kyvadlové zařízení opraveno a doplněno o automatickou metodu odečítání. Metoda spočívala ve dvou světelných paprscích, kde jeden zobrazuje kyv v horizontální rovině na filmovou papírovou pásku a druhý paprsek zapisuje sekundy pozorovacích hodin (Staněk, Potoček, 1940).

Zlom přišel v období 1939-1943 s příchodem německých výzkumníků, kteří pomocí statických gravimetrů hledali nerostná ložiska. Zprvu probíhaly měření v jihovýchodní Moravě z důvodů lokalizace ropných ložisek. Zeměměřické úřady Čech a Morovy začaly s gravimetrickými pracemi na konci druhé světové války v roce 1944. Měření probíhalo podél nivelačních pořadů v úhrnné délce 815 km, přičemž průměrná vzdálenost se pohybovala okolo 5 km ČÚZK (2018). Po druhé světové válce se k měřením přidaly další instituce jako Vojenský zeměpisný ústav, Státní geologický ústav a Státní ústav geofyzikální. Hlavním cílem všech institucí bylo sestavení tíhové mapy. K tomu bylo nutné získat podrobné hodnoty (body), které byly následně připojeny ke kyvadlovým stanicím. ČÚZK (2018) odhaduje relativní přesnost tohoto měření na 0,25 mGal. S vyšším počtem institucí se současně zvýšil i počet tíhových měření gravimetrem. S tím souvisí také problém nekoordinovaného měření, která vedla k získání velkého objemu dat, jež nebyla sdílená mezi institucemi. Proto si Zeměměřický úřad (ZÚ) v roce 1947 zakoupil gravimetr k vybudování sítě I. a II. řádu. Síť prvního řádu obsahovala celkem 108 pevných (statických) bodů mezi něž byly vkládány 1–2 body řádu druhého. ČÚZK (2018) ve své publikaci uvádí, že jednotlivé body se od sebe nacházejí 10 až 40 km bez ohledu na řád. Měření I. a II. řádu probíhalo současně až do roku 1957 kdy byla vypočítána a

² Sterneckový koincidenční přístroj – optický aparát umožňující pozorovat průchod kyvadla přístroje a kyvadla hodin s nulovou polohou.

zpracována síť. Nutno podotknout, že z měření byly vyloučeny slapové jevy, protože přesnost přístroje nebyla taková, aby byly vlivy projeveny. Dnes se však s těmito jevy počítá. Z výsledků měření tíhového zrychlení I. a II. řádu sítě byl definován tíhový systém 1957. Jelikož se v této době vyvíjely a zpřesňovaly přístroje na měření tíže, docházelo ke stárnutí sítě. Také bylo požadováno určení rozměru sítě a její homogenitu, proto byla vybudována v roce 1959 hlavní šířková základna mezi městy Hřensko a Dolní Dvořiště. Při výpočtech nové sítě byl dostatečně eliminován účinek periodických slapových jevů a bylo dosaženo až desetinásobného zvýšení přesnosti měření. Měření se řadilo na nejlepší úroveň, která mohla být dosažena a porovnána se zahraničními zeměmi (ČÚZK, 2018). Gravimetrické vyrovnání bylo provedeno v novém tíhovém systému 1964 pod označením (S-Gr64), jež byl odvozen od mezinárodního rámce tíhových bodů. Současně s měřením gravimetrických základů probíhalo také měření podrobné. Podrobné gravimetrické mapování státního území bylo s hustotou 1 bod na 5 km² měřené od konce čtyřicátých let 20. století. Výstupem byla tématická³ mapa ČSSR v měřítku 1 : 200 000 pro celé území státu znázorňující polohy gravimetrického měření. Vytvořená mapa se použila k odvození tížnicových odchylek a dopočítání kvazigeoidu⁴.

Protože jsou tíhové body statické, docházelo k jejich ničení a poškození. Proto se musí body od roku 1965 rekonstruovat a přestabilizovávat až do současnosti (ČÚZK, 2018). S opravami bodů probíhala propojovací měření na nově zřízených bodech pro účely gravimetrického mapování území státu v měřítku 1 : 25 000 s hustotou bodu 3 – 7 bodů na 1 km².

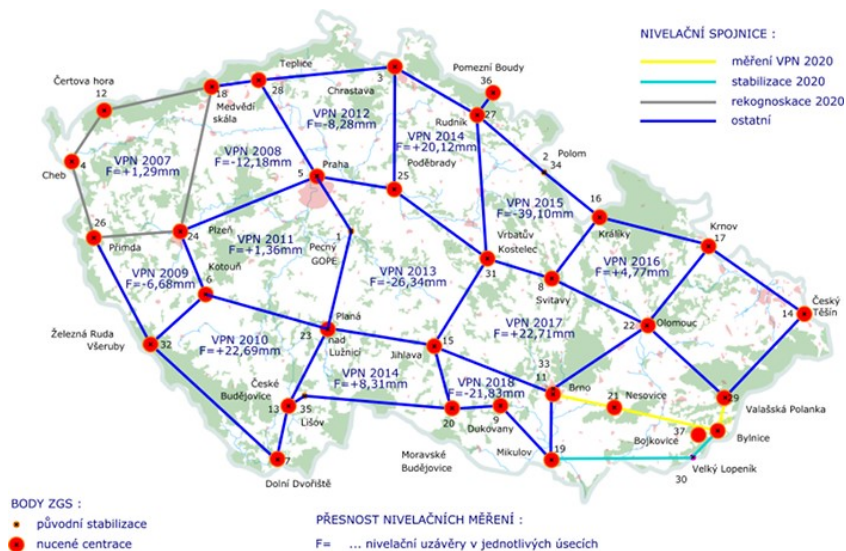
Po druhé polovině 20. století došlo také k provázání spolupráce a zlepšení koordinace mezi státy SSSR a NDR, což vedlo ke studiu vnějších faktorů limitující přesnost gravimetrů a také jejich chyb při cejchování. Zkoumáním se zjistili a odvodili nejenom konstanty jednotlivých přístrojů, ale i vliv teploty na systémy gravimetrů. Vnějšími faktorům, které byly důkladně studovány patří vnější teplota, barometrický tlak, magnetické pole, působení zemětřesných vln atd.

Jelikož gravimetrická základna vede od severu na jih v rozmezí pár stupňů od patnáctého poledníky, bylo nutné sledovat změny tíhového pole v celé České republice. Z toho důvodu vznikla tzv. Základní geodynamická síť ZGS, která obsahuje síť geodynamických bodů. Pomocí této sítě lze sledovat pohyby zemského povrchu. Od roku 2003 jsou body obnovovány a síť je doplňována o nová stanoviště mající hloubkovou stabilizaci doplněnou o centraci pro

³ Tématická mapa – je mapa zobrazující na základní mapě přírodní, sociálně-ekonomické a další jevy

⁴ Kvazigeoid – je množina bodů vzdálených od zemského povrchu tzv. normální výšek je blízký geoidu

připojení GNSS antény (Lindeuerová, 2013). ZGS je kvalitní styčná síť sloužící k integraci prostorových, polohových, výškových a tíhových geodetických základů. Pro nové stabilizace ZGS platí, že jsou zaneseny do Evropské jednotné výškové GNSS sítě (EUVN) v rámci zhušťovací kampaně (ČÚZK, 2020). ZGS je zobrazena na obrázku č. 4. Nová stabilizace bodu Planá nad Lužnicí je v příloze č. 10



Obrázek 4. Základní geodynamická síť

Zdroj: <http://nivelace.cuzk.cz/>

3.2.2 Dálkové tíhové měření

V dnešní době se používají dva základní typy k určování tíhového zrychlení. Jedním typem je statické (pozemní) měření gravimetrem. Měření, jak už z názvu vyplývá probíhá pomocí různých typů gravimetrů na zemském povrchu. Jelikož se práce zaměřuje výhradně na pozemní měření je podrobně problematika statického měření popsána v následující kapitole 3.2.3 Pozemní měření. Druhým typem je tzv. kinematické měření. Tento způsob spočívá v upevnění gravimetru na pohybuující se objekty. Nejčastěji se jedná o umístění gravimetru do družic, letadel a lodí.

Letecká gravimetrie probíhá ve vzdušném prostoru. Jedná o způsob umístění gravimetru na palubu letadla, ale objevují se i prostředky jako vzducholod' a vrtulník. Tíže se měří prostřednictvím speciálních gravimetrů, pomocí nichž se měří vektor gravitačního zrychlení. Výhoda leteckého měření spočívá v rychlosti a rozsahu pokrytí měřené oblasti. Zájmové území je pokryto pravidelnou trajektorií letu. Z toho důvodu letecká gravimetrie umožňuje provádět

měření i na hůře dostupných míst jako např. měření v horách, vodních ploch, pouštích, močálů atd. U leteckého měření lze spatřit i nevýhody. Jedním z hlavních problémů jsou vzniklé chyby v důsledku pohybu letadla. Proto je nezbytné získaná data filtrovat, aby byl odstraněn šum vzniklý náklony a otřesy leteckých prostředků (Lindauerová, 2013). Dalším dnes poměrně rozšířeným kinematickým měřením je prostřednictvím družic, které poskytují data s téměř globálním pokrytím. Počátek této metody začal na přelomu tisíciletí vypuštěním první gravimetrické družice CHAMP (ChAllenging Minisatellite Payload for geophysical research and application) v červenci 2000. Projekt pod taktovkou německého národního výzkumného centra pro geovědy měl za úkol globálně mapovat gravitační a magnetické pole Země. Díky této misi byla zjištěna data, jež umožnila odvodit globální gravitační a magnetické pole Země. Principem metody jsou polohy družice ve volném pádu a negravitačních sil. Počáteční výška družice s polární dráhou byla okolo 450 km (Bezděk, 2018). O dva roky později americká NASA (National Aeronautics and Space Administration) vyslala dvojici družic na oběžnou dráhu. Projekt s názvem GRACE navazuje na dřívější německou misi CHAMP. Projekt také souvisí se změnou klimatického podnebí planety, jež má za úkol zkoumat její gravitační pole a klima. Americké družice udržují mezi sebou odstup v řádech 200 km a tím je docílena vyšší přesnost měření. Družice mise GRACE měří velmi přesně vzdálenost mezi sebou, kterou je možné mapovat na parametry gravitačního pole Země. Se změnou podnebí planety se jednou za 30 dní poskytují data k sestavení globální mapy gravitačního pole Země. Zásadou pravidelných přehledů změn tajících ledovců je možné dokázat neustálý přesun velkého množství vody, jež má vliv na klimatické podmínky planety.

Družice přelétávají ve výšce 200 – 500 km nad zemským povrchem a proto sebou nesou výrazně slabší gravitační signál, než který může být naměřen při pozemním nebo leteckém měření. K měření se využívají tzv. nízkofrekvenční složky tíhových dat jež mohou být při získávání informací doplněny o vysokofrekvenční složky z pozemního nebo leteckého měření (Lindauerová, 2013). Dle Bezděka (2018) byla mise GRACE velice úspěšná a v roce 2018 na ní navázala nová mise označená jako GRACE FO (GRACE Follow-on). Jejíž první gravimetrický model byl publikován v květnu 2019.

Další úspěšnou vesmírnou misí je GOCE (Gravity field and steady – state Ocean Circulation Explorer), jež patřila pod evropskou společnost ESA (European Space Agency). Cílem mise bylo změřit geoid s přesností na 1 – 2 cm v rozlišení 100 km. Díky své nízké oběžné dráze cca 260 km nad zemí dokázala maximalizovat citlivost na změny v gravitačním poli Země. Ještě před ukončením mise v roce 2013 poskytovala velice přesné údaje. Další mise,

kteřá je také pod zástitou ESA je projekt Swarm. Cílem Swarm je nejenom poskytnout nejlepší přehled o geomagnetickém poli v čase, ale také elektromagnetickém poli v atmosféře pomocí konstelace tří identických satelitů. Výstupem jsou měsíční gravitační modely (ESA, 2019).

Nesporná výhoda této měřické metody tíže je především v rychlosti a ploše měřeného území. Vyskytují se však problémy, kdy není možné kvůli politickému zásahu přelet letadel přes hranice uskutečnit. Problém spočívá v méně přesném měření menšího území, a také změnou vertikální a horizontální osy nosiče. Vliv na tíži má i vzdálenost od středu Země, která taktéž může značně ovlivnit naměřená data. Proto je ke zkoumání menší lokality použita metoda pozemního měření.

3.2.3 Pozemní měření

Jak už z názvu vypovídá, pozemní měření se soustředí na získávání dat ze zemského povrchu. Tíhové zrychlení se na povrchu může měřit pomocí kyvadel a gravimetrů jež pracují na principu pružnosti spirály nebo torze vlákna. Metoda pozemního měření je velice náročná, protože je potřeba získat co nejvíce měřených bodů a k tomu je zapotřebí mít dostatečné množství času i finančních prostředků spojené s náklady na cestování. Obtíže spojené s měřením mohou vyvstat také z nepřístupnosti terénu, v němž není jednoduché měřit výšku a přesnou polohu.

V České republice se k měření tíže využívají 3 typy gravimetrů:

1. Supravodivý gravimetr – tento typ je instalován na Geodetické observatoři Pecný k určování charakteristiky slapových vln. Principem měření tohoto gravimetru je kompenzační napětí levitující kuličky v supravodivém poli pomocí magnetických sil. Supravodivý gravimetr je schopný měřit v řádech nanogalů a proto se jedná o nejcitlivější měření pozemních gravimetrů. Volařík (2016) ve své práci uvádí, že dlouhodobé kontinuální sledování časových variací tíhového zrychlení má také význam. Především lze z dlouhodobého měření zkoumat globální změnu klimatu.
2. Dalším typem gravimetru jsou tzv. absolutní gravimetry. Absolutní gravimetry se využívají převážně pro kalibraci staničních relativních gravimetrů. Zároveň se také používají k polnímu měření na bodech gravimetrické sítě. Novější gravimetry, pracují na principu sledování pádu testovacího tělesa ve vzdálenosti a čase. Tedy testovací hranol v pádové komoře je při pádu měřen laserovým interferometrem a atomovými hodinami. Naměřené hodnoty musí být vždy opraveny o účinky anomálních hodnot, jako jsou slapové jevy, atmosférické vlivy a pohyby u pólu (Volařík, 2016). Jelikož

jsou gravimetry masivní a mají obtížnou a sofistikovanou elektroinstalaci, je manipulace v terénu značně náročná. Z toho důvodu jsou přeměřovány pouze absolutní body sítě umístěné ve sklepních prostorách budov s připojením k elektrické síti.

3. Relativní gravimetr – je využíván k určení rozdílu tíže mezi dvěma body. Měření je prováděno v terénu na zemském povrchu, ale existují i upravené gravimetry jež jsou instalovány na různé nosiče k měření dna oceánů, průzkumných vrtů nebo dálkovému měření z letadel. Novější digitální gravimetry fungují na principu zpětnovazebního napětí, které je dodáváno na desky kondenzátoru. Jedna z desek je doplněna o senzor gravimetru, který je zavěšený na pružině tak, aby byla vzdálenost desek vždy konstantní (Klanica, 2018). Jelikož mají gravimetry mechanické části, dochází k jejich opotřebení a změně tzv. chodu gravimetru, proto se přístroj zpravidla jednou za rok kalibruje například na šířkové nebo výškové základně.

3.3 3D Modelování vodních nádrží

3D model nádrže je zapotřebí ke zjištění původního dna před výstavbou hráze. Na původní koryto budou aplikovány měření z dob před zaplavením a další modely s různou výškou hladiny vypoví o změně tíže vlivem kolísání vodní hladiny.

Modelování různého povrchu je v dnešní době potřeba. Povrch Země se každým dnem liší, rostou nové obytné, komerční zástavby a liniové stavby, staví se přehrady z důvodu zadržení vody a vznikají stále větší a hlubší doly k dobývání nerostného bohatství. Všechny zmíněné objekty mají, co dočinění s přesouváním různých hmot, působící na zemský povrch. Z toho důvodu je pro nás klíčové zjistit, jak zadržené vody v rybnících a přehradách ovlivňují zkoumanou tíži.

Jelikož se vodní sloupec, byť jen nepatrně v přehradě mění, je tím ovlivněna i tíže, na kterou tlak vody působí. Z toho důvodu je důležité zjistit, jaká tíže je v různé výšce hladiny vody. Očekává se, že tíže se přímou úměrou bude zvyšovat i s výškou hladiny. Ke zjištění efektu bude využito 3D modelování přehrady. Podobným tématem se zabývala Slívová (2018) ve své diplomové práci, jejímž cílem bylo vytvoření 3D vizualizace Slapské vodní přehrady. Slívová převážně pracovala v softwaru ArcGIS, který se využívá k získávání a zpracování informací z prostorových dat. K získání modelu použila rastrové podklady mapových listů SMO-5. Mapy byly posléze transformovány pomocí projektivní transformace, jak sama uvádí,

tento typ přeměny se využívá u historických map, proto se rozhodla pro tuto transformaci. Následně rastry přebarvila černou a bílou k identifikaci výškových prvků (kóty a vrstevnice). Popsané procesy byly provedeny v aplikaci ArcMap. K vektorizaci Slívová (2018) použila nástavbovou aplikaci ArcScan, která jí umožnila poloautomatickou nebo plně automatickou práci. Jelikož rastr nebyl příliš kvalitní a po přebarvení zobrazoval i prvky, které nenesly výškopisné údaje rozhodla se použít automatickou a ruční vektorizaci. Ruční vektorizaci provedla na základě spojení hodnot se stejnou nadmořskou výškou. 3D model vytvořila pomocí liniových prvků vrstevnic a bodových znaků výškových kót. Vzhledem k tomu, že data nepokrývala celé zájmové území, rozhodla se využít interpolační metodu *Topo to Raster*. Hlavním důvodem výběru této interpolace autorka uvádí, že je vhodný pro získání hydrologicky správného digitálního modelu terénu z využitých dat. K porovnání zmíněné interpolaci použila DMR 4G. Z porovnání vyplývá, že největší rozdíly jsou v místech, které jsou zaplavené vodou a v místech, kde se vyskytuje les, skála nebo potok. Následnou vizualizaci se autorka rozhodla udělat v novější aplikaci ArcGIS Pro, jenž umožňuje vizualizovat, upravovat a analyzovat geografická data ve 2D i 3D.

4 VLASTNÍ PRÁCE

4.1 Použitá data

Rastrová data pochází z portálu archivní mapy ČÚZK, konkrétně se jedná o Topografické mapy S-1952 v měřítku 1 : 25 000. Hlavním důvodem výběru těchto map je, že území zachycuje tok řeky v zaříznutém údolí. A co víc, mapy obsahují výškopisné údaje na březích řeky Vltavy. Protože se jedná o mapy z roku 1952, jsou zde výšky uváděny v Jadranském systému, proto bylo nutné převést hodnoty na Bpv (Baltický výškový systém používaný v Česku od roku 1957) Tyto body poslouží jako záchytné body k interpolaci výšky, které dnes není možné změřit z důvodu zatopení.

Pro znázornění nejnižše položených míst v přehradě byl použit liniový prvek vodního toku. Také byl použit polygonový prvek, který zobrazil rozsah zatopené oblasti a břehovou čáru. Obě tyto vrstvy byly staženy z volně dostupných dat (OSM) na stránkách *geofabrik.de*.

Jelikož se práce opírá převážně o výškopisné údaje, bylo zapotřebí použít vrstvy, které nesou tyto informace. K tomu byla vybrána datová sada výškopis 3D vrstevnic ZABAGED obsahující 3 typy objektů vrstevnic se základním intervalem 5, 2 nebo 1 m v závislosti na charakteru terénu ČÚZK (2018). ČÚZK také dodává, že přesnost výšky vrstevnic je závislá na sklonu a četnosti terénu a dosahuje 0,7 – 1,5 m v odkrytém terénu, 1 – 2 m v sídlech a 2 – 5 m v zalesněném terénu. K modelování povrchu byl použit rastr DMR 4G přímo poskytnutý ČÚZK, jehož přesnost je 5x5 m a může být využit na další území, dosud nezmapovaná gravimetrem.

4.2 Zpracování dat

Zpracování probíhalo v prostředí ArcMap programu ArcGIS 10.4 for desktop. Nejprve byl zvolen správný souřadnicový systém, a to World Geodetic System 1984 (WGS 84). Jedná se o světově uznávaný geodetický standard vydaný ministerstvem obrany USA v roce 1984. Systém definuje souřadnice na referenční elipsoid. WGS 84, neboli Světový geodetický systém, určuje polohu bodu podle zeměpisné šířky, délky a výšky. Systém byl vybrán z důvodu použití GNSS systému k měření polohy a výšky bodu v terénu.

Topografické mapy, staženy v rastovém formátu, byly otevřeny v ArcMap a následně georeferencovány do mozaiky zájmového území. Následovalo přidání výškopisných dat a

vytvoření nové výškopisné bodové vrstvy k popsání nadmořských výšek zatopené oblasti z topografických map.

4.2.1 Georeferencování mapových podkladů

Topografické mapy S – 1952 jsou přístupné ve formátu jpg. na portálu archivnimapy.cuzk.cz. Všechny 7 mapových listů bylo nahráno do prostředí ArcMap pomocí funkce *Add Data*. Ke georeferencování bylo zapotřebí připojit podkladovou mapu WMS služby, z níž se následně identifikovaly shodné body s topografickými mapami. Použila se prohlížečská služba Základní mapy 1 : 25 000 z geoportálu ČÚZK.

Proces georeferencování byl proveden postupně podle identických bodů. Identické body byly polohopisně voleny tak, aby topografická mapa usedla přesně na mapu základní. Vkládání bodů bylo provedeno funkcí *Add Control Points* tak, že nejprve byl vybrán bod rastru a následně bod v podkladové WMS mapě. Nejčastěji se jednalo o identické body umístěné na nejvyšších vrcholech nebo kapličkách a kostelech, které se nacházejí na obou vrstvách. Z důvodu přesnosti byla sledována hodnota *Total RMS Error*, jenž udává střední kvadratickou chybu transformace. Snahou bylo docílit co nejnižší směrodatnou chybu, která se vždy pohybovala okolo 5 metrů. Takto bylo zpracováno všech 7 mapových listů. Před uložením a nahráním map byla nastavena Afinní transformace. Jedná se o polynomicou transformaci, která rastry posune, rotuje s nimi a změní měřítko souřadnicových os původního souřadnicového systému (Hrubý, 2004).

4.2.2 Práce s vektorovými daty

V této části práce byla nahrána vektorová data do připraveného projektu ArcGIS. Nejdříve se vytvořila nová polygonová shapefile vrstva, která zobrazovala zájmové území vodní plochy, ale i okolní místa, v nichž probíhalo terénní měření. Nová vektorová vrstva se vytvořila funkcí *New Feature Class*. Poté se nastavil polygonový typ vrstvy a zadal se název. Taktéž byla přidána i nová bodová vrstva s tím, že jí byl nastaven typ vrstvy *Point*. Body byly využity k zadávání nadmořské výšky z TM S – 1952 v jadranském výškovém systému, které se následně přepočítaly funkcí *field calculator* na systém Bpv. Vektorová bodová vrstva obsahuje přes 300 nově vytvořených bodů nacházející se převážně pod hladinou. V některých místech mapa obsahovala výškopisné informace o výšce hladiny řeky a její hloubce obrázek č. 5. I tyto informace byly využity z důvodu přesnosti tvorby terénu.

V další části byly přidány liniové vrstvy řek z OSM a vrstevnice z databáze ZABAGED. Vrstva řek byla oříznuta pomocí funkce *Clip* podle zájmového území. Protože databáze

vrstevnice je výpočetně náročná, bylo nahráno celkem 27 dgn⁵ souborů vrstevnic spadajících do zájmového území. Pro snazší práci byly soubory spojeny v jeden celek pomocí funkce *Merge*, která spojila soubory do jednoho. Poté i tento soubor byl oříznut podle zájmového území funkcí *Clip*. Z OSM byla také převzata polygonová vrstva vodní hladiny, jež přesně modeluje zatopené údolí.



Obrázek 5. TM S-1952 1 : 25 000 Znáznornění výšky hladiny a hloubky řeky Vltavy

Zdroj: Výřez TM S-52. Vlastní zpracování

4.3 Získávání dat z terénu

Kapitola popisuje využití měřických technologií a použití nástrojů pro získání přesných polohových a výškopisných informací, k níž byl využit nejen GNSS přijímač, ale u stávajících výškových bodů byla k ověření použita nivelační lať a optický nivelační nástroj.

K měření zemské tíže byl využit gravimetr od společnosti Scintrex, jež byl stabilizován na předem vytvořenou síť bodů, více v podkapitole 4.3.4 Měření v okolí vodní nádrže Orlík.

⁵ Datový formát obsahující technické dokumentace (výkresy, mapy, schémata) je primárně vektorový, ale může obsahovat rastrová nebo popisná data.



Obrázek 6. Ověření historického bodu z roku 1949

Zdroj: Vlastní zpracování

4.3.1 Optická nivelace a nivelační lať

Nivelace jako taková se používá k vytyčování vodorovné roviny, a tedy měření výškových rozdílů v terénu. Názorná ukázka je patrna na obrázku č. 6, kde je dalekohled (optický přístroj) umístěn na oranžové trojnožce tak, aby byl v optimální vodorovné poloze kolmo k zemi.

K takto připravenému přístroji se použije nivelační lať, která byla přiložena k blíže stojící GNSS soupravě a postupně se odečítaly výšky ke stojícímu gravimetru u paty mostovky.

Nivelace tímto způsobem byla provedena, protože souprava GNSS byla ve stínu mostu a nepřijímala dostatečný počet družic pro výpočet přesné nadmořské výšky.

4.3.2 Souprava GNSS

GNSS je zkratka pro globální navigační satelitní systém. Systém pomocí družic autonomně určuje polohu s celosvětovým pokrytím. Podle druhu přijímačů se pak přesnost polohy liší v řádech metrů pro turistické přijímače a v řádech centimetrů až několika milimetrů pro složitější vědecké přístroje používané v zeměměřičství, stavebnictví a v dalších důležitých oborech.

V jednoduchosti lze systém popsat tak, že družice mají známou trajektorii, po které obíhají zeměkouli. Družice vysílají signál s časem a dráhou letu, z níž je následně dopočítána poloha. Platí zde pravidlo, že čím více družic přijímač vidí, tím přesnější je výpočet polohy.

4.3.3 Gravimetr pro relativní měření CG-5 od firmy Scintrex

CG-5 Autograv je všestranný gravimetrický systém k průzkumu nerostů, těžbu ropy, plynů a aplikace mikrogravitace. Gravimetr má automatizovaný mikroprocesorový gravitační měřič s rozsahem přes 8 000 mGal a odečet v rozlišení 0,001 mGal (Geomatrix, 2020). Proto ho lze použít k podrobnému terénnímu šetření nebo k rozsáhlým regionálním geodetickým průzkumům. Přesná měření se provádí pouhým stisknutím tlačítka a odečtení, tak trvá do jedné minuty.

Pro účely ZÚ gravimetrie se přístroj využívá převážně ke zkoumání přitažlivé síly Země a vlivu slapových jevů. Naše pracoviště se díky hustému měření tíhového zrychlení snaží vytvořit model normálního tíhového zrychlení a odvodit tak tvar geoidu.

4.3.4 Měření v okolí vodní nádrže Orlik

Měření bodů probíhalo ve více denních úsecích. První denní úsek se uskutečnil 18.7. 2019. Z naší kanceláře se vyjždělo okolo osmé hodiny ranní, tak abychom byli co nejdříve na prvním bodu sítě. Naše měření započalo připojením se na bodě v Kamýku nad Vltavou krátce po deváté hodině, jak vyplývá ze zápisníku. S kolegou Ing. Otakarem Nesvadbou Ph.D. jsme měli v plánu změřit sever přehrady a také zjistit rozdíl v nejbližší části u paty hráze a následně i na koruně hráze. Vzhledem k omezenému času nebylo možné body dopředu připravit a nalézt

identické body podle nivelačních značek. Z toho důvodu jsme ztratili i spoustu času právě při hledání nivelačních kamenů a značek na skalách.

I přes velkou ztrátu času se nám za cca 12 hodin povedlo změřit osmnáct bodů a z toho několik kontrolních tak, abychom dokázali zjistit denní chod gravimetru. Chod je ověřen pomocí již zmíněných bodů, které jsou v zápisníku označeny v poznámce K (1, 2, 3). V zápisníku je vidět jaký chod byl například mezi K3 v 14:50 a K3 16:57, který byl cca $60\mu\text{Gal}$, viz zápisník v příloze č. 5. Protože bylo třeba ověřit stanovisko pomocí nivelace, v příloze je také obsažen zápisník výškové nivelace pod přílohou č. 6.

Další mapování probíhalo na podzim téhož roku. S kolegou Ing. Petrem Lukavcem jsem přijeli 26.9. 2019 na přípojovací bod v Čimelicích, od něhož započalo další mapování oblasti. S kolegou jsme změřili přibližně dvanáct nových bodů a z toho jeden identický podle nivelační značky. Celkem tedy bylo šestnáct měření i s kontrolními body. Zápisník pro tento denní úsek se nachází pod přílohou č. 7. Bohužel jsme si neuvědomili, že při našem měření se vodní nádrž Orlík vypouštěla kvůli rekonstrukci lodního výtahu. Proto jsme tento den museli počítat, že naměřené body budou do jisté míry ovlivněny právě změnou výšky vodní hladiny. Naštěstí naše data nepříjdou vniveč. Zajistili jsme si data výšky vodní hladiny od pana dispečera Michala Šeráka z podniku Povodí Vltavy, který zaslal tabulky v MS excel pro všechny naše měřené úseky. Z tabulek bylo zjištěno, že výška hladiny od prvního měřického dne 18.7. se lišila cca o 5 metrů.

Na základě zjištění, že je Orlík z větší části vypuštěn, jsme se rozhodli, že uděláme 20.11. 2019 další měřický úsek. Podle dostupných zpráv od podniku Povodí Vltavy jsme se dozvěděli, že v tento den byla přehrada vypuštěna o více než 11 metrů. Z toho důvodu jsme se tento den zaměřili na identické body v okolí podolského mostu. Nejprve jsme se s kolegou Otakarem připojili v Čimelicích a následně jsme provedli měření také na bodě sítě v Písku tak, abychom podchytili denní chod. Toto měření jsme usoudili vhodné právě proto, že Čimelice se od podolského mostu vzdáleny několik kilometrů a než bychom dojeli a začali měřit, denní chod už může být jiný. Díky vypuštěné přehradě jsme se dopravovali ke změření nejzajímavějšího bodu ze všech, a to proto, že se nacházel přímo u paty podolského mostu, na němž v minulém století probíhalo měření a naším cílem bylo měření ověřit. Měření tohoto významného bodu je zachyceno spolu s kolegou Otakarem na obrázku č. 6. Jakmile jsme měli změřeno pomocí GNSS a gravimetru, udělali jsme také ověření pomocí výškové nivelace. Následně jsme se přesunuli na měření, které probíhalo na mostě. Protože jsme měřili za plného provozu, bylo měření náročné jednak na naše zdraví, ale i na gravimetr, který registroval jakýkoli průjezd

automobilu. Celkem jsme na mostě měřili tři identické body. Dva z nich byly na okraji mostu, tam kde je most spojen se zemským povrchem, třetí bod se nacházel uprostřed nad obloukem. Nejprve jsme zastavili na parkovišti, zjistili jsem, z jaké strany byly body původně měřeny podle nivelačních značek na mostě. Poté bylo využito služební auto k vytvoření překážky v jednom jízdním pruhu tak, abychom mohli vytyčit přesné místo měření a umístění gravimetru. Bohužel kvůli silné dopravní situaci bylo nutno měření několikrát opakovat, aby se zamezilo příliš velkým chybám. Pro kontrolu jsme změřili ještě bod sítě Zvíkovské podhradí a odpojili se až v Čimelicích.

Poslední měřický den 17.7. 2020 byl vodní stav nádrže v normálu tedy cca 348 m n. m. Opět s kolegou Otakarem jsme započali měření v Čimelicích a změřili jsem nové identické i neidentické body a ověřili jsme také body z minulého roku. Dostali jsme se také na body podolského mostu, které jsme ověřovali v závislosti na plném stavu přehrady. Po porovnání těchto zápisníků z 20.11. 2019 a 17.7. 2020 vyplývá, že vlivem vodní hmoty se zemská tíže na středu mostu zvýšila o 45 mGal. Podobně se liší i body na koncích mostu. Nárůst zemské tíže je dán právě hmotností vodního sloupe tlačící na zemský povrh. Díky dobrému označení bodu z prvního denního úseku bylo možné i tento den identifikovat a znovu přeměřit bod ve Voltýřově. Zápisník z tohoto dne je v příloze č. 8 a 9.

Naše měřická činnost byla ukončena okolo půl deváté hodiny večer v Písku a posléze jsem se přesunuli do Prahy. Měřické pomůcky jsme uklidili a připravili na další gravimetrické mapování pro účely ZÚ.

4.4 Tvorba digitálních modelů

Tato část se zabývá implementací digitálního modelu reliéfu (DMR). V úvahu přichází hned několik možných řešení, přičemž jejich tvorba je popsána v kapitolách níže. Je zapotřebí upozornit, že tvorba DMR je v místech, která jsou nenávratně zničená nebo zatopená vlivem antropogenní činností.

4.4.1 Příprava DMR 4G

Celá práce vychází z poskytnuté vrstvy DMR 4G od ČZÚ. Pracujeme pouze s výřezem 4 001 x 9 601 px, kde velikost buňky je 5 m. Výřez zobrazuje námi zkoumané území přehrady Orlík.

Protože se jedná o větší plochu, která v této vrstvě nemá konstantní výšku vodní hladiny, bylo nutné správně identifikovat vodní hladinu tak, aby se oddělila od terénní hrany. K tomu byla v ArcMap využita funkce *reclassify*, pomocí níž se klasifikovaly buňky s nadmořskou výškou vyšší než 350 m n. m. Výškám s nižší nadmořskou výškou byl přiřazen atribut *NoData*. Některé buňky na vodní ploše obsahovaly vyšší nadmořskou výšku z důvodu výskytu vln, mostních konstrukcí a vodních plavidel, byla tato klasifikace převedena na polygon, jelikož se s ním snáze pracuje. Nesrovnalosti byly smazány a polygonová vrstva byla znovu převedena na rast.

Takovýto postup byl proveden, protože se nedařilo funkci *extract by mask* aplikovat na DMR 4G s maskou polygonové vrstvy hladiny. Výsledek funkce na vrstvu DMR a vytvořenou rastrovou vrstvu výřezu je na obrázku č. 7.



Obrázek 7. DMR 4G bez vodní hladiny (výřez)

Zdroj: vlastní zpracování

V této fázi bylo zapotřebí definovat jaké terénní modely by se daly použít a propojit s rastrovou vrstvou DMR.

4.4.2 Definování terénních modelů v zatopené oblasti

Prvním tvorbou, která by se dala použít, je obkreslování důležitých vrstevnic z map TM S-52. Zprvu bylo jasné, že co se týče technologií je tento způsob nejsnazší. Na druhou stranu je to pracný způsob, který je v takovémto měřítku obtížné použít. Při představě, že u příkrých skalních stěn jsou vrstevnice blízko viz. obrázek 4., není ideální pro správnou interpolaci využít tuto metodu. Jak už bylo naznačeno, plocha přehrady v námi měřeném úseku přehrady je přibližně 96 km². Pro naše účely bylo potřeba vymyslet jednoduchou a rychlou metodu, která by se dala použít na více místech. Popsaná metoda by se spíše hodila na mělké a menší objekty jako jsou rybníky, pro která neexistují jiná data.

Další metoda, která by se dala použít je triangulated irregular network (TIN). TIN je nepravidelná trojúhelníková síť poskytující spojitý model terénu. Vznik sítě je dán spojením bodů do trojúhelníků tak, aby jich bylo co nejvíce rovnostranných. Oblasti s velkým výškovým rozdílem na malé ploše (prudké svahy, skalní útesy) obsahují větší počet bodů. V těchto místech je vyšší hustota malých trojúhelníků. Oproti tomu rovinný terén (pláže, louky, pole) obsahuje nižší hustotu bodů a také trojúhelníků. Trojúhelníky v tomto terénu mají větší rozměr. Každý vrchol trojúhelníků nese údaje o nadmořské výšce. Z toho plyne, že každý trojúhelník obsahuje informaci, které hrany je ohraničují a každá hrana obsahuje informaci, které body ji definují.

Nevýhoda TINu spočívá převážně v náročném výpočetním úkonu, který značnou mírou zatěžuje paměť zařízení. Další zobrazovací nevýhoda jsou tzv. rovinné trojúhelníky. Tyto trojúhelníky se vyskytují na vrcholech hor, v údolnicích a hřbetnicích. To je dáno tím, že body v trojúhelníku mají stejnou nadmořskou výšku, a tak není možné určit sklon a orientaci k žádné světové straně. Výška v modelu je zobrazena plošně, nikoli bodově.

Co se týká automatizace, tento způsob je intuitivnější, než způsob předchozí, také je zpracovatelsky rychlejší. Bohužel pro tyto účely je hůře použitelný, protože výpočty na síti jsou složité. Analýza tíhové změny na základě změny okolních parametrů (změna zadržované hladiny vody) je z tohoto důvodu nemožná. Výřez model TIN zájmového území je zobrazen na obrázku č. 8.



Obrázek 8. Znáznornění výřez TIN

Zdroj: Vlastní zpracování

Třetí metoda spočívá v rastrové reprezentaci našeho projektu a v použití připraveného DMR 4G. Zprvu je zapotřebí vytvořit model terénu pod hladinou. Třetí model terénu pod současnou vodní hladinou byl modelován funkcí *Topo to raster*. Funkce umožňuje na základě předaných parametrů vytvořit rastrový model terénu stejně tak jak tuto funkci zvolila Slívová ve své práci. Parametry, které byly pro modelaci použity jsou následující. Prvním z parametrů jsou body dna, které mají v atributu už nově spočítanou nadmořskou výšku na dně toku v systému bpv. Je třeba si uvědomit, že data výšky a polohy jsou brána z map S-52. Proto je třeba brát informace s menší rezervou vzhledem k nepřesnostem mapy. Každopádně pro tyto účely jsou více než dostačující. V nastavení parametru (v tabulce Field) je třeba zvolit atribut s hodnotami výšky. V našem případě se jedná o nadmořské výšky dna přehrady v bpv. Jelikož se jedná o body, je nutné v následujícím sloupci *Type* zvolit hodnotu *PointElevation*. I když se jedná o doplňkové informace výpočtu, je třeba zdůraznit to, že díky bodům víme nejnižší výšku v našem zájmovém území a dna přehrady.

Druhý parametr, který byl použit je z dat OpenStreetMap (OSM) od společnosti Geofabrik. Jedná se o datový balíček zahrnující shapefile soubory, který je volně ke stažení a obsahuje velké množství bodových, liniových i plošných prvků. Velkou výhodou v těchto datech spatřuji v kvantitě, ale i kvalitě. Z tohoto balíčku byl použit soubor waterways Shapefile

waterways má topologicky přesná data kopírující vodní toky z WMS ortofota a WMS ZM i co se týče do kvality je datový soubor bohatší než například toky z databáze DIBAVOD.

Zprvu byla data toků oříznuta podle zájmového území a posléze generalizována. Jak bylo řečeno, soubor obsahuje velké množství i malých toků, které nejsou zcela důležité. Byly zachovány pouze ty toky mající delší tok než 1 000 m. Takto upravená vrstva byla následně vložena do funkce *Topo to raster*. U tohoto prvku stačilo nastavit pouze parameter *Stream* v tabulce *Type*. *Parametr* slouží k tomu, aby funkce počítala s tím, že se jedná o liniový prvek, který má přednost před bodovými i plošnými daty při výpočtu interpolace. To zajišťuje kvalitní výstup nového DMR. Jedná se o počítání směrů spádů na základě liniové vrstvy.

Nakonec se do výpočtu vložila vrstva vrstevnic, která byla interpolována. Základní interval vrstevnic je 10 m, to znamená, že je celkem 7 zobrazených vrstevnic pod hladinou. Jedná se pouze o hrubou modelaci, takže je třeba uvažovat odchylky od reality. Vrstevnice obsahují atribut *Contour*, jež udává nadmořskou výšku. Ve funkci *Topo to raster* je třeba ve sloupci *Field* nastavit zmíněný atribut pro výšku. Ve vedlejším sloupci *Type* se nastaví atribut pro počítání modelu z vrstevnic tzn. *Contour*.

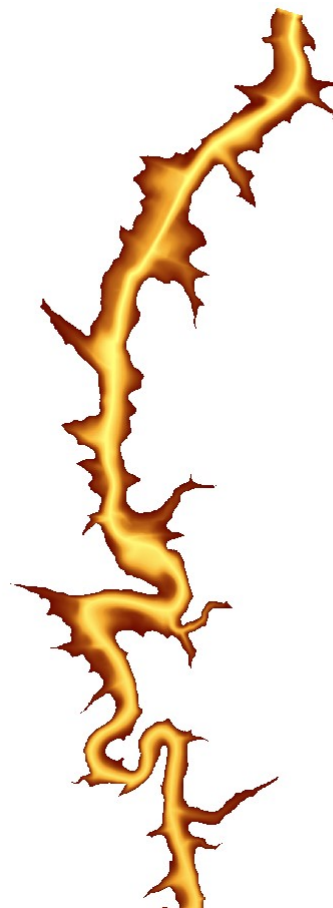
Do pole *output surface raster* se vybere místo pro uložení rastru. Na závěr se upraví *output cell size*, tento parametr určuje výstupní velikost jednoho pixelu. Čím menší hodnota, tím bude menší pixel a zároveň podrobnější model. Hodnota se sama optimálně nastaví na základě vložených vrstev. Jelikož DMR poskytnutý od ČÚZK měl velikost buňky 5 m, je třeba nastavit i u našeho výstupu hodnotu 5. Stejná velikost umožnila následné spojení DMR 4G s naším DMR pod hladinou. Výsledný model má velikost pixelu 5 m, viz obrázek 9.

Jak bylo naznačeno, dále bylo potřeba spojit tyto dva modely. Než došlo k samotnému spojení bylo třeba změnit poskytnutý DRM na spojitý rastr. Původně měl model, co pixel, to jinou hodnotu, a z toho důvodu nebylo možné hodnoty spojit. Tento problém byl vyřešen jednoduchou metodou. Raster poskytnutého DEM se převedl na polygony, funkcí *raster to polygon* se vytvořily polygony spojující body se zaokrouhlenou stejnou nadmořskou výškou. Následně se polygon převedl zpět na raster pomocí funkce *polygon to raster*. Nyní už se jednalo o spojitý rastr. Je jasné, že existují i jiné možnosti, jak by se dala tato situace vyřešit, nicméně v tu dobu to byl pro nás nejrychlejší způsob.

Nyní se mohlo přejít ke spojení obou rastrů. K tomu byla využita funkce *Mosaic to new raster*. Ve funkci se nastaví uložení výstupního souboru a název nového rastru včetně jeho formátu, ideálně (.tif). V parametru *Cellsize* se je třeba zvolit velikost buňky pixelu. Opět byla

v našem případě zvolena hodnota 5. V následující kolonce *Pixel Type* je na výběr více možností. Správnou možnost je třeba vybrat podle jednoho z původního rastru tak, že se v nastavení rastrového souboru přepneme do záložky *Source*, v níž je zápis o bitové struktuře pixelu (*Pixel Depth*). DRM od ČÚZK obsahuje 32 bitovou strukturu, proto byla i ve funkci *Mosaic to new raster* v parametru *Pixel Type* zvolena *32_BIT_FLOAT*. Nakonec se funkci nastavil parametr *Spatial Reference for Raster*. Parametr slouží k nastavení souřadnicového systému nového rastru. Jelikož celá práce je v souřadnicovém systému S-JTSK, byl zvolen tento souřadnicový systém. Poslední parametr se ponechal přednastavený.

Funkce nám vytvořila DMR před stavbnou přehradou. Díky tomu známe téměř věrný model terénu, proto je dále možné spolehlivě spočítat zemskou tíži. Než proběhne samotný výpočet vlivu vodní hmoty na zemskou tíži, je třeba ještě vytvořit modely právě s vodní hladinou, která je v různých měřičských dnech jiná. Modely jsou vytvořeny stejným způsobem.



Obrázek 9. Výřez DMR pod hladinou

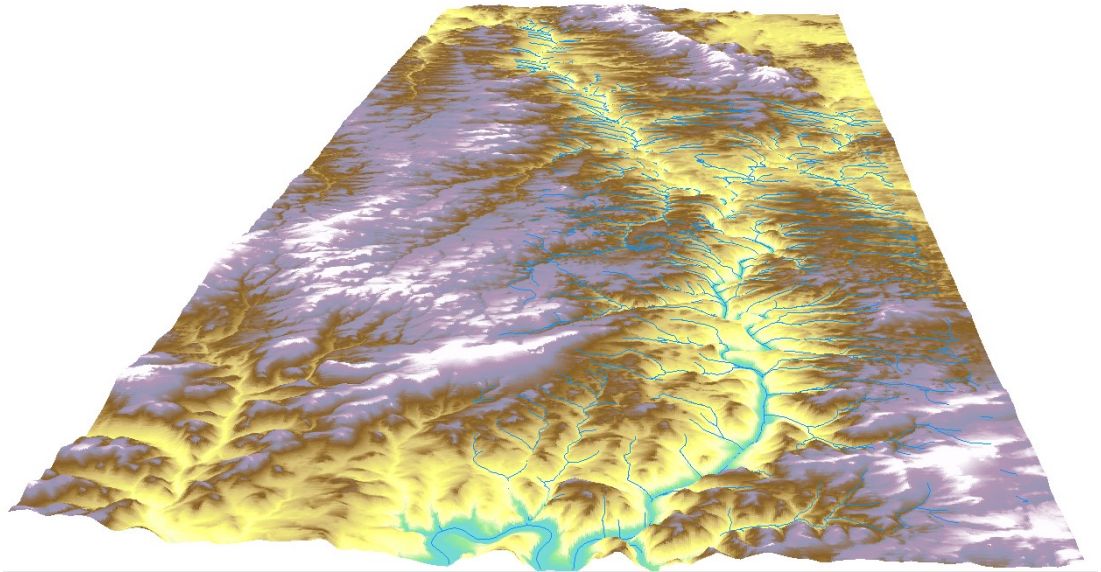
Zdroj: Vlastní zpracování

4.4.3 Vizualizace terénu

Jelikož jsou terény zobrazeny ve 2D, bylo cílem znázornit údolí přehrady. Protože byla práce zpracována v ArcGIS byl využit software od této společnosti. Jímž byl ArcScene. Do ArcScene byly postupně nahrány vytvořené DMR z ArcGIS. Protože se práce zabývala převážně tvorbou modelu, vizualizovaly se pouze dva rastry, a to původní říční koryto a rast s maximální zadrženou vodou v době měření. Přestože bylo možno vytvořit různé animace postupného zaplavování vodou, přeletů nad celou krajinou zájmového území, nebyly tyto efekty pro tuto práci podstatné.

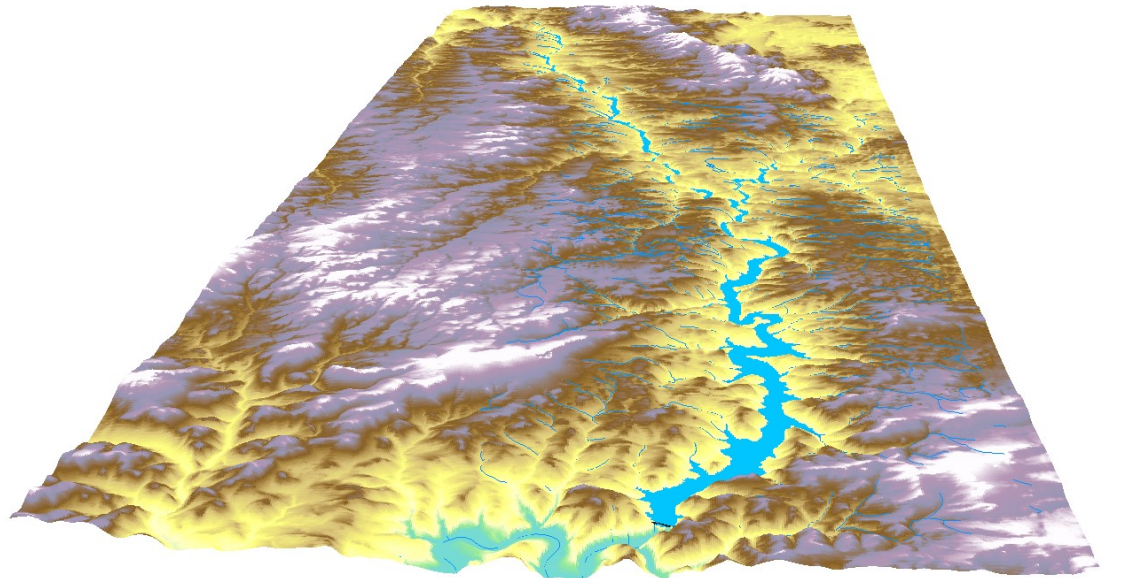
Vizualizace slouží pro demonstrativní účely a ukázkou této tvorby. Současně s rastry byla do projektu přidána vrstva toků, které zlepšují vnímání dřívějšího toku řeky Vltavy. Pro znázornění přehrady se vložila do projektu vrstva hráze tak, aby se zlepšil vjem vodní plochy.

První z rastrových vrstev se v nastavení *Layer Propertis* záložce *Base Heights* nastavil *Floating on a custom surface*. Toto nastavení umožní nastavit výšku základny projektu podle vrstvy. Jelikož se jedná o velkou plochu zájmového území a výškové členění by tak nebylo výrazné, změnila se hodnota v parametru *Factor to convert layer elevation values to scene units* na hodnotu 3. Stejně se postupovalo i u druhého rastru, v němž je znázorněna vodní hladina ve výšce 348 m n. m. Pro vektorovou vrstvu řek bylo nutné nastavit v záložce *Base Heights* v parametru *Floating on a custom surface* vždy tu rastrovou vrstvu DMR, s níž se v tu chvíli pracovalo. Taktéž bylo nutné nastavit hodnotu 3 u parametru *Factor to convert layer elevation values to scene units*. Vrstva hráze byla zpracována stejně jako vodní toky, akorát byla vizualizována pouze u rastru s vodní plochou. V rastru původního údolí hráz nebyla postavena. Původní terén je zobrazen na obrázku č. 10 a terén z 17.7.2020 je zobrazen na obrázku č. 11.



Obrázek 10. Původní údolí toku Vltavy

Zdroj: Vlastní zpracování



Obrázek 11. DMR v době měření 17.7.2020

Zdroj: Vlastní zpracování

4.5 Působení vodní hladiny na zemskou tíži v různých výškách vodní hladiny

Tato kapitola se zaměřuje již na samotný výpočet vlivu vodní hmoty v přehradě Orlík. Metodu a způsob výpočtu prováděl kolega Ing. Otakar Nesvadba, Ph.D. jehož úkolem je ze získaných dat dopočítat model geoidu.

Způsob výpočtu zemské tíže byl převzat z posteru Towards a highly accurate quasigeoid for Czech republic na IUGG2015 (The International Union of Geodesy and Geophysics), který byl prezentován kolegy Ing. Martinem Ledererem, Ph. D. a Ing. Otakarem Nesvadbou Ph.D. V posteru se píše o časové změně terénu vlivem antropogenní činností. Na této prezentaci je uveden příklad těžby v západních Čechách. K výpočtu topokorekce DMT přehrady Orlík byl použit stejný vzorec, jež byl aproximován o hodnoty vztažené k vodní hustotě (Nesvadba a Lederer, 2015). V tomto případě bylo počítáno s hustotou vody $1\,000\text{ kg/m}^3$, aproximovanou do roviny Bouguerovi desky⁶.

Konkrétní příklad výpočtu změny zemské tíže:

K určení změny bylo potřeba vypočítat rozdíl dvou DMR. Pro názornou ukázkou byl vybrán bod u paty pilíře Podolského mostu.

Stanovisko bodu S-JTSK 764492.5 1121978.1 H (bpv) 337.96 m

DMR_51 (původní terén) nepřesný o cca 2,7 m

DMR_337 (polovypuštěná nádrž). U tohoto rastru se projevila značná nepřesnost, která ovlivnila naše výsledky. Tento rozdíl je cca 9 m, který může být dán právě Podolským mostem, jež vytváří při skenování terénu stín.

DMR_348 (normální stav nádrže) výška zadržené vody 348 m n.m.

Mezivýsledky:

Mezivýsledky jsou počítány v rovinné aproximaci s dosahem integrálního jádra 18 km.

DMR51_TCaq_18km: 0,336mGal. Jedná se o fiktivní topokorekci pro terén zcela vypuštěné nádrže DMR_51, pro hustotu vody.

⁶ Bouguerova deska je rovinná hmotná deska s konstantní hustotou. Výška desky se rovná nadmořské výšce daného bodu (VÚGTK, 2021)

MDR337_TCaq_18km: 0,275mGal. Vypočítaná fiktivní topokorekce hustoty vody pro polovypuštěnou nádrž.

DMR348_TCaq_18_km: 0,221mGal. Nyní se jedná o fiktivní topokorekci normálního stavu vodní hladiny v nádrži, pro hustotu vody DMR348.

Výsledky:

DMR51-DMR337_TCaq_18: + 2,34 mGal bráno z dat modelovaných odhadů změn tíže mezi původním stavem bez vody a polovypuštěnou nádrží ve výšce 337 m, vzaté k terénu DMR_337.

Platí tedy

$$G(1951) = G(2019/DMR_337) + 2,34 \text{ mGal}$$

$$\text{Tedy: } -0,2666 \times (DMR_51 - DMR_337) - \text{TCaq_DMR_51} + \text{TCaq_DMR_337} = 2,34 \text{ mGal}$$

Efekt je vysoký právě pro nesrovnalost ve výšce.

Pokud by bod měl stejnou výšku v obou rastroch, počítali bychom:

$$-\text{TCaq_DMR_51} + \text{TCaq_DMR_337} = -0,061 \text{ mGal}$$

Tento výsledek je značně přesnější, protože tíže v roce 1951 by měla být vlivem nepřítomnosti vodní hmoty nižší než při polovypuštěné nádrži v roce 2019.

Přesto však není možné na tomto výsledku stavět, protože i výpočet TCaq_DMR_337 byl ovlivněn chybnou výškou DMR_337.

Z tohoto uvedeného příkladu lze vidět, že kvalita terénu je pro výsledky zásadní. I malá nepřesnost DMR může diametrálně ovlivnit výsledek.

V příloze č. 11, 12 a 13 jsou zobrazeny změny tíže vlivem vodní hmoty v přehradě Orlík.

Červeně zbarvené plochy, které jsou nejvíce ovlivněny právě vodní hmotou jsou zobrazeny v příloze 11, která ukazuje rozdíl mezi původním korytem a výškou hladin v 348 m n. m. V příloze č. 12 jsou více patrné nedostatky způsobené spojením dvou rastrů, čímž docházelo k tvorbě „buffer“ zóny pobřežní linie. Zóny jsou tvořeny hlavně v místech pláží a pomalého poklesu povrchu pod hladinu. U strmých stěn chyba není prokázána. Příloha č. 13 ukazuje rozdíl tíže mezi výškou hladiny v 337 m n. m. a výškou hladiny 348 m n. m. Modrá barva ukazuje na nízkou změnu, která z důvodu chybné identifikace výšky DMR 337 je nesprávná. I zde by se měla vodní plocha zbarvit do červené barvy, tedy vyššího rozdílu.

5 VÝSLEDKY A DISKUSE

Závěrečná část práce se zaměřuje na zhodnocení nejenom výsledků, ale opírá se i o postup tvorby DMR v komerčním softwaru ArcGIS. V kapitole jsou také diskutovány možné způsoby měření a náročnost terénních prací a vypořádání se s nenadálými situacemi.

5.1 Výsledky

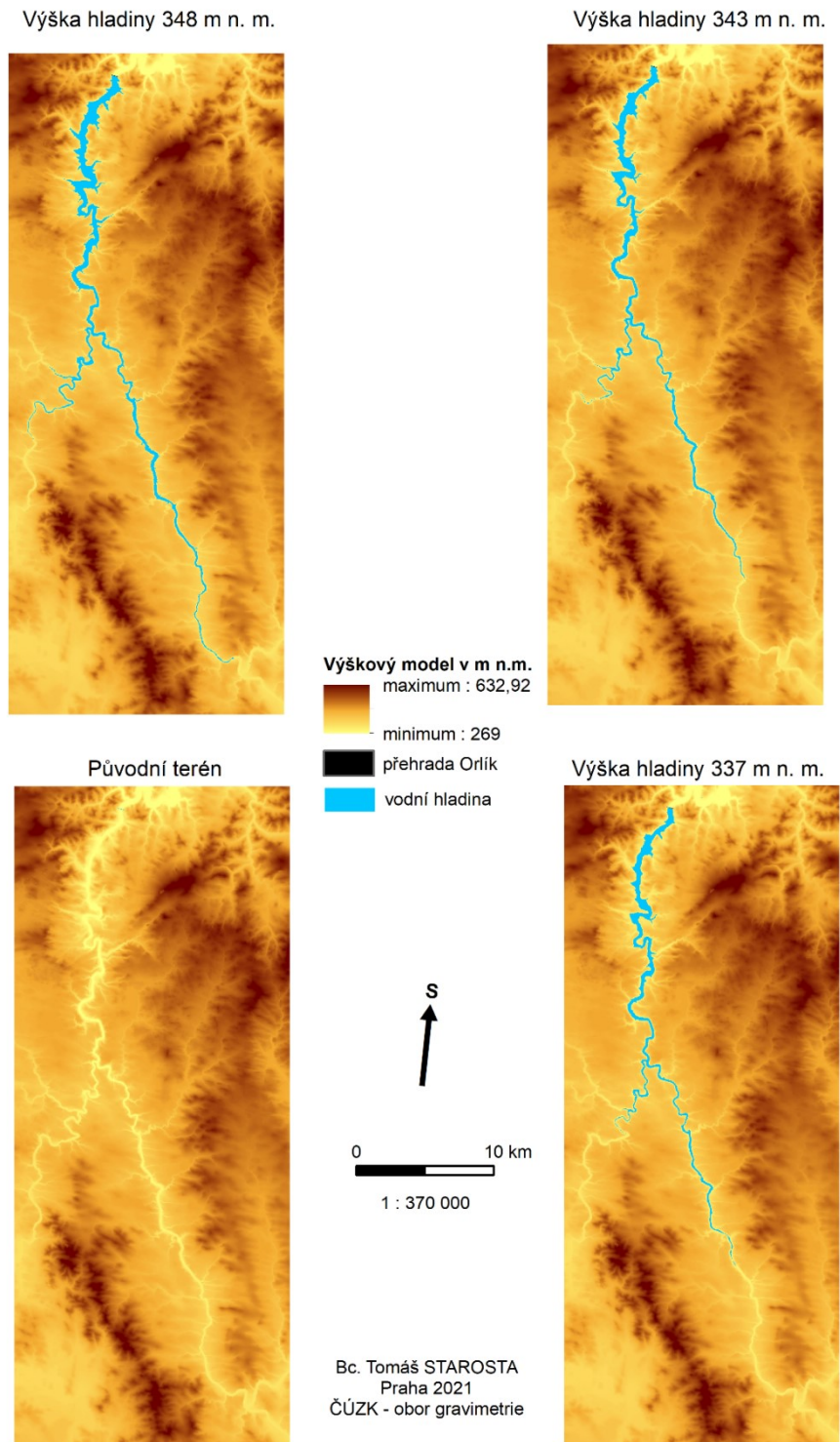
Bylo zjištěno, že postup pro získání spolehlivého modelu terénu k našim účelům byl dostačující. Ohlédneme-li se zpět k získání dat, jedná se převážně o data, která jsou volně dostupná. Ze tří modelů DMR pod hladinou byl vybrán rastrový typ zpracovaný funkcí *Topo to raster*. Funkce, nejenom že dokázala rychle a téměř přesně zpracovat velké území, vyloučila také chybné obkreslování vrstevnic způsobené uživatelskými schopnostmi. Do funkce byly vloženy vrstvy toků, výškových bodů a vrstevnic. Jelikož vrstva vrstevnic byla interpolována, odhalily se u ní nedostatky jako například voda tekoucí do kopce a ostrov uprostřed přehrad. Proto byly některé vrstevnice ručně editovány tak, aby byl model co nejvěrohodnější původnímu terénu. Poté co se odstranily tyto chyby ve vrstevnicích, vytvořil se model, který bylo zapotřebí následně spojit s poskytnutým DMR 4G. I s tímto spojením byly provázány některé komplikace. Z rastru DMR 4G byly vyříznuty buňky zobrazující vodní plochu. Do výřezu byl následně vložen rastr původního terénu, s nímž byl posléze spojen.

Potíž tohoto postupu spočívala v chybějících datech, která nebyla překryta. Jednalo se o menší shluk pixelů v místech napojení DMR 4G s rastrem původního terénu. Záležitost byla nakonec vyřešena tak, že DMR 4G se neodstraňovaly hodnoty zobrazující vodní hladinu, ale pouze DMR 4G překryl vytvořený rastr původního terénu. Na tuto část byla použita funkce z ArcMap *Mosaic to New Raster*. U této funkce je důležité dodržet pořadí vkládání rastů, aby vytvořený terén pod hladinou byl nad DMR 4G.

Postup sice zaručil to, že v nově spojeném rastru se nevyskytoval žádný pixel s nulovou hodnotou, ale i tak nebyl rastr v místech napojení příliš spolehlivý, protože jsou výsledky ovlivněny nepřesnostmi způsobené špatným spojením rastů při pobřeží. Proto je nutné metodu dále rozvíjet a zpřesňovat, abychom zajistili správnost výpočtu zemské tíže. Vzhledem k tomu, že se jedná spíše o koncept, jestli je tato metoda vhodná, bylo počítáno s nepřesnostmi. Tyto nepřesnosti budou následně odstraňovány pro další příklady.

Na dalších velkých objektech (přehrady, lomy, povrchové doly) bude snaha o dosažení stoprocentního modelu. Čtyři vytvořené modely jsou zobrazeny na mapě níže.

POROVNÁNÍ ČTYŘ VYTVOŘENÝCH MODELŮ TERÉNU



Obrázek 12. Mapy DMR přehrady Orlik

Zdroj: Vlastní zpracování

5.2 Diskuze

Jelikož se naše pracoviště zaměřuje na podrobné gravimetrické mapování, v němž se přeměřuje téměř celá Česká republika, je třeba počítat s místy, které nelze změřit. Síť bodů, v níž jsou dva body vzdáleny od sebe cca 2 km je třeba kvalitně změřit. Při měření se potýkáme s problémy jako třeba lesy a vysoké objekty, které stíní zaměření správné polohy. Přesto se tyto nedostatky dají vyřešit mírným posunem bodu mimo les či stínící objekt. Bohužel vyskytují se mnohem větší objekty, v nichž nelze měřit, a to kvůli přístupu. Jsou to právě velké vodní plochy či hnědouhelné doly.

Z toho důvodu byla zpracována tato diplomová práce, která umožní vyřešit pokrytí celé podrobné gravimetrické sítě. Výsledky měření umožní dále zpracovat již změřenou síť okolo přehrady Lipno, která se pyšní největší vodní plochou v České republice. Také budou moci být aplikovány výsledky i na jiné menší vodní plochy.

Dále budeme smět model aplikovat i na zmíněné hnědouhelné doly, která zabírají velkou plochu v severozápadní části naší republiky, ve které proběhlo mezi lety 2019 a 2020 mapování. Terén v této lokalitě je značně pozměněn a my díky této metodě výpočtu a nahrazením si vodní hmotu za odtěženou zeminu, získáme do jisté míry změnu zemské tíže před a po vytěžení. Velkou plochu v severozápadní části naší republiky. V ní přitom mezi lety 2019 a 2020 proběhlo mapování. Terén v této lokalitě je značně pozměněn a my díky této metodě výpočtu a nahrazením si vodní hmotu za odtěženou zeminu získáme do jisté míry změnu zemské tíže před a po vytěžení.

6. ZÁVĚR

Ačkoliv existují na světě daleko větší vodní nádrže, jako třeba Tři soutěsky v Číně nebo přehrada Hoover na řece Colorado v USA, bylo rozhodnuto, že naše měření bude aplikováno právě na Přehradu Orlík.

Orlík byl zvolen nejenom kvůli relativně dobrému dojezdu z Prahy, ale také kvůli jeho velikosti. Protože účinnost gravimetru, respektive naměřené hodnoty jsou sledovány gravimetrem kolmo k zemi, jsou rozdíly nejvíce dosaženy na příkrých svazích. Proto z našeho pohledu jsem se snažili měřit co nejbližší k vodní hladině. Měření proběhla jak na skalách těsně nad vodní hladinou, kde byl tíhový efekt veliký, tak i v blízkosti pláží. Měření proběhlo také u paty přehrady a posléze na hrázi, kde jsme se domnívali, že by mohl být tíhový efekt značný, bohužel měření nebylo v bezprostřední blízkosti paty hráze ale přibližně 100 m od ní. Nakonec se nám vyplatila jiná možnost, a to částečné vypuštění přehrady kvůli opravě lodního výtahu.

Zprvu jsme to nevnímali jako výhodu, ale postupem času se ukázalo, že částečné vypuštění přehrady v roce 2019 bylo pro naše bádání velkým přínosem. Vypuštění odkrylo původní objekty u podolského mostu, a hlavně dřívější observační místo, na kterém byla měřena tíže. Stanovisko bylo následně přeměřeno gravimetrem, aby byla zjištěna změna a kvalita dřívějšího měření. Protože jsme vícekrát měřili body na Podolském mostě, mohli jsme ověřit měření z dřívějších let a prokázat vliv změny vodní hladiny na zemskou tíži. Hodnoty byly jeden měřický úsek naměřené při nižší vodní hladině a další měřický úsek naopak při plném vodním stavu. Jelikož vodní hladina ze všech čtyřech měření nebyla konstantní, bylo možno získat údaje o různých zemských tížích při změně vodní hladiny. Ta nám ukáže, jak moc ovlivňuje vodní hmota zemskou tíži v přehradě Orlík.

Zpracování dat a model byl vytvářen v softwaru ArcGIS. V němž se pracovalo výhradně s volně dostupnými daty jako třeba vektorové prvky vrstevnic, říční toky a plochy. Dále byla použita vrstva DMR 4G přímo ze Zeměměřického úřadu, a to proto, že tato vrstva není nijak generalizována k vytvoření co nejpřesnější kopii zemského povrchu. Protože byly výpočty zpracovávány na rastrové reprezentaci, bylo potřeba vytvořit rastrový model dna z vektorových vrstev. Vytvořený rastrový model byl následně spojen s poskytnutým výškovým modelem DMR 4G.

Následně mohl být proveden výpočet zemské tíže na čtyřech rastrových výstupech. Jeden ukazující na původní koryto řeky před stavbou přehrady. Následující tři modely terénu

obsahovaly hráz přehrady. Lišily se pouze výškou vodní hladiny, která u jednoho modelu byla 348 m n. m., u druhého 342 m n. m. a u třetího 337 m n. m.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- ATLASČESKA, ©2020: Vodní nádrž Štěchovice [on-line] [cit. 2021-03-08]
dostupné z: <https://www.atlasceska.cz/pamatky/vodni-nadrz-stechovice-20865>
- BEZDĚK, A. 2018: Gravimetrická mise CHAMP, GRACE, GOCE. Teoretická geodézie 4. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební. [on-line] [cit. 2019-09-18] dostupné z: [http://www.asu.cas.cz/~bezdek/prednasky/tg4/jednotlive_prezentace/8b_Gravimetricke_mise_CHAMP_GRACE_GOCE_\(TG4\).pdf](http://www.asu.cas.cz/~bezdek/prednasky/tg4/jednotlive_prezentace/8b_Gravimetricke_mise_CHAMP_GRACE_GOCE_(TG4).pdf)
- ČÚZK, ©2018: Historický vývoj zeměměřických činností ve veřejném zájmu a státních orgánů v civilní sféře (1918 – 2018). Český úřad zeměměřický a katastrální, Praha, 270 s.
- ČÚZK, ©2020: Základní geodynamická síť. [on-line] [cit. 2020-12-08] dostupné z: http://nivelace.cuzk.cz/_gdb.aspx
- ČEZ, ©2019: Výroba elektřiny – Voda. [on-line] [cit. 2019-03-08] dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/vyroba-elekriny/obnovitelne-zdroje/voda.html>
- ESA, ©2019: What is Swarm? [on-line] [cit. 2019-09-18] dostupné z: <https://earth.esa.int/web/guest/missions/esa-operational-eo-missions/swarm>
- GEOMATRIX, ©2020: EARTH SIENCE LTD - CG-5 AutoGrav [on-line] [cit. 2020-10-9] dostupné z: <https://www.geomatrix.co.uk/land-products/gravity/scintrex-cg5/>
- HRUBÝ, M. 2005: Geografické informační systémy Slajdy pro předmět GIS. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta informačních technologií, Brno. 50 s.
- JURKINA, I. M., PICK, M. 2006: Numerické výpočty ve světovém geodetickém referenčním systému 1984 (WGS84). Vojenský geografický obzor. č. 1, příloha 2, 15 s.
- KLANICA, R. 2018: Užitá geofyzika. [on-line] [cit. 2019-10-9] dostupné z: <http://geofyzika.webz.cz/mergravi.php>
- KOŠUTOVÁ, K. 201: Přehrady v ČR II: Vodní nádrž Orlík. NAŠE VODA. [on-line] [cit. 2019-03-14] dostupné z: <https://www.nase-voda.cz/prehrady-cr-ii-vodni-nadrz-orlik/>
- KOUBA, J. 2007: Stavba Orlické přehrady a její dopad na život lidí v zátopových oblastech. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Filozofická fakulta, České Budějovice. 146 s. (diplomová práce).
- KUTHAN, J., 2019: Vltavská kaskáda v zajetí některých iluzí. [on-line] [cit. 2021-03-03] dostupné z: <http://www.listy.cz/archiv.php?cislo=191&clanek=011914>
- LINDAUEROVÁ, D. 2013: Metody gravimetrie a zpracování tíhových dat. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta aplikovaných věd, Plzeň. 52 s. (bakalářská práce)
- NESVADBA, O., LEDERER, M., 2015: Towards a highly accurate quasigeoid for Czech republic. Zeměměřický úřad v Praze.

OBEC KAMÝK NAD VLTAVOU, ©2021: Elektrárna. [on-line] [cit. 2020-03-03] dostupné z: <https://www.obeckamyk.cz/index.php/elektrarna>

PAVELKOVÁ-CHMELOVÁ, R., FRAJER, J. 2014: *Základy fyzické geografie 1: Hydrologie*. Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta, Olomouc. 142 s.

PÁNEK, J., TŮMA, O., A KOL. 2018: *Dějiny českých zemí*. Nakladatelství Karolinum, Praha, 665.

Povodí Vltavy, ©2013.: *Vodní dílo Orlík*. [on-line] [cit. 2019-03-03] dostupné z: <http://www.pvl.cz/files/download/vodohospodarske-informace/vodni-dila-a-nadrze/orlik.pdf>

SLÍVOVÁ, A. 2018: *3D model historického údolí Vltavy v oblasti přehradní nádrže Slapy*. Vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Praha. 64 s. (diplomová práce)

STANĚK, V. B., POTOČEK, J. 1940: *Vývoj a způsob měření intenzity tíže v Čechách a na Moravě*. Zeměměřičský obzor, Praha. č. 6, r. 1/28, 20 s.

TV-ADAMS, ©2021: *Přehrada Hněvkovice* [on-line] [cit. 2021-03-03] dostupné z: http://www.tv-adams.wz.cz/prehrada_hnevkovice.html

BROŽA, V., a kol. 2005: *Přehrady Čech, Moravy a Slezska*. Knihy 555, Liberec, 256.

VOLAŘÍK, T. 2016: *Analýza vybraných variací tíhového pole vlivem dynamiky hmot*. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Brno. 100 s. (disertační práce).

VÚGTK, ©2021: *Terminologický slovník zeměměřičství a katastru nemovitostí*. [on-line] [cit. 2021-03-03] dostupné z: https://www.vugtk.cz/slovník/3568_bouguer-plate

Seznam datových zdrojů

ŠERLÁK, M. 2019: *Vodní stav kóty horní hladiny vodního díla Orlík 18.7.2019 Povodí Vltavy*. Praha. 18.7.2019_hl.Or.xls

ŠERLÁK, M. 2019: *Vodní stav kóty horní hladiny vodního díla Orlík 26.9.2019 Povodí Vltavy*. Praha. 26.9.2019_hl.Or.xls

ŠERLÁK, M. 2019: *Vodní stav kóty horní hladiny vodního díla Orlík 20.11.2019 Povodí Vltavy*. Praha. 20.11.2019_hl.Or.xls

ARCHIVNÍ MAPY 2019: *Topografické mapy v systému S – 1952 1: 25 000*. ČUZK

GEOFABRIK, ©2018: *OpenStreetMap – Česká republika* [on-line] [cit. 2020-10-9] dostupné z: <https://download.geofabrik.de/europe/czech-republic.html>

GEOMATRICX, 2020: *EARTH SIENCE LTD - CG-5 AutoGrav* [on-line] [cit. 2020-10-9] dostupné z: <https://www.geomatrix.co.uk/land-products/gravity/scintrex-cg5/>

PŘÍLOHY

PŘÍLOHA 1. ÚDOLÍ VLTAVY POD PODOLSKÝM MOSTEM	55
PŘÍLOHA 2. MAPA BODŮ ORLÍK JIH	56
PŘÍLOHA 3. MAPA BODŮ ORLÍK SEVER	56
PŘÍLOHA 4. GRAVIMETRICKÝ ZÁPISNÍK 18-7-2019.....	57
PŘÍLOHA 5. NIVELAČNÍ ZÁPISNÍK 18-7-2019	58
PŘÍLOHA 6. GRAVIMETRICKÝ ZÁPISNÍK 26-9-2019.....	59
PŘÍLOHA 7. GRAVIMETRICKÝ ZÁPISNÍK 20-11-2019.....	60
PŘÍLOHA 8. GRAVIMETRICKÝ ZÁPISNÍK 17-7-2020.....	61
PŘÍLOHA 9. NIVELAČNÍ ZÁPISNÍK 17-7-2019	62
PŘÍLOHA 10. NOVÁ STABILIZACE BODU ZGS PLANÁ NAD LUŽNICÍ.....	63
PŘÍLOHA 11. MAPA ROZDÍLU TÍŽE PŮVODNÍHO TERÉNU A V. HLADINY 348 M .64	
PŘÍLOHA 12. MAPA ROZDÍLU TÍŽE PŮVODNÍHO TERÉNU A V. HLADINY 337 M .65	
PŘÍLOHA 13. MAPA ROZDÍLU TÍŽE V. HLADINY 337 M N. M. A 348 M N. M.	66

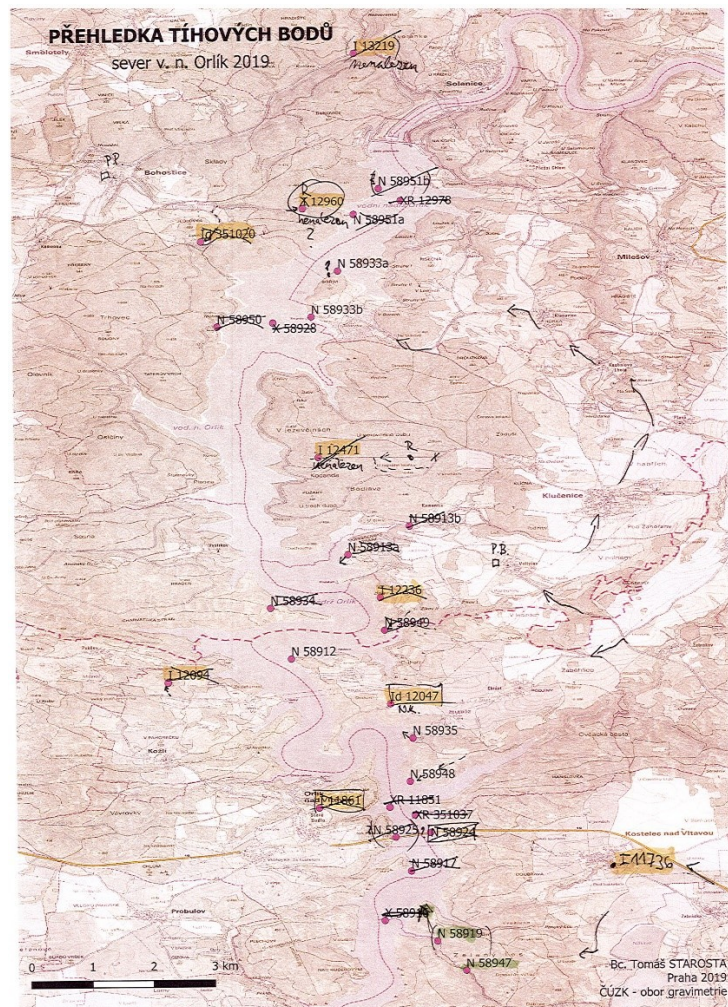
Příloha 1. Údolí Vltavy pod Podolským mostem



Příloha 2. Mapa bodů Orlík jih



Příloha 3. Mapa bodů Orlík sever



ZÁPISNÍK PRO MĚŘENÍ GRAVIMETREM SCINTREX - GRAVMAP										
ČÍSLO A NÁZEV DENNÍHO ÚSEKU							typ gravimetru: 25 - Scintrex CG5			
25		Gravmap - Orlik - sever								
GRAVIMETR		DATUM			OBSERVÁTOR		DOPRAVNÍ PROSTŘEDEK			
typ	číslo	t °C	den	měsíc	rok	T	kód	popis	kódy: 1-auto, 5-pěšky, ručně	
25	125	67	18	7	2019	2		STAROSTA	1 VWC 4A7 4983	
MĚŘENÍ NA BODECH					počet měření		počet odečtení jemného šroubu			
					23		1			
číslo tíhového bodu	číslo bodu v databázi	čas		čtení šroubu		výška cm	O	poznámka		
		hod.	min.	hrubé čtení	jemné čtení					
1	Kamýk g.v	9	11	5554	192	49,2		GPS měřeno na hřeb (9 mm)		
2	01	9	40	5548	776	49,0		měřeno pod přehradou		
3	Bohostice	10	29	5524	083	50,0		K1		
4	R 21960	11	02	5531	675	48,5				
5	N 58951a	11	23	5536	084	48,2				
6	I 351020	11	42	5520	179	45,2				
7	N 58950	12	21	5533	762	43,0		cca 80cm nad hladinou		
8	I 11861	13	30	5504	906	46,7		K7 GPS 35cm SV		
9	N 58917	14	08	5508	419	46,1				
10	N 58924	14	29	5504	158	47,2				
11	Voltýřov	14	50	5511	417	46,9		K3		
12	N 58949	15	19	5519	069	43,7				
13	I 12236	15	49	5507	105	42,5		TB - v. od hranoly 16x16, na terén		
14	N 58913a	16	21	5527	938	45,3		cca 30cm nad hladinou		
15	N 58913b	16	41	5527	665	41,6		cca 50cm nad hladinou		
16	Voltýřov	16	57	5511	477	46,7		K3		
17	R 12482	18	10	5513	688	44,8				
18	02	18	38	5533	349	47,3		měřeno na hrázi		
19	Bohostice	18	53	5524	295	47,5		K1 GPS o 80cm posunutá na SZ		
20	N 58934	19	23	5521	424	46,5				
21	I 12094	19	41	5512	061	44,0		TB - 2. od hranoly 16x16, na terén		
22	I 11867	19	59	5505	158	47,6		GPS 45 JZ K2		
23	Čimelice	20	18	5505	472	47,2		hřeb 8 mm		
24										
25										
26										
27										
28										
29										
30										
31										
32										
33										
34										
35										

výška hřebu 0,9 cm

18. 7. 2019

Crav Map - TB21 - „Orlík - sever“

Zázpisník pro technickou a plošnou nivelaci

Číslo bodu		Čtení na lati			Nadmořská výška horizontu stroje	Nadmořská výška bodu		Poznámka
přestavového	bočního	vzad +	vpřed -	bočně -		přestavového	určeného bočně	
		Id 351020						hájěnka „Lavičky“
Ih2-142h		0602				440,415		(čp. 33, 1957/1981)
třh. bod			1817		-1,215			trávník
GPS stanov.				1795	← -1,193	(?) možná chyba zadečtu		trávník, cca 0,4m V od třh. bodu
Ih2-142h		0747				440,415		
GPS stanov.				1950	← -1,203 x			
třh. bod			1962		-1,215 ✓	439,212		stanoviště GPS, J před čp. 33
					-1,215	439,200		třh. bod, J před čp. 33
		N58950						
cca GPS stan.		1133						terén, stanoviště GPS
hladina			1800		-0,667			hladina vody - Orlík
					bez kontroly			
		I 11861						
Ih3-157a		2935				417,338		N.K., č.zn. 1942/1981
třh. bod			0315		+2,680			
Ih3-157a		2934				417,338		
třh. bod			0254		+2,680 ✓			
GPS excentr.				0257		420,015		GPS excentr. třh. bodu
					+2,680	420,018		třh. bod. ident. A35/A96 v křižov.
		I 12236						
TB hranol		1277				440,74		TB hranol 16x16, hlava, trigon
třh. bod			1444		-0,167			č. 30110090 č. 30060010
		přímě měřeno na lati			-0,173 ✓			
					-0,170	440,57		třh. stanoviště V od TB
		I 12094						
deska gravim.		0000						
TB hranol			0388			417,25		TB hranol 16x16, hlava, trigon
třh. bod Z				0430	0'			č. 30110090
třh. bod V				0445				
					bez kontroly			
					-0,05	417,20		třh. stanoviště Z od TB

ZÁPISNÍK PRO MĚŘENÍ GRAVIMETREM SCINTREX - GRAVMAP

ČÍSLO A NÁZEV DENNÍHO ÚSEKU typ gravimetru: 25 - Scintrex CG5

58. Orlík jih Gravmap

GRAVIMETR DATUM OBSERVÁTOR DOPRAVNÍ PROSTŘEDEK

typ číslo t °C den měsíc rok T kód popis kódy: 1-auto, 5-pěšky, ručně

25 125 67 26 09 2019 2 STAROSTA 1 VUC

MĚŘENÍ NA BODECH počet měření 16 počet odečtení jmenného šroubu 1

číslo tíhového bodu	číslo bodu v databázi	čas		čtení šroubu		výška cm	O	poznámka
		hod.	min.	hrubé čtení	jenné čtení			
1	3241.01	Čimelice	9	59	5523	176	47,7	GPS měřeno na desku
2	9236.01	N62098	10	21	5500	733	46,1	
3	9236.02	N61034	10	47	5506	296	46,3	bod označen jako 9239.02
4	9236.03	N61035	11	01	5504	871	44,0	
5	9236.04	N62101	11	17	5512	899	47,3	K1
6	9236.05	N62096	11	35	5507	555	47,4	K2
7	9236.06	N62095	11	52	5514	755	46,8	
8	9236.07	N62100	12	18	5502	681	45,2	
9	N621	1						
10	9236.08	N62099	12	40	5498	989	46,7	
11	9236.09	N62097	12	56	5498	053	46,4	
12	9236.10	N58910	13	16	5504	514	45,8	
13	9236.05	N62096	13	31	5507	614	47,5	K2
14	9236.04	N62101	13	47	5512	953	47,7	K1
15	9236.01	N58945	14	06	5512	142	44,1	K1
16	9236.12	I11068	14	19	5505	354	48,5	0,831 m níže než niv. značka *
17	3248.00	Zvík. podhra	14	36	5505	619	48,3	
18								
19								
20								
21								
22								
23								
24								
25								
26								
27								
28								
29								
30								
31								
32								
33								
34								
35								

* změřeno i GPS

ZÁPISNÍK PRO MĚŘENÍ GRAVIMETREM SCINTREX - GRAVMAP

ČÍSLO A NÁZEV DENNÍHO ÚSEKU typ gravimetru: 25 - Scintrex CG5

77. Gravimetrický mapování Orlik

GRAVIMETR DATUM OBSERVÁTOR DOPRAVNÍ PROSTŘEDEK

typ číslo t°C den měsíc rok T kód popis kódy: 1-auto, 5-pěšky, ručně

25 125 67 20 11 2019 1 STAROSTA 1 VWC 417 4983

MĚŘENÍ NA BODECH počet měření 8 9 počet odečtení jemného šroubu 1

číslo tíhového bodu	číslo bodu v databázi	čas		čtení šroubu		výška		poznámka
		hod.	min.	hrubé čtení	jemné čtení	cm	0	
3241.01	Čimelice	9	48	5535	780	46,8		
9254.01								
3261.02	Písek	10	14	5512	753	46,4		Hřeb 10 mm
9254.01	I 370687	10	45	5515	534	46,2		
	I 370687				331			
9254.02	I 370684	11	24	5516	094	46,2		
9254.03	I 370686	11	58	5512	437	46,3		
9254.04	N 62102	12	15	5524	681	42,5		
9254.05	R 370685	12	41	5526	618	41,1		
3248.00	Zvlk. podh				016			
3248.00	Zvlk. Podh.	13	59	5518	229	47,5		
3241.01	Čimelice	14	17	5535	911	47,1		
13								
14								
15								
16								
17								
18								
19								
20								
21								
22								
23								
24								
25								
26								
27								
28								
29								
30								
31								
32								
33								
34								
35								

ZÁPISNÍK PRO MĚŘENÍ GRAVIMETREM SCINTREX - GRAVMAP

ČÍSLO A NÁZEV DENNÍHO ÚSEKU typ gravimetru: 25 - Scintrex CG5

28 Gravimetrické mapování Orlik

GRAVIMETR DATUM OBSERVÁTOR DOPRAVNÍ PROSTŘEDEK
 typ číslo t °C den měsíc rok T kód popis kódy: 1-auto, 5-pěšky, ručně

25 125 67 17 7 2020 2 STAROSTA 1 VUC 477

MĚŘENÍ NA BODECH počet měření počet odečtení jemného šroubu

číslo tíhového bodu	číslo bodu v databázi	čas		čtení šroubu		výška cm	O	poznámka
		hod.	min.	hrubé čtení	jemné čtení			
1	3241.01	Čimelice	9	24	5580	017	48,3	
2	9272.01	I 351052	9	52	5562	047	48,1	58,5 za + grav 10,5 značka a hladina kamenná
3	9272.02	I 11203	10	05	5563	193	45,1	
4	3248.00	Zuřk. podh	10	46	5562	352	42,2	hřeb 10cm
5	9272.03	N 58921	11	14	5565	969	42,1	neče GPS!
6	9272.04	-11-	11	25	5565	458	47,5	40cm výška páteří s gravimetrem 86,5
7	9272.05	I 351054	11	43	5558	121	47,4	K1
8	9272.06	R 10886	11	56	5560	477	45,4	
9	9272.07	N 58943	12	17	5560	597	44,5	
10	9272.08	I 10593	12	33	5560	732	41,1	výška ke kameni 24,5 (TB č 16)
11	9272.05	I 351054	12	51	5558	175	47,4	K1
12	9272.09	I 11736	13	32	5560	715	47,1	K3
13	9272.10	R 11279	14	05	5575	952	44,5	Ih-279/K2, niv. nenalezen
14	9272.11	N 58935	14	21	5590	933	46,3	
15	9272.12	I 12047	14	40	5585	899	43,0	niv. nenalezen
16	9272.13	N 58912	14	56	5599	699	47,1	15cm nad zemí 40 nad hladinou
17	9272.10	R 12119	15	12	5576	025	47,1	K2 - prohozená poloha grav. s GPS
18	9272.14	(3209.10)	15	25	5586	355	46,9	Ih z minulého roku Volčívou
19	9272.15	N 58933B	15	46	5606	828	43,2	
20	9272.16	N 58933A	16	03	5608	037	43,8	
21	9272.17	N 47382	16	31	5598	334	45,5	
22	3238.02	Kamýk	16	48	5629	168	46,7	
23	9272.18	R 13629	17	03	5625	756	43,2	
24	9272.19	R 12859	17	31	5590	620	45,2	
25	9272.14	Volčívou	17	48	5586	475	46,4	(3209.10)
26	9272.09	I 11736	18	08	5560	934	47,3	K3
27	9272.05	I 351054	18	31	5558	421	47,4	K1
28	9272.20	R 351066	19	08	5557	248	48,4	žel. most, nad V pilířem
29	9272.24	R 370684	19	32	5560	614	47,8	Podolsko most, V konec
30	9272.22	R 370686	19	49	5557	213	47,9	Podolsko most, střed-pilíř
31	9272.23	R 370687	20	02	5559	912	48,2	Podolsko most, Z konec
32	3261.02	Pisec	20	31	5557	299	47,5	
33								
34								
35								

17. 7. 2020

Zázpisník pro technickou a plošnou nivelaci

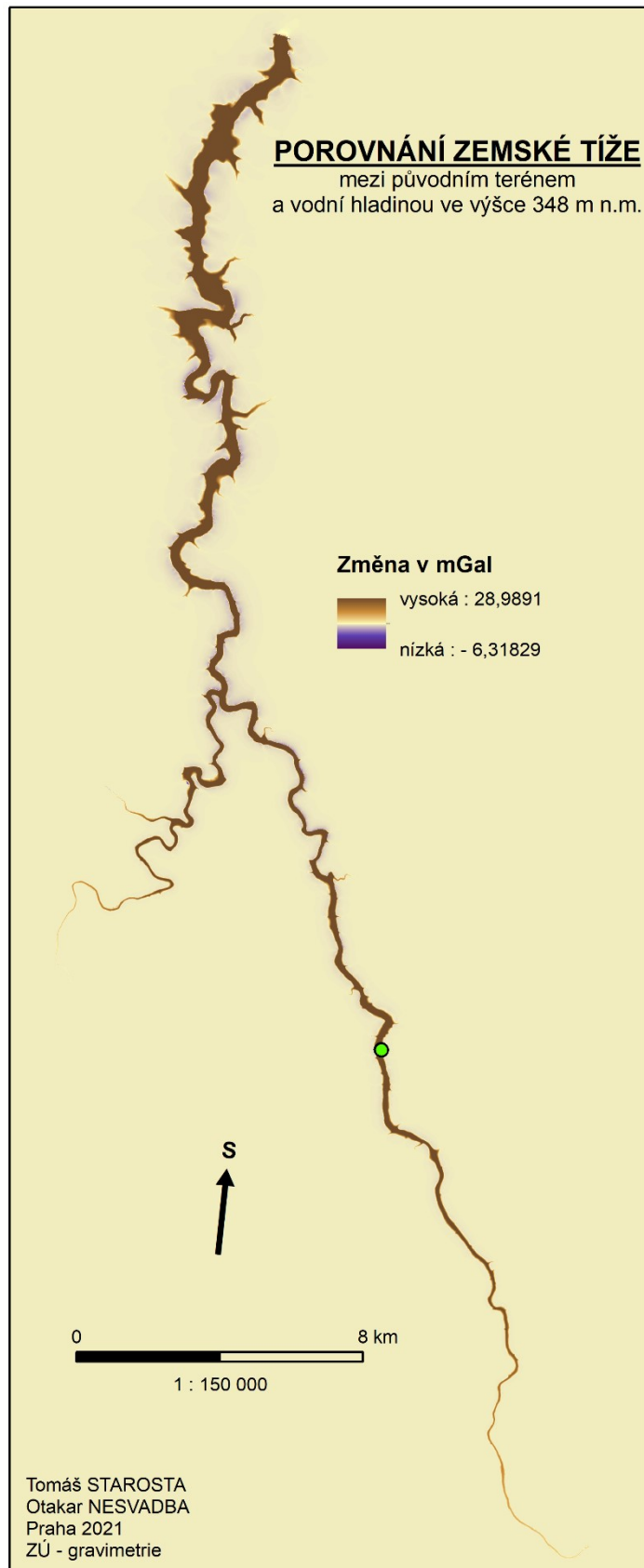
Číslo bodu		Čtení na lati			Nadmořská výška horizontu stroje	Nadmořská výška bodu		Poznámka
přesta- vového	bočného	vzad +	vpřed -	bočně -		přestavového	určeného bočně	
Id 11203								ZBONÍN, B.M., vozč.
Ij1-31	1505				416,192	414,687		(niv. 2003) H III, v podstavci stan. stanoviško gravim. z GPS změna postavení stroje + obs. změna postavení latě
9272.02			1475			414,717	+0,030	
9272.02			1476			414,715		
Ij1-31	1504				416,191	414,687	+0,028	
			průměr:		9272.02	414,716		výsl. výška stanoviška Gr.
I 351054								KUČER, kaple
Ij4-22	0738				428,400	428,662		(niv. 2003) ČV, 0,3m nad zemí stanoviško gravim. postavení GPS změna postavení stroje + obs. postavení GPS stanoviško gravim.
9272.05			2293			427,107		
	GPS			2285		427,115	427,115	
	GPS			2205			427,117	
9272.05			2211			427,111		
Ij4-22	0660				429,322	428,662		
			průměr:		9272.05	427,109		výsledná výška stanoviška stanoviško GPS výše o 7mm
					GPS		427,116	
I 11736								KOSTELEČ n. VLT. č. 38
Ij-135	1073				485,772	484,699		(niv. 1942) ČV, 0,8m nad zemí stanoviško gravim. změna postavení stroje stanoviško gravim.
9272.09			1496			484,276	-0,423	
9272.09			1468			484,277		
Ij-135	1046				485,745	484,699	-0,422	
			průměr:		9272.09	484,276		výsledná výška stanoviška původní stanoviško z r. 1946 a r. 1958 o 0,271m níže!



Zdroj:

http://nivelace.cuzk.cz/_gdbImage.aspx?id=YXWiGR7z6t5gQBZMh3jzV%2bW2rIDgfyNiCB30FExgv%2bK0q7%2fjTH3%2fjtCOjT%2fZwaf%2bXptaXH0P3PiZyjdrQcqaNkACIPL8YPOpjXjgE7APQeDLnFkEBOU8u2MM7kFjpnRt

Příloha 11. Mapa rozdílu tíže původního terénu a v. hladiny 348 m



Příloha 12. Mapa rozdílu tíže původního terénu a v. hladiny 337 m



Příloha 13. Mapa rozdílu tíže v. hladiny 337 m n. m. a 348 m n. m.

