

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

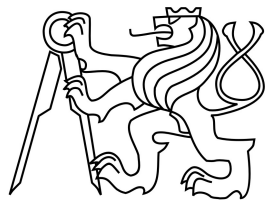
DIPLOMOVÁ PRÁCE

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

PROGRAM GEODÉZIE A KARTOGRAFIE

OBOR GEODÉZIE A KARTOGRAFIE



DIPLOMOVÁ PRÁCE

VYHODNOCENÍ POSUNŮ A PŘETVOŘENÍ HRÁZE
RETENČNÍ NÁDRŽE

Vedoucí práce: Doc. Ing. Jaromír Procházka, CSc.

Katedra speciální geodézie



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: <u>BERÁNKOVÁ</u>	Jméno: <u>BARBORA</u>	Osobní číslo: _____
Zadávající katedra: <u>Katedra speciální geodézie (K154)</u>		
Studijní program: <u>Geodézie a kartografie</u>		
Studijní obor: <u>Geodézie a kartografie</u>		

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: <u>VYHODNOCENÍ POSUNŮ A PŘETVOŘENÍ HRÁZE RETENČNÍ NÁDRŽE</u>	
Název diplomové práce anglicky: <u>Evaluation of dam's shifts and deformations in retention reservoir</u>	
Pokyny pro vypracování: Diplomová práce bude obsahovat zpracování měření posunů a přetvoření na retenční hrázy v Hodějovicích u Českých Budějovic. Dále pak určení přesnosti měření a zhodnocení těchto posunů a přetvoření.	
Seznam doporučené literatury:	
Jméno vedoucího diplomové práce: <u>doc. Ing Jaromír Procházka, Csc.</u>	
Datum zadání diplomové práce: <u>19.1.2017</u> Termín odevzdání diplomové práce: <u>21.5.2017</u>	
_____ Podpis vedoucího práce	_____ Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

_____ Datum převzetí zadání	_____ Podpis studenta(ky)
-----------------------------	---------------------------

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá zhodnocením etapového měření svislých posunů pozorovaných bodů na hrázi Odkaliště Hodějovice, vyhodnocením přesnosti měřených veličin, hodnocením stability bodů vztažné sítě, porovnáním více způsobů vyrovnání nivelační sítě a vyhodnocení výsledných svislých posunů.

KLÍČOVÁ SLOVA

přesná nivelace,

odkaliště,

svislé posuny,

podmínkové vyrovnání

ABSTRACT

Master thesis is based on evaluation of the phase measurement of vertical shifts on the waste pond Hodejovice. It includes assessment of measured quantities accuracy, stability of reference network points, comparing multiple ways of leveling network adjustment and evaluation of resultant vertical shifts.

KEYWORDS

precision levelling,

waste pond,

vertical shifts,

adjustment

Prohlášení

Prohlašuji, že diplomovou práci na téma „Vyhodnocení posunů a přetvoření hráze retenční nádrže“ jsem vypracovala samostatně pouze za odborného vedení vedoucího práce pana Doc. Ing. Jaromíra Procházky, CSc. Použitou literaturu a podkladové materiály uvádím v seznamu zdrojů.

V Praze dne

.....

(podpis autora)

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala doc. Ing. Jaromíru Procházkovi, Csc. za jeho odborné vedení, připomínky a pomoc v průběhu zpracování této práce a hlavně za jeho trpělivost a čas, který mi věnoval. Dále pak doc. Ing. Miroslavu Hampacherovi, Csc. a Ing. Pavlu Kejklíčkoví za jejich odborné konzultace. Také děkuji všem, kteří mě ve studiu jakkoli podporovali, hlavně mým rodičům.

OBSAH

1	ÚVOD	9
2	ODKALIŠTĚ HODĚJOVICE	11
2.1	Historie a vývoj	11
2.2	Současnost.....	12
2.3	Parametry a součásti Odkaliště	13
3	MONITOROVACÍ SYSTÉM.....	16
3.1	Stabilizace a umístění bodů vztažné sítě.....	17
3.2	Stabilizace a umístění pozorovaných bodů	20
4	PŘÍSTROJE A POMŮCKY	23
5	ROZBORY PŘESNOSTI.....	25
5.1	Vyhodnocení přesnosti.....	25
5.2	Rozbor přesnosti před měřením	27
5.3	Rozbor přesnosti při měření	28
5.4	Rozbor přesnosti po měření	29
6	METODA MĚŘENÍ	35
6.1	Etapové měření.....	35
6.2	Přesná nivelace	36
6.3	Postup měření svislých posunů a jeho přesnost	38
7	ZPRACOVÁNÍ	40

7.1	Podmínkové vyrovnání – 1. výpočet	41
7.1.1	Podmínkové rovnice	42
7.1.2	Příprava pro výpočetní program.....	45
7.1.3	Výpočet a Výstup.....	47
7.2	Podmínkové vyrovnání – 2. výpočet.....	48
7.3	Výpočet svislých posunů a určení mezního posunu	52
8	VÝSLEDKY A ZHODNOCENÍ	54
8.1	Výsledky prvního výpočtu	54
8.2	Porovnání prvního a druhého výpočtu.....	67
8.3	Porovnání 1. výpočtu s „ručním vyrovnáním“	69
8.4	Porovnání 1. výpočtu s výsledky z firmy.....	72
9	ZÁVĚR.....	74
	POUŽITÉ ZDROJE.....	77
A	PŘÍLOHY.....	79
A1	Nivelační údaje bodu č. 4 ČSNS.....	79
A2	Nivelační údaje bodu č. 5 ČSNS.....	80
A3	Podmínkové rovnice a schémata úseků	81

1 ÚVOD

Zájmovým objektem této diplomové práce je Odkaliště Hodějovice (dále jen „Odkaliště“) nacházející se v Jihočeském kraji u Českých Budějovic, na území tří katastrálních území: České Budějovice, Srubec a Staré Hodějovice. Od roku 1995 zde pražská geodetická firma GeoNet Pro, s.r.o. provádí zaměření bodů monitorovacího systému pro sledování stability pěti hrází Odkaliště. Tato firma mi poskytla data ze všech etap měření a rovněž mi umožnila, abych se mohla jako měřič účastnit měření některých etap. Zadavatelem prací je majitel Odkaliště Hodějovice – Teplárny České Budějovice, a.s.

Hrázový systém odkalovacích nádrží je velmi složitá stavba, jehož funkčnost a stabilita je ovlivňována mnoha činiteli jako například zatížením hrázového tělesa naplaveninami, výškou hladiny podzemní vody, množstvím průsakových vod, vlastnostmi podloží aj. Tyto vnější faktory pak mohou způsobit posuny a přetvoření hrázového tělesa. Za účelem sledování těchto nestabilit byl vybudován monitorovací systém, skládající se ze 49 bodů, stabilizovaných na pěti hrázích odkalovací nádrže. Na základě vyhodnocení výsledků měření a prokázaných posunů či přetvoření hráze, rozhoduje statik o dalším provozu díla a o případných opatřeních pro zajištění jeho bezpečnosti a funkčnosti.

Cílem této práce je vyhodnocení svislých posunů pozorovaných bodů s časovým rozstupem dvou let mezi jednotlivými etapami, tedy konkrétně 10

etap plus základní etapa v roce 1995. Dále se tato práce zabývá hodnocením stability bodů vztažné sítě a na ní navazující možnost rozšíření připojovacích bodů, s porovnáním více způsobů vyrovnání nivelační sítě. Na závěr vyhodnocuje výsledné svislé posuny z různých způsobů vyrovnání a dosaženou přesnost měření.

2 ODKALIŠTĚ HODĚJOVICE

Odkaliště je dle ČSN 75 3310 [5] přírodním nebo uměle vytvořeným prostorem, který slouží pro trvalé nebo dočasné uskladnění převážně hydraulicky ukládaného kalu, přičemž je jeho součástí i hrázový systém. Odkaliště je vodní dílo, jehož provozovatelé jsou povinni dodržovat obecné povinnosti vlastníků vodních děl, uvedené ve vodním zákoně. Jednou z těchto povinností je především povinnost vlastníků udržovat vodní dílo v řádném stavu tak, aby nedocházelo k ohrožování bezpečnosti osob, majetku a jiných zájmů.

2.1 HISTORIE A VÝVOJ

Toto Odkaliště původně sloužilo k ukládání popelovin z Teplárny České Budějovice, a.s. a z Výtopny Vráto. Jeho provoz byl zahájen v roce 1982 s plánem na postupné vybudování 10 hrází, tedy již při projektování a následné výstavbě byla velikost stavby navržena tak, aby zde s přibývajícím materiálem (popílkem) mohlo být vystavěno dalších 9 hrází s odpovídající šířkou. Jak se popílek postupně navážel do Odkaliště a tím se zvyšovala hladina vody, musela být vystavěna další hráz, což se při plné funkčnosti Teplárny stávalo přibližně každé dva roky.

S dokonalejším spalováním a s kvalitnějším nízkosirnatým uhlím se množství odpadu z tepláren snížilo více než o polovinu. S pokročilou technologií zpracování tohoto odpadu – popílku – již není obecně odkališť potřeba a

popílek je dnes využíván k revitalizaci krajiny, může se po částečné úpravě použít na výrobu betonu nebo umělého kameniva, zčásti se používá na vyplnění prázdných prostor ve vytěžených dolech, má uplatnění i v zemědělství, jelikož sorpční schopnost popílku pro vodu je vysoká, proto i za velkého sucha rostliny pěstované na popílku nevadnou. Je chemicky velmi stálý a nemá žádné negativní vlivy na životní prostředí. Některé popílkové se používají jako účinné náplně filtrů pro čištění odpadních vod. Produkt odsíření – energosádrovec – je vhodnou surovinou pro výrobu sádrokartonových desek. Díky plné využitelnosti vedlejších produktů z Teplárny České Budějovice se tedy stalo to, že byla přibližně v roce 1990 postavena poslední – pátá – hráz. Přibližně v roce 2004 bylo ukončeno plavení popílku do Odkaliště, které následně sloužilo až do roku 2011 jen k ukládání strusky. Od té doby se do Odkaliště nic neukládá.

2.2 SOUČASNOST

V dnešní době je provoz Odkaliště zastaven a probíhá zde pouze kontrola a údržba svahů hrází a povrchového odvodnění, sledování úrovně hladiny v odkališti, proplachování struskovodů čistou vodou a v neposlední řadě monitoring deformace hrází, jehož svislá složka je předmětem mé diplomové práce. V roce 2008 dokonce začala příprava rekultivace, při které se však zjistilo, že Odkaliště hostí mnoho ohrožených a vzácných druhů živočichů (brouci, motýli, ptáci,...). V současné době je budoucnost Odkaliště stále nejistá. Jestliže by mělo dojít k rekultivaci, pak by došlo nejprve k obnovení Hodějovického potoka a s ním i severní části Odkaliště. Stále se ale o obnově

jedná, právě kvůli výše zmíněným chráněným živočišným druhům, kterým toto prostředí vyhovuje. [4]

2.3 PARAMETRY A SOUČÁSTI ODKALIŠTĚ

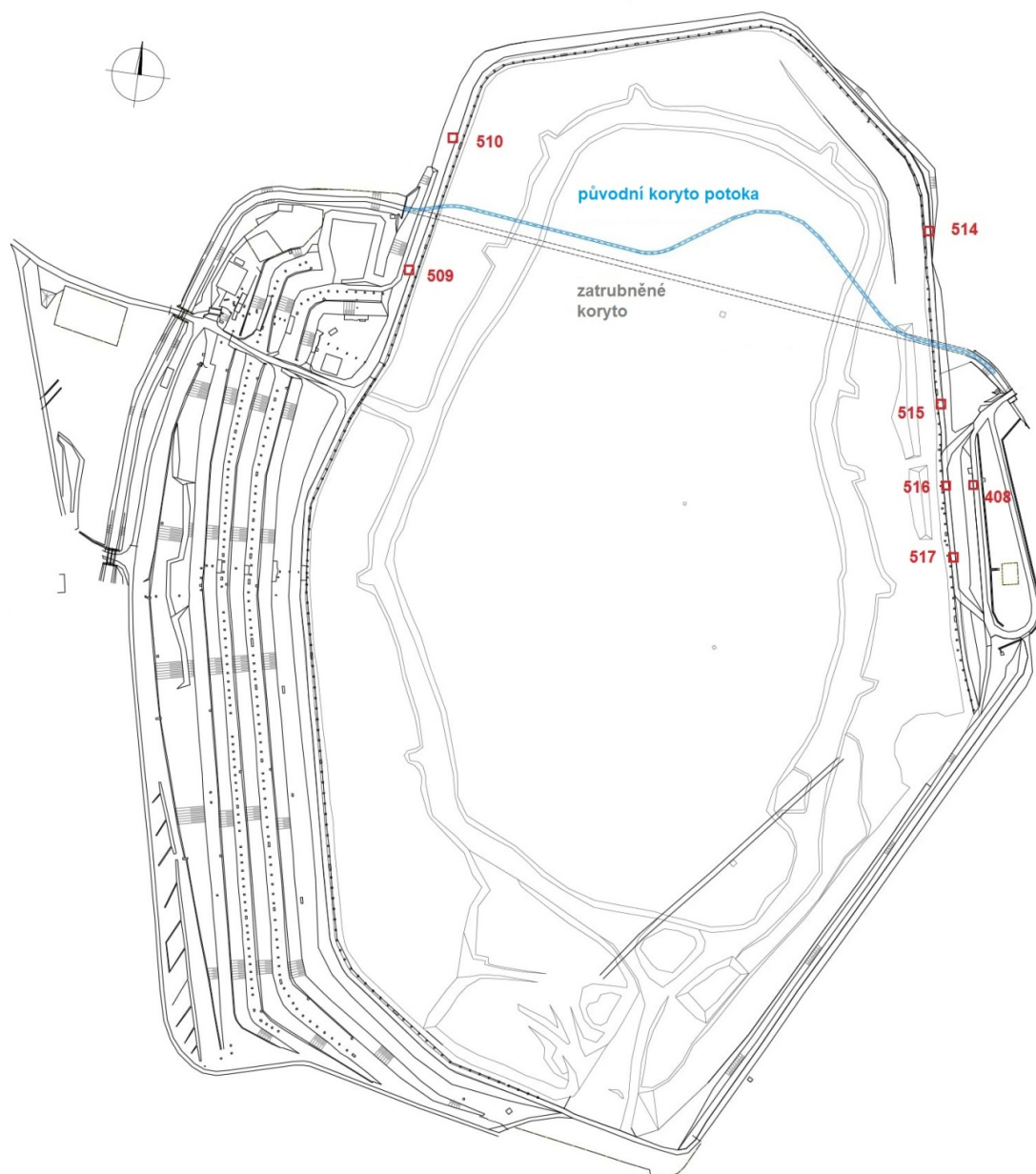
Po posledním rozšíření má 5. hráz nadmořskou výšku 433 m n. m., délku 1 717.6 m a úložný prostor 812 000 m³. Na délku má nádrž rozměr přibližně 850 m, na šířku 500 m. Výška jednotlivých hrází je kolem 2.5 m. Část páté hráže je založena na rostlém terénu, zbytek na popílkové pláži. Hráze jsou sypané a válcované a jsou vystrojeny plošným odvodňovacím drénem. Součástí drenážního systému je hloubkový drén v předpolí hrází. V hrázích jsou umístěny hloubkové vrty sloužící ke sledování vlivu Odkaliště na podzemní vody v okolí a piezovrty ke sledování depresní křivky průsakové vody v hrázovém tělese.

Pro měření vodorovných i svislých posunů a přetvoření hrázového systému je přímo na hrázi a v jejím těsném okolí vybudována síť vztažných bodů (*kap. 3.1 a obr. 3.7*), stabilizovaných vybetonovanými paženými hloubkovými vrty s nucenou centrací v hlavě vrtu pro měření vodorovných posunů a s nivelačními značkami z boku piliře pro měření svislých posunů (*kap. 3.1 a obr. 3.3 až 3.5*).

Při posledním rozšíření Odkaliště bylo zatrubněno koryto Hodějovického potoka a to přímo pod samotným Odkalištěm (*obr. 2.1*), což by mohlo mít za následek posun bodů nacházejících se v blízkosti potoka. Byl rovněž vybudován nový systém přepadových věží a potrubí vratné vody. Součástí Odkaliště jsou

mimo jiné struskovody, což je ocelové potrubí s odbočkami, umístěné na 5.

hrázi, které rozvádí hydrosměs (popílek + struska + voda) do Odkaliště. Dále je zde závlahový systém, který slouží k postřiku popílku v odkališti, aby se suchý popel neroznášel větrem do okolí. Uvnitř Odkaliště jsou umístěny dvě přepadové věže pro odběr vratné vody a jsou vybaveny samostatným odváděcím potrubím. V neposlední řadě zde můžeme nalézt čerpací stanici, která se stará o postřik suchých pláží, přečerpávání průsakových vod, ke snižování hladiny a k odpouštění vody z Odkaliště. [1]



Obr. 2.1 Zobrazení původního a zatrubněného Hodějovického potoka

3 MONITOROVACÍ SYSTÉM

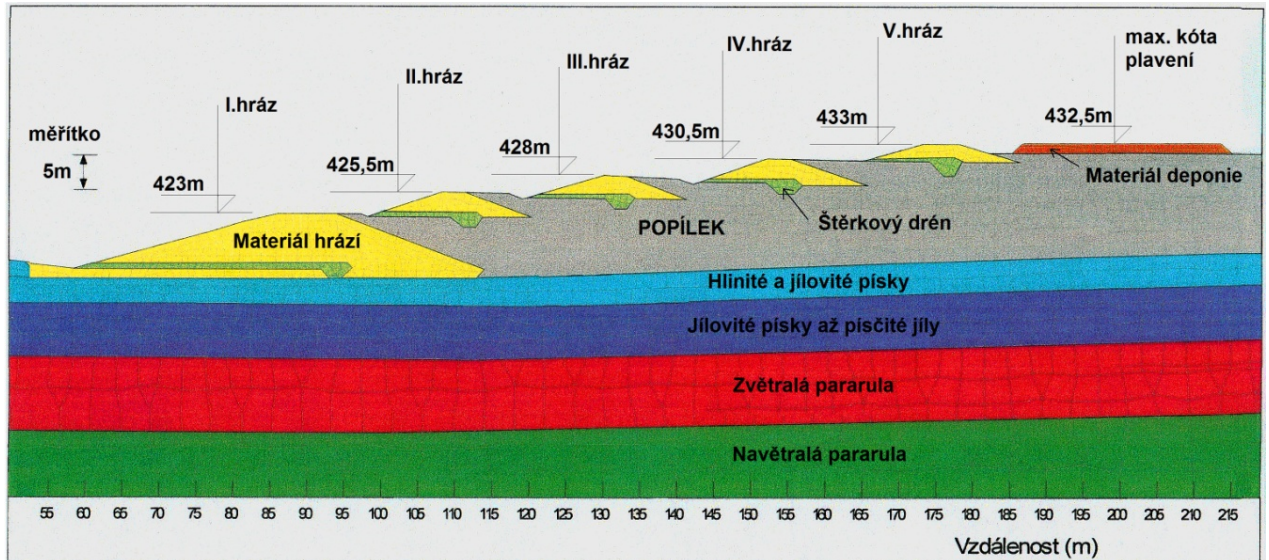
Hrázový systém Odkaliště Hodějovice se skládá z pěti hrází. První hráz byla vybudována nejdříve, je tedy nejnižší a společně s druhou, třetí a čtvrtou hrází se nachází v současné době pouze kolem určité části odkalovací nádrže. Pátá, nejvyšší hráz, je funkční hrází držící vodu a popílek v celé nádrži a obíhá celou nádrž (obr. 3.1). Pozorované body monitorovacího systému jsou umístěny přímo na jednotlivých hrázích (obr. 3.7).



Obr. 3.1 Schéma hrází [13]

Důvodem monitoringu hrázového systému je možná nestabilita hrází a podloží, kterým je v podstatě sám popílek, který byl do Odkaliště dopravován a následně z něj byla částečně vytvořena další hráz, společně se štěrkem a štěrkopískem. Působí zde velké tlaky na hrázový systém, a zejména při

zvýšené hladině vody, by mohlo dojít k posunům až protržení hráze. Příčný řez a složení hrázového systému je vidět na *obr. 3.2*.



Obr. 3.2 Příčný řez hrázovým systémem [1]

3.1 STABILIZACE A UMÍSTĚNÍ BODŮ VZTAŽNÉ SÍTĚ

Monitorovací systém se skládá ze dvou typů stabilizovaných bodů, a to bodů vztažné sítě a bodů pozorovaných.

Prvním typem bodů monitorovacího systému Odkaliště jsou tzv. body vztažné sítě. Mají čísla 1001 – 1008 a byly vybudovány jako pevné body pro určování vodorovných a svislých posunů. Bodů vztažné sítě je celkem osm, z toho šest jich je rovnoměrně umístěno na páté – nejvyšší – hrázi a dva body jsou stabilizovány pod hrází první – pod celým hrázovým systémem (viz *obr. 3.7*).

Body vztažné sítě jsou stabilizovány dvěma způsoby. Body 1001, 1002, 1003, 1007 a 1008 jsou stabilizovány vybetonovanými paženými hloubkovými

vrty osazenými až na rostlou skálu a vystupujícími nad povrch 1 – 2.5 m (*obr. 3.3*). Do vrchní části je zapuštěn šroub se závitem pro nucenou centraci k měření vodorovných posunů (*obr. 3.5*). Pro měření svislých posunů je v dolní části pilíře osazena atypická železná čepová značka, na kterou se přikládá nivelační lať (*obr. 3.4*). Pro jednoduchost budeme dále tyto body nazývat „pilíře“.



Obr. 3.3 Pilíř 1001



Obr. 3.4 Nivelační čep v dolní části pilíře



Obr. 3.5 Pohled na pilíř seshora - nucená centrace

Ostatní body vztažné sítě (1004, 1005 a 1006) jsou stabilizovány betonovým blokem zapuštěným do celé páté hráze, sedící na rozšířené patce. Pro výškové měření, tedy pro účely této práce, je na viditelné části betonového bloku umístěna železná hřebová značka (viz *obr. 3.6*). Tyto body jsou umístěny na páté hrázi a způsob jejich stabilizace umožňuje přesnost pouze o málo větší než u bodů pozorovaných. Proto se tyto body pro účely výškového měření nepoužívají jako body vztažné sítě.



Obr. 3.6 Stabilizace bodů vztažné sítě 1004, 1005 a 1006

Referenčním bodem pro určení výšek, respektive svislých posunů sledovaných bodů, byl zvolen nivelační bod č. 4 z nivelačního pořadu Z14b016, jehož výška byla při většině měření ověřena na bod č. 5 z téhož nivelačního pořadu (*obr. 3.7*). Při etapových měřeních svislých posunů byl nivelační pořad ve většině případů připojen z pozorovaného bodu č. 513 na referenční bod č. 4 a ověřen měřením tam a zpět na kontrolní bod č. 5. Z bodu č. 4 byl pak nivelační pořad veden na pilíř č. 1001, dále na pozorovaný bod č. 514, 515, atd.

Na *obr. 3.7* můžeme vidět rozmístění monitorovacího systému Odkaliště Hodějovice. Modrými trojúhelníky jsou vyznačeny výchozí (referenční) body výškové vztažné sítě č. 4 a č. 5, používané v praxi, červenými kroužky jsou znázorněny body komplexní vztažné sítě a černými čtverečky pozorované body.



Obr. 3.7 Rozmístění bodů monitorovací sítě

3.2 STABILIZACE A UMÍSTĚNÍ POZOROVANÝCH BODŮ

Druhým typem monitorovacích bodů jsou tzv. pozorované body, které se nacházejí rovnoměrně na všech pěti hrázích, je jich 41 a mají číslo podle umístění. Například body nacházející se na první hrázi mají označení 101, 102, 103, ... Body na druhé hrázi pak 201, 202, 203, ... atd. (viz obr. 3.7).

Pozorované body jsou stabilizovány vybetonovanými paženými vrty procházejícími vždy celou jednou hrází (tedy přibližně 2.5 m hluboké), aby vnější podmínky (teplota, vlhkost, tlak vzduchu...) měly co nejmenší vliv na pohyb těchto pozorovaných bodů. Vrty jsou osazené železnou pažnicí, která je v nadzemní části chráněna krytem, aby se předešlo opotřebování stabilizačního systému umístěného vně nebo uvnitř pažnice. Tento stabilizační systém se skládá z kovového profilu ve tvaru „T“, který je navařen v nadzemní části na pažnici. Na profil je přišroubován hliníkový váleček (obr. 3.8) s otvorem pro mosazný čep (obr. 3.9). Na tento čep se následně přikládá nivelační lať (obr. 3.10). Mosazný čep, který je jen jeden (používá se ve všech etapách a pro všechny pozorované body), se strojírenskou přesností (cca v desetinách mm) zapadá do zděře hliníkového válečku a v průběhu měření je přenášen na každý pozorovaný bod. Tím je v každé etapě zajištěna přesná konstantní výška nad válečkem.



Obr. 3.8 Vrt s navařeným profilem „T“ a hliníkovým válečkem



Obr. 3.9 Přenosný mosazný čep



Obr. 3.10 Nivelační lať na sledovaném

Ze způsobu stabilizace vyplývá, že body monitorovacího systému tvoří přestavové body nivelačního pořadu, takže jejich výška je určována přímo. Boční záměrou je měřen pouze bod 202 a to z toho důvodu, že je příliš blízko k bodu předešlému a nivelační sestava by byla tak krátká, že by přístroj nebyl schopen na tak krátkou vzdálenost přečíst čárový kód na lati. Vzdálenosti mezi jednotlivými pozorovanými body jsou ve většině případů do 100 m, což umožňuje měřit mezi dvěma body pouze na jednu nivelační sestavu, tedy s délkou záměry do 50 m. Pokud vzdálenosti mezi pozorovanými body 100 m přesahují, je použito většího počtu nivelačních sestav.

4 PŘÍSTROJE A POMŮCKY

Od základní etapy v roce 1995 až dodnes je při nivelačním měření používán stejný digitální nivelační přístroj – Wild NA3000, výrobní číslo 90096, s automatickým odečítáním převýšení na kódové lati a registrací na paměťovou kartu s přesností na desetinu milimetru. Výstupní data z přístroje se utvářejí do formátu GSI. Přístroj s dalekohledem o 24 násobném zvětšení má automatický kompenzátor s citlivostí 0.4", objektiv dlouhý 36 mm se zorným polem 3.5 m na vzdálenost 100 m. Dále je přístroj vybaven dvouřádkovým LCD displayem s osmi znaky na každé řádce. Délka záměr se zde určuje vestavěným elektronickým dálkoměrem s přesností na 1 – 5 cm a rozsahem 1.8 – 60 m. Přístroj je upevněn na kvalitním dřevěném stativu. Výrobce uvedená přesnost přístroje, daná jednotkovou směrodatnou odchylkou obousměrné kilometrové nivelace, je $\sigma_o = 0.4$ mm. [6]



Obr. 4.1 Wild NA3000

Jak již bylo uvedeno výše, je měřeno na jednu třímetrovou lať Leica GPCL3, výrobní číslo 25950, opatřenou invarovým páskem s čárovým kódem, která je pro větší přesnost urovnání do svislé polohy podepřena odnímatelnými hliníkovými teleskopickými nohami. Lať je také vybavena snímatelnou krabicovou libelou a libelou příložnou pro měření ve špatně dostupných podmínkách (např. při měření na bod nivelačního bodového pole, který je umístěn na budově. Na pozorovaných bodech se lať přikládá na přenosný mosazný čep (viz obr. 3.3). Při použití více nivelačních sestav se lať pokládá na litinovou nivelační podložku.



Obr. 4.2 Nivelační lať GPL3

5 ROZBORY PŘESNOSTI

Rozbory přesnosti slouží k plánování přesnosti při jakémkoli měření v inženýrské geodézii, a to před, při a po měření. Pomocí rozboru přesnosti před měřením lze vybrat metodu měření, přístrojové vybavení a určit počet opakování měření. Při měření se pak kontroluje dodržení očekávané přesnosti přímo v terénu, s případným přidáním dalšího opakování. Rozborem po měření se poté zjišťuje, zda výsledky odpovídají očekávané přesnosti.

5.1 VYHODNOCENÍ PŘESNOSTI

Jelikož nivelační síť je složitá, skládající se z více uzavřených pořadů, které jsou na sebe navzájem vázané, výsledné výšky byly vypočteny podmínkovým vyrovnáním (více viz další kapitoly). Směrodatné odchylky vyrovnaných výšek byly vypočteny z měřických dvojic v programu doc. Ing. Hampachera, CSc. společně s vyrovnanými výškami a převýšeními.

Hodnoty směrodatných odchylek výšek stejných bodů by měly být ve všech etapách přibližně stejné, jelikož je měřeno stále stejnými pomůckami, se stejnou přesností a na trvale stabilizované body. Proto jsou zde uvedeny pro ilustraci pouze některé výšky ve vybraných etapách. V *tabulce 5.1* to jsou směrodatné odchylky výšek některých bodů (charakterizující přesnost „absolutní“) a směrodatné odchylky převýšení mezi hrázemi (charakterizující přesnost relativní), určené z prvního výpočtu (tedy pouze jeden připojovací bod č. 4). Body byly zvoleny z různých úrovní a různých částí Odkaliště tak, aby ilustrovaly dosahovanou přesnost výšek přibližně uprostřed a na konci

nivelačního pořadu a přesnost převýšení mezi hrázemi. *Tabulka 5.2* obsahuje pro porovnání hodnoty směrodatných odchylek stejných výšek a převýšení, určených z druhého výpočtu (připojovací body 4, 1003 a 1008).

Tab. 5.1 Směrodatné odchylky vyrovnaných výšek a převýšení z 1. výpočtu

	1003	1008	508	105	303-406	201-301
2. etapa	0.8 mm	0.9 mm	0.8 mm	1.0 mm	0.3 mm	0.3 mm
24. etapa	0.7 mm	0.7 mm	0.6 mm	0.7 mm	0.2 mm	0.3 mm
46. etapa	0.8 mm	0.8 mm	0.7 mm	0.8 mm	0.3 mm	0.3 mm
70. etapa	1.0 mm	0.9 mm	0.9 mm	1.3 mm	0.5 mm	0.5 mm

Tab. 5.2 Směrodatné odchylky vyrovnaných výšek a převýšení z 2. výpočtu

	1003	1008	508	105	303-406	201-301
2. etapa	0.0 mm	0.0 mm	0.4 mm	0.4 mm	0.3 mm	0.3 mm
24. etapa	0.0 mm	0.0 mm	0.4 mm	0.4 mm	0.4 mm	0.3 mm
46. etapa	0.0 mm	0.0 mm	0.4 mm	0.4 mm	0.3 mm	0.3 mm
70. etapa	0.0 mm	0.0 mm	0.7 mm	0.6 mm	0.5 mm	0.5 mm

Budeme-li vycházet pouze z hodnot směrodatných odchylek vyrovnaných výšek určených z prvního výpočtu (*tabulka 5.1*), můžeme vidět, že jejich hodnota se pohybuje v rozmezí 0.6 mm – 1.3 mm. Jako směrodatnou odchylku vyrovnané výšky v prvním výpočtu σ_{Hv1} použijeme přibližný střed intervalu – $\sigma_{Hv1} = 1.0$ mm. Směrodatná odchylka vyrovnané výšky v druhém výpočtu σ_{H2} je z *tabulky 5.2* určena pouze pro body 508 a 105, jelikož body 1003 a 1008 jsou body vztahné sítě a jsou považovány za stabilní. Směrodatná odchylka σ_{Hv2} je určena jako převládající hodnota, a to 0.4 mm.

5.2 ROZBOR PŘESNOSTI PŘED MĚŘENÍM

Pro rozbor přesnosti před měřením je nejprve nutné zjistit směrodatnou odchylku určení převýšení v jedné sestavě měřené tam a zpět. Vycházíme z přesnosti určení laťového úseku, která je dána

$$\sigma_l = 0.1 \text{ mm} \quad (5.1)$$

Nivelované převýšení jedním směrem pak vypočteme jako rozdíl laťového úseku vzad a vpřed

$$\Delta h = z - p \quad (5.2)$$

Přechodem přímo na směrodatné odchylky

$$\sigma_{\Delta h}^2 = \sigma_z^2 + \sigma_p^2 \quad (5.3)$$

a za předpokladu stejné přesnosti měření vzad a vpřed, tedy $\sigma_l \approx \sigma_z \approx \sigma_p$, dostaneme směrodatnou odchylku jednoho měření:

$$\sigma_{\Delta h} = \sqrt{2} \cdot \sigma_l = 0.14 \text{ mm} \quad (5.4)$$

Směrodatnou odchylku průměrného převýšení měřeného tam a zpět pak vypočteme

$$\sigma_h = \frac{\sigma_{\Delta h}}{\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{2} \cdot \sigma_l}{\sqrt{2}} = 0.1 \text{ mm} \quad (5.5)$$

Požadovaná přesnost určení posunů byla zadavatelem stanovena mezní odchylkou $\delta_{TMp} = 3 \text{ mm}$. Z této hodnoty byl odvozen požadavek na přesnost výšky bodů v jedné etapě, následujícím postupem:

$$\delta_{TMp} \equiv \Delta_{TMp} = u_p \cdot \sqrt{2} \cdot \sigma_{TH} = 3 \text{ mm} \quad (5.6)$$

Jestliže se požadovaný mezní posun mezi 2 etapami δ_{TMp} rovná výrazu 5.6, pak požadovaná směrodatná odchylka svislého posunu je:

$$\sigma_{Tp} = \sqrt{2} \cdot \sigma_{TH} = 1.5 \text{ mm} \quad (5.7)$$

a požadovaná směrodatná odchylka určení výšky bodu v jedné etapě:

$$\sigma_{TH} \leq 1 \text{ mm} \quad (5.8)$$

Aby bylo možné pokládat posuny přesahující 3 mm za prokázané, zvolená metoda musí vyhovovat podmínce dané výrazem (5.8), tedy její směrodatná odchylka výšky v jedné etapě σ_{TH} musí být menší nebo rovna 1 mm. To je splněno, jelikož se směrodatná odchylka vyrovnané výšky σ_{Hv1} rovná 1.0 mm (*tabulka 5.1* a doprovodný text pod *tabulkou 5.2*).

5.3 ROZBOR PŘESNOSTI PŘI MĚŘENÍ

Kontrola přesnosti při měření je prováděna pomocí mezního rozdílu Δ_{Mh} . Každý nivelační pořad je měřen „tam“ a následně „zpět“, popřípadě je měřeno více pořadů najednou. Při měření zpět je ihned po změření jednoho nivelačního

oddílu – převýšení mezi dvěma stabilizovanými body – vypočítán rozdíl mezi nivelovaným převýšením tam (Δh_T) a zpět (Δh_Z) podle vzorce

$$\Delta = \Delta h_T - \Delta h_Z \quad (5.9)$$

a porovnán s mezním rozdílem Δ_{Mh}

$$\Delta_{Mh} = 2.25 \cdot \sqrt{R_{km}} \quad (5.10)$$

kde R_{km} je délka nivelačního oddílu v kilometrech. Vztah 5.10 udává mezní odchylku pro nivelační pořady II. řádu, která odpovídá požadované přesnosti pro velmi přesnou nivelaci. Jelikož jsou pozorované body, použité v nivelačních pořadech jako body přestavové, trvale stabilizovány, odpovídá zavedený postup i použité přístroje a pomůcky požadavkům na metodu velmi přesné nivelace. Proto si můžeme dovolit použít tento vztah. Délka mezi jednotlivými pozorovanými body je ve většině případů do 100 m, takže v terénu je pro jednoduchost počítáno s jednotným mezním rozdílem $\Delta_{Mh} = 0.7 \text{ mm}$. Pro delší nivelační oddíly (okolo 200 m), jako je například oddíl mezi pozorovaným bodem č. 518 a vztažným bodem č. 1002, je používán mezní rozdíl $\Delta_{Mh} = 1.0 \text{ mm}$. Jestliže rozdíl mezi měřením „tam“ a „zpět“ překročí požadovaný mezní rozdíl Δ_{Mh} , je tento oddíl přeměřen a opět porovnán s mezním rozdílem.

5.4 ROZBOR PŘESNOSTI PO MĚŘENÍ

Rozborem přesnosti po měření jsou hodnoceny dosažené výsledky a zjišťuje se, zda odpovídají požadované přesnosti. Jedním ze způsobů je kontrola uzávěru

uzavřeného nivelačního pořadu. Uzávěr byl vypočten jako součet zprůměrovaných převýšení tam a zpět a měl by být nulový. Vlivem měřických chyb ale v převážné většině případů roven nule není a je porovnáván s mezní odchylkou uzávěru.

Tento mezní uzávěr byl nejprve vypočten ze vzorce:

$$U_{MIN} = u_p \cdot \sigma_{h_0} \cdot \sqrt{R_{\phi_{km}}} = 2 \cdot 0,56 \cdot \sqrt{2,5} \approx 1,8 \text{ mm} \quad (5.11)$$

kde u_p je koeficient spolehlivosti, který má hodnotu 2, jelikož jde o jednorozměrné chyby,

σ_{h_0} je pro nivelační pořad II. řádu rovna:

$$\sigma_{h_0} = \frac{\Delta_{Mh}}{2 \cdot u_p \cdot \sqrt{R_{\phi_{km}}}} = \frac{2,25}{2 \cdot 2 \cdot \sqrt{1,0}} = 0,56 \text{ mm}$$

$R_{\phi_{km}}$ je průměrná délka 5. uzavřeného nivelačního pořadu v km.

Hodnotě mezního uzávěru U_{MIN} ale neodpovídají 3 z 11 uzávěrů, které jsou v *tabulce 5.3* označeny červeně. Směrodatná odchylka σ_{h_0} totiž charakterizuje „vnitřní“ přesnost měření, která nezahrnuje vnější vlivy (atmosférické podmínky) a konkrétní konfiguraci terénu na přesnost měření, které mohou působit na změnu průběhu nivelační záměry v různých etapách měření vlivem vertikální refrakce (především vliv teplotního gradientu).

Proto byla vypočítána výběrová směrodatná odchylka uzávěru charakterizující i „vnější“ přesnost, která je určena jako kvadratický průměr uzávěrů v jednotlivých etapách a je rovna

$$\sigma_U = \sqrt{\frac{\sum U \cdot U}{n}} = 1.52 \text{ mm} \quad (5.12)$$

kde U je uzávěr uzavřeného nivelačního pořadu a

n je počet uzávěrů (11).

Mezní hodnota uzávěru zahrnující i „vnější“ vlivy se následně vypočte ze vzorce:

$$U_{MOUT} = u_p \cdot \sigma_U \approx 2 \cdot 1.52 \approx 3.0 \text{ mm} \quad (5.13)$$

Této mezní hodnotě již odpovídají všechny uzávěry, jak je patrné z *tabulky 5.3*

Tab. 5.3 Velikosti uzávěrů v pořadu č. 5 v jednotlivých etapách, jejich délky a počet

etapa	0.	6.	12.	18.	24.	30.	38.	46.	54.	62.	70.	∅
délka [km]	2.4	2.6	2.4	2.5	2.3	2.2	2.5	2.3	2.1	2.8	2.5	2.4
počet sestav	41	47	46	48	46	37	47	52	50	49	46	46.3
uzávěry [mm]	1.8	-2.1	1.3	0.2	-2.0	-1.8	-0.5	-2.1	1.3	0.3	1.5	-0.19

Z výběrové směrodatné odchylky uzávěru σ_U lze též vypočítat odhad směrodatné odchylky jedné nivelační sestavy, a to ze vztahu:

$$\sigma_{1s} = \sigma_U \cdot \sqrt{\frac{1}{k_\emptyset}} = 0.22 \text{ mm} \quad (5.14)$$

kde k_\emptyset je průměrný počet sestav (46.3 – viz *tabulky 5.3*).

Následně je možné určit odhad směrodatné odchylky jakéhokoli bodu uzavřeného nivelačního pořadu podle vzorce 5.15. Má-li uzavřený nivelační pořad průměrně 46 sestav a uvažujeme-li pouze jeden výchozí bod (č. 4), potom nejnepříznivější případ, vyskytující se nejdále od výchozího bodu, se bude nacházet ve středu pořadu, tedy na 23. bodu pořadu a směrodatná odchylka jeho výšky se bude rovnat $\sigma'_{H23} = 0.75 \text{ mm}$, což odpovídá požadované směrodatné odchylce určení výšky $\sigma_{TH} \leq 1 \text{ mm}$.

$$\sigma'_{Hi} = \sigma_{1s} \cdot \sqrt{\frac{(n-i) \cdot i}{n}} = 0,22 \cdot \sqrt{\frac{(46-23) \cdot 23}{46}} = 0,75 \text{ mm} \quad (5.15)$$

kde n je průměrný počet sestav a

i je i -tý bod v pořadu.

Z výběrové směrodatné odchylky uzávěru σ_U můžeme také určit odhad průměrné kilometrové směrodatné odchylky ze vzorce

$$\sigma'_o = \sigma_U \cdot \sqrt{\frac{1}{d_\emptyset}} = 1,52 \cdot \sqrt{\frac{1}{2,4}} = 0.98 \text{ mm} \quad (5.16)$$

kde průměrná délka pořadu d_\emptyset je 2.4 km.

Výsledky kilometrové odchylky σ_o vypočítané ze vzorce 5.17 jsou pro každou etapu uvedeny v *tabulce 5.4*, z které je patrné, že všechny jsou menší, že odhadovaná kilometrová směrodatná odchylka σ'_o .

$$\sigma_o = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{1}{n} \sum \frac{\rho^2}{R}} \quad (5.17)$$

Tab. 5.4 Kilometrové směrodatné odchylky v jednotlivých etapách

etapa	zákl.	6	12	18	24	30	38	46	54	62	70
σ_o [mm]	0.6	0.7	0.6	0.7	0.9	0.5	0.4	0.5	0.7	0.6	0.6

Rozbor přesnosti po měření se také zabývá kontrolou totožnosti a neměnnosti připojovacího bodu č. 4, který je součástí uzavřeného pořadu 5. a zároveň nivelačního pořadu Z14b016 z České státní nivelační sítě. Stabilita výšky připojovacího bodu č. 4 je při každém měření ověřována měřením na další bod výškového bodového pole, a to na bod č. 5 patřící také do nivelačního pořadu Z14b016. Odchylka mezi známým a měřeným převýšením mezi těmito body nesmí překročit hodnotu, kterou v milimetrech udává výraz 5.18, kde R_{km} je přibližně 0.2 km, mezní odchylka je tedy $\Delta_{Mz} = 3 \text{ mm}$.

$$\Delta_{Mz} = 2 + 2.25 \cdot \sqrt{R_{km}} \quad (5.18)$$

V tabulce 5.5 můžeme vidět vypočítané odchylky mezi daným a nově naměřeným převýšením Δ mezi body 4 a 5. Odchylky již od základní etapy jsou větší než 3 mm, tedy větší než mezní odchylka. Oba body byly stabilizovány v roce 1961 na podsklepených cihlových domech s kamennou podezdívkou (viz příloha A1 a A2) [12]. Jelikož již v základní etapě je rozdíl roven 4.2 mm, můžeme se domnívat, že posun jednoho z bodů výškové sítě nastal ještě před měřením základní etapy. Žádný z rozdílů pak nepřekročí mezní odchylku

4.2 ± 3 mm. Můžeme tedy tvrdit, že nebyl prokázán jednoznačný svislý posun bodů 4 a 5 výškového bodového pole v průběhu sledování posunů bodů monitorovací sítě Odkaliště Hodějovice.

Tab. 5.5 Odchylky převýšení mezi známými a měřenými převýšeními mezi body 4 a 5

etapa	zákl.	6	12	18	24	30	38	46	54	62	70
Δ [mm]	4.2	4.3	4.5	-	4.4	6.0	-	4.0	4.2	4.0	5.8

6 METODA MĚŘENÍ

Měření posunů je v ČSN 73 0405 [1] definováno jako měření změny polohy objektů (pozorovaných bodů) oproti jejich poloze zaměřené v základní nebo předchozí etapě měření vzhledem k vztažným bodům. Posunem rozumíme prostorovou změnu objektu nebo jeho části, v našem případě pozorovaného bodu, vůči vztažné síti. Protože posun je definován jako rozdíl hodnot měřených v základní a dané etapě, neprojeví se v něm systematické chyby stejné velikosti a stejného znaménka, pokud je měřeno se stejnými pomůckami a stejnými postupy.

6.1 ETAPOVÉ MĚŘENÍ

Jak již bylo sděleno v úvodu, měření bodů monitorovací sítě je rozděleno na určování vodorovných a svislých posunů. Určení svislých posunů monitorovaných bodů, kterým se zabývá tato práce, je prováděno metodou přesné nivelace, pomocí nivelačního přístroje Wild NA3000 s třímetrovou invarovou kódovou latí. Určení vodorovných posunů, které není součástí této práce, je prováděno kombinovaným protínáním z úhlů a délek, kde stanoviška jsou body komplexní vztažné sítě (tedy body 1001 – 1008). Z jednotlivých stanovisek jsou měřeny úhly a délky jak na ostatní stanoviška, tak na pozorované body. Úhly jsou měřeny vteřinovým elektronickým teodolitem Wild T2002 ve dvou nezávislých osnovách vodorovných směrů a délky elektronickým dálkoměrem Wild Di 1600 čtyřikrát nezávisle.

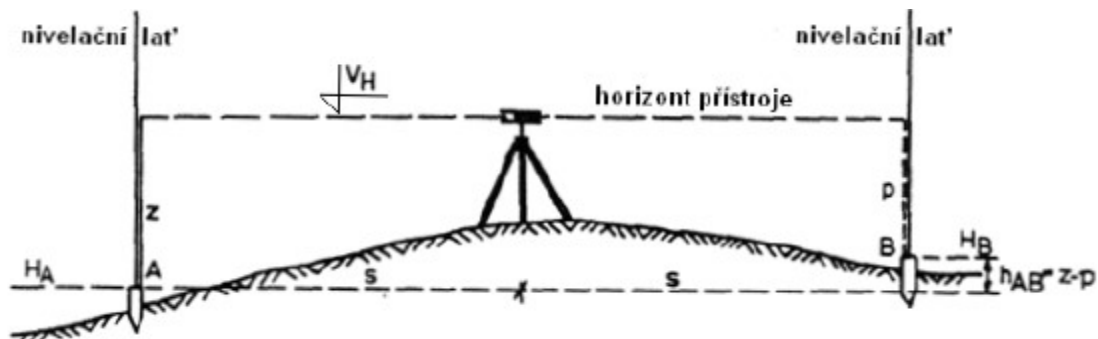
Etapová měření probíhala od roku 1995 až do roku 2005 třikrát ročně. Z ekonomických důvodů bylo měřeno pouze jednou ročně v červenci všech pět hrází, ostatní dvě „malé“ etapy v březnu a listopadu obsahovaly pouze měření první a páté hráze, jelikož na těchto hrázích docházelo k největším posunům. Od roku 2006 až dodnes probíhá měření již čtyřikrát ročně, dvě „malé“ etapy v srpnu a listopadu a dvě normální etapy v březnu a říjnu. Z důvodu velkého množství dat a velikosti svislých posunů bodů, v průběhu hodnoceného období, v řádu mm, byla pro tuto práci použita pouze jedna etapa za 2 roky, do roku 2005 etapy měřené v červenci a později etapy měřené v říjnu, vždy etapy kompletní, obsahující měření na všech pěti hrázích, včetně připojení na bod č. 4 a na kontrolní bod č. 5 výškové vztažné sítě.

Od roku 1995 do října 2016 bylo celkem změřeno 70 etap, ze kterých bylo do této práce použito etap jedenáct, a to: základní etapa, 6., 12., 18., 24., 30., 38., 46., 54., 62. a 70. etapa. Základní etapa v roce 1995, 6. měřená v roce 1998, 12. v roce 2000, ostatní pravidelně po 2 letech až do roku 2016.

6.2 PŘESNÁ NIVELACE

Nejefektivnější, nejpřesnější a také nejpoužívanější běžně dostupnou metodou měření svislých posunů je geometrická nivelace ze středu. Niveláčnický přístroj je postaven doprostřed mezi měřené body A, B, čímž vznikne vodorovná rovina, kterou představuje horizont přístroje. Z rozdílu čtení na niveláčnické lati z , p (zpět a vpřed) je vypočten výškový rozdíl h_{AB} , který odpovídá

převýšení mezi body A, B. Výška bodu vpřed se pak vypočte přičtením převýšení k výšce předchozího bodu, viz výraz 6.1.



Obr. 6.1 Geometrická nivelace ze středu [11]

$$H_B = H_A + h_{AB} \quad (6.1)$$

$$h_{AB} = z_A - p_B \quad (6.2)$$

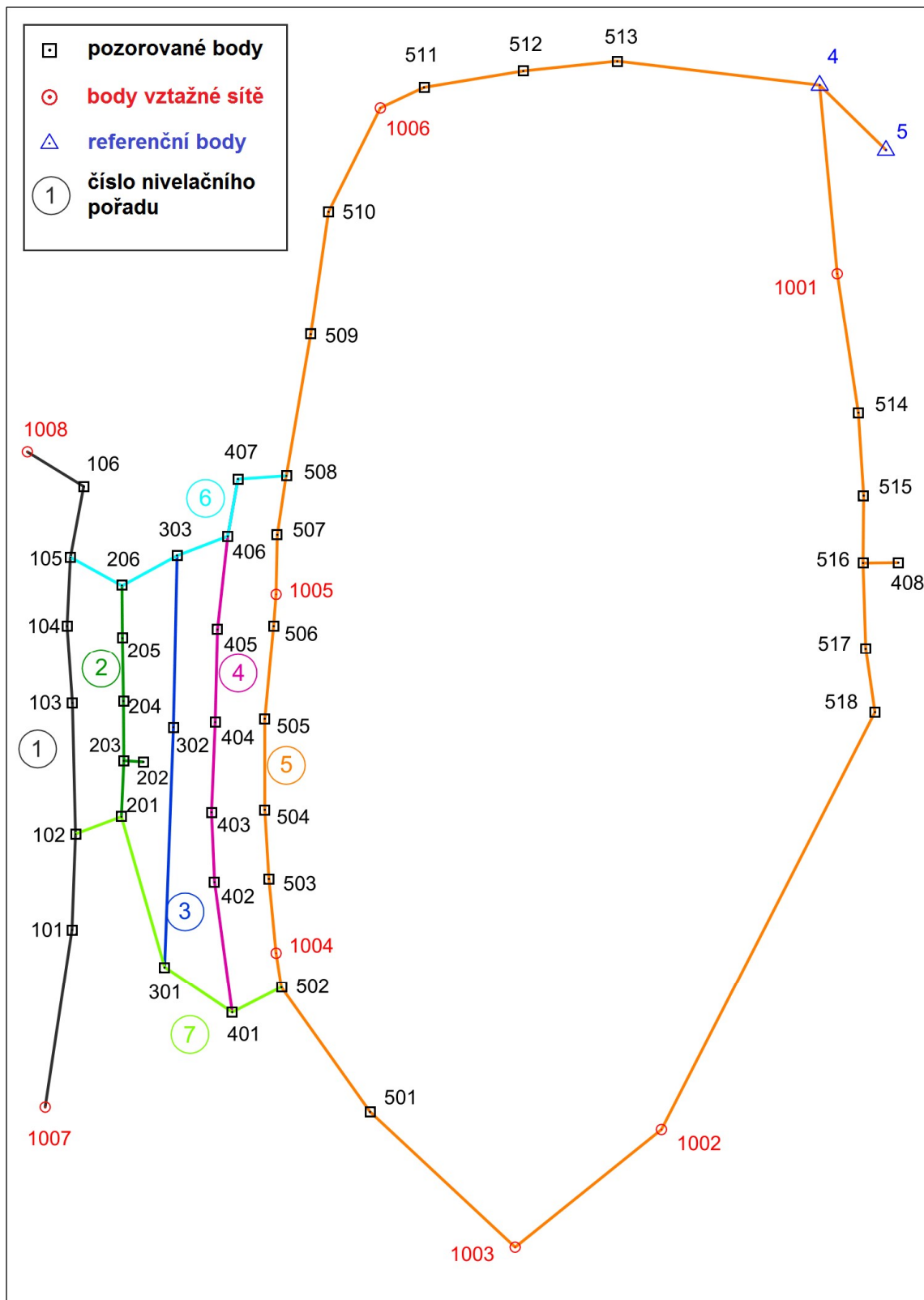
Metodou geometrické nivelace ze středu se eliminuje chyba z odklonu záměrné přímky od vodorovné roviny, která může být způsobena nepřesně rektifikovanou nivelační libelou nebo nepřesnou funkcí kompenzátoru, dále dochází k eliminaci vlivu zakřivení Země a k částečné eliminaci vlivu vertikální refrakce.

Ke splnění požadavků na přesnost, která se pohybuje v desetinách milimetrů, je nutné použít metodu přesné nivelace, tedy dodržet odpovídající postup a použít dostatečně kvalitní a přesné vybavení. Kilometrová směrodatná odchylka přístroje by měla být menší než 1.5 mm, zvětšení dalekohledu pak nejméně 24x a kompenzátor s odpovídající přesností. Dále by

se měli používat těžké litinové nivelační podložky a celistvé invarové nivelační latě a stativy. Záměry, dlouhé do 50 m, je třeba rozměřit nebo odkrokovat s přesností do 0.5 m, minimální měřená výška nad terénem by měla být 0.5 m. Všechny tyto požadavky byly splněny.

6.3 POSTUP MĚŘENÍ SVISLÝCH POSUNŮ A JEHO PŘESNOST

Měření svislých posunů je rozděleno na pořady, které probíhají po hrázích (pořady 1 – 5) a pořady propojující jednotlivé hráze (pořady 6 a 7). Nivelační pořady v jednotlivých etapách, zvláště pak pořady 6 a 7, nejsou z objektivních důvodů měřeny pokaždé ve stejném pořadí, ale v posledních 10 letech se měření sjednotilo na nejrychlejším a nejefektivnějším postupu. Samostatně jsou měřeny pořady 1 – 5, kde pátý pořad, nacházející se na nejvyšší hrázi, je měřen jako uzavřený nivelační pořad. Oba konce pořadů 1 – 4 propojují pořady 6 a 7 a spojují je s uzavřeným nivelačním pořadem 5, jak ukazuje *obr. 6.2* znázorňující rozmístění bodů na hrázích a jejich propojení nivelačními pořady, konkrétně v poslední, 70. etapě.



Obr. 6.2 Schéma nivelačních pořadů v 70. etapě

7 ZPRACOVÁNÍ

Zpracování naměřených dat probíhalo ve více krocích a více způsoby. Jelikož nebyla nalezena naměřená data z prvních tří etap v digitální formě (roky 1995, 1998 a 2000), ale ve formě papírové, musela být tato data ručně převedena, aby se s nimi dalo dále pracovat. Od 18. etapy až dodnes jsou data ukládána na pevný disk v textovém tvaru .GIT. Jak je patrné z *obr. 7.1*, při měření byly ukládány informace o číslech bodů (c.bodu), délce záměr (delka-vod), je zde zaznamenáno čtení na lati v decimetrech (dH) a vypočtené výšky bodů (H). Tento soubor byl následně upraven v programu Notepad++, aby bylo jednodušší s těmito daty dále pracovat. Další zpracování, jako výpočet převýšení a délky mezi jednotlivými stabilizovanými body, bylo prováděno v programu Microsoft Excel.

```

;----- zacatek souboru -----
;blok  c.bodu    H
      1      508  100.0000
;----- zmena masky -----
;blok  c.bodu  delka-vod  dH
      2      508    16.600   18.7930
;----- zmena masky -----
;blok  c.bodu  delka-vod  dH      H
      3         1    16.520   12.1388  100.6654
      4         1    49.440    8.2209
      5      509    44.660   15.9559   99.8919
      6      509    34.680   18.3429
      7      510    39.750   17.5249   99.9737
      8      510    37.260   17.0771
      9     1006    36.470   16.2170  100.0597
  
```

Obr. 7.1 Ukázka zápisníku

Ze zápisníku byla vypočtena převýšení mezi stabilizovanými body. Součtem převýšení v uzavřeném pořadu č. 5 byl vypočten uzávěr a porovnán

s mezním uzávěrem U_M (viz kapitola 5.4). Pokud uzávěr nepřekročí mezní uzávěr, dojde k jeho vyrovnání úměrně počtu sestav a platí výraz

$$\sum \Delta h_5 = 0 \quad (7.1)$$

Z těchto vyrovnaných převýšení jsou pak vypočítány výsledné výšky bodů 5. pořadu vztažených k nadmořské výšce bodu č. 4 výškového bodového pole ve výškovém systému Bpv. Následně jsou vypočteny i výšky bodů pořadů propojující 5. pořad s ostatními (podle *obr. 6.2* pořady 6 a 7). Tyto pořady jsou počítány jako volné, jednostranně připojené, a to na body 508, resp. 502. Tím jsou vypočteny výšky krajních bodů hrází 1 – 4 a následuje výpočet ostatních bodů jako oboustranně připojené pořady. Výšky bodů 101, 106, 1007, 1008, 202 a 408 jsou počítány jako volné, jednostranně připojené pořady.

7.1 PODMÍNKOVÉ VYROVNÁNÍ – 1. VÝPOČET

Součástí této práce je i porovnání výšek pozorovaných bodů vypočtených více způsoby. Prvním způsobem je tedy výše zmíněné „ruční“ vyrovnání uzávěru úměrně počtu sestav.

Toto nivelační měření je ale rozsáhlejšího charakteru, jsou měřena nadbytečná převýšení a vytvořeny nivelační uzávěry. Proto je zde výhodné použít vyrovnání MNČ. Jelikož v síti můžeme vytvořit více uzavřených pořadů, a s tím souvisejících podmínek nulových uzávěrů, bylo k vyrovnání převýšení použito podmínkového vyrovnání.

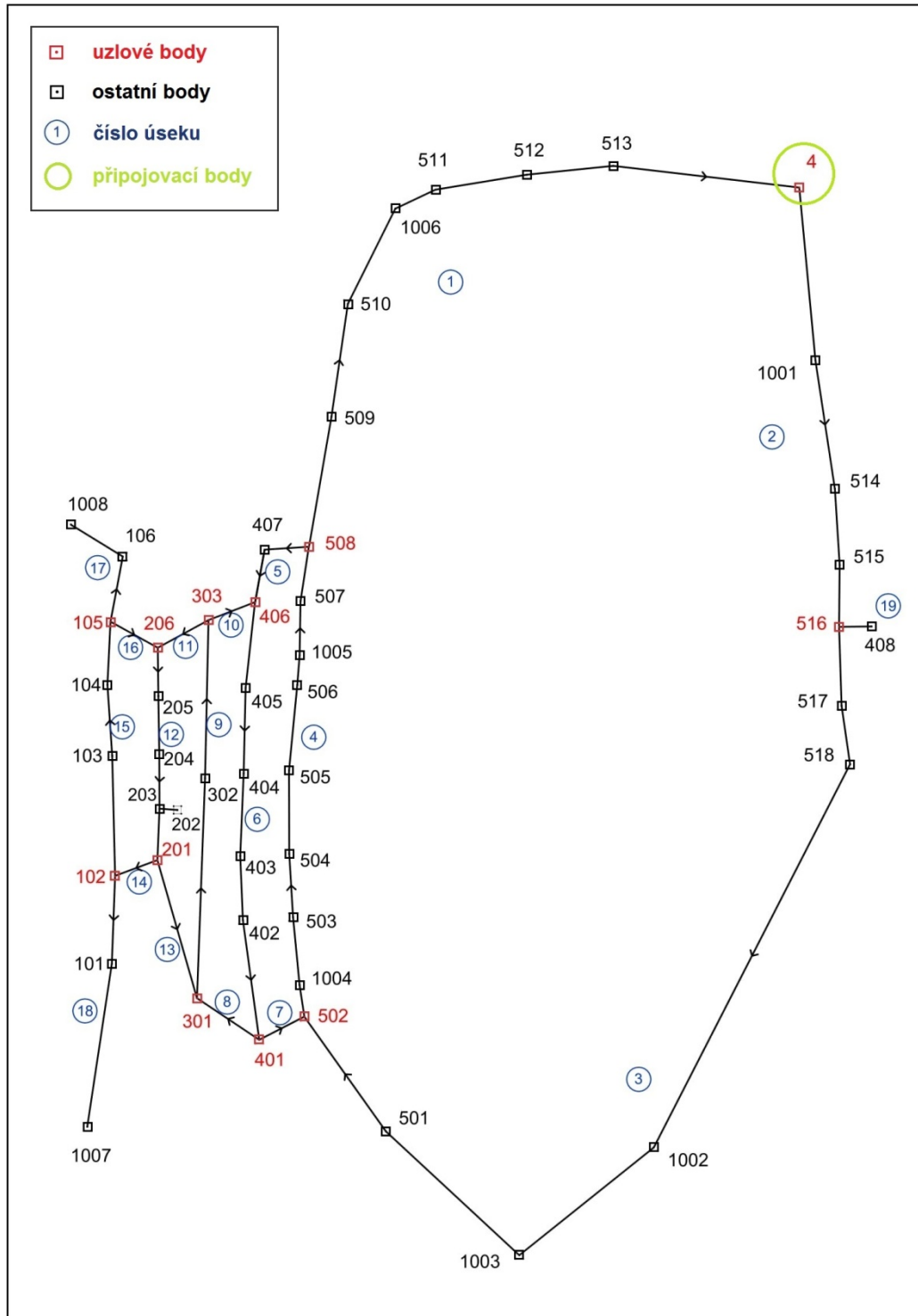
Výpočetní program pro podmínkové vyrovnání mi poskytl pan doc. Ing. Miroslav Hampacher, CSc, který je jeho autorem a je i mým odborným konzultantem. Program byl vyvinut speciálně pro výškové vyrovnání. Pro správný výpočet bylo nejprve nutné sestavit podmínkové rovnice vstupující do programu. Jak již bylo uvedeno, dochází z objektivních důvodů v některých etapách k odchylkám od projektovaného postupu měření. Jsou zde malé odchylky mezi etapami, které nemají vliv na přesnost výsledných převýšení. Je tím ale způsobeno, že některé etapy mohou mít rozdílné podmínkové rovnice podle toho, kudy byly jednotlivé pořady vedeny a kolik bylo měřeno nadbytečných převýšení. Převažuje ale způsob měření, jaký byl použit v 70. etapě, byť s malými odchylkami.

Pro každou etapu bylo vytvořeno jakési schéma, znázorňující průběh všech nivelačních pořadů a umístění tzv. uzlových bodů v té které etapě. Uzlový bod je bod, ze kterého vycházejí více než dva nivelační pořady. Mezi jednotlivými uzlovými body byly očíslovány úseky, ze kterých pak byly vytvořeny uzávěry, které tvořily podmínkové rovnice.

7.1.1 PODMÍNKOVÉ ROVNICE

Pro jednoduchost zde budou ukázány pouze podmínkové rovnice 70. etapy a pro porovnání rovnice 6. etapy, která se od 70. etapy liší nejvíce. Rovnice a schéma úseků a uzlových bodů pro ostatní etapy naleznete v přílohách A3.1 – A3.10. Prvním krokem je tedy označení uzlových bodů a očíslování všech úseků mezi nimi nebo tzv. volných úseků (neuzavřených), které mají na jednom konci uzlový bod a na druhém bod neuzlový (např. úsek

17 na obr. 7.2). Bod č. 4 je označen jako uzlový (červeně), jelikož je to bod připojovací a pro výpočetní program musel být takto definován.



Obr. 7.2 Schéma úseků a uzlových bodů v 70. etapě

Druhým krokem je určení uzavřených úseků, ze kterých budou moci být následně sestaveny podmínkové rovnice, které musí být vzájemně nezávislé. Je zřejmé, že prvním uzavřeným úsekem je uzavřený nivelační pořad probíhající po 5. hrázi Odkaliště. Tento uzavřený úsek se skládá z úseků 1, 2, 3 a 4 (viz obr. 7.2), představující měřené převýšení h_1, h_2, h_3 a h_4 . Mělo by tedy platit:

$$h_1 + h_2 + h_3 + h_4 = 0 \quad (7.2)$$

Naměřená převýšení ale tento vztah vlivem měřických chyb nespĺňují a vzniká odchylka – uzávěr u_1 .

$$h_1 + h_2 + h_3 + h_4 = u_1 \quad (7.3)$$

Po úpravě pak

$$1. \quad h_1 + h_2 + h_3 + h_4 - u_1 = 0 \quad (7.4)$$

Stejným způsobem jsou sestaveny i ostatní podmínky:

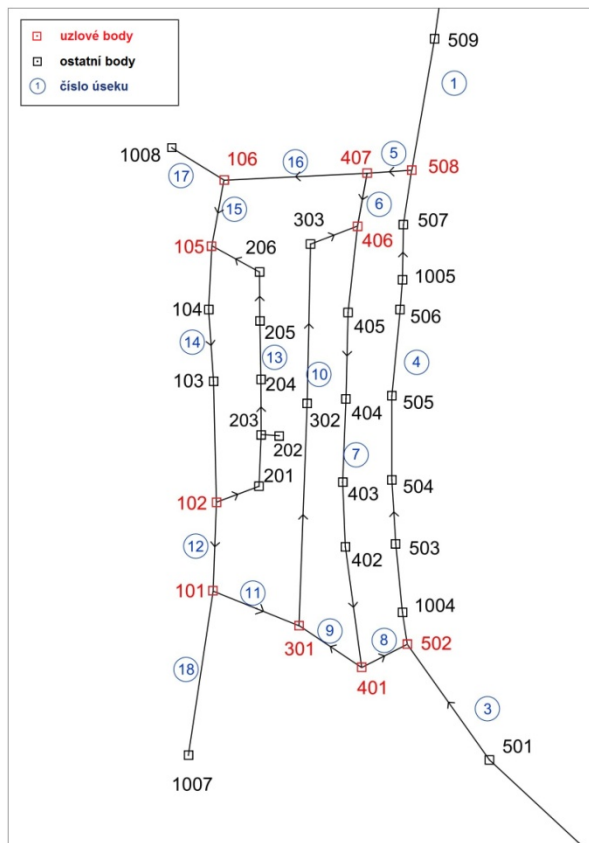
$$2. \quad h_4 + h_5 + h_6 + h_7 - u_2 = 0$$

$$3. \quad h_6 + h_8 + h_9 + h_{10} - u_3 = 0$$

$$4. \quad h_9 + h_{11} + h_{12} + h_{13} - u_4 = 0$$

$$5. \quad h_{12} + h_{14} + h_{15} + h_{16} - u_5 = 0$$

Je zde též uvedena část schématu a podmínkové rovnice 6. etapy. Na obr. 7.3 je pouze část s pořady na hrázích 1 – 4, jelikož uzavřený pořad na 5. hrázi je stejný jako v 70. etapě.



1. $h_1 + h_2 + h_3 + h_4 - u_1 = 0$
2. $h_4 + h_5 + h_6 + h_7 + h_8 - u_2 = 0$
3. $h_7 + h_9 + h_{10} - u_3 = 0$
4. $-h_6 + h_{10} + h_{11} + h_{12} + h_{14} + h_{15} + h_{16} - u_4 = 0$
5. $h_{13} + h_{14} - u_5 = 0$

Obr. 7.3 Schéma úseků a uzlových bodů v 6. etapě

7.1.2 PŘÍPRAVA PRO VÝPOČETNÍ PROGRAM

Před samotným výpočtem bylo nutné pro výpočetní program připravit čtyři vstupní textové soubory: .PRC, .SES, .N03 a .PBO obsahující všechny informace, které výpočetní program potřebuje k podmínkovému vyrovnání nivelační sítě.

Soubor ve formátu .PRC (pracovní) obsahuje informace o všech měřených převýšeních mezi sousedními body a o počtu sestav mezi nimi.

Konkrétně každá řádka představuje jedno převýšení mezi dvěma body ve tvaru: počáteční číslo bodu převýšení, koncové číslo bodu převýšení, počet sestav mezi body, měřené převýšení tam, měřené převýšení zpět.

Například: 508, 509, 2, -0.1081, 0.1088

Což znamená, že převýšení z bodu č. 508 na č. 509 bylo měřeno na dvě nivelační sestavy a celkové převýšení „tam“ mezi těmito body je -0.1081 m, převýšení „zpět“ pak 0.1088 m. Počet řádků tedy odpovídá počtu převýšení mezi stabilizovanými body, kterých je v případě 70. etapy 53.

Druhý soubor, ve formátu .SES (sestavení), slouží k definování uzlových bodů a úseků mezi nimi. Každá řádka obsahuje číslo úseku, číslo počátečního uzlového bodu v tomto úseku, číslo následující bodu a číslo koncového bodu tohoto úseku. Tímto jsou definovány jak uzlové body a očíslování úseků, tak i odkud kam je tento úsek veden.

Například: 1, 508, 509, 4

Tím je stanoveno, že úsek 1 začíná na uzlovém bodě č. 508, pokračuje směrem na bod č. 509 a končí na uzlovém bodě č. 4. Opět platí, že kolik je v souboru řádků, tolik je v síti úseků, které budou vyrovnány. V 70. etapě je to 19 úseků.

Soubor .N03 pak obsahuje informace o podmínkách vstupujících do vyrovnání. První řádka souboru udává počet úseků v síti (19), druhá řádka pak počet podmínek. V případě 70. etapy je zde 5 podmínek, viz kapitola 7.1.1. Následuje matice A obsahující pouze hodnoty 0, 1 popřípadě -1 ve tvaru $[m,n]$, kde m (řádky) je počet úseků + 1 a n (sloupce) je počet podmínek. Každá řádka

ve sloupci (v jedné podmínce) znázorňuje jeden úsek mající číslo odpovídající číslu řádku v matici A . Pokud je hodnota na pozici A_{11} rovna jedné, znamená to, že 1. podmínka obsahuje převýšení v 1. úseku. Pokud by na této pozici byla nula, tento úsek by v podmínce nebyl. Pokud by buňka měla hodnotu -1, podmínka by tento úsek obsahovala, ale převýšení by bylo v opačném směru, než v jakém bylo zapsáno v souboru .SES. Poslední řádek matice A pak obsahuje hodnoty uzávěru po vyrovnaní, v našem případě nuly. Podmínková matice A (po transpozici) pro 70. etapu pak vypadá takto:

$$\begin{pmatrix} 1,1,1,1,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0 \\ 0,0,0,1,1,1,1,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0 \\ 0,0,0,0,0,1,0,1,1,1,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0 \\ 0,0,0,0,0,0,0,0,1,0,1,1,1,0,0,0,0,0,0,0 \\ 0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,1,0,1,1,1,0,0,0 \end{pmatrix}^T$$

Poslední vstupní soubor pro výpočetní program ve formátu .PBO (připojovací body) slouží k připojení sítě do výškového bodového pole. Obsahuje tedy číslo připojovacích bodů, které musí být uzlové (i když z nich vycházejí jen 2 pořady) a jeho výška v Bpv.

7.1.3 VÝPOČET A VÝSTUP

Jak bylo již uvedeno, výpočetní program pro výpočet podmínkového vyrovnaní nivelační sítě byl vytvořen doc. Ing. Miroslavem Hampacherem, CSc. v jazyce TurboBasic.

Po zadání názvů vstupních souborů v uživatelském prostředí program vypočítá převýšení a rozdíly mezi měřeními tam a zpět (tzv. difference) mezi

uzlovými body a ukáže je na obrazovce, čímž máme možnost zkontrolovat, jestli nebyl vstupní program zatížen nějakou hrubou chybou, která by způsobila velké difference (nejčastěji přepsání se při sestavování vstupních souborů). Dále jsou vypočítána převýšení v jednotlivých úsecích, kde je opět možná kontrola diferencí. Následuje samotné vyrovnaní sítě podle podmínkové matice A a zobrazení absolutních členů jednotlivých podmínek, podle kterých opět můžeme vyhodnotit, zda nebyla ve vstupních souborech chyba. Posledním krokem výpočtu je zadání pevného bodu 4, k němuž je celá síť výškově vztažena.

Výstupní soubor ve formátu .VYS pak obsahuje záznam všech výše zmíněných kroků (seznam všech načtených převýšení a jejich difference, výpis úseků, absolutní členy po vyrovnaní). Dále je součástí výstupního souboru seznam vyrovnaného převýšení a opravy od převýšení měřeného a samozřejmě vyrovnané výšky všech bodů. Soubor obsahuje také základní statistické údaje a charakteristiky přesnosti jako směrodatnou odchylku jedné sestavy ze sdružené nivelace, náhodnou složku směrodatné odchylky v jedné sestavě, směrodatnou odchylku jednotkovou z uzávěru pořadu a z vyrovnaní sítě a směrodatné odchylky vyrovnaní.

7.2 PODMÍNKOVÉ VYROVNÁNÍ – 2. VÝPOČET

Jelikož nivelační síť byla původně připojena pouze na jeden připojovací bod, je součástí této práce také rozšíření sítě připojovacích bodů na základě posouzení stability vybraných uzlových bodů, daných výsledky vyrovnaní

z prvního výpočtu. Jako další připojovací body mohly být brány v úvahu pouze body vztažné sítě se stabilizací na rostlou skálu – pilíře – s čísly 1001, 1002, 1003 a 1008, jelikož tyto body jsou ve své výšce i poloze nejstabilnější. Pilíř 1001 se nachází v blízkosti připojovacího bodu 4, bylo by tedy zbytečné ho použít, chceme-li zachovat rovnoměrné rozložení připojovacích bodů. Body 1003 a 1002 jsou oba v ideální poloze oproti bodu 4, ale jelikož vzdálenost mezi nimi je malá, byl použit pouze pilíř 1003, který byl měřen ve všech etapách a který se jeví jako stabilnější. Jako třetí připojovací bod byl použit pilíř 1008, který má jak vysokou stabilitu, tak i dobrou polohu oproti ostatním připojovacím bodům, zajišťující jejich rovnoměrné rozmístění v síti. *Tabulka 7.1* obsahuje výšky pilířů 1003 a 1008 ve všech hodnocených etapách a rozdíly od průměru. V *Tabulce 7.2* jsou jejich průměry – výsledné výšky – a směrodatné odchylné výšek vypočtené ze vzorce:

$$\sigma_p = \sqrt{\frac{\sum v_i^2}{2n}} \quad (7.5)$$

kde v_i je rozdíl výšky v i -té etapě od průměrné výšky a

n je počet etap.

Tab. 7.1 Výšky pilířů 1003 a 1008 a jejich rozdíly od průměru v jednotlivých etapách

č. b.	zákl. etapa	6. etapa	12. etapa	18. etapa	24. etapa	30. etapa	38. etapa	46. etapa	54. etapa	62. etapa	70. etapa
výšky bodů v jednotlivých etapách [m]											
1003	440.2736	440.2751	440.2736	440.2736	440.2740	440.2729	440.2747	440.2738	440.2735	440.2753	440.2757
1008	421.0862	421.0858	421.0858	421.0855	421.0848	421.0872	421.0876	421.0872	421.0869	421.0874	421.0857
rozdíly od průměru (v) [m]											
1003	0.0006	-0.0009	0.0006	0.0005	0.0002	0.0012	-0.0006	0.0004	0.0007	-0.0012	-0.0015
1008	0.0001	0.0006	0.0006	0.0009	0.0016	-0.0009	-0.0013	-0.0008	-0.0005	-0.0010	0.0007

Tab. 7.2 Průměrná výška pilířů a jejich výběrová směrodatná odchylka

	průměr	σ_p
1003	440.2742 m	0.0006 m
1008	421.0864 m	0.0006 m

Posouzení stability bodu 1003 bylo provedeno pomocí mezního rozdílu mezi průměrnou výškou a vyrovnanou výškou v jednotlivé etapě

$$\Delta_{M1003} = u_p \cdot \sqrt{\sigma_{p1003}^2 + \sigma_{vyr1003}^2} \quad (7.6)$$

kde u_p je koeficient spolehlivosti,

σ_{p1003} je výběrová směrodatná odchylka průměrné výšky bodu 1003 (viz *tabulka 7.2* a

$\sigma_{vyr1003}$ je směrodatná odchylka vyrovnané výšky bodu 1003 (viz *tabulka 5.1*) a je přibližně rovna 0.8 mm

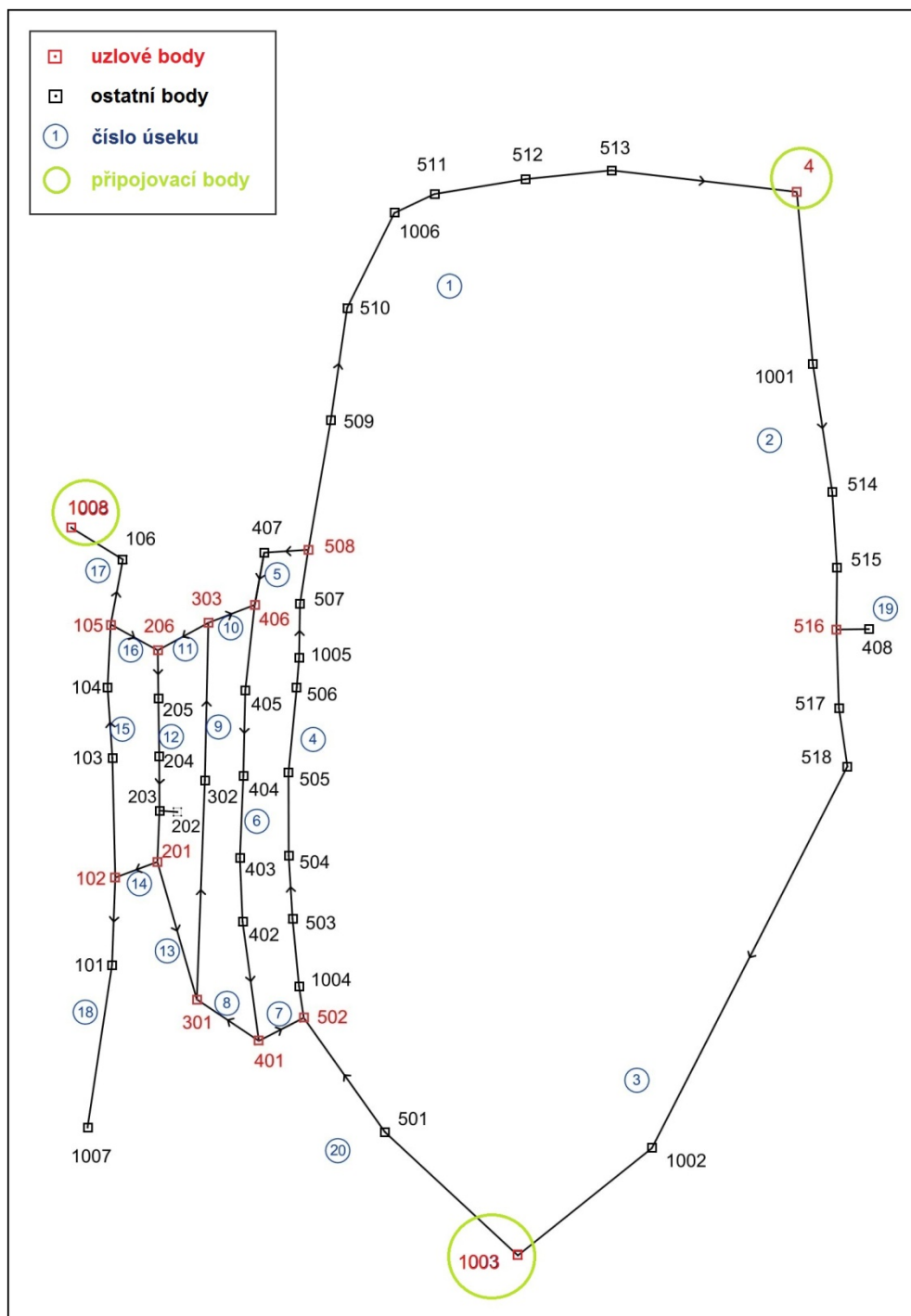
potom se mezní rozdíl rovná

$$\Delta_{M1003} = 2 \cdot \sqrt{0.6^2 + 0.8^2} = 2 \text{ mm} \quad (7.7)$$

Stejný postup je použit v případě bodu 1008

$$\Delta_{M1008} = 2 \cdot \sqrt{0.6^2 + 0.8^2} = 2 \text{ mm} \quad (7.8)$$

Z porovnání výrazů 7.7 a 7.8 z *tabulky 7.1* vyplývá, že stabilita pilířů 1003 a 1008 odpovídá stabilitě bodů vztažné sítě a mohou být použity pro vyrovnaní jako připojovací body.



Obr. 7.4 Schéma úseků a uzlových bodů v 70. etapě
 s přidáním připojovacích bodů 1003 a 1008

Přidáním těchto dvou připojovacích bodů musely být změněny vstupní soubory a přibyly i další podmínky do vyrovnání. Bod 1003 musel být definován jako uzlový bod (stejně jako bod č. 4), čímž vznikl i nový úsek 20.

Úsek 3 nyní končí v bodě 1003 (místo 502), viz *obr. 7.4*. Původní první podmínka ($h_1 + h_2 + h_3 + h_4 = 0$) je pak rozdělena na dvě podmínky:

$$1. \quad h_1 + h_4 + h_{20} - u_1 = \Delta_{1003-4}$$

$$2. \quad h_2 + h_3 - u_2 = \Delta_{4-1003}$$

kde Δ_{1003-4} je známé převýšení mezi body 1003 a 4, Δ_{4-100} pak převýšení v opačném směru, tedy s opačným znaménkem.

Třetí novou podmínkou je vyrovnané převýšení mezi přípojovacími body 4 a 1008:

$$3. \quad h_1 - h_3 + h_8 - h_9 + h_{14} - h_{15} - u_3 = \Delta_{4-1008}$$

Ostatní podmínky zůstávají stejné, jako v prvním výpočtu.

7.3 VÝPOČET SVISLÝCH POSUNŮ A URČENÍ MEZNÍHO POSUNU

Svislý posun je definován jako změna výšky bodu v určité etapě vůči etapě základní, popřípadě předchozí. Kladný svislý posun značí zdvih, záporný pak pokles. Aby mohl být svislý posun považovaný za prokázaný, bylo nutné nejprve stanovit hodnotu mezního posunu. Posun je v ČSN 73 0405 definován jako rozdíl mezi výškou (nebo polohou) v základní nebo předchozí etapě a výškou (polohou) v etapě určované vzhledem k vztažným bodům.

K určení mezního svislého posunu Δ_p je nutné znát směrodatnou odchylku určení výšky. Směrodatná odchylka určení vyrovnané výšky z prvního vyrovnaní je v kapitole 5.1 určena jako $\sigma_{Hv1} = 1.0$ mm.

Určení mezního svislého posunu Δ_{met_p} vychází z výpočtu posunu bodu mezi dvěma etapami, tedy rozdíl výšky bodu v dané a předchozí (popřípadě základní) etapě.

$$p = H_{i+1} - H_i \quad (7.9)$$

Přechodem přímo na směrodatné odchylky

$$\sigma_p^2 = \sigma_{H_{i+1}}^2 + \sigma_{H_i}^2 \quad (7.10)$$

za předpokladu stejné přesnosti všech etap, tedy $\sigma_{Hv1} \approx \sigma_{H_i} \approx \sigma_{H_{i+1}} \approx 1$ mm, můžeme říci, že směrodatná odchylka svislého posunu je

$$\sigma_p = \sqrt{2} \cdot \sigma_H \quad (7.11)$$

Mezní posun bodu mezi dvěma následujícími etapami lze určit jako:

$$\Delta_{met_p} = u_p \cdot \sqrt{2} \cdot \sigma_H \doteq 3 \text{ mm} \quad (7.12)$$

kde u_p je koeficient spolehlivosti, který je roven 2 a udává 95.4% pravděpodobnost, že pokud svislý posun překročí tuto hodnotu, lze ho pokládat za prokázaný.

8 VÝSLEDKY A ZHODNOCENÍ

Jako hlavní výpočet výšek v nivelační síti Odkaliště Hodějovice je brán 1. výpočet podmínkového vyrovnání, tedy pouze s připojovacím bodem č. 4 ČSNS (viz kapitola 7.1). Nejprve byly zhodnoceny konkrétní svislé posuny bodů v rámci jednotlivých hrází a následně různé metody výpočtů a jejich porovnání.

8.1 VÝSLEDKY PRVNÍHO VÝPOČTU

Tabulka 8.1 obsahuje vypočtené výšky všech bodů ve všech etapách pomocí prvního výpočtu podmínkového vyrovnání. Prázdná políčka znamenají neměřený bod, nejčastěji z důvodu jeho poškození. Zeleně zbarvené výšky značí nově určenou výšku, většinou z důvodu nové stabilizace kvůli předchozímu poškození bodu. Všechny výšky jsou uváděny ve výškovém systému Bpv.

Grafy 8.1 – 8.6 znázorňují průběh svislých posunů bodů na jednotlivých hrázích. Posuny jsou vztaženy k základní etapě měření. Každý graf je doplněn tabulkou (*tabulky 8.2 – 8.7*) s přesnými hodnotami posunů každého bodu mezi etapami. Zeleně obarvené hodnoty znázorňují nově určenou výšku po obnově pozorovaného bodu, oranžově jsou zbarveny posuny větší než 3 mm, tedy prokázané posuny bodů. V grafech jsou zobrazeny i posuny některých bodů vztažné sítě, které se svým průběhem podobají posunům bodů ležících v jejich okolí. Na 1. hrázi je to bod 1007 a na 5. hrázi to jsou body 1004, 1005 a 1006. Body 5. hráze jsou rozděleny do dvou grafů z důvodu rozdílných velikostí posunů.

Tab. 8.1 Výšky bodů v jednotlivých etapách určené z 1. výpočtu [m]

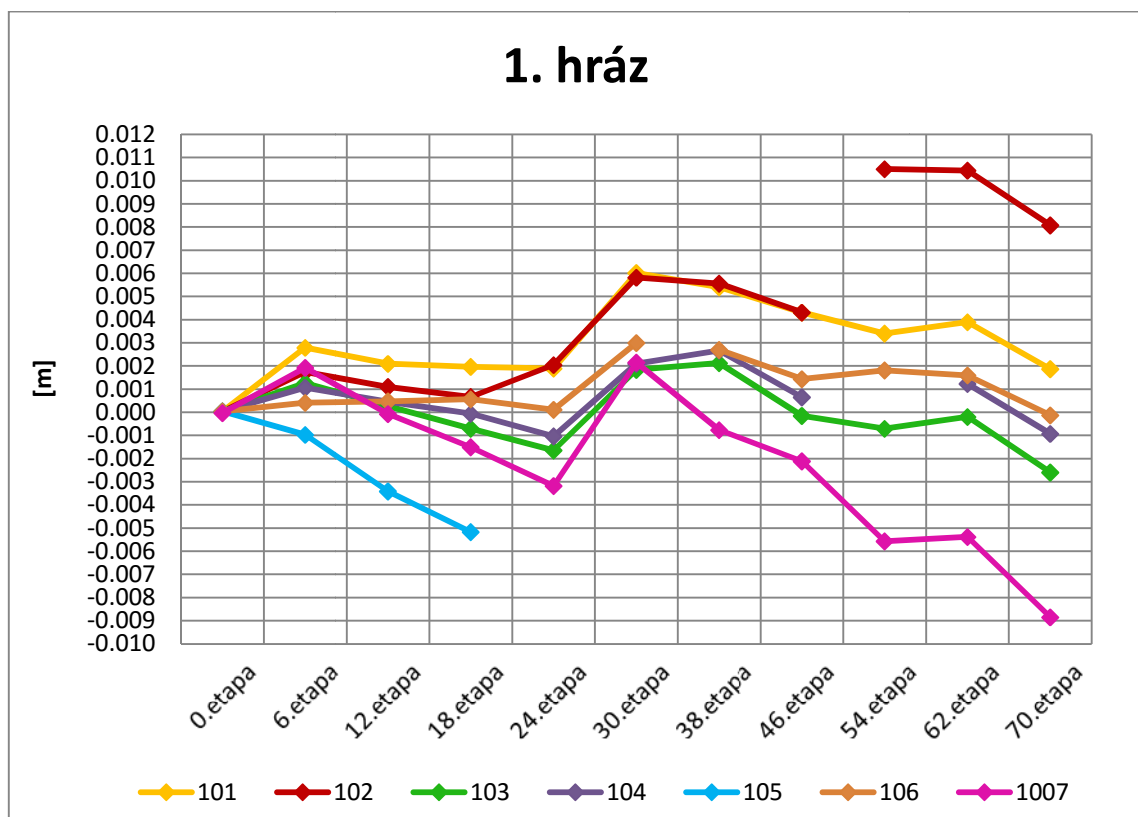
etapa	zákl. etapa	6.etapa	12.etapa	18.etapa	24.etapa	30.etapa	38.etapa	46.etapa	54.etapa	62.etapa	70.etapa
datum	1995	1998	2000	2002	2004	2006	2008	2010	2012	2014	2016
101	423.3596	423.3624	423.3617	423.3616	423.3615	423.3656	423.3650	423.3639	423.3630	423.3635	423.3615
102	423.0673	423.0690	423.0684	423.0679	423.0693	423.0731	423.0728	423.0716	423.0778	423.0777	423.0753
103	423.0455	423.0467	423.0457	423.0447	423.0438	423.0473	423.0476	423.0453	423.0447	423.0452	423.0428
104	422.9089	422.9099	422.9093	422.9088	422.9078	422.9109	422.9115	422.9095	-	422.9101	422.9079
105	422.9433	422.9423	422.9399	422.9381	-	423.1457	423.1462	423.1440	423.1419	423.1421	423.1401
106	423.0860	423.0864	423.0865	423.0866	423.0861	423.0890	423.0887	423.0874	423.0878	423.0876	423.0859
201	425.2422	425.2432	425.2419	425.2417	425.2417	425.2447	425.2448	425.2427	425.2414	425.2413	425.2393
202	426.4834	426.4850	426.4842	426.4834	426.4832	426.4855	426.4855	426.4837	426.4819	426.4824	426.4798
203	425.2153	425.2159	425.2148	425.2143	425.2139	425.2160	425.2165	425.2142	425.2123	425.2127	425.2105
204	426.2189	426.2184	426.2172	426.2167	426.2155	426.2178	426.2178	426.2155	426.2138	426.2137	426.2107
205	426.0806	426.0807	426.0801	426.0797	426.0791	426.0813	426.0811	426.0792	426.0779	426.0782	426.0760
206	425.2283	425.2287	425.2280	425.2282	425.2279	425.2299	425.2297	425.2279	425.2271	425.2275	425.2253
301	428.0141	428.0158	428.0143	428.0139	428.0136	428.0162	428.0157	428.0143	-	428.0151	428.0140
302	428.0705	428.0711	428.0686	428.0675	428.0664	428.0680	428.0672	428.0651	428.0619	428.0605	428.0573
303	428.1225	428.1239	428.1220	428.1217	428.1211	428.1225	428.1221	428.1208	428.1194	428.1195	428.1174
401	430.6255	430.6278	430.6257	430.6253	430.6254	430.6284	430.6268	430.6260	430.6249	430.6251	430.6249
402	430.6249	430.6265	430.6244	430.6238	430.6232	430.6253	430.6257	430.6240	430.6229	430.6223	430.6214
403	430.5729	430.5739	430.5712	430.5707	430.5700	430.5718	430.5719	430.5698	430.5685	430.5675	430.5661
404	430.5743	430.5745	430.5714	430.5699	430.5682	430.5706	430.5690	430.5669	430.5642	430.5629	430.5602
405	430.6834	430.6831	430.6800	430.6787	430.6761	430.6780	430.6761	430.6739	430.6713	430.6699	430.6670
406	430.7217	430.7222	430.7199	430.7189	430.7171	430.7190	430.7182	430.7170	430.7145	430.7141	430.7121
407	430.7605	430.7619	430.7601	430.7596	430.7582	430.7604	430.7605	430.7596	430.7577	430.7577	430.7563
408	430.6969	430.6950	430.6912	430.6897	430.6872	430.6855	430.6848	430.6825	-	430.6908	430.6888
501	432.9466	432.9332	432.9326	432.9317	432.9326	432.9319	432.9344	432.9318	432.9312	432.9319	432.9319
502	432.5485	432.5501	432.5480	432.5471	432.5471	432.5487	432.5488	432.5475	432.5456	432.5460	432.5455
503	432.4034	432.4039	432.4011	432.4003	432.3996	432.4017	432.4014	432.3997	432.3973	432.3970	432.3963
504	432.4822	432.4827	432.4797	432.4788	432.4787	432.4799	432.4795	432.4776	432.4741	432.4741	432.4727
505	432.6028	432.6025	432.5976	432.5957	432.5949	432.5947	432.5940	432.5919	432.5889	432.5865	432.5843
506	432.6765	432.6743	432.6687	432.6654	432.6638	432.6624	432.6599	432.6571	432.6512	432.6487	432.6455
507	432.6037	432.6024	432.5985	432.5968	432.5953	432.5967	432.5956	432.5801	432.5779	432.5771	432.5754
508	432.7890	432.7896	432.7866	432.7856	432.7844	432.7874	432.7866	432.7863	432.7824	432.7824	432.7815
509	432.6789	432.6801	432.6774	432.6765	432.6765	432.6766	432.6763	432.6748	432.6739	432.6737	432.6732
510	432.7560	432.7575	432.7554	432.7550	432.7547	432.7568	432.7568	432.7558	432.7554	432.7550	432.7550
511	432.6572	432.6587	432.6568	432.6568	432.6567	432.6589	432.6590	432.6581	432.6588	432.6588	432.6588
512	432.8016	432.8023	432.8004	432.8006	432.8001	432.8017	432.8023	432.8010	432.8017	432.8012	432.8014
513	432.9555	432.9571	432.9551	432.9554	432.9548	432.9565	432.9575	432.9561	432.9555	432.9555	432.9559
514	432.8403	432.8426	432.8410	432.8415	432.8424	432.8362	432.8366	432.8361	432.8371	432.8369	432.8372
515	432.7669	432.7674	432.7657	432.7656	432.7662	432.7668	432.7676	432.7662	432.7644	-	432.7656
516	432.7667	432.7632	432.7571	432.7535	432.7486	432.7457	432.7410	432.7364	432.7306	432.7283	432.7250
517	432.7908	432.7886	432.7846	432.7826	432.7801	432.7791	432.7762	432.7730	432.7690	432.7658	432.7626
518	432.7837	432.7846	432.7831	432.7830	432.7834	432.7853	432.7840	432.7830	432.7824	432.7827	432.7818
1001	435.2815	435.2834	435.2797	435.2798	435.2801	435.2797	435.2818	435.2804	435.2792	435.2799	435.2800
1002	441.5511	-	441.5527	441.5526	441.5525	441.5517	441.5534	441.5523	-	441.5530	441.5534
1003	440.2736	440.2751	440.2736	440.2736	440.2740	440.2729	440.2747	440.2738	440.2735	440.2753	440.2757
1004	432.5382	432.5401	432.5383	432.5371	432.5377	432.5378	432.5383	432.5372	432.5349	432.5351	432.5342
1005	432.7111	432.7088	432.7031	432.7013	432.6992	432.6974	432.6954	432.6934	432.6864	432.6841	432.6810
1006	432.8431	432.8439	432.8420	432.8422	432.8413	432.8427	432.8430	432.8418	432.8415	432.8414	432.8412
1007	422.6310	422.6330	422.6310	422.6296	422.6279	422.6332	422.6303	422.6290	422.6255	422.6257	422.6222
1008	421.0862	421.0858	421.0858	421.0855	421.0848	421.0872	421.0876	421.0872	421.0869	421.0874	421.0857

Na všech šesti grafech můžeme sledovat velice podobný průběh, a to jak v rámci jednotlivých hrází, tak i mezi nimi. Všechny pozorované body mají klesající tendenci, avšak ve 30. etapě (rok 2006) je patrný posun směrem nahoru – zdvih – detekovatelný na všech hrázích. Výjimkou je pouze druhá část 5. hráze, kde se nejedná o zdvih, ale o pokles, který je ale ve srovnání s ostatními etapami velice malý. U větší části bodů nejde o prokázaný posun, ale jejich velikost se pohybuje kolem 2 mm. Výjimkou jsou body 1. hráze, u nichž je pozorován prokazatelný posun, a to i na pilíři 1007.

Hodnotíme-li jednotlivé hráze samostatně, v *grafu 8.1* obsahujícím body 1. hráze lze pozorovat již zmiňovaný prokazatelný zdvih ve 30. etapě o velikosti 3.1 – 5.3 mm, kde nejvýraznější posun je zaznamenán na bodě 1007. Tento bod má největší posuny ze všech bodů na 1. hrázi. Proto také nebyl použit jako nový připojovací bod při 2. výpočtu vyrovnání. Na všech bodech tomuto zdvihu předcházela mírný pokles, až na bod 102, který se již v předchozí etapě zdvíhal. Zajímavá je také téměř naprostá shoda posunů bodů 101 a 102 v etapách 24 – 46, přerušena zničením stabilizace jednoho z bodů. Dále je mezi etapami 62 a 70 viditelný pokles, který má velmi podobnou velikost na všech bodech. Nutno poznamenat, že graf nezobrazuje celý průběh posunů bodu 105, jelikož jeho změna ve výšce způsobená novou stabilizací byla tak velká, že by malé posuny ostatních bodů byly hůře viditelné.

Tab. 8.2 Svislé posuny bodů první hráze mezi následujícími etapami [m]

	6.-zákl. etapa	12.- 6. etapa	18.- 12. etapa	24.-18. etapa	30.-24. etapa	38.-30. etapa	46.-38. etapa	54.-46. etapa	62.-54. etapa	70.-62. etapa
datum	1995 - 1998	1998 - 2000	2000 - 2002	2002 - 2004	2004 - 2006	2006 - 2008	2008 - 2010	2010 - 2012	2012 - 2014	2014 - 2016
101	0.0028	-0.0007	-0.0001	-0.0001	0.0041	-0.0006	-0.0011	-0.0009	0.0005	-0.0020
102	0.0017	-0.0006	-0.0004	0.0014	0.0038	-0.0003	-0.0013	0.0062	-0.0001	-0.0024
103	0.0012	-0.0010	-0.0010	-0.0009	0.0035	0.0003	-0.0023	-0.0006	0.0005	-0.0024
104	0.0010	-0.0006	-0.0005	-0.0010	0.0031	0.0006	-0.0020	-	0.0006	-0.0022
105	-0.0010	-0.0024	-0.0018	-	0.2076	0.0005	-0.0021	-0.0022	0.0002	-0.0020
106	0.0004	0.0001	0.0001	-0.0005	0.0029	-0.0003	-0.0013	0.0004	-0.0002	-0.0017
1007	0.0020	-0.0020	-0.0014	-0.0017	0.0053	-0.0029	-0.0014	-0.0035	0.0002	-0.0035



Graf 8.1 Výšky bodů první hráze v jednotlivých etapách

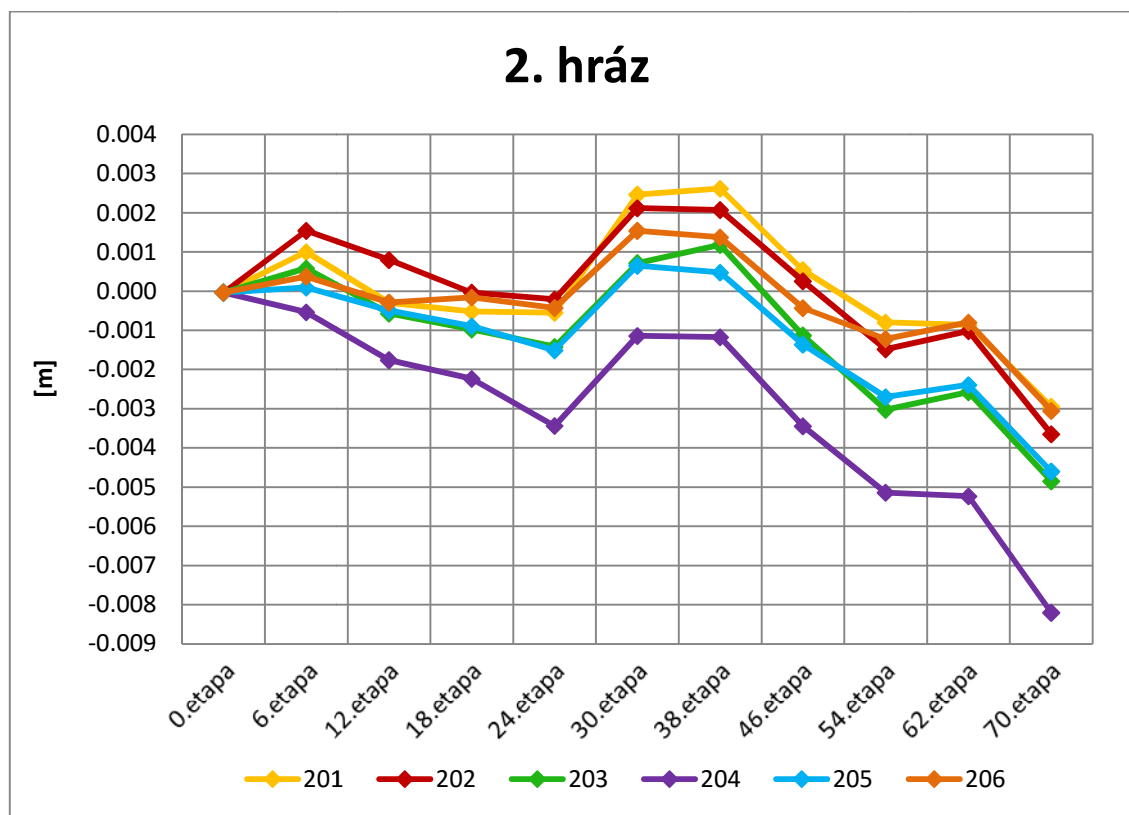
Graf 8.2 znázorňující posuny bodů na 2. hrázi ukazuje velice podobnou tendenci posunů všech bodů. V *tabulce 8.3* můžeme vidět, že rozdíly mezi posuny bodů v jednotlivých etapách se až na výjimky pohybují do 1 mm. Z grafu je opět patrný anomální zdvih ve 30. etapě, který je následován téměř minimálním posunem. S výjimkou v 62. etapě mají pak všechny následující etapy klesající tendenci, a to větší, než etapy v první polovině sledovaného období.

Třetí hráz, nacházející se v *grafu 8.3*, obsahuje pouze 3 body, z toho byl bod 301 po 46. etapě zničen a neměřen. Znovu byl pak stabilizován a měřen v 62. etapě. Opět je z grafu viditelná podobnost tendence posunu všech bodů, ovšem rozdílnost velikosti posunů je větší než na 2. hrázi. Bod 302 se za celé sledované období posunul o více než 13 mm, na rozdíl od bodu 301, který má téměř stejnou výšku v poslední i v základní etapě. Můžeme sledovat prokázaný posun mezi 46. a 54. etapou a mezi 62. a 70. etapou o velikostech -3.2 mm a -3.3 mm.

Graf 8.4 ukazuje opět velmi podobný průběh posunů všech bodů 4. hráze se zdvihem mezi 24. a 30. etapou typickým pro posuny na všech předchozích hrázích. V grafu není zobrazen průběh posunů bodu 408, jelikož je umístěn u bodu 516 a je tedy logičtější zobrazovat jeho průběh společně s tímto bodem, jehož průběh je mu více podobný. Největší posuny a zároveň prokázané jsou v *tabulce 8.5* viditelné na bodu 401 mezi etapami 24 a 30 a na bodech 404 a 405 mezi 6. a 12. etapou, o velikostech -3 mm a -3.1 mm.

Tab. 8.3 Svislé posuny bodů druhé hráze mezi následujícími etapami [m]

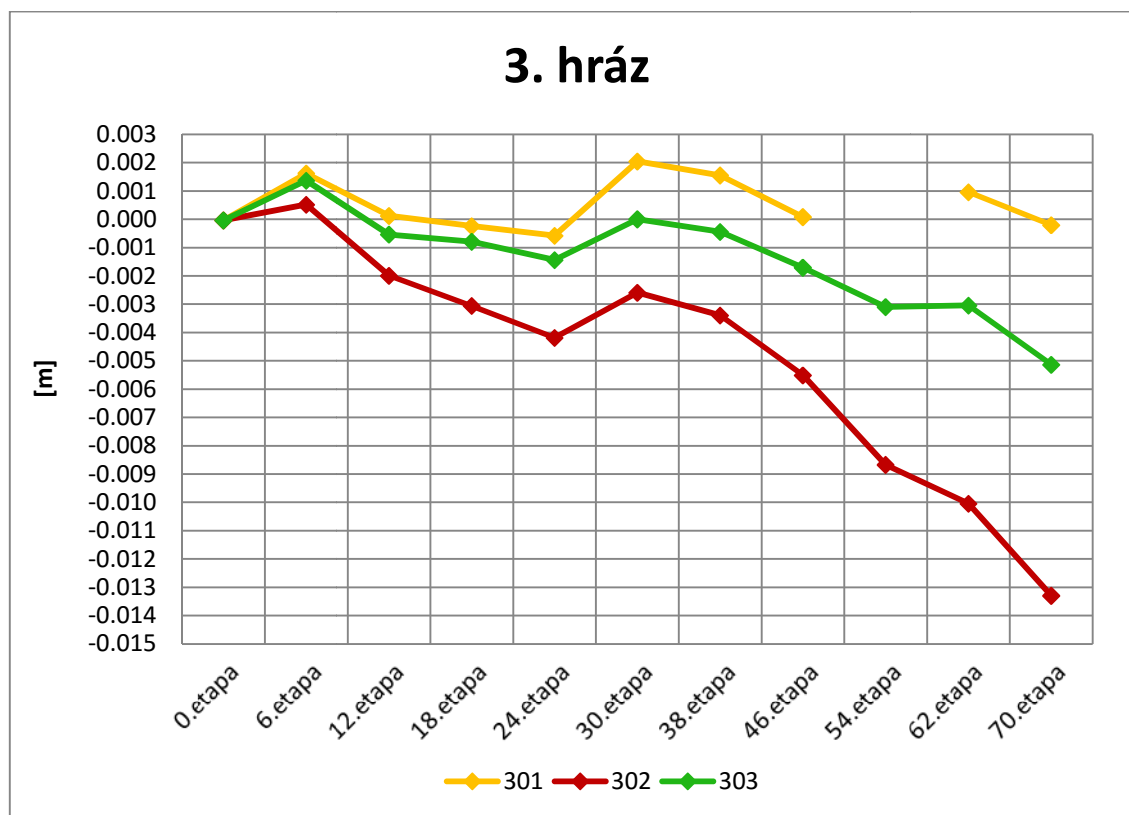
	6.-zákl. etapa	12.- 6. etapa	18.- 12. etapa	24.-18. etapa	30.-24. etapa	38.-30. etapa	46.-38. etapa	54.-46. etapa	62.-54. etapa	70.-62. etapa
datum	1995 - 1998	1998 - 2000	2000 - 2002	2002 - 2004	2004 - 2006	2006 - 2008	2008 - 2010	2010 - 2012	2012 - 2014	2014 - 2016
201	0.0010	-0.0013	-0.0002	0.0000	0.0030	0.0001	-0.0021	-0.0013	-0.0001	-0.0021
202	0.0016	-0.0007	-0.0008	-0.0002	0.0023	0.0000	-0.0018	-0.0017	0.0005	-0.0026
203	0.0006	-0.0011	-0.0004	-0.0004	0.0021	0.0005	-0.0023	-0.0019	0.0005	-0.0023
204	-0.0005	-0.0012	-0.0005	-0.0012	0.0023	0.0000	-0.0023	-0.0017	-0.0001	-0.0030
205	0.0001	-0.0006	-0.0004	-0.0006	0.0022	-0.0002	-0.0018	-0.0013	0.0003	-0.0022
206	0.0004	-0.0007	0.0001	-0.0003	0.0020	-0.0002	-0.0018	-0.0008	0.0004	-0.0023



Graf 8.2 Výšky bodů druhé hráze v jednotlivých etapách

Tab. 8.4 Svislé posuny bodů třetí hráze mezi následujícími etapami [m]

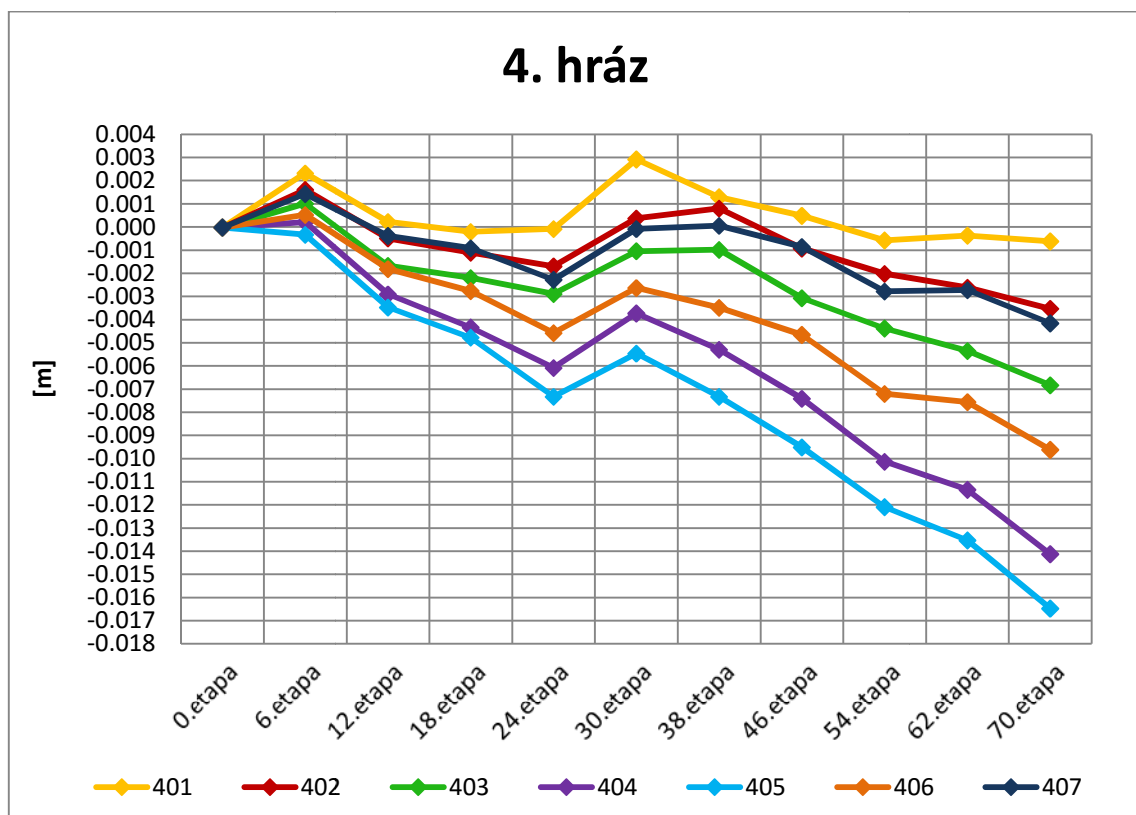
	6.-zákl. etapa	12.-6. etapa	18.-12. etapa	24.-18. etapa	30.-24. etapa	38.-30. etapa	46.-38. etapa	54.-46. etapa	62.-54. etapa	70.-62. etapa
datum	1995 - 1998	1998 - 2000	2000 - 2002	2002 - 2004	2004 - 2006	2006 - 2008	2008 - 2010	2010 - 2012	2012 - 2014	2014 - 2016
301	0.0017	-0.0015	-0.0004	-0.0003	0.0026	-0.0005	-0.0015	-	0.0009	-0.0012
302	0.0006	-0.0025	-0.0011	-0.0011	0.0016	-0.0008	-0.0021	-0.0032	-0.0014	-0.0033
303	0.0014	-0.0019	-0.0003	-0.0006	0.0014	-0.0004	-0.0013	-0.0014	0.0001	-0.0021



Graf 8.3 Výšky bodů třetí hráze v jednotlivých etapách

Tab. 8.5 Svislé posuny bodů čtvrté hráze mezi následujícími etapami [m]

	6.-zákl. etapa	12.-6. etapa	18.-12. etapa	24.-18. etapa	30.-24. etapa	38.-30. etapa	46.-38. etapa	54.-46. etapa	62.-54. etapa	70.-62. etapa
datum	1995 - 1998	1998 - 2000	2000 - 2002	2002 - 2004	2004 - 2006	2006 - 2008	2008 - 2010	2010 - 2012	2012 - 2014	2014 - 2016
401	0.0023	-0.0021	-0.0004	0.0001	0.0030	-0.0016	-0.0008	-0.0011	0.0002	-0.0002
402	0.0016	-0.0021	-0.0006	-0.0006	0.0021	0.0004	-0.0017	-0.0011	-0.0006	-0.0009
403	0.0010	-0.0027	-0.0005	-0.0007	0.0018	0.0001	-0.0021	-0.0013	-0.0010	-0.0015
404	0.0002	-0.0031	-0.0014	-0.0017	0.0024	-0.0016	-0.0021	-0.0027	-0.0012	-0.0028
405	-0.0003	-0.0031	-0.0013	-0.0026	0.0019	-0.0019	-0.0022	-0.0026	-0.0014	-0.0029
406	0.0005	-0.0023	-0.0009	-0.0018	0.0019	-0.0009	-0.0012	-0.0026	-0.0004	-0.0021
407	0.0014	-0.0018	-0.0005	-0.0014	0.0022	0.0001	-0.0009	-0.0019	0.0001	-0.0014



Graf 8.4 Výšky bodů čtvrté hráze v jednotlivých etapách

Body 5. hráze se na rozdíl od ostatních bodů nacházejí kolem celého tělesa Odkaliště. Pro přehlednost a pro možnost rozlišení chování hráze v odlišných podmínkách byly body rozděleny do dvou grafů, kde *graf 8.5* zobrazuje body 501 – 510 nacházející se nad nižšími hrázemi. V tomto grafu jsou též zobrazeny vztažné body 1004, 1005 a 1006, které se nacházejí na 5. hrázi a mají podobný průběh jako pozorované body. *Graf 8.6* obsahuje druhou část bodů (511 – 518 a 408) nacházejících se nad rostlým terénem. Oba grafy obsahují dvě skupiny bodů – s velice malými posuny (do maximálně 3 mm) a s velkými posuny (až do 15.6 mm). Prokázaný posun byl zaznamenán na bodě 507 o velikosti -15.6 mm, který nastal mezi 38. a 46. etapou, tedy mezi lety 2008 a 2010. Zároveň je zde jasně patrný trend poklesů v průběhu celého sledovaného období.

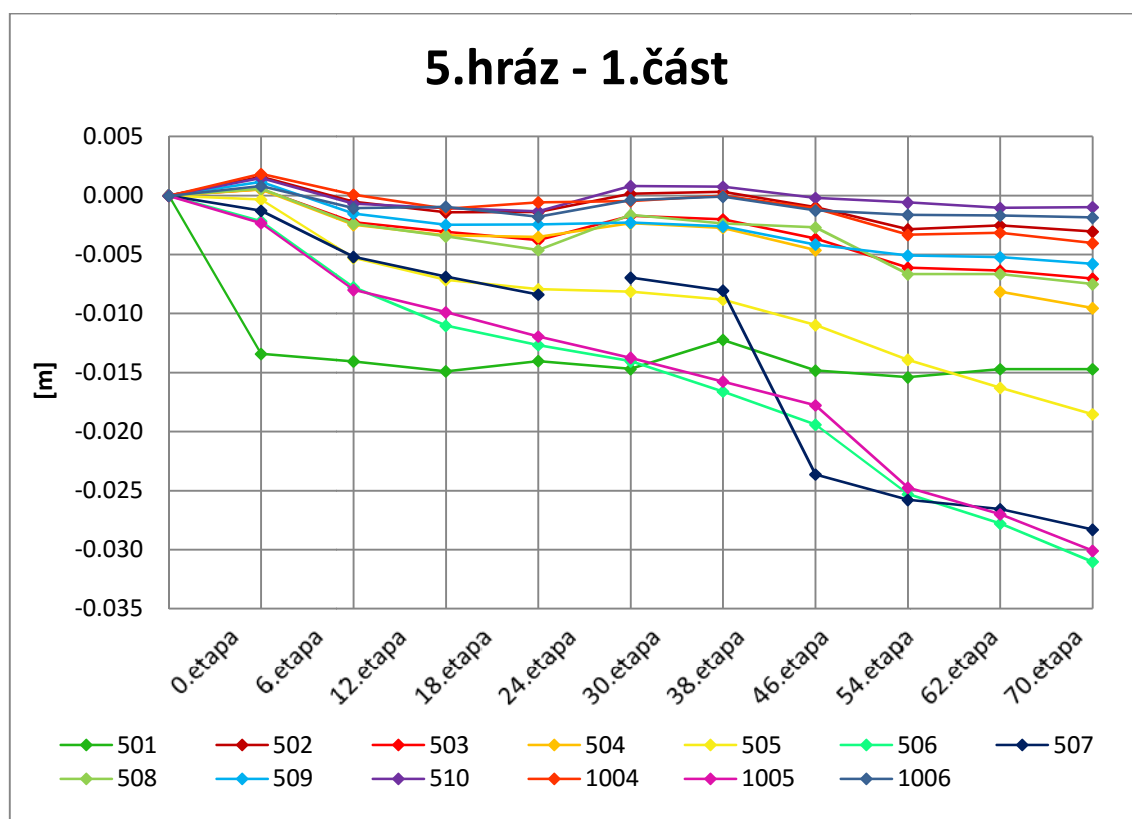
V *grafu 8.5* tedy můžeme pozorovat skupinu bodů 502, 503, 504, 508, 509, 510, 1004 s posuny do 3 mm, na kterých je patrný zdvih mezi 24. a 30. etapou stejně jako na ostatních grafech. Obecně ale můžeme říci, že posuny této skupiny bodů jsou velice malé a nepřesahují prokázanou velikost posunu. Povšimneme-li si bodu 501, můžeme vidět velký pokles mezi základní a 6. etapou o velikosti 13.4 mm, ale mezi dalšími etapami se posuny pohybují pouze do -2.6 mm. Pravděpodobně tedy došlo k dodatečnému usazení tohoto bodu, čemuž napovídá relativní stabilita okolních bodů mezi těmito etapami. Z *grafu 8.5* je též patrný velice podobný průběh poklesů bodů 506 a 1005, které jsou od sebe vzdáleny přibližně 25 m. Je tedy pravděpodobné, že se tyto body budou chovat podobně. Prokázaný pokles na těchto bodech nastal v etapách 12, 54 a 70, na bodě 506 navíc ještě v etapě 18. Na bodě 505 můžeme pozorovat

celkovou klesající tendenci s prokázaným posunem o velikosti -4.9 mm mezi etapami 6 a 12.

Graf 8.6 opět zobrazuje dvě skupiny bodů. Body 511 – 515 a 518 mají posuny pouze do 2 mm a celkově podobný průběh. Na rozdíl od toho body 516, 517 a 408 mají posuny mezi jednotlivými etapami výrazně větší. Bod 516 dokonce prokazuje téměř v každé etapě pokles větší než 3 mm, čímž došlo k rozdílu 41.6 mm mezi základní etapou (1995) a 70. etapou (2016). Můžeme tedy tvrdit, že bod 516 vykazuje trvalý prokázaný pohyb, což mohl způsobit zatrubněný Hodějovický potok nacházející se v blízkosti bodu 516 (viz *obr 3.1*). Bod 517 nedosáhl za 21 let takového posunu jako bod 516, ale posun mezi první a poslední měřenou etapou byl přibližně kolem 30 mm, což je jednoznačné prokázání posunu. Pokud by bod 408 nebyl v 54. etapě poškozen, pravděpodobně by jeho posun měl podobný průběh jako posun na bodě 517, jak tomu bylo před poškozením.

Tab. 8.6 Svislé posuny bodů první části páté hráze mezi následujícími etapami [m]

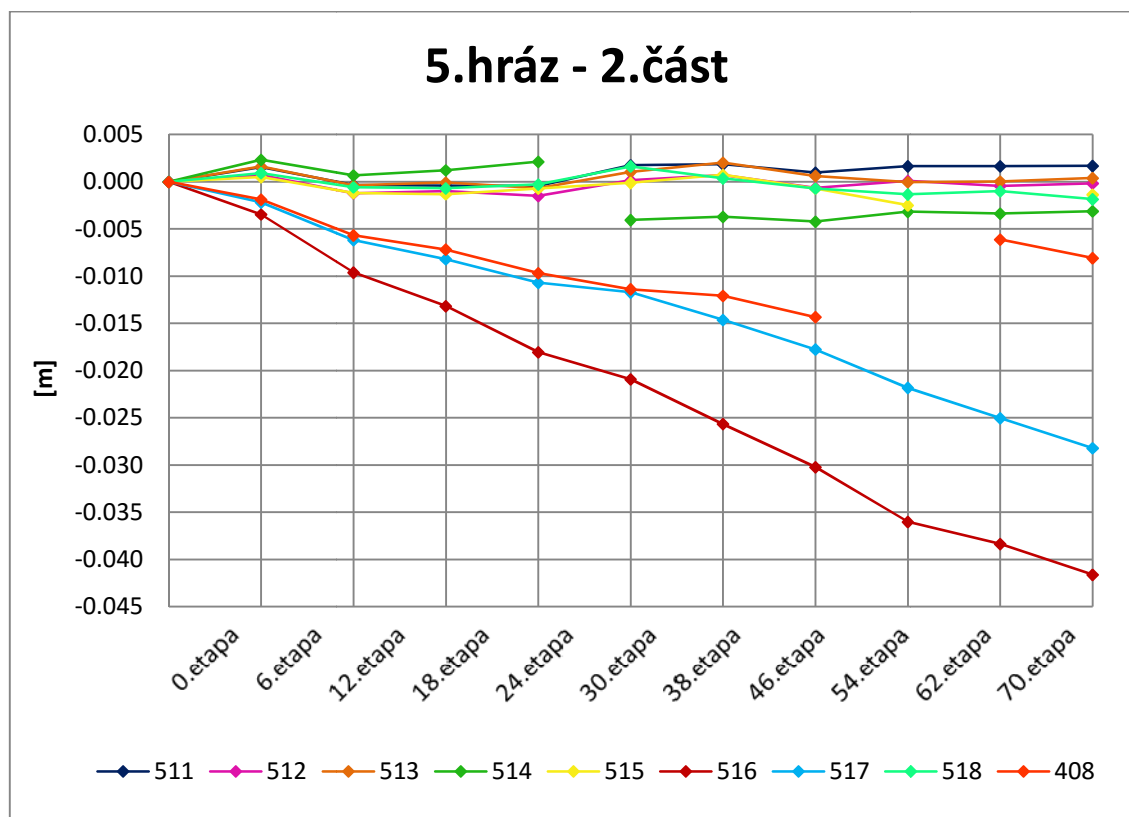
	6.-zákl. etapa	12. – 6. etapa	18.- 12. etapa	24.-18. etapa	30.-24. etapa	38.-30. etapa	46.-38. etapa	54.-46. etapa	62.-54. etapa	70.-62. etapa
datum	1995 – 1998	1998 – 2000	2000 – 2002	2002 – 2004	2004 – 2006	2006 – 2008	2008 – 2010	2010 – 2012	2012 – 2014	2014 – 2016
501	-0.0134	-0.0006	-0.0008	0.0009	-0.0007	0.0025	-0.0026	-0.0006	0.0007	0.0000
502	0.0016	-0.0021	-0.0009	0.0000	0.0016	0.0002	-0.0013	-0.0019	0.0003	-0.0005
503	0.0005	-0.0028	-0.0008	-0.0007	0.0021	-0.0003	-0.0016	-0.0025	-0.0002	-0.0007
504	0.0005	-0.0030	-0.0009	-0.0001	0.0012	-0.0004	-0.0019	-0.0035	-0.0001	-0.0014
505	-0.0003	-0.0049	-0.0019	-0.0008	-0.0002	-0.0007	-0.0021	-0.0029	-0.0024	-0.0022
506	-0.0022	-0.0056	-0.0033	-0.0016	-0.0014	-0.0026	-0.0028	-0.0059	-0.0025	-0.0032
507	-0.0013	-0.0039	-0.0017	-0.0015	0.0014	-0.0011	-0.0156	-0.0022	-0.0008	-0.0017
508	0.0006	-0.0030	-0.0011	-0.0012	0.0030	-0.0007	-0.0003	-0.0040	0.0000	-0.0008
509	0.0012	-0.0027	-0.0010	0.0000	0.0001	-0.0003	-0.0015	-0.0009	-0.0001	-0.0006
510	0.0015	-0.0021	-0.0004	-0.0003	0.0021	-0.0001	-0.0009	-0.0004	-0.0005	0.0001
1004	0.0019	-0.0018	-0.0012	0.0006	0.0001	0.0004	-0.0011	-0.0022	0.0002	-0.0009
1005	-0.0023	-0.0057	-0.0019	-0.0021	-0.0018	-0.0020	-0.0020	-0.0070	-0.0023	-0.0031
1006	0.0008	-0.0019	0.0001	-0.0009	0.0014	0.0003	-0.0012	-0.0004	-0.0001	-0.0002



Graf 8.5 Výšky bodů první části páté hráze v jednotlivých etapách

Tab. 8.7 Svislé posuny bodů druhé části páté hráze mezi následujícími etapami [m]

	6.-zákl. etapa	12.- 6. etapa	18.- 12. etapa	24.-18. etapa	30.-24. etapa	38.-30. etapa	46.-38. etapa	54.-46. etapa	62.-54. etapa	70.-62. etapa
datum	1995 - 1998	1998 - 2000	2000 - 2002	2002 - 2004	2004 - 2006	2006 - 2008	2008 - 2010	2010 - 2012	2012 - 2014	2014 - 2016
511	0.0015	-0.0019	0.0000	-0.0001	0.0022	0.0001	-0.0009	0.0007	0.0000	0.0000
512	0.0007	-0.0019	0.0002	-0.0005	0.0016	0.0005	-0.0013	0.0007	-0.0005	0.0003
513	0.0016	-0.0020	0.0003	-0.0006	0.0017	0.0010	-0.0014	-0.0007	0.0001	0.0004
514	0.0023	-0.0016	0.0005	0.0009	-0.0062	0.0004	-0.0005	0.0011	-0.0002	0.0003
515	0.0005	-0.0017	-0.0001	0.0006	0.0006	0.0008	-0.0014	-0.0018	-	0.0011
516	-0.0035	-0.0061	-0.0036	-0.0049	-0.0029	-0.0047	-0.0046	-0.0058	-0.0023	-0.0033
517	-0.0022	-0.0040	-0.0020	-0.0025	-0.0010	-0.0029	-0.0031	-0.0041	-0.0032	-0.0032
518	0.0009	-0.0015	-0.0001	0.0004	0.0019	-0.0013	-0.0011	-0.0006	0.0003	-0.0008
408	-0.0019	-0.0038	-0.0015	-0.0025	-0.0017	-0.0007	-0.0023	-	0.0082	-0.0020



Graf 8.6 Výšky bodů druhé části páté hráze v jednotlivých etapách

Z dosažených výsledků, a to jak číselných, tak grafických vyplývá postupné sedání všech hrází, až na výjimku, tvořenou výsledky 30. etapy, kdy došlo ke zdvihu prakticky celé hráze. Tento atypický jev je možno racionálně vysvětlit poklesem výchozího vztažného bodu (bod č. 4), nebo nějakým zásahem zvenku (např. zvýšení hladiny spodní vody, významnější pokles hladiny vody v nádrži či vytěžením části popílku v nádrži uloženého).

Zkontrolovala jsem měřená převýšení z přípojovacího bodu č. 4 na 1001 a 513 ve 24., 30., 38. a 62. etapě a žádné významnější rozdíly vůči 30. etapě se nevyskytují. Pokles referenčního bodu lze tedy z možných úvah o příčině zdvihu vypustit.

Druhou možností jsou příčiny vnější. Po konzultaci s Ing. Kejklíčkem, bývalým vedoucím inženýrem této stavby, který do současné doby má nad touto stavbou dozor a provádí kontroly hladiny spodní vody v piezovrtech a inklinometrech umístěných v hrázích jsem dospěla k názoru, že zdvih hrází byl pravděpodobně způsoben zvýšením hladiny spodní vody, ke kterému došlo v důsledku deštivého počasí v roce 2006. Po ustálení průsaků došlo znovu k postupnému klesání. Sedání hrázového systému je dlouhodobou záležitostí a záleží na ustálení hladin podzemních vod. Uvedenou problematiku jsem dále konzultovala s doc. Záleským z katedry geotechniky FSv ČVUT v Praze, který závěry Ing. Kejklíčka potvrdil.

8.2 POROVNÁNÍ PRVNÍHO A DRUHÉHO VÝPOČTU

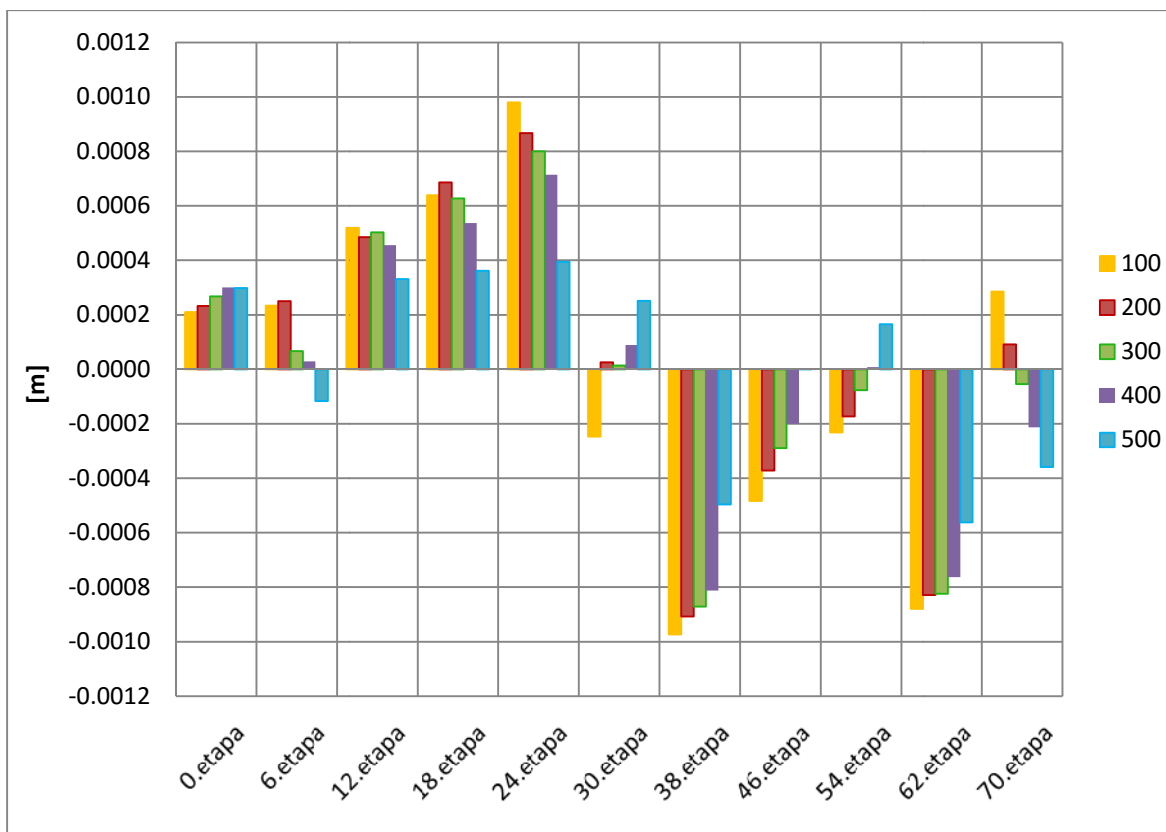
Druhý výpočet podmínkovým vyrovnáním se liší od prvního počtem bodů vztažné sítě a s tím souvisejícím počtem podmínek vyrovnání. Byly přidány přípojovací body 1003 a 1008 a podmínky definující převýšení mezi těmito novými body a přípojovacím bodem 4, který je použit i při prvním výpočtu.

Jak můžeme vidět v *tabulce 8.8*, rozdíly mezi 1. a 2. výpočtem jsou celkem malé, řádově v desetinách milimetrů, s maximální velikostí 1.2 mm nepočítáme-li nové přípojovací body. Zeleně jsou opět označeny nově určené výšky bodů, žlutě pak rozdíly překračující hodnotu 0.9 mm. V *tabulce* si též můžeme všimnout, že velikosti rozdílů na jednotlivých hrázích v jednotlivých etapách jsou velice podobné. V některých případech dokonce i stejné. Mohlo to být způsobeno tím, že podmínky vyrovnání na jednotlivých hrázích jsou při 1. výpočtu stejné jako u 2. výpočtu, a tím pádem je i stejné vyrovnání uzávěru.

Z tohoto důvodu byl vytvořen *graf 8.7* znázorňující průměrné velikosti rozdílů na jednotlivých hrázích. Z grafu je patrné, že hodnoty rozdílů jsou na hrázích 1 – 4 velice podobné, ve většině případů se od sebe liší pouze v rámci pár desetin milimetru. Největších průměrných rozdílů dosahují body na těchto hrázích ve 24. a 38. etapě (do 1.0 mm), nejmenších potom v 54. etapě, kde se hodnoty průměrných rozdílů pohybují v intervalu $< -0.3 \text{ mm} , 0.2 \text{ mm} >$. Průměrné velikosti rozdílů na 5. hrázi mají menší hodnoty než ostatních hrází, s výjimkou 70. etapy. Můžeme též sledovat kladné rostoucí hodnoty rozdílů do 24. etapy, ve 30. etapě jsou pak téměř nulové a od 38. etapy dosahují rozdíly většinou záporných hodnot.

Tab. 8.8 Rozdíly výšek bodů mezi 1. a 2. výpočtem v jednotlivých etapách [m]

etapa	zákl. etapa	6.etapa	12.etapa	18.etapa	24.etapa	30.etapa	38.etapa	46.etapa	54.etapa	62.etapa	70.etapa
datum	1995	1998	2000	2002	2004	2006	2008	2010	2012	2014	2016
101	0.0003	0.0001	0.0005	0.0007	0.0009	0.0000	-0.0009	-0.0004	-0.0002	-0.0009	0.0002
102	0.0003	0.0002	0.0005	0.0007	0.0009	-0.0001	-0.0009	-0.0004	-0.0002	-0.0009	0.0002
103	0.0001	0.0002	0.0005	0.0003	0.0009	-0.0002	-0.0010	-0.0005	-0.0002	-0.0008	0.0003
104	0.0002	0.0002	0.0005	0.0007	0.0010	-0.0003	-0.0010	-0.0005	-	-0.0009	0.0003
105	0.0002	0.0003	0.0005	0.0007	-	-0.0004	-0.0010	-0.0005	-0.0003	-0.0009	0.0003
106	0.0002	0.0004	0.0005	0.0007	0.0012	-0.0005	-0.0011	-0.0006	-0.0003	-0.0009	0.0004
201	0.0002	0.0002	0.0005	0.0007	0.0009	0.0000	-0.0009	-0.0003	-0.0002	-0.0008	0.0000
202	0.0002	0.0002	0.0005	0.0007	0.0009	0.0000	-0.0009	-0.0004	-0.0001	-0.0008	0.0001
203	0.0002	0.0002	0.0004	0.0007	0.0009	0.0001	-0.0009	-0.0004	-0.0001	-0.0008	0.0001
204	0.0003	0.0003	0.0005	0.0007	0.0008	0.0000	-0.0010	-0.0004	-0.0002	-0.0008	0.0001
205	0.0002	0.0003	0.0005	0.0007	0.0008	0.0000	-0.0009	-0.0003	-0.0002	-0.0008	0.0001
206	0.0002	0.0003	0.0005	0.0006	0.0009	0.0000	-0.0009	-0.0004	-0.0002	-0.0008	0.0001
301	0.0003	0.0000	0.0005	0.0006	0.0008	0.0001	-0.0008	-0.0003	-	-0.0008	-0.0001
302	0.0003	0.0001	0.0005	0.0007	0.0008	0.0000	-0.0009	-0.0003	-0.0001	-0.0008	-0.0001
303	0.0003	0.0001	0.0005	0.0007	0.0008	0.0000	-0.0009	-0.0003	0.0000	-0.0008	0.0000
401	0.0003	0.0000	0.0005	0.0005	0.0006	0.0003	-0.0008	-0.0002	0.0001	-0.0008	-0.0003
402	0.0003	-0.0001	0.0005	0.0005	0.0007	0.0002	-0.0008	-0.0002	0.0000	-0.0008	-0.0003
403	0.0003	0.0000	0.0005	0.0006	0.0007	0.0002	-0.0008	-0.0002	0.0000	-0.0008	-0.0003
404	0.0003	0.0000	0.0004	0.0006	0.0007	0.0000	-0.0008	-0.0002	0.0000	-0.0007	-0.0002
405	0.0003	0.0001	0.0004	0.0005	0.0007	0.0000	-0.0008	-0.0002	0.0000	-0.0008	-0.0002
406	0.0002	0.0001	0.0004	0.0006	0.0008	0.0000	-0.0009	-0.0002	-0.0001	-0.0007	-0.0002
407	0.0002	0.0001	0.0004	0.0004	0.0008	-0.0001	-0.0008	-0.0002	0.0000	-0.0006	-0.0002
408	0.0002	-0.0004	0.0002	0.0002	0.0002	0.0004	-0.0002	0.0002	-	-0.0004	-0.0006
501	0.0005	-0.0004	0.0005	0.0006	0.0004	0.0006	-0.0006	0.0001	0.0004	-0.0009	-0.0007
502	0.0004	-0.0001	0.0005	0.0005	0.0006	0.0003	-0.0007	0.0000	0.0002	-0.0009	-0.0005
503	0.0003	-0.0001	0.0005	0.0005	0.0006	0.0002	-0.0008	0.0000	0.0001	-0.0008	-0.0004
504	0.0004	0.0000	0.0005	0.0006	0.0006	0.0002	-0.0008	-0.0001	0.0001	-0.0008	-0.0004
505	0.0004	-0.0001	0.0004	0.0005	0.0007	0.0002	-0.0007	-0.0001	0.0001	-0.0007	-0.0003
506	0.0003	0.0000	0.0004	0.0005	0.0006	0.0002	-0.0008	-0.0001	0.0001	-0.0007	-0.0003
507	0.0003	0.0001	0.0004	0.0005	0.0006	0.0001	-0.0007	-0.0002	0.0000	-0.0006	-0.0002
508	0.0003	0.0001	0.0004	0.0004	0.0006	0.0000	-0.0007	-0.0001	0.0000	-0.0007	-0.0002
509	0.0003	0.0000	0.0004	0.0003	0.0003	0.0001	-0.0006	-0.0001	0.0000	-0.0005	-0.0002
510	0.0003	0.0000	0.0002	0.0003	0.0005	0.0001	-0.0006	-0.0001	0.0001	-0.0005	-0.0001
511	0.0002	0.0001	0.0002	0.0002	0.0003	0.0001	-0.0004	0.0000	0.0000	-0.0003	-0.0001
512	0.0002	0.0000	0.0002	0.0002	0.0003	0.0001	-0.0003	-0.0001	0.0000	-0.0003	0.0000
513	0.0002	0.0000	0.0001	0.0002	0.0002	0.0002	-0.0002	0.0000	0.0000	-0.0002	-0.0001
514	0.0002	-0.0002	0.0001	0.0002	0.0001	0.0003	-0.0002	0.0001	0.0003	-0.0003	-0.0005
515	0.0002	-0.0003	0.0002	0.0002	0.0002	0.0004	-0.0001	0.0001	0.0003	-	-0.0006
516	0.0002	-0.0004	0.0002	0.0002	0.0002	0.0005	-0.0002	0.0002	0.0004	-0.0004	-0.0005
517	0.0003	-0.0004	0.0003	0.0002	0.0002	0.0005	-0.0003	0.0002	0.0004	-0.0005	-0.0007
518	0.0003	-0.0004	0.0003	0.0003	0.0001	0.0006	-0.0002	0.0002	0.0005	-0.0005	-0.0007
1001	0.0002	-0.0001	0.0001	0.0002	0.0002	0.0002	-0.0001	0.0001	0.0002	-0.0002	-0.0003
1002	0.0006	-	0.0005	0.0005	0.0002	0.0011	-0.0005	0.0004	-	-0.0009	-0.0013
1003	0.0006	-0.0009	0.0006	0.0006	0.0002	0.0013	-0.0005	0.0004	0.0007	-0.0011	-0.0015
1004	0.0004	-0.0001	0.0005	0.0006	0.0006	0.0003	-0.0008	-0.0001	0.0002	-0.0008	-0.0004
1005	0.0003	0.0000	0.0005	0.0004	0.0006	0.0001	-0.0008	-0.0002	0.0000	-0.0007	-0.0002
1006	0.0002	0.0001	0.0003	0.0002	0.0005	0.0001	-0.0005	0.0000	0.0000	-0.0004	-0.0001
1007	0.0003	0.0001	0.0005	0.0007	0.0009	0.0000	-0.0009	-0.0004	-0.0002	-0.0009	0.0002
1008	0.0002	0.0006	0.0006	0.0009	0.0016	-0.0008	-0.0012	-0.0008	-0.0005	-0.0010	0.0007



Graf 8.7 Velikosti průměrných rozdílů mezi 1. a 2. výpočtem v jednotlivých etapách

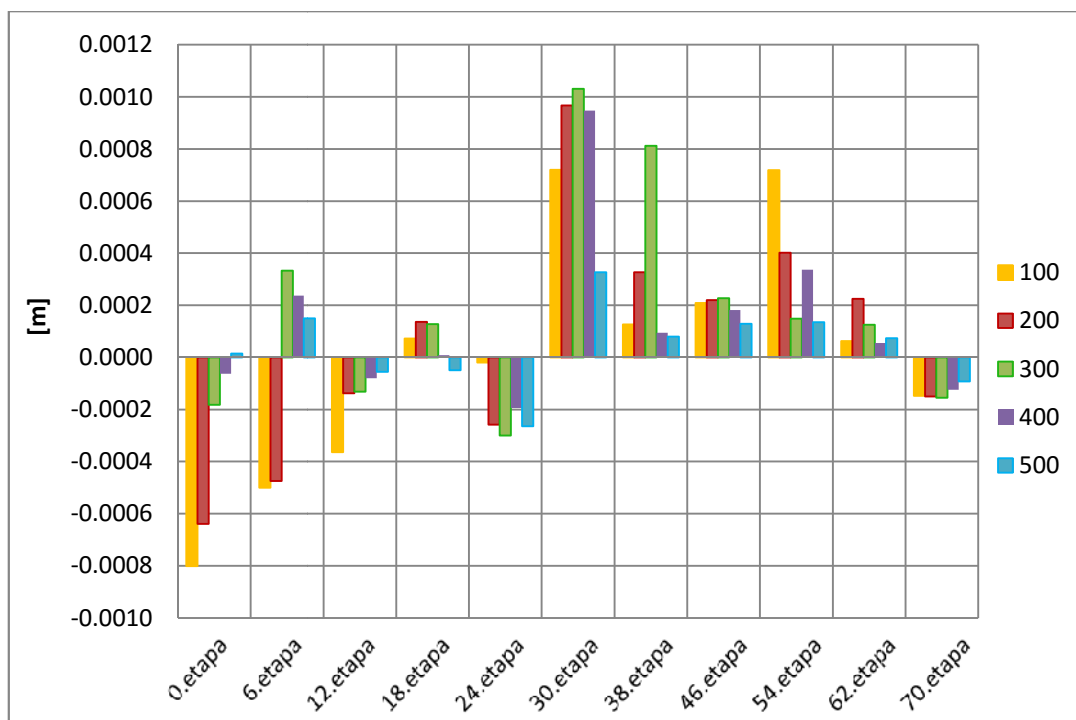
8.3 POROVNÁNÍ 1. VÝPOČTU S „RUČNÍM VYROVNÁNÍM“

„Ručním vyrovnáním“ byl nazván výpočet výšek bodů rozdělením uzávěru v uzavřeném nivelačním pořadu úměrně počtu sestav (viz kapitola 7). V tomto výpočtu je připojovací bod pouze jeden, a to původní bod č. 4 z ČSNS. Tento způsob výpočtu je nejbližší právě 1. výpočtu podmínkového vyrovnání, kde je použit také jen připojovací bod č. 4.

Očekávány jsou tedy malé rozdíly mezi těmito dvěma výpočty, což dokazují hodnoty v *tabulce 8.9*. Můžeme zde sice vidět více rozdílů přesahujících velikost 1 mm než v *tabulce 8.8* porovnávající 1. a 2. výpočet podmínkového vyrovnání, ovšem ostatní hodnoty jsou mnohem menší, než jaké zobrazuje předchozí tabulka. Převládající hodnoty rozdílů se nacházejí

v intervalu $< -0.3 \text{ mm} , 0.3 \text{ mm} >$. Graf 8.8 opět znázorňuje hodnoty zprůměrovaných rozdílů na jednotlivých hrázích. Toto bylo možné, jelikož rozdílly měly na jednotlivých hrázích velice podobnou velikost. Jak v grafu, tak v tabulce můžeme sledovat největší hodnoty rozdílů ve 30. etapě, kde jsou hodnoty rozdílů kladné a dosahují velikosti až 1.4 mm. Dále si pak můžeme v tabulce 8.9 všimnout bodů 1. hráze v 38. etapě, z nichž některé mají kladnou hodnotu rozdílů a některé zápornou, což se průměrem projevilo v grafu jako hodnota velice malá, kolem 0.1 mm.

Tyto rozdílly jsou způsobeny rozdílným způsobem vyrovnání uzávěrů a sestavením podmínek. V přílohách A3.1 – A3.10 je patrné schéma úseků a sestavení podmínek pro 1. výpočet a v kapitole 7 je vysvětlen postup ručního vyrovnání. Je zjevné, že při dvou rozdílných metodách výpočtu mohlo dojít následkem sčítání menších chyb k větším rozdílům ve výsledcích.



Graf 8.8 Velikosti průměrných rozdílů mezi 1. výpočtem a ručním vyrovnáním v jednotlivých etapách

Tab. 8.9 Rozdíly výšek bodů mezi 1. výpočtem a ručním vyrovnáním v jednotlivých etapách [m]

etapa	zákl. etapa	6.etapa	12.etapa	18.etapa	24.etapa	30.etapa	38.etapa	46.etapa	54.etapa	62.etapa	70.etapa
datum	1995	1998	2000	2002	2004	2006	2008	2010	2012	2014	2016
101	-0.0002	-0.0008	-0.0005	0.0001	0.0000	0.0007	0.0011	0.0003	0.0008	0.0000	-0.0001
102	-0.0004	-0.0006	-0.0002	0.0001	0.0000	0.0007	0.0011	0.0003	0.0008	0.0000	-0.0001
103	-0.0008	-0.0005	-0.0004	0.0001	0.0000	0.0009	0.0011	0.0003	0.0007	0.0001	-0.0001
104	-0.0009	-0.0005	-0.0004	0.0000	0.0000	0.0010	-0.0006	0.0002		0.0001	-0.0002
105	-0.0011	-0.0003	-0.0004	0.0000		0.0008	-0.0009	0.0001	0.0006	0.0001	-0.0002
106	-0.0014	-0.0001	-0.0004	0.0001	0.0001	0.0004	-0.0011	0.0001	0.0006	0.0001	-0.0002
201	-0.0003	-0.0005	0.0001	0.0002	-0.0001	0.0010	0.0010	0.0003	0.0008	-0.0001	-0.0002
202	0.0001	-0.0006	0.0000	0.0002	-0.0001	0.0010	0.0008	0.0003	-0.0001	0.0004	-0.0002
203	-0.0008	-0.0005	-0.0001	0.0002	-0.0002	0.0009	0.0005	0.0003	-0.0002	0.0004	-0.0002
204	-0.0009	-0.0004	-0.0002	0.0001	-0.0003	0.0010	0.0002	0.0002	0.0008	0.0003	-0.0001
205	-0.0010	-0.0003	-0.0003	0.0000	-0.0003	0.0010	-0.0001	0.0002	0.0006	0.0002	-0.0001
206	-0.0010	-0.0003	-0.0003	0.0000	-0.0004	0.0009	-0.0004	0.0001	0.0005	0.0002	-0.0001
301	0.0002	0.0005	0.0000	0.0002	-0.0002	0.0011	0.0008	0.0004		0.0000	0.0001
302	-0.0002	0.0003	-0.0001	0.0003	-0.0003	0.0011	0.0008	0.0002	0.0001	0.0002	-0.0002
303	-0.0005	0.0002	-0.0002	0.0000	-0.0003	0.0010	0.0008	0.0000	0.0002	0.0002	-0.0003
401	0.0001	0.0005	-0.0001	0.0000	-0.0003	0.0014	0.0008	0.0005	0.0004	0.0000	-0.0003
402	0.0001	0.0004	-0.0001	0.0000	-0.0002	0.0013	0.0007	0.0004	0.0004	0.0000	-0.0003
403	0.0000	0.0004	-0.0001	0.0000	-0.0002	0.0012	0.0004	0.0003	0.0004	0.0000	-0.0002
404	-0.0001	0.0003	-0.0001	0.0000	-0.0002	0.0011	0.0002	0.0002	0.0003	0.0000	-0.0002
405	-0.0002	0.0002	-0.0001	-0.0001	-0.0002	0.0010	-0.0002	0.0001	0.0003	0.0001	0.0000
406	-0.0003	0.0002	-0.0002	0.0001	-0.0001	0.0008	-0.0005	-0.0001	0.0002	0.0002	0.0000
407	-0.0003	0.0001	-0.0001	0.0000	0.0001	0.0005	-0.0008	0.0000	0.0002	0.0002	0.0000
408	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0002	0.0004	0.0001	-0.0001		-0.0001	0.0000
501	0.0000	0.0005	-0.0001	0.0000	-0.0003	0.0014	0.0005	0.0004	0.0006	0.0001	-0.0002
502	0.0000	0.0005	0.0000	-0.0001	-0.0003	0.0014	0.0005	0.0004	0.0006	0.0001	-0.0002
503	0.0000	0.0005	-0.0001	-0.0002	-0.0003	0.0010	0.0003	0.0004	0.0004	0.0001	-0.0002
504	-0.0001	0.0004	-0.0001	-0.0001	-0.0003	0.0008	0.0002	0.0004	0.0004	0.0001	-0.0002
505	-0.0001	0.0002	-0.0001	-0.0001	-0.0002	0.0005	0.0001	0.0003	0.0004	0.0001	-0.0001
506	-0.0001	0.0003	0.0000	0.0000	-0.0003	0.0002	0.0000	0.0002	0.0004	0.0001	-0.0001
507	-0.0001	0.0002	-0.0001	-0.0001	-0.0002	-0.0002	-0.0002	0.0001	0.0002	0.0001	0.0000
508	-0.0001	0.0001	-0.0001	-0.0001	-0.0001	-0.0004	-0.0003	0.0000	0.0002	0.0001	0.0000
509	-0.0001	0.0001	-0.0001	-0.0001	-0.0004	-0.0002	-0.0002	0.0001	0.0001	0.0001	0.0000
510	0.0000	0.0000	-0.0001	-0.0001	-0.0002	-0.0002	-0.0002	0.0000	0.0001	0.0001	0.0000
511	0.0000	0.0001	-0.0001	-0.0001	-0.0002	-0.0001	-0.0001	0.0000	0.0001	0.0001	-0.0001
512	0.0001	0.0000	-0.0001	0.0000	-0.0002	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	-0.0002
513	0.0001	-0.0001	0.0000	0.0000	-0.0003	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	-0.0001
514	0.0000	0.0002	0.0001	0.0000	-0.0002	0.0001	0.0001	0.0000	-0.0002	0.0000	0.0000
515	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000	-0.0002	0.0002	0.0001	-0.0001	-0.0002		0.0000
516	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0002	0.0004	0.0001	-0.0001	-0.0002	-0.0001	0.0000
517	0.0002	0.0000	-0.0001	0.0000	-0.0002	0.0005	0.0002	0.0000	-0.0003	-0.0001	-0.0001
518	0.0003	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0003	0.0005	0.0002	0.0000	-0.0003	0.0001	-0.0001
1001	0.0000	0.0002	0.0000	0.0001	-0.0002	0.0000	0.0001	0.0000	-0.0001	0.0000	0.0000
1002	0.0000		-0.0001	0.0000	-0.0003	0.0010	0.0004	0.0002	0.0000	0.0002	-0.0002
1003	0.0000	0.0004	0.0000	0.0000	-0.0003	0.0011	0.0004	0.0002	-0.0005	0.0001	-0.0002
1004	0.0000	0.0005	0.0000	-0.0001	-0.0003	0.0012	0.0005	0.0004	0.0006	0.0001	-0.0002
1005	-0.0002	0.0002	0.0000	-0.0001	-0.0002	0.0000	-0.0001	0.0002	0.0004	0.0001	0.0000
1006	-0.0001	0.0000	-0.0001	-0.0001	-0.0002	-0.0002	-0.0001	0.0000	0.0001	0.0001	-0.0001
1007	0.0001	-0.0007	-0.0005	0.0001	0.0000	0.0002	-0.0015	0.0003	0.0008	0.0000	-0.0001
1008	-0.0010	-0.0002	-0.0004	0.0001	0.0001	-0.0001	-0.0011	0.0001	0.0006	0.0001	-0.0002

8.4 POROVNÁNÍ 1. VÝPOČTU S VÝSLEDKY Z FIRMY

Firma GeoNet Pro, s.r.o. (dále jen „firma“) provádí výpočty výšek pozorovaných bodů a posunů mezi jednotlivými etapami po každém měření, tedy čtyřikrát za rok. Tato data mi byla poskytnuta k porovnání více způsobů výpočtů výšek a posunů, vybrala jsem však pouze ty etapy, která jsem vybrala.

Tabulka 8.10 srovnává výsledné posuny mezi jednotlivými etapami vypočítané 1. výpočtem podmínkového vyrovnání a vypočítané firmou. Firma používá jako připojovací bod pouze bod č. 4, proto k porovnání byl použit 1. výpočet, který používá stejný připojovací bod. V tabulce jsou opět označeny zelenou barvou pole s nově určenými výškami. Oranžovou barvou jsou zvýrazněny hodnoty rozdílů posunů, které jsou větší nebo rovny 2 mm. Žádný ale nepřekročil mezní odchylku $\Delta_{TMp} = 3 \text{ mm}$. Rozdíly jsou pravděpodobně způsobeny rozdílným způsobem výpočtu a zaokrouhlováním, jelikož jsem měla k dispozici pouze výsledky v milimetrech.

Na první pohled můžeme vidět, že hodnoty v *tabulce 8.10* jsou obecně větší než v předchozích dvou. Hodnoty nad 1.9 mm jsou přibližně náhodně rozmístěny, nejvíc se jich nachází mezi 30. a 38. a mezi 38. a 46. etapou. Naopak nejmenší hodnoty rozdílů se nacházejí mezi etapami 6 a 12 a mezi 62. a 70. etapou, kde jsou hodnoty v převážné většině menší než 1 mm.

Tab. 8.10 Rozdíly posunů bodů mezi 1. výpočtem a výsledky z firmy v jednotlivých etapách [m]

etapa	6. – zákł. etapa	12. – 6. etapa	18. – 12. etapa	24. – 18. etapa	30. – 24. etapa	38. – 30. etapa	46. – 38. etapa	54. – 46. etapa	62. – 54. etapa	70. – 62. etapa
datum	1998	2000	2002	2004	2006	2008	2010	2012	2014	2016
101	-0.0012	0.0011	0.0001	0.0011	-0.0021	0.0006	0.0001	-0.0001	-0.0005	0.0003
102	-0.0004	0.0003	-0.0006	0.0006	0.0002	0.0003	-0.0007	0.0008	0.0001	-0.0005
103	0.0009	-0.0012	0.0000	0.0009	0.0005	-0.0003	0.0003	0.0006	-0.0005	0.0002
104	-0.0006	0.0002	0.0005	0.0000	0.0009	-0.0016	0.0010		-0.0006	0.0000
105	0.0010	0.0005	0.0008		-0.0006	0.0005	0.0001	0.0012	-0.0022	0.0000
106	-0.0001	-0.0003	0.0009	0.0005	-0.0019	0.0003	0.0013	-0.0004	0.0002	-0.0005
201	-0.0004	-0.0004	0.0012	0.0000	-0.0010	-0.0011	0.0021	0.0003	-0.0009	0.0001
202	-0.0013	0.0004	0.0008	0.0002	-0.0003	0.0000	-0.0002	0.0007	-0.0015	0.0001
203	-0.0003	-0.0002	0.0014	0.0004	-0.0001	-0.0005	-0.0007	0.0009	-0.0005	-0.0004
204	0.0005	-0.0008	0.0015	0.0002	-0.0003	-0.0020	0.0023	0.0007	0.0001	-0.0013
205	0.0002	0.0002	0.0004	0.0006	-0.0012	0.0002	-0.0002	0.0003	-0.0003	0.0002
206	0.0009	-0.0007	0.0009	0.0003	0.0000	0.0002	-0.0002	-0.0002	-0.0004	0.0006
301	-0.0014	-0.0008	0.0004	0.0003	0.0004	-0.0005	-0.0005		0.0001	0.0003
302	-0.0012	0.0001	-0.0009	0.0011	0.0004	-0.0012	0.0001	0.0022	-0.0016	0.0002
303	-0.0013	-0.0002	-0.0007	0.0016	-0.0004	-0.0006	0.0003	0.0014	-0.0011	-0.0008
401	-0.0010	-0.0012	0.0004	0.0009	-0.0010	0.0006	-0.0002	0.0011	-0.0012	-0.0002
402	-0.0018	-0.0008	0.0006	0.0006	0.0009	-0.0024	0.0007	0.0011	-0.0004	-0.0009
403	-0.0007	0.0014	-0.0015	0.0007	0.0002	-0.0011	0.0001	0.0013	-0.0010	-0.0005
404	-0.0005	0.0004	-0.0006	0.0017	-0.0014	-0.0004	0.0001	0.0017	-0.0018	0.0000
405	-0.0014	-0.0002	0.0003	0.0016	-0.0009	-0.0011	0.0002	0.0016	-0.0016	-0.0001
406	-0.0012	0.0000	-0.0001	0.0008	-0.0009	-0.0001	0.0002	0.0006	-0.0006	0.0003
407	-0.0015	-0.0001	-0.0005	0.0014	-0.0012	-0.0001	0.0009	0.0009	-0.0001	-0.0012
408	-0.0001	0.0008	-0.0005	0.0005	-0.0003	-0.0003	-0.0007		0.0008	-0.0003
501	-0.0009	-0.0011	0.0008	0.0001	0.0017	-0.0015	0.0006	-0.0004	-0.0007	-0.0002
502	-0.0010	-0.0005	0.0009	0.0000	0.0004	-0.0012	0.0003	-0.0001	-0.0003	-0.0002
503	-0.0002	-0.0016	0.0008	0.0007	-0.0001	0.0003	-0.0004	0.0005	0.0002	-0.0011
504	0.0016	-0.0011	-0.0001	0.0001	-0.0002	-0.0006	0.0019	-0.0005	0.0001	0.0000
505	0.0001	-0.0008	0.0009	-0.0002	0.0002	-0.0003	0.0011	-0.0001	0.0004	-0.0016
506	0.0017	0.0001	0.0003	0.0006	-0.0006	-0.0004	0.0008	-0.0001	-0.0005	-0.0004
507	-0.0012	-0.0006	0.0007	0.0005	-0.0004	0.0001	0.0006	-0.0008	-0.0002	0.0001
508	-0.0019	-0.0007	0.0001	0.0012	-0.0010	-0.0003	0.0013	0.0000	-0.0010	0.0004
509	-0.0020	0.0005	0.0000	0.0000	-0.0001	-0.0007	0.0015	-0.0011	-0.0009	0.0008
510	0.0000	-0.0004	0.0004	0.0003	-0.0001	0.0001	0.0009	-0.0006	-0.0005	-0.0001
511	0.0012	0.0001	0.0000	-0.0009	0.0008	-0.0021	0.0029	-0.0007	0.0000	-0.0002
512	0.0016	0.0006	-0.0002	0.0015	-0.0006	-0.0015	0.0013	-0.0007	-0.0005	0.0001
513	0.0014	0.0010	-0.0003	0.0006	0.0003	-0.0020	0.0014	-0.0014	0.0009	-0.0006
514	0.0014	-0.0011	0.0005	-0.0009	0.0012	0.0006	-0.0005	-0.0001	0.0002	-0.0002
515	0.0020	-0.0018	0.0001	0.0014	0.0004	0.0002	-0.0006	0.0008		-0.0006
516	0.0005	-0.0009	0.0006	-0.0001	-0.0001	-0.0003	-0.0004	0.0018	-0.0007	-0.0008
517	0.0002	0.0000	0.0000	-0.0005	0.0010	-0.0001	0.0001	0.0011	0.0002	-0.0017
518	-0.0004	-0.0001	-0.0009	0.0006	0.0001	0.0003	0.0001	0.0006	-0.0003	-0.0009

9 ZÁVĚR

Tato práce se zabývala zpracováním etapového měření výškové sítě Odkaliště Hodějovice, zhodnocením přesnosti měření, určením stability bodů vztažné sítě a zhodnocením svislých posunů etapového měření.

Jelikož je Odkaliště Hodějovice složitá a ojedinělá stavba, zabývala se tato práce jeho popisem a popisem monitorovacího systému v prvních kapitolách poměrně rozsáhle, aby bylo možné správně pochopit uspořádání hrázového systému. V další části textu jsou hodnoceny rozborů přesnosti měření a výsledných posunů, je zde popsána metoda měření, použité přístrojové vybavení a způsob zpracování naměřených dat. Na závěr jsou zobrazeny výsledky výpočtů a jejich zhodnocení, porovnání jednotlivých výpočtů mezi sebou a grafické zobrazení svislých posunů.

Celkem bylo zpracováno 11 etap z období 1995 – 2016, z nichž první je považována za základní. Z důvodu množství dat byly vybrány etapy s dvouletými rozestupy. Aktivně jsem se účastnila měření některých etap a všechna naměřená data z vybraných etap jsem znovu zpracovala a vypočítala výšky a svislé posuny pozorovaných bodů a bodů vztažné sítě.

Jedním z cílů této práce bylo zhodnocení přesnosti měření, které je pro použitou metodu velmi přesné nivelace dáno směrodatnou odchylkou průměrného převýšení v jedné nivelační sestavě $\sigma_h = 0.1$ mm. Jak ukázalo hodnocení dosahované přesnosti z rozdílů měřických dvojic a uzávěrů uzavřených nivelačních pořadů, je reálná přesnost v konkrétních podmínkách

nižší, daná odpovídající výběrovou směrodatnou odchylkou $s_h = 0.22$ mm. Jak prokázala odvození provedená v kapitole o rozborech přesnosti, splňuje dosažená přesnost určení výšek pozorovaných bodů, resp. svislých posunů, požadovanou přesnost, danou požadavkem na prokazatelnost posunů překračujících hodnotu 3.0 mm.

Dále se tato práce zabývala výpočtem svislých posunů na pozorovaných bodech monitorovacího systému Odkaliště Hodějovice. Jako základní způsob výpočtu bylo zvoleno podmínkové vyrovnání s přípojevacím bodem č. 4 z ČSNS. Největší posun byl detekován na 5. hrázi na bodě 507 o velikosti -15.6 mm (tedy pokles) mezi roky 2008 a 2010 (38. a 46. etapa) a druhý největší pokles – -13.4 mm – byl zjištěn na bodě 501 mezi základní a 6. etapou. Dále pak bod 516, který překročil mezní posun mezi téměř každými vybranými etapami a jeho celkový pokles od roku 1995 do září 2016 má velikost -41.6 mm.

Dále se tato práce zabývala posouzením stability vztažných bodů a z něj vycházející možnosti výpočtu výšek, resp. svislých posunů vyrovnáním mezi více stabilními body vztažné sítě. Při kladném vyhodnocení možnosti výpočtu výšek jiným způsobem vyrovnání bylo dalším cílem porovnání výsledků vypočtených více způsoby, a to tzv. ručním vyrovnáním a podmínkovým vyrovnáním s jedním a s více přípojevacími body. Stabilita nových přípojevacích bodů byla ověřena výběrovou směrodatnou odchylkou $\sigma_p = 0.6$ mm a mezním rozdílem $\Delta_{M1003(1008)} = 2$ mm. Vzhledem k tomu, že u bodů původní vztažné sítě (1003 a 1008) nebyla prokázána nestabilita, lze je pokládat za stabilní. Z porovnání 1. a 2. výpočtu výšek pozorovaných bodů vyplývá, že největší rozdíly mezi výsledky se nacházejí na bodech 1. hráze, a to

až 1.2 mm, resp. -1.0 mm. Maximální hodnoty rozdílů mezi 1. výpočtem a ručním vyrovnáním dosahují sice až -1.4 mm, resp. 1.4 mm, ale převládající hodnota rozdílů je 0.1 mm oproti rozdílům mezi 1. a 2. výpočtem, kde jsou hodnoty rozprostřeny přibližně po celém intervalu. Extrémy jsou tedy sice větší, ale celkově jsou hodnoty rozdílů menší než rozdíly mezi 1. a 2. výpočtem.

Použitý postup měření a výpočtu svislých posunů vyhovuje požadavkům na přesnost určení výsledků stanovených projektem. Navržený postup vyrovnání, s využitím dalších bodů vztažné sítě jako stabilních, rozšiřuje a zpřesňuje možnosti výpočtu svislých posunů. Zároveň potvrzuje použitelnost zavedeného postupu, v rámci požadované přesnosti výsledků.

POUŽITÉ ZDROJE

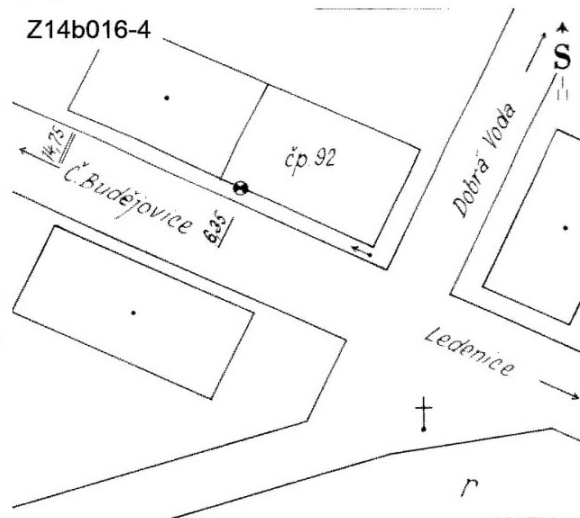
- [1] *Provozně - manipulační řád: Odkaliště Hodějovice III/5*. 2009.
- [2] *Rekultivace území zasažených těžbou a jejich možné začlenění do projektu komplexní pozemkové úpravy*. České Budějovice, 2012. Bakalářská práce. Jihočeské univerzita v Českých Budějovicích. Vedoucí práce Doc. Ing. Pavel Ondr, CSc
- [3] Odkaliště. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2017-01-09]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Odkali%C5%A1t%C4%9B>
- [4] Odkaliště Hodějovice hostí ohrožené živočichy. In: *Teplárna České Budějovice* [online]. České Budějovice, 2011 [cit. 2017-01-09]. Dostupné z: <http://www.teplarna-cb.cz/vyroba-a-distribuce/odkaliste-hodejovice/>
- [5] *ČSN 75 3310: Odkaliště*. 1. vydání. Praha: český normalizační institut, 1991.
- [6] *ČSN 73 0405: Měření posunů stavebních objektů*. 2. vydání. Praha: Český normalizační institut, 1997.
- [7] *Wild NA2000 and NA3000: User manual*. Switzerland: Leica, 1997.

-
- [8] HAMPACHER, Miroslav a Vladimír RADOUCH. *Teorie chyb a vyrovnávací počet* 2. Vyd. 2. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004. ISBN 80-010-3012-1.
- [9] NOVÁK, Zdenek a PROCHÁZKA, Jaromír. *Inženýrská geodézie* 10. Vyd. 2. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2001, 181 s. ISBN 80-010-2407-5.
- [10] *IngGeo - portál inženýrské geodézie* [online]. ČVUT, 2012 [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: <http://inggeo.fsv.cvut.cz/>
- [11] BLAŽEK R., SKOŘEPA Z.: *Geodézie 3 – Výškopis*, Vydavatelství ČVUT, Praha 2011, 229 s., ISBN 978-80-01-04358-5
- [12] *Zeměměřický úřad: Bodová pole* [online]. [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <http://geoportal.cuzk.cz>
- [13] *Seznam: Mapy.cz* [online]. [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: www.mapy.cz

A PŘÍLOHY

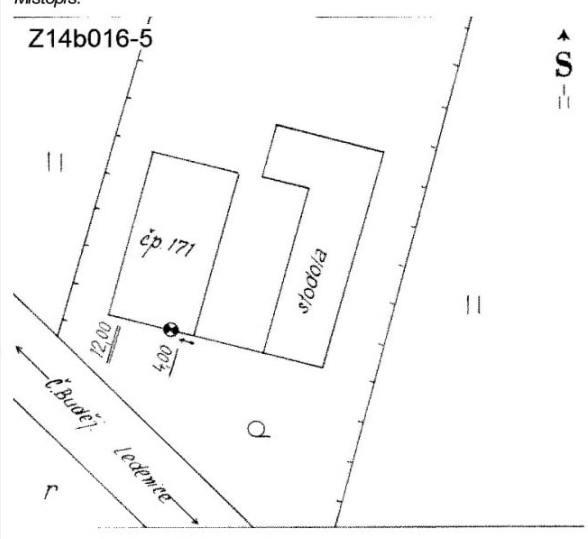
A1 NIVELAČNÍ ÚDAJE BODU Č. 4 ČSNS

NIVELAČNÍ ÚDAJE

Nivelační pořad: Z14b016 České Budějovice-Ledenice					
Předchozí bod	Nivelační bod	Délka v km		Nadmořská výška Bpv	Výška z roku
		oddílu	od počátku		
Z14b016-3	Z14b016-4	0.490	1.492	432.903 m	1961
<p>Místopisný popis: České Budějovice, dům č.p.92</p>			<p>Místopis: Z14b016-4</p> 		
<p>Stav a stáří objektu: zachovalá, omítnutá, podsklepená, cihlová stavba s kamennou podezdívkou, asi z r.1941 značka 0.6m nad zemí</p>					
<p>Poznámky:</p>					
		Úz. jednotka:	330108001		
		Okres:	České Budějovice		
		Obec:	SRUBEC		
		Kat. území:	SRUBEC		
		Mastrik/parc. č.:	/		
ZM-50	32-22		SMO-5	České Budějovice 1-4	
Druh zn.	Stupeň stab.	Stabilizoval	Druh bodu	Souřadnice v S-JTSK	
Č V	2	Blaschko Edmund		Y	752941 m
	Druh stab.			X	1168185 m
	N				
Zeměpisná délka		Zeměpisná šířka	Gs	Gn	Ba
0° 0' 0,0"		0° 0' 0,0"	0 mgal	0 mgal	0 mgal
Datum: 3.4.2017					

A2 NIVELAČNÍ ÚDAJE BODU Č. 5 ČSNS

NIVELAČNÍ ÚDAJE

Nivelační pořad: Z14b016 České Budějovice-Ledenice						
Předchozí bod	Nivelační bod	Délka v km		Nadmořská výška Bpv	Výška z roku	
		oddílu	od počátku			
Z14b016-4	Z14b016-5	0.220	1.712	437.254 m	1961	
Místopisný popis: Srubec, dům čp.171		Místopis: 				
Stav a stáří objektu: zachovalá, omítnutá, nepodsklepená cihlová stavba, asi z r.1921 značka 0.6m nad zemí		Poznámky:				
		Úz. jednotka: 330108001 Okres: České Budějovice Obec: SRUBEC Kat. území: SRUBEC Vlastník/parc. č.: /				
ZM-50	32-22		SMO-5	České Budějovice 1-4		
Druh zn.	Stupeň stab.	Stabilizoval	Druh bodu	Souřadnice v S-JTSK		
Č V	3	Blaschko Edmund		Y	752801 m	dig.
	Druh stab.			X	1168326 m	
	N			1961		
Zeměpisná délka		Zeměpisná šířka	Gs	Gn	Ba	
0° 0' 0,0"		0° 0' 0,0"	0 mgal	0 mgal	0 mgal	
Datum: 3.4.2017						

A3 **PODMÍNKOVÉ ROVNICE A SCHÉMATA ÚSEKŮ****A3.1** **ZÁKLADNÍ ETAPA**

1. $h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5 - u_1 = 0$

2. $h_5 + h_6 + h_7 + h_8 + h_9 - u_2 = 0$

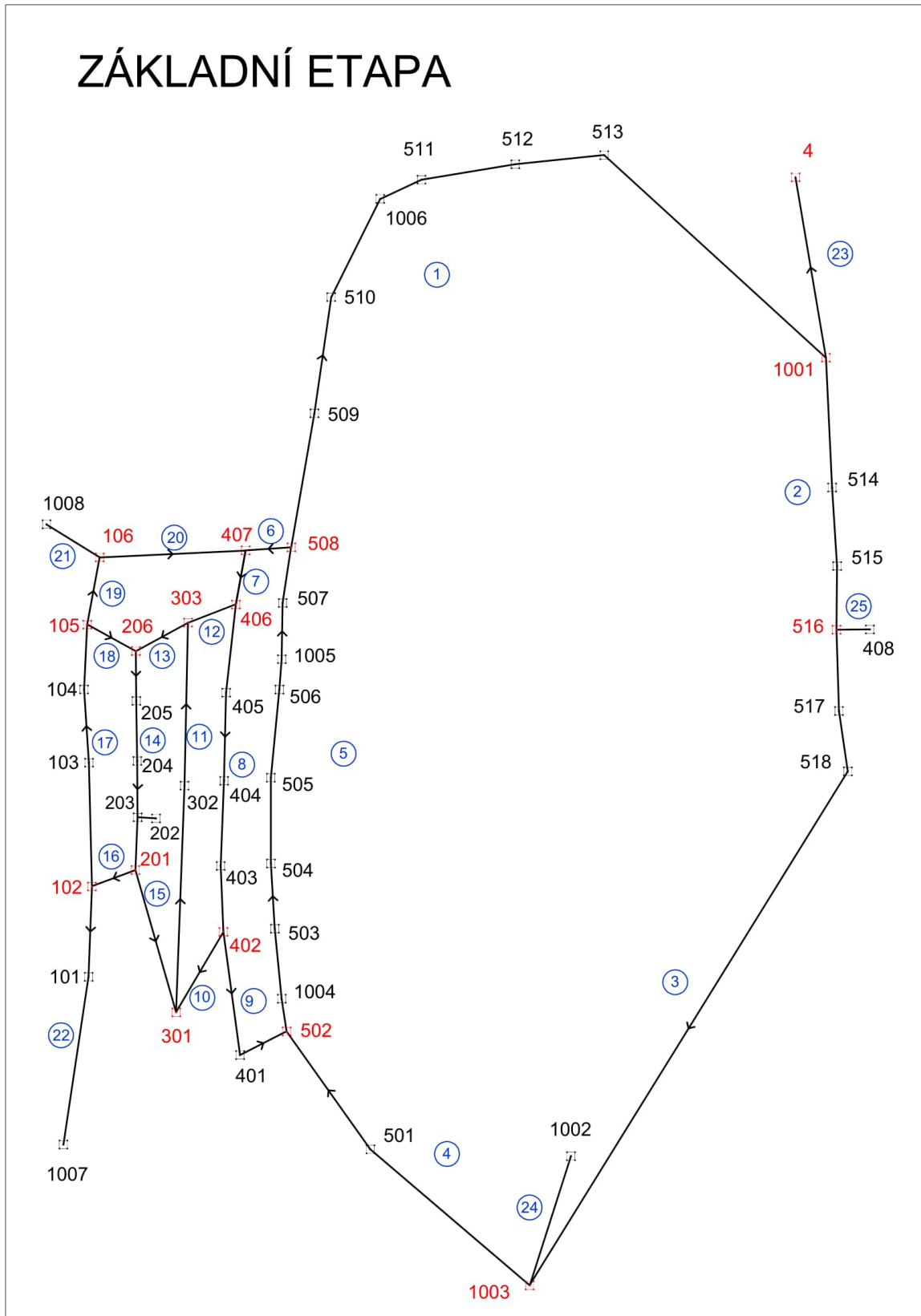
3. $h_8 + h_{10} + h_{11} + h_{12} - u_3 = 0$

4. $h_{11} + h_{13} + h_{14} + h_{15} - u_4 = 0$

5. $h_{14} + h_{16} + h_{17} + h_{18} - u_5 = 0$

6. $h_7 - h_{12} + h_{13} - h_{18} + h_{19} + h_{20} - u_6 = 0$

ZÁKLADNÍ ETAPA



A3.2 6. ETAPA

1. $h_1 + h_2 + h_3 + h_4 - u_1 = 0$

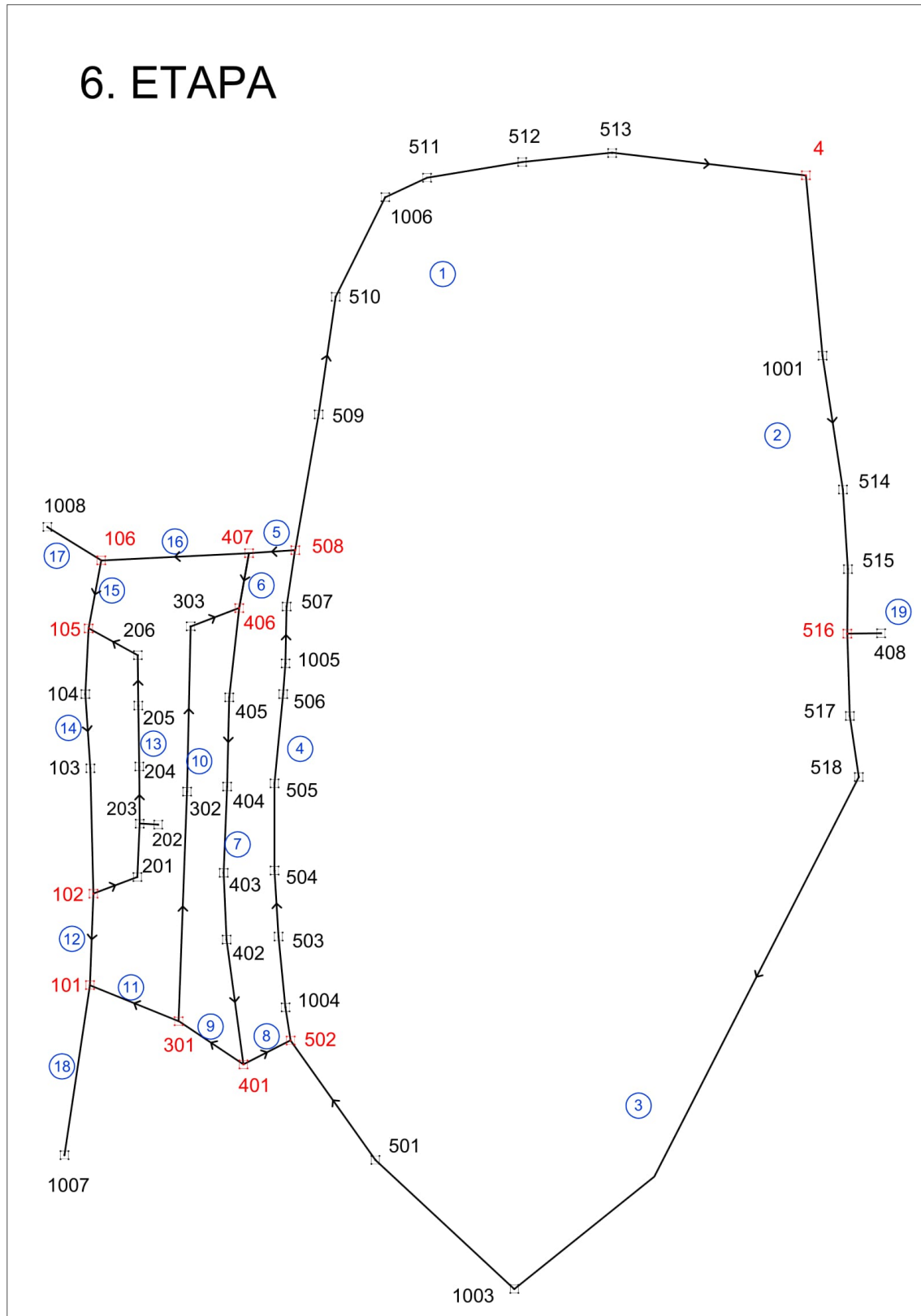
2. $h_4 + h_5 + h_6 + h_7 + h_8 - u_2 = 0$

3. $h_7 + h_9 + h_{10} - u_3 = 0$

4. $-h_6 + h_{10} + h_{11} + h_{12} + h_{14} + h_{15} + h_{16} - u_4 = 0$

5. $h_{13} + h_{14} - u_5 = 0$

6. ETAPA



A3.3 **12. ETAPA**

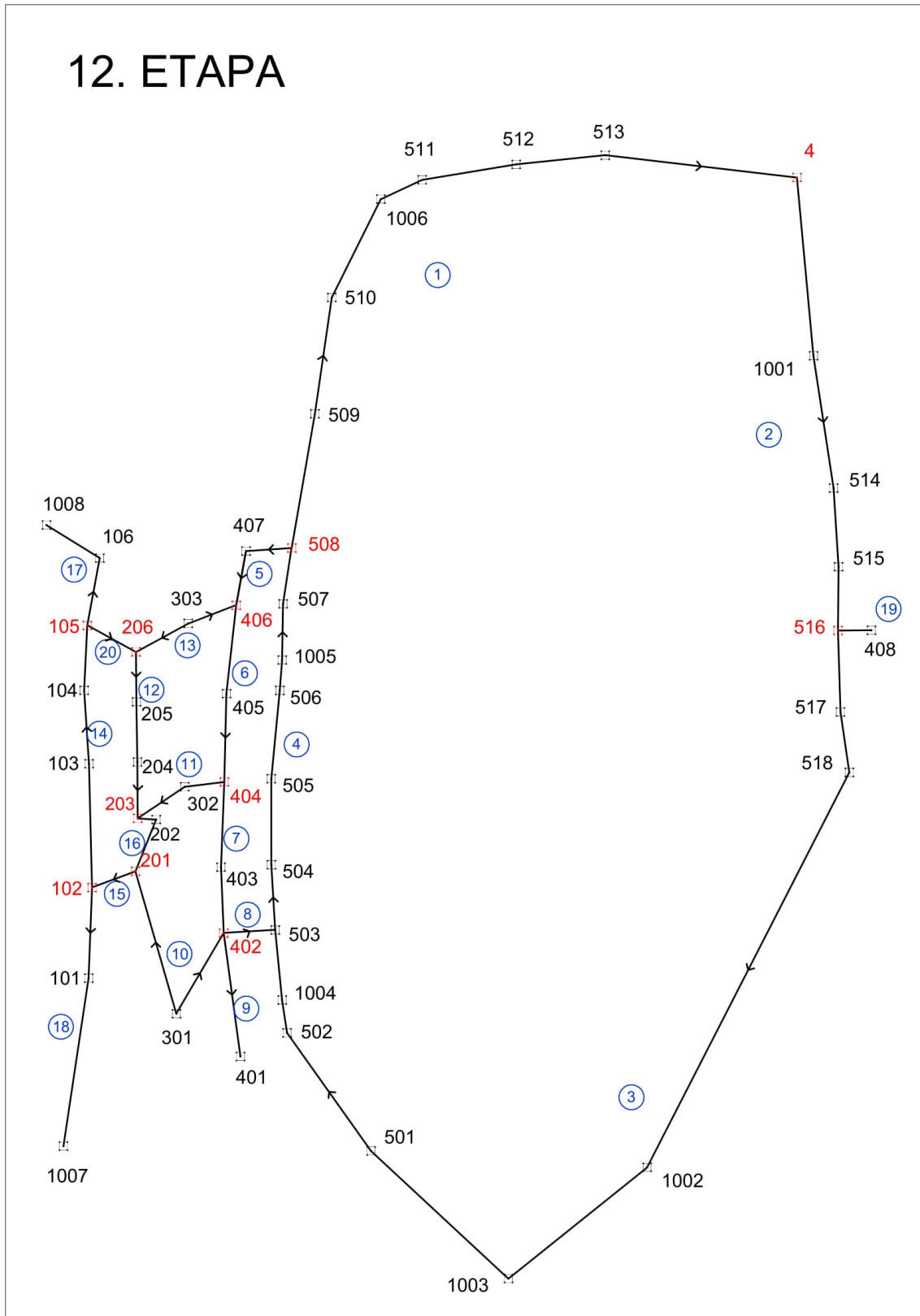
1. $h_1 + h_2 + h_3 + h_4 - u_1 = 0$

2. $h_4 + h_5 + h_6 + h_7 + h_8 - u_2 = 0$

3. $h_7 + h_{10} + h_{11} + h_{16} - u_3 = 0$

4. $h_6 - h_{11} + h_{12} + h_{13} - u_4 = 0$

5. $h_{12} + h_{14} + h_{15} + h_{16} + h_{20} - u_5 = 0$



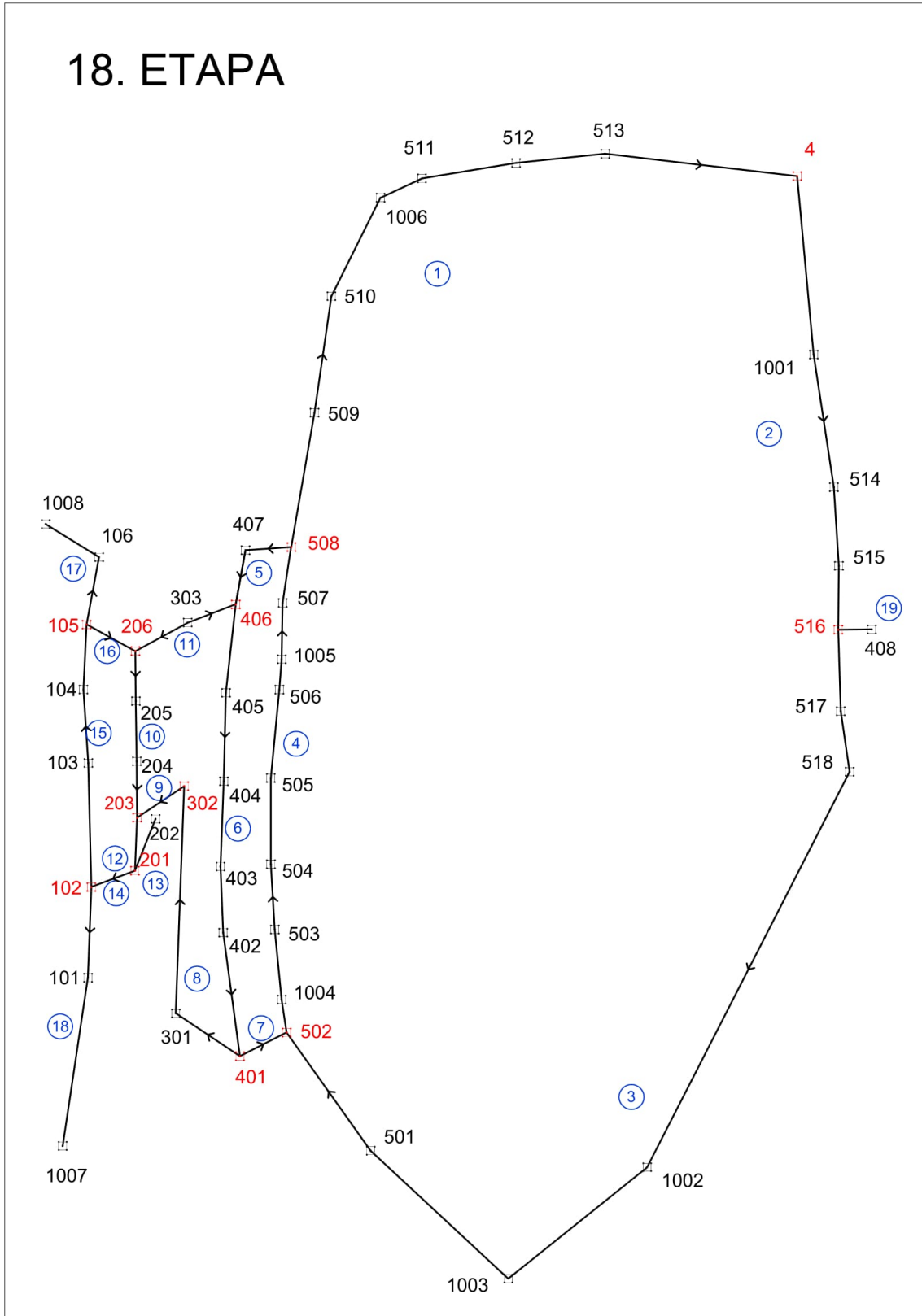
A3.4 **18. ETAPA**

1. $h_1 + h_2 + h_3 + h_4 - u_1 = 0$

2. $h_4 + h_5 + h_6 + h_7 - u_2 = 0$

3. $h_6 + h_8 + h_9 + h_{10} + h_{11} - u_3 = 0$

4. $-h_{10} + h_{12} + h_{14} + h_{15} + h_{16} - u_4 = 0$



A3.5 **24. ETAPA**

1. $h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5 + h_6 - u_1 = 0$

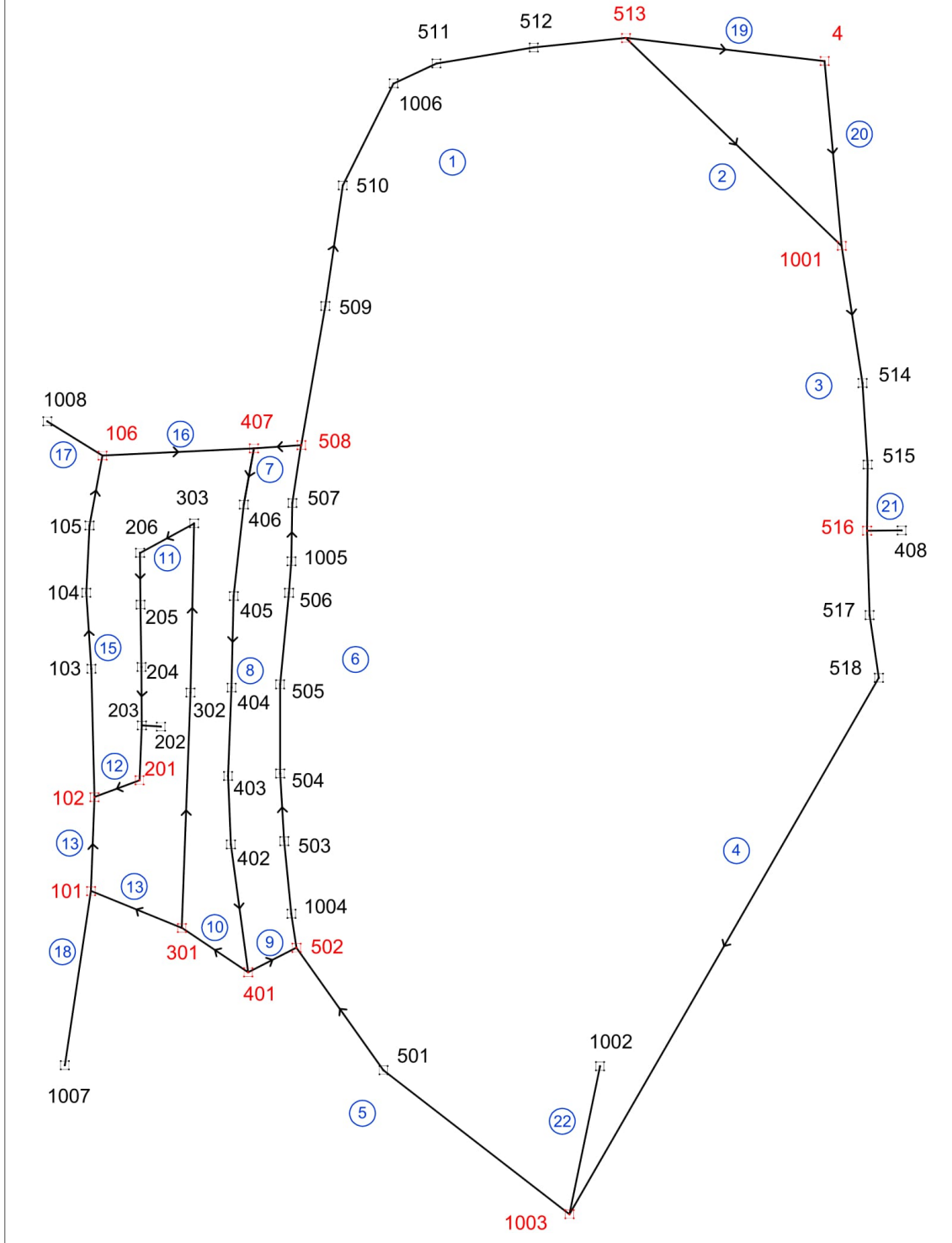
2. $h_6 + h_7 + h_8 + h_9 - u_2 = 0$

3. $h_8 + h_{10} + h_{13} + h_{14} + h_{15} + h_{16} - u_3 = 0$

4. $h_{11} + h_{12} + h_{13} + h_{14} - u_4 = 0$

5. $h_2 + h_{19} + h_{20} - u_5 = 0$

24. ETAPA



A3.6 **30. ETAPA**

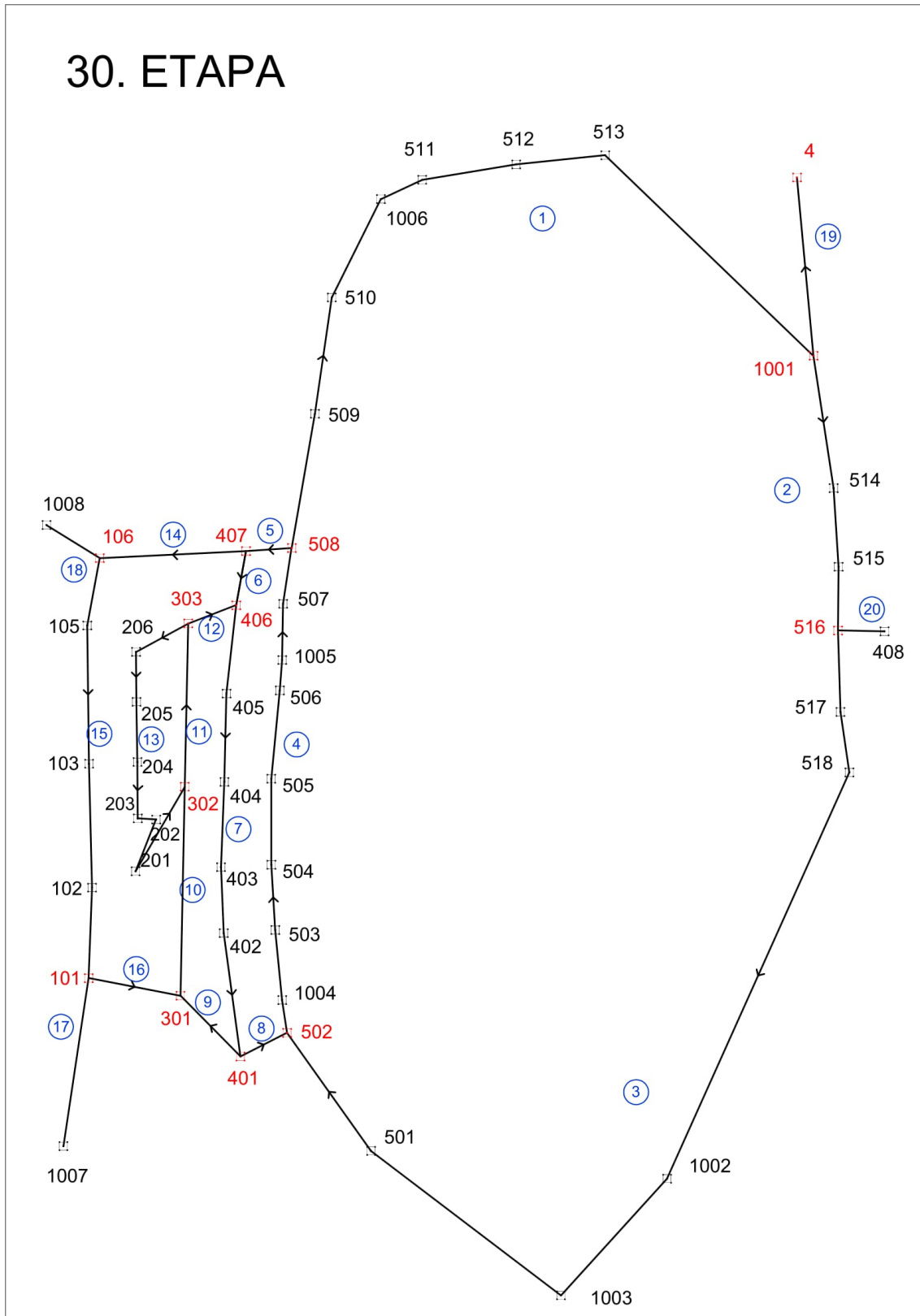
1. $h_1 + h_2 + h_3 + h_4 - u_1 = 0$

2. $h_4 + h_5 + h_6 + h_7 + h_8 - u_2 = 0$

3. $h_7 + h_9 + h_{10} + h_{11} + h_{12} - u_3 = 0$

4. $h_{11} + h_{13} - u_4 = 0$

5. $-h_6 + h_{10} + h_{12} - h_{13} + h_{14} + h_{15} + h_{16} - u_5 = 0$



A3.7 **38. ETAPA**

1. $h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5 + h_6 - u_1 = 0$

2. $h_6 + h_7 + h_8 + h_9 + h_{10} - u_2 = 0$

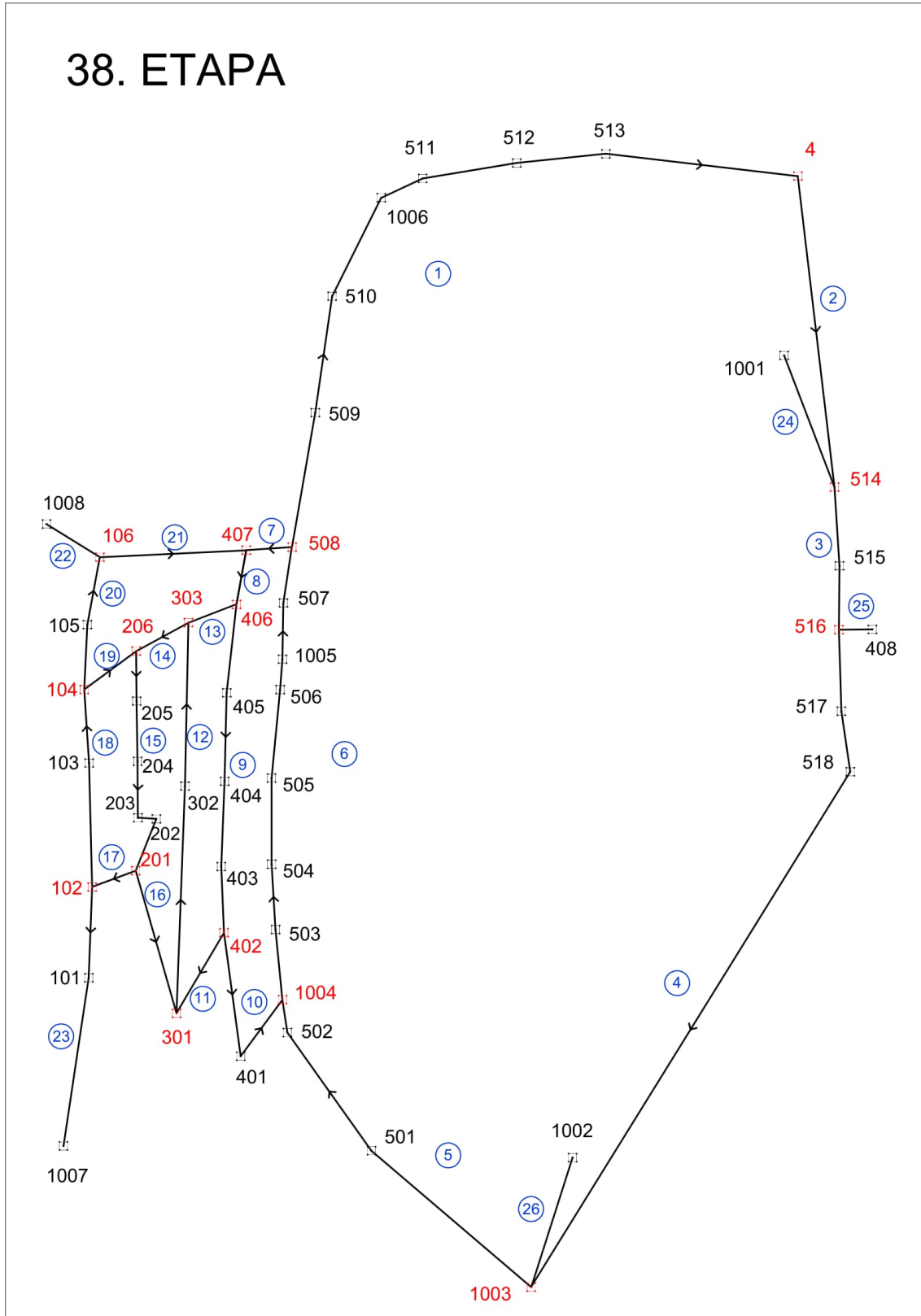
3. $h_9 + h_{11} + h_{12} + h_{13} - u_3 = 0$

4. $h_{12} + h_{14} + h_{15} + h_{16} - u_4 = 0$

5. $h_{15} + h_{17} + h_{18} + h_{19} - u_5 = 0$

6. $h_6 - h_{13} + h_{14} - h_{19} + h_{20} + h_{21} - u_6 = 0$

38. ETAPA



A3.8 46. ETAPA

1. $h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5 - u_1 = 0$

2. $h_5 + h_6 + h_7 + h_8 - u_2 = 0$

3. $h_7 + h_9 + h_{10} + h_{11} - u_3 = 0$

4. $h_{10} + h_{12} + h_{13} + h_{14} - u_4 = 0$

5. $h_{13} + h_{15} + h_{16} + h_{17} - u_5 = 0$

A3.9 **54. ETAPA**

1. $h_1 + h_2 + h_3 + h_4 - u_1 = 0$

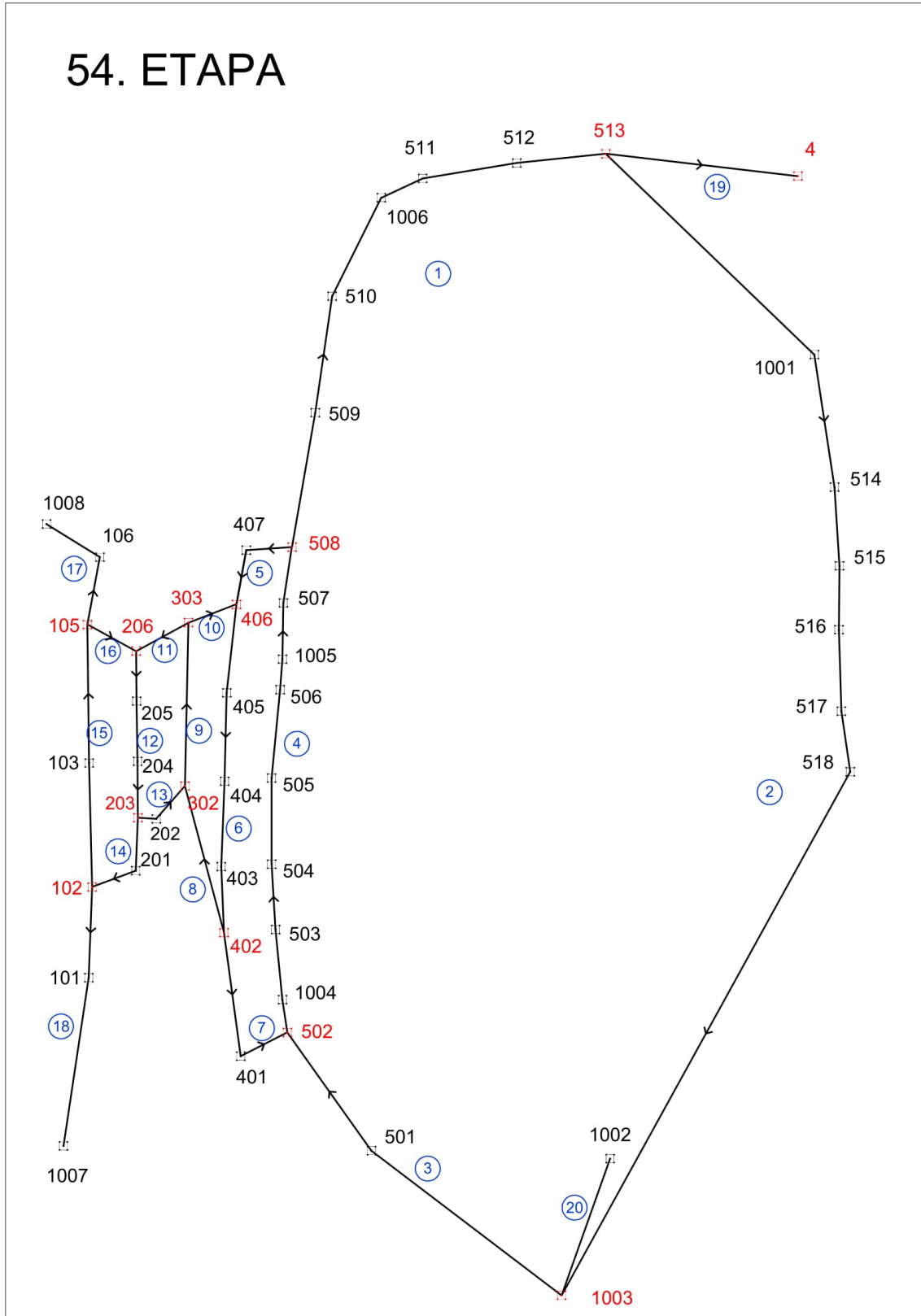
2. $h_4 + h_5 + h_6 + h_7 - u_2 = 0$

3. $h_6 + h_8 + h_9 + h_{10} - u_3 = 0$

4. $h_9 + h_{11} + h_{12} + h_{13} - u_4 = 0$

5. $h_{12} + h_{14} + h_{15} + h_{16} - u_5 = 0$

54. ETAPA



A3.10 62. ETAPA

1. $h_1 + h_2 + h_3 + h_4 - u_1 = 0$

2. $h_4 + h_5 + h_6 + h_7 - u_2 = 0$

3. $h_6 + h_8 + h_9 + h_{10} - u_3 = 0$

4. $h_9 + h_{11} + h_{12} + h_{13} - u_4 = 0$

5. $h_{12} + h_{14} + h_{15} + h_{16} - u_5 = 0$

62. ETAPA

