

**JIHOČESKÁ UNIVERZITA  
V ČESKÝCH BUDĚJOVÍCÍCH**

---

Zemědělská fakulta

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

2008

Milan Ševčík

# JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVÍCÍCH

---

Zemědělská fakulta  
Katedra pozemkových úprav

Studijní program: M4101 Zemědělské inženýrství  
Studijní obor: Pozemkové úpravy a převody nemovitostí



## DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Vybudování a zaměření geodetické sítě bodů pro  
potřeby sledování dlouhodobých změn krajiny**

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Karel Mika

Autor:

Milan Ševčík

**ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**  
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Milan ŠEVČÍK**

Studijní program: **M4101 Zemědělské inženýrství**

Studijní obor: **Pozemkové úpravy a převody nemovitostí**

Název tématu: **Vybudování a zaměření geodetické sítě bodů pro potřeby sledování dlouhodobých změn krajiny.**

**Z á s a d y   p r o   v y p r a c o v á n í :**

Cílem této práce je vybudování sítě pevných bodů pro sledování změn výškových profilů terénu v mikropovodí a jejich zaměření.

1. Rekognoskače zvolené lokality a přehled dostupných měřických metod a podkladů.
2. Příčiny poklesu půdy ve sledované lokalitě.
3. Vybudování sítě pevných měřických bodů pro účely dlouhodobého sledování výškových změn terénu.
4. Měřické metody a vyhodnocení jejich přesnosti.
5. Návrh metodického postupu pro sledování dlouhodobých změn profilů terénu.

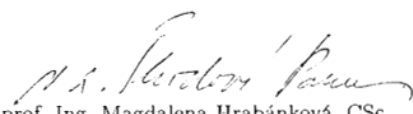
Rozsah práce: 50 stran včetně příloh  
Rozsah příloh: výšk. profily (ukázkové tisky)  
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:


Švec, M., Hánek, P.: Stavební geodézie 10, ČVUT Praha, 2006  
Pokora, M. a kol.: Geodézie 1, GKP Praha, 1985  
Související vyhlášky a předpisy

Vedoucí diplomové práce: Ing. Karel Mika  
Katedra pozemkových úprav

Datum zadání diplomové práce: 7. března 2006  
Termín odevzdání diplomové práce: 30. dubna 2008

  
prof. Ing. Magdalena Hrabánková, CSc.  
děkanka

JIHOČESKÁ UNIVERZITA  
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH  
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA  
studijní oddělení  
Studentská 13  
370 05 České Budějovice

  
doc. Ing. Tomáš Kvítek, CSc.  
vedoucí katedry

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Vybudování a zaměření geodetické sítě bodů pro potřeby sledování dlouhodobých změn krajiny vypracoval samostatně na základě vlastních zjištění a materiálů, které uvádím v seznamu použité literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to v nezkrácené podobě, fakultou elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

V Českých Budějovicích 25. 6. 2008

-----  
podpis

## **Poděkování**

Za vedení, připomínky a návrhy při zpracování práce děkuji Ing. Karlu Mikovi, jakožto i celé katedře Pozemkových úprav za propůjčení potřebných prostředků (software, technické vybavení).

## **Abstrakt**

Práce je zaměřena na aplikaci vhodné geodetické metody pro monitorování výškových profilů terénu. Cílem práce je zaměření a vybudování sítě pevných bodů pro tento monitoring. Teoretická část je zaměřena na geodetické sítě a bodová pole a na aplikaci geodetických metod pro geodetický monitoring v krajině. V praktické části jsou uvedeny dostupné metody pro monitorování výškových profilů, popis provedení vybrané metody a grafického zpracování výsledků.

## **Klíčová slova**

geodetické metody, geodetický monitoring, měřická síť, svahové pohyby

## **Abstract**

The work is intent on the application of useful geodetic method for height off-road treads. The aim of the work is to survey and establish fixed point network for this monitoring. The teoretic part is intent on geodetic network and point fields and on application of geodetic method for geodetic monitoring throughout the country. In the practical part, there are described accessible methods for height profiles, description of choice method workmanship and grafic results processing.

## **Keywords**

geodetic methods, geodetic monitoring, survey network, slope movements

# OBSAH

1. Úvod.....	12
2. Literární rešerše.....	13
2.1. Geodetické sítě a bodová pole.....	13
2.1.1. Bodová pole.....	13
2.1.2. Geodetické sítě.....	15
2.2. Geodézie a sledování změn.....	20
2.2.1. Měření posunů.....	20
2.2.1.1. Metody měření posunů.....	20
2.2.2. Oblasti používání geodetických metod pro sledování.....	22
2.2.2.1. Geotechnický monitoring.....	22
2.2.2.2. Geodynamický výzkum.....	27
2.2.2.3. Geodetický monitoring vulkanických oblastí.....	29
2.2.2.4. Geodézie a hydrologie.....	30
3. Cíle a metodika.....	33
3.1. Získání podkladů.....	33
3.2. Terénní průzkum.....	33
3.3. Požadavky na metodu sběru dat.....	33
3.3.1. Polohová přesnost.....	33
3.3.2. Výšková přesnost.....	34
3.4. Doba měření.....	34
3.5. Výběr geodetické metody, sběr dat a jejich vyhodnocení.....	34
4. Výsledky.....	35
4.1. Charakteristika lokality.....	35
4.1.1. Ekologie.....	36
4.1.2. Pedologie.....	37
4.2. Možné příčiny poklesu půdy.....	37
4.3. Dostupné měřické metody.....	41
4.3.1. GPS RTK.....	41
4.3.2. Tachymetrie.....	43
4.3.3. Geometrická nivelace.....	45
4.3.4. Zhodnocení a výběr měřické metody.....	48



4.4. Postup prací.....	49
4.4.1. Přípravné práce.....	49
4.4.2. Rekognoskace terénu.....	50
4.4.3. Vybudování geodetické sítě bodů.....	50
4.4.4. Měření podrobných bodů.....	50
4.4.5. Výpočty.....	51
4.4.6. Grafické výstupy.....	52
4.5. Návrh metodického postupu.....	53
5. Závěr.....	55
6. Seznam použité literatury.....	56
7. Seznam příloh.....	59

# 1. Úvod

Ať chceme nebo ne, krajina a zemský povrch vůbec, se neustále mění. Jednak dochází ke změnám povrchu, vlivem řady faktorů, počínaje klimatickými změnami, až po vliv člověka a jeho činností, jednak se povrch Země mění vlivem jejích vnitřních tepelných sil s následkem tektonických zlomů a vulkanických erupcí, či přitažlivostí Slunce a Měsíce, které působí na příliv a odliv moří mající vliv na utváření tvaru pobřeží.

Člověk, ač nemůže žádnou velkou mírou ovlivnit tyto procesy změn, snaží se je co nejlépe měřit, předvídat a upřesňovat si poznatky o jejich příčinách. Na tomto se podílí řada vědních oborů, např. obory geofyziky, ke kterým patří geodézie, geodynamika, geotermika, geomagnetismus, gravimetrie, seismologie. Výzkum v této oblasti pak spočívá v budování výzkumných stanic a monitorovacích sítí pro opakovaný sběr dat trvající někdy i desítky let. Geodetická měření bývají nedílnou a v řadě případů i hlavní částí těchto vědeckých pozorování a jejich výsledky se dále zpracovávají pro další informační systémy (GIS) či obory (hydrologie, geologie).

Také splnění úkolu této diplomové práce se neobejde bez geodetického měření. Cílem této práce je vybudování a zaměření geodetické sítě pevných bodů pro účel dlouhodobého sledování změn, a to změn výškových profilů terénu v mikropovodí. Konkrétně jde o geodetické pozorování části koryta Mlýnského potoka, který je součástí povodí Dunaje a nachází se v jižních Čechách v okrese Český Krumlov v Chráněné krajinné oblasti Šumava mezi pravým břehem Lipenské přehrady a státní hranicí s Rakouskem. Potok je též nazýván hraničním, neboť svojí dolní částí kopíruje státní hranici. K dosažení cíle je třeba zvážit dostupné měřické metody a pro vybranou metodu poté vytvořit návrh metodického postupu pro sledování změn profilů terénu. Dále jsou zmíněny možné příčiny poklesu půdy ve sledované lokalitě, zpracování získaných dat v dostupných softwarech a tvorba následných ukázek možného grafického zpracování těchto dat.

## 2. Literární rešerše

### 2.1. Geodetické sítě a bodová pole

*Geodetické sítě* tvoří množina geodetických bodů, které jsou účelně rozloženy na zemském povrchu. [1]

*Geodetický bod* je trvale stabilizovaný, popř. i trvale signalizovaný bod, pro nějž jsou určeny ve stanovených geodetických referenčních systémech souřadnice, nadmořská výška, tíhový údaj (nebo jen některý z těchto údajů) se stanovenou přesností a s příslušnou dokumentací.

*Geodetickými údaji* je soubor písemných, číselných a grafických údajů o bodech polohového, výškového a tíhového bodového pole, které jsou součástí dokumentovaných výsledků zeměměřických činností nebo báze dat bodového pole.

*Bázi dat bodového pole* údaje o bodech dokumentované orgány státní správy zeměměřictví a katastru nemovitostí České republiky. [11]

#### 2.1.1. Bodová pole

Geodetické sítě se rozdělují na *polohové, výškové a tíhové*, podle toho jaké geodetické body obsahují. Soubor geodetických bodů vytváří **geodetické bodové pole**. [1]

V následující tabulce je polohovému, výškovému a tíhovému poli nadřazeno geodynamické bodové pole, obsahující body určené polohou, výškou i tíží, zaměřované opakovaně nejpřesnějšími technologiemi. Dále potom tabulka podává informaci o příslušnosti různě určených geodetických bodů do příslušných skupin bodových polí. K bodovým polím a některým skupinám bodů jsou z důvodů jednoznačnosti doplněny zkratky. [9]

Tabulka 1: Rozdělení bodových polí. Zdroj: [9]

Geodynamické bodové pole (GBP)		body Základní geodynamické sítě ČR (ZGS)
Polohové bodové pole (PBP)	Základní polohové bodové pole *) (ZPBP)	body referenční sítě nultého řádu
		body Astronomicko-geodetické sítě (závazná zkratka: AGS)
		body České státní trigonometrické sítě (závazná zkratka: ČSTS)
		zhušťovací body (ZhB)
	Podrobné polohové bodové pole (PPBP)	body podrobného polohového bodového pole
Výškové bodové pole (VBP)	Základní výškové bodové pole *) (ZVBP)	základní nivelační body (ZNB)
		body České státní nivelační sítě I. **, II. **) a III. řádu (ČSNS)
	Podrobné výškové bodové pole (PVBP)	body nivelačních sítí IV. Řádu
		body plošných nivelačních sítí (PNS)
		stabilizované body technických nivelací (TN)
Tíhové bodové pole (TBP)	Základní tíhové bodové pole *) (ZTBP)	absolutní tíhové body
		body České gravimetrické sítě nultého, I. a II. řádu (ČGS)
		body hlavní gravimetrické základny
	Podrobné tíhové bodové pole (PTBP)	body gravimetrického mapování
body účelových gravimetrických sítí		
<p>*) Některé body základních bodových polí (polohového, výškového a tíhového) patří vzhledem ke svému určení mezi body Základní geodynamické sítě ČR.</p> <p>**) Některé body ČSNS jsou určeny v rámci Jednotné evropské nivelační sítě UELN.</p>		

Základní bodová pole pokrývají celé území České republiky ve formě plošných sítí a jsou základem všech na ně navazujících prací. Geodetické základy tvoří vybrané geodetické polohové, výškové a tíhové sítě s potřebnou hustotou a přesností, které musí splňovat dva hlavní úkoly geodézie:

- vědecký, který souvisí se základními teoretickými problémy geodézie při určování tvaru a rozměru Země a jejího vnějšího tíhového pole,
- technický, který souvisí s vytvořením geodetického podkladu pro všechny druhy technických prací, jako jsou *mapovací, projekční, vytyčovací a realizační práce*.

Při budování bodu geodetických bodových polí se využívá přiměřená metodika měření a zpracování a odpovídající přístrojové vybavení. Údaje o vybudování a stavu geodetických bodů se dokumentují. [1]

### 2.1.2. Geodetické sítě

Geodetické body vytvářejí též **geodetické sítě** a rozdělení geodetických sítí obsahovala i tabulka v původní normě /pozn. autora: jedná se o ČSN 73 0415 – Geodetické body z roku 1979/. Obdobná tabulka v revidované normě je bohatší a obsahuje kromě formálních úprav (česká místo československá) řadu nových pojmů, které budou vysvětleny dále. Obdobně jako u bodových polí jsou zde nad klasické rozdělení na síť polohovou, výškovou a tíhovou předřazeny: prostorová síť (síť NULRAD, DOPNUL,...), Základní geodynamická síť ČR a nejvýše postavená Česká síť permanentních stanic pro určování polohy (CZEPOS). Na rozdíl od původní normy byly do tabulky zařazeny i podrobné sítě (polohová, výšková, tíhová) a body, které je tvoří. Za pozornost stojí složení polohové sítě, kde mezi „základní“ Českou státní trigonometrickou sítí a Českou podrobnou polohovou sítí zůstávají „nezařazené“ zhušňovací body. Přes jisté snahy se zatím nepodařilo tyto body začlenit do některé ze standardních sítí. [9]

Tabulka 2: Rozdělení geodetických sítí. Zdroj: [9]

Česká síť permanentních stanic pro určování polohy (CZEPOS)		
Základní geodynamická síť ČR (ZGS)		
Prostorová síť	Síť NULRAD	
	Síť DOPNUL	
	Vybrané body České státní trigonometrické sítě	
	Vybrané zhušťovací body	
Polohová síť	Česká státní trigonometrická síť (ČSTS) *)	Astronomicko geodetická síť (AGS)
		Trigonometrická síť I. řádu
		Trigonometrická síť II. řádu
		Trigonometrická síť III. řádu
		Trigonometrická síť IV. řádu
		Trigonometrická síť V. řádu (**)
	zhušťovací body (ZhB)	
Česká podrobná polohová síť (ČPPS)	body podrobného polohového bodového pole	
Výšková síť	Česká státní nivelační síť (ČSNS) ***)	základní nivelační body (ZNB)
		Nivelační síť I. řádu
		Nivelační síť II. řádu
		Nivelační síť III. řádu
	Česká podrobná nivelační síť (ČPNS)	Nivelační síť IV. řádu
		Plošné nivelační sítě (PNS)
		stabilizované body technických nivelací (TN)
Tíhová síť	Česká gravimetrická síť (ČGS)	absolutní tíhové body
		Hlavní gravimetrická základna
		Gravimetrická síť nultého řádu
		Gravimetrická síť I. řádu
		Gravimetrická síť II. řádu ****)
	Česká podrobná gravimetrická síť (ČPGS)	sítě bodů gravimetrického mapování
		účelové gravimetrické sítě

- \*) Při svém vzniku se trigonometrická síť I. až IV. řádu nazývala Jednotná trigonometrická síť katastrální a trigonometrická síť V. řádu se nazývala Podrobná trigonometrická síť.
- \*\*\*) Toto rozdělení má pouze historický význam, z praktického hlediska se liší způsobem stabilizace.
- \*\*\*\*) Česká státní nivelační síť je zapojena do Jednotné evropské nivelační sítě UELN.
- \*\*\*\*\*) Včetně gravimetrických základů a bodů pro sledování neslapových změn tíhového pole Země.

Pro praktickou činnost platí české státní normy (ČSN) a vyhlášky Českého úřadu zeměměřického a katastrálního (ČÚZK).

V oblasti geodetických sítí je to ČSN 73 0401 - Názvosloví v geodézii a kartografii z roku 1989, ČSN 73 0415 - Geodetické body z roku 1979 a Vyhláška ČÚZK č. 31/1995 Sb., kterou se provádí zákon č.200/1994 o zeměměřictví. Dále jsou to směrnice, instrukce, metodické návody a technologické postupy, které jsou výsledkem praktických zkušeností, teoretických studií, přičemž se přihlíží k současnému stavu v našich geodetických sítích a možnosti současné přístrojové měřicí a výpočetní techniky. [1]

*CZEPOS (Czech Positioning System)* je síť aktivních permanentních stanic určených technologií GNSS, rovnoměrně rozmístěných na území ČR. Stanice poskytují korekční data, na základě kterých je vyhodnocena poloha a výška určovaného bodu.

*Základní geodynamická síť České republiky (ZGS)* je soubor trvale stabilizovaných bodů, které jsou opakovaně zaměřovány nejpřesnějšími technologiemi a slouží ke sledování deformací a pohybů zemského povrchu. Základní geodynamická síť vzhledem ke kvalitě určení svých bodů (poloha, výška, tíže) spojuje geodetické základy v jeden celek. *Body Základní geodynamické sítě ČR* tvoří geodynamické bodové pole; vzhledem ke svému určení v poloze (technologie GNSS), výšce ( velmi přesná nivelace) a tíhovému zrychlení (gravimetrické měření) jsou zároveň součástí základního bodového pole polohového, výškového a tíhového. [9]

*NULRAD* je geodetická síť nultého řádu v ČR, zaměřená technologií GNSS. *Globální navigační družicový systém (GNSS)* je obecný název zahrnující systémy GPS, GLONASS, GALILEO a další, sloužící k určování polohy bodů. Zkrácený název pro tento systém je "technologie GNSS", závaznou zkratkou pro tento název je: GNSS. Stejnou technologií, tedy GNSS, je zaměřená i síť nultého řádu *DOPNUL* zahušťující nadřazenou síť *NULRAD*. [10]

*Česká státní trigonometrická síť (ČSTS)* byla dokončena po vývoji, začínajícím v minulém století, v 50. letech na území celého Československa. Člení se na 5 řádů; body nižšího řádu plošně zhušťují síť bodů řádu vyššího. Hustota bodů V. řádu je od 1

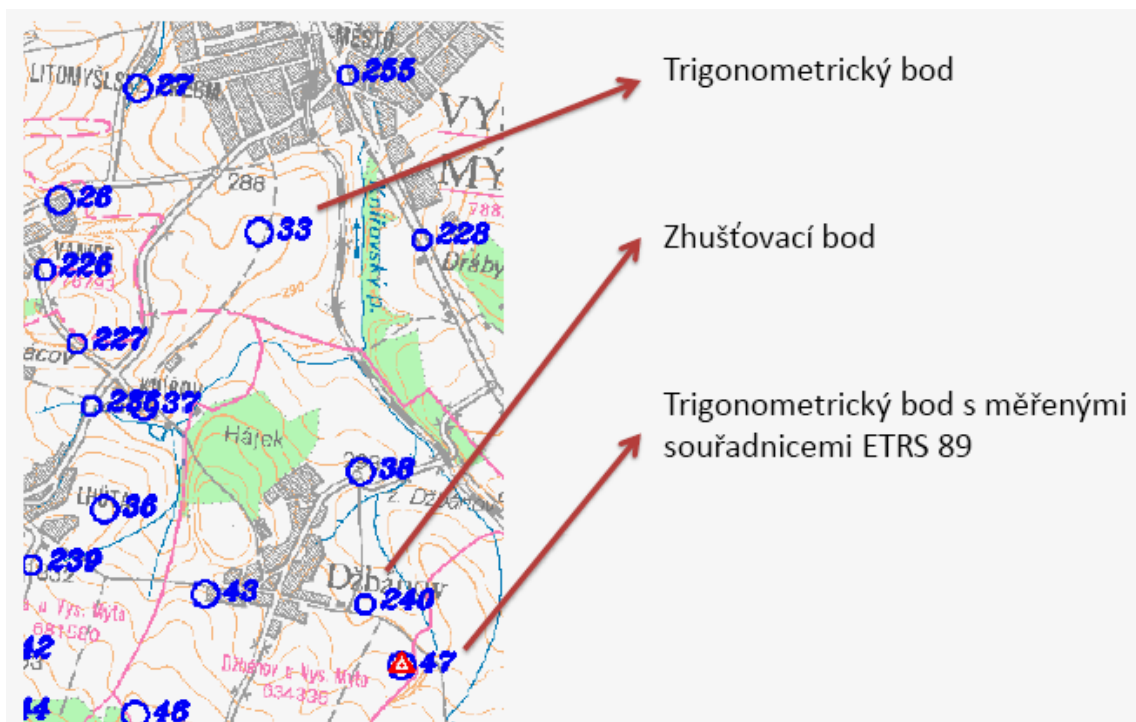
do 3 km, v průměru 1,5 km. Relativní polohová přesnost, vztažená k sousedním bodům sítě, je udávána hodnotou 15 mm. [8]

Základní trigonometrická síť byla budována od r. 1931 s většími trojúhelníky ( $s = 36$  km), s nejvyšší dosažitelnou přesností a podle nejnovějších vědeckých poznatku. Této síti se později podle mezinárodně zavedeného označení říká *Astronomicko-geodetická síť* (AGS). Do roku 1954, kdy byly ukončeny měřické práce, bylo:

- zaměřeno úhlově 227 trojúhelníků se 144 vrcholy,
- zaměřeno astronomicky 53 bodu,
- zaměřeno 6 základen (invarovými dráty) a rozvinovacích sítí,
- zaměřeno gravimetricky 108 bodu I. rádu a 499 bodu II. rádu,
- provedeno částečné spojení se sousedními zeměmi.

V roce 1955 byl tento měřický materiál shromážděn a v dalších letech byla síť (AGS) vyrovnána společně s dalšími sítěmi zemí Východní Evropy. Vyrovnání bylo realizováno na Krasovského elipsoidu a pro rovinné souřadnice (x, y) bylo použito Gaussovo zobrazení. [14]

*Body podrobných bodových polí* se budují podle potřeby a účelu, přičemž se vychází z již určených bodů základního polohového bodového pole nebo z dříve přesněji určených bodů podrobného bodového pole. [1]



Obrázek 1: Geodetické údaje TB a ZhB. Zdroj: [14]



*Evropský terestrický referenční systém (ETRS)* je závazný geodetický referenční systém na celém území státu, definovaný technologiemi kosmické geodézie a konstantami, které jsou součástí programů mezinárodních zpracovatelských center, referenčním rámcem vybraných bodů Jednotné trigonometrické sítě katastrální a elipsoidem geodetického referenčního systému 1980.

Prostorová síť je soubor bodů se souřadnicemi určenými v systému ETRS89 technologií GNSS. [10]

Základní nivelační body (ZNB) slouží k zajištění České státní nivelační sítě. Jsou stabilizovány ve vybraných lokalitách stanovených na základě geologických posudků. Stabilizace ZNB jsou provedeny v neporušených skalních výchozech a jsou chráněny pomníkem. [13] Z celkového počtu dvanácti bodů je nejznámější základní výchozí bod pro Českou republiku I. ZNB Lišov, který se nachází cca 10 km východně od Českých Budějovic. [4]

Od těchto základních (referenčních) výškových bodů postupovalo nivelační měření. Po roce 1945 byla na území tehdejšího Československa vytvořena souvislá nivelační síť I. až III. řádu. Po druhé světové válce byla snaha, z vojensko-politických důvodů, sjednotit geodetické systémy. Nadmořské výšky v systému jaderském bylo nutno složitým přepočtem (vyrovnáním) převést na nový systém. V současné době je u nás zaveden a používán výškový systém napojený na základní (nulový) bod u Baltského moře v Kronštadu, a je proto nazýván systém Balt po vyrovnání (Bpv). [15]

*Plošné nivelační síť (PNS)* tvoří síť nivelačních pořadů, rozložených na ploše zaměřovaného území (obce, průmyslového závodu, oblasti geologického průzkumu,...). Měření se provádí pomocí přesné nivelace. Plošné nivelační síť se označují zkratkou PNS, pořadovým číslem a názvem obce. [16]

*Jednotná evropská nivelační síť (UELN)* je celoevropská nivelační síť, která slouží ke sledování dynamiky zemského povrchu a rozdílů hladin evropských moří. Na území České republiky obsahuje UELN uzlové a stykové body I. a II. řádu České státní nivelační sítě (ČSNS). [10]

Na území České republiky je 400 bodů České gravitační sítě (ČGS), jejichž správu zajišťuje Zeměměřický úřad. [17]

*Tíhový systém 1995 (S-Gr95)* je závazný geodetický referenční systém, definovaný hladinou a rozměrem sítě, které jsou odvozeny z absolutních tíhových měření v mezinárodní gravimetrické síti a souborem hodnot tíhového zrychlení z vyrovnání mezinárodní sítě. [10]

## 2.2. Geodézie a sledování změn

Jak bylo řečeno v úvodu, prostředí kolem nás se neustále vlivem času a různých faktorů mění. Změny, které nejsou ihned na pouhý pohled patrné, nebo pouze čistě hypotetické, se prokazují opakovaným měřením, které stanoví nejen přesný rozsah, ale mnohdy i budoucí vývoj. Tato měření probíhají také s pomocí geodetických metod.

### 2.2.1. Měření posunů

Měření posunů patří k nejvýznamnějším úkolům inženýrské geodézie. Zpravidla zahrnuje *měření změn polohy, výšky a tvaru* (posunů, pootočení a přetvoření) stavebních objektů a jejich částí, vyvolaných změnami v základové půdě včetně změny výšky hladiny spodní vody, účinkem statického, dynamického nebo seismického zatížení a stavební činností na sledovaném objektu nebo v jeho okolí (přetížení, podtunelování). [19]

V závislosti na tom, zda určíme vodorovné nebo svislé složky posunů, hovoříme o *měření vodorovných nebo svislých posunů*. [8]

*Absolutní posuny* jsou vztaženy ke stabilním ověřeným tzv. *vztažným bodům*, umístěným mimo oblast působení vlivů, vyvolávajících posun sledovaného objektu (např. pokles poddolovaného objektu vůči nezasaženému okolí). *Relativní posun* vztahuje polohu tzv. *pozorovaného bodu* sledovaného objektu k poloze téhož bodu v měřické etapě časově předcházející (např. průhyb pole mostu při statické zkoušce). [19]

#### 2.2.1.1. Metody měření posunů

Měřením posunů stavebních objektů se zabývá ČSN 73 0405 Měření posunů stavebních objektů.

Pro **měření vodorovných posunů** se používá:

- protínání vpřed ze základny s použitím vteřinových teodolitů,
- protínání z délek nebo
- polární metoda s pomocí totálních stanic (elektronických dálkoměrů) vyšší přesnosti,
- metoda záměrné přímký (též tzv. alignement - mechanická, optická, laserová realizace, s přímým čtením příčných posunů, nebo s jejich výpočtem z měřených úhlových změn). [19]

Totální samočinné optické přístroje jsou schopny jedním zařízením měřit všechny určující veličiny (vodorovný úhel, zenitový úhel a vzdálenost). Přístroje mohou podle typu dosáhnout přesnosti až 0,5 úhlové vteřiny a vzdálenosti 1 mm + 1 mm z každého km.

V zarostlých terénech se také výjimečně používá metoda *měření polygonálních pořadů*, jejíž přesnost závisí na použitých přístrojích a rozsahu sledovaného území. Chyby dosahují desítek mm.

Novější postupy směřují k využívání lehkých, dostatečně přesných *elektronických dálkoměrů* E.D.M. (pomocí elektromagnetických vln). [20]

Pro **měření svislých posunů** na přístupných bodech se nejčastěji používá metoda *přesné nivelace* (PN). Základem vybavení je klasický nivelační přístroj s optickým mikrometrem nebo elektronický digitální přístroj, dosahující kilometrové chyby dvojí (obousměrné) nivelace cca 1 mm. Směrodatná odchylka určení výšky bodu, charakterizující přesnost měření, se pohybuje zpravidla v rozmezí 0,1 – 0,4 mm. V některých případech se s výhodou a s obdobnou přesností uplatní laserový nivelátor nebo pro určení malých vzájemných svislých posunů systémy *přesných hydrostatických nivelací*.

Pro dosažení **třírozměrného popisu** je možno spojovat uvedené metody nebo volit prostorové (3D) *trigonometrické metody* protínání nebo polární. Přesnost všech těchto metod se pohybuje v desetinách až celých milimetrech v závislosti na účelu a vnějších podmínkách (refrakce, osvětlení, viditelnost). Fotogrammetrické metody (např. s využitím časové základny) jsou zatím nejméně o řád méně přesné. Nová uplatnění - už i v oblasti měření posunů – přináší dynamicky se rozvíjející použití družicových systémů pro navigaci a určení polohy, tj. amerického družicového systému NAVSTAR GPS (Global Positioning System); jeho samostatnou obdobou je ruský GLONASS (Globalnaja navigacionaja sputnikovaja sistema) a nově vznikající evropský GALILEO (s podporou Číny). [19]

## 2.2.2. Oblasti používání geodetických metod pro sledování

Český Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický (VÚGTK) má na svých webových stránkách v popisu svých aktivit mimo jiné:

- Přesná astronomicko-geodetická pozorování a analýzy dat. Využití techniky GPS.
- Badatelský výzkum v oblasti geodynamiky Země, stálá stanice GPS v rámci Mezinárodní služby IGS pro geodynamiku, analytické centrum pro vědecké zpracování GPS pozorování.

### 2.2.2.1. Geotechnický monitoring

Jak uvádí [20], nalezneme geodetická měření v *geotechnickém monitoringu*:

Monitoring je chápán jako kontrola a sledování stavu sesuvu v čase. Jeho činnostmi se zjišťují zvláště změny rychlosti pohybu sesuvu, změny geometrie a změny mechanických a fyzikálních vlastností v zóně sesouvání. V případě, že byl sesuv sanován, sleduje se funkčnost použitých sanačních prvků a případná nutnost jejich údržby. Monitoring je dlouhodobý proces a trvá mnohdy až desítky let.

Ke sledování pohybu na povrchu existuje celá řada metod<sup>1)</sup>, které umožňují měřit absolutní nebo relativní změny mezi pevnými a pozorovacími body.

Pokud je znám směr pohybu sesuvu, postupuje se metodou *záměrné přímky*. Metoda se používá pro hrubý odhad rychlosti a velikosti pohybu. Po vrstevnicích se přes těleso sesuvu v jedné řadě instalují kolíky zaražením do země, v případě pohybu sesuvu se kolíky vychylují z řady. Odchytky kontrolovaných bodů od záměrné přímky se měří teodolitem. Záměrná přímka se volí kolmo na směr pohybu, aby měřené odchytky byly blízké horizontálním složkám vektoru skutečného posunu.

V případě, že není znám směr pohybu nebo se svah nachází v nepřehledném a zarostlém terénu lze využít *geodetické metody určování polohy bodu v prostoru*.

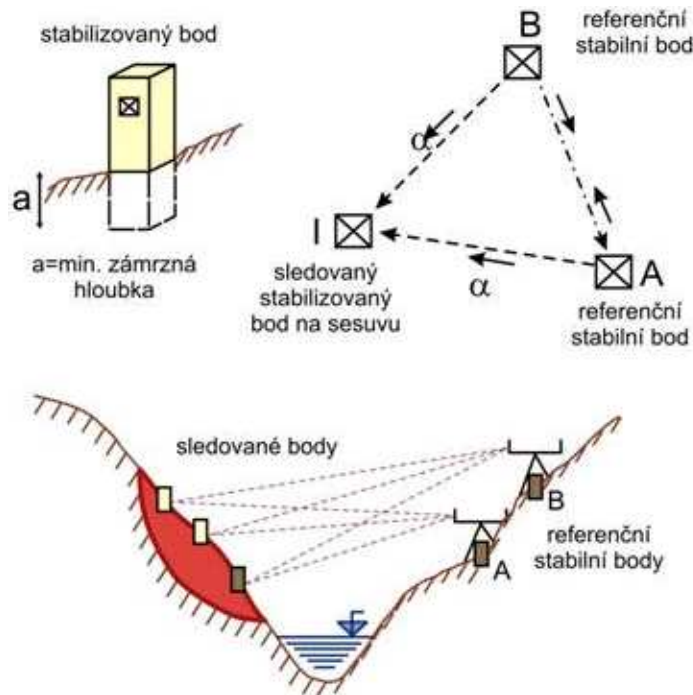
Velmi často se používá některá z metod *protínání úhlů* nebo *dělek*, a to v případě, že je možné zaměřovat kontrolované body ze dvou nebo více stabilních bodů. Při záměrech do vzdálenosti 600 m je u obou metod srovnatelná přesnost, při záměrech delších než je 600 m je lepší uplatnit délková měření.

Horizontální a vertikální posuny lze zjišťovat také *trigonometrickou metodou*, při níž se měří úhly (horizontální i vertikální) a vzdálenosti. Z naměřených údajů lze

---

<sup>1)</sup> Pozn. autora: geodetických metod

vypočítat polohové i výškové posuny pozorovacích bodů (Obrázek 3).

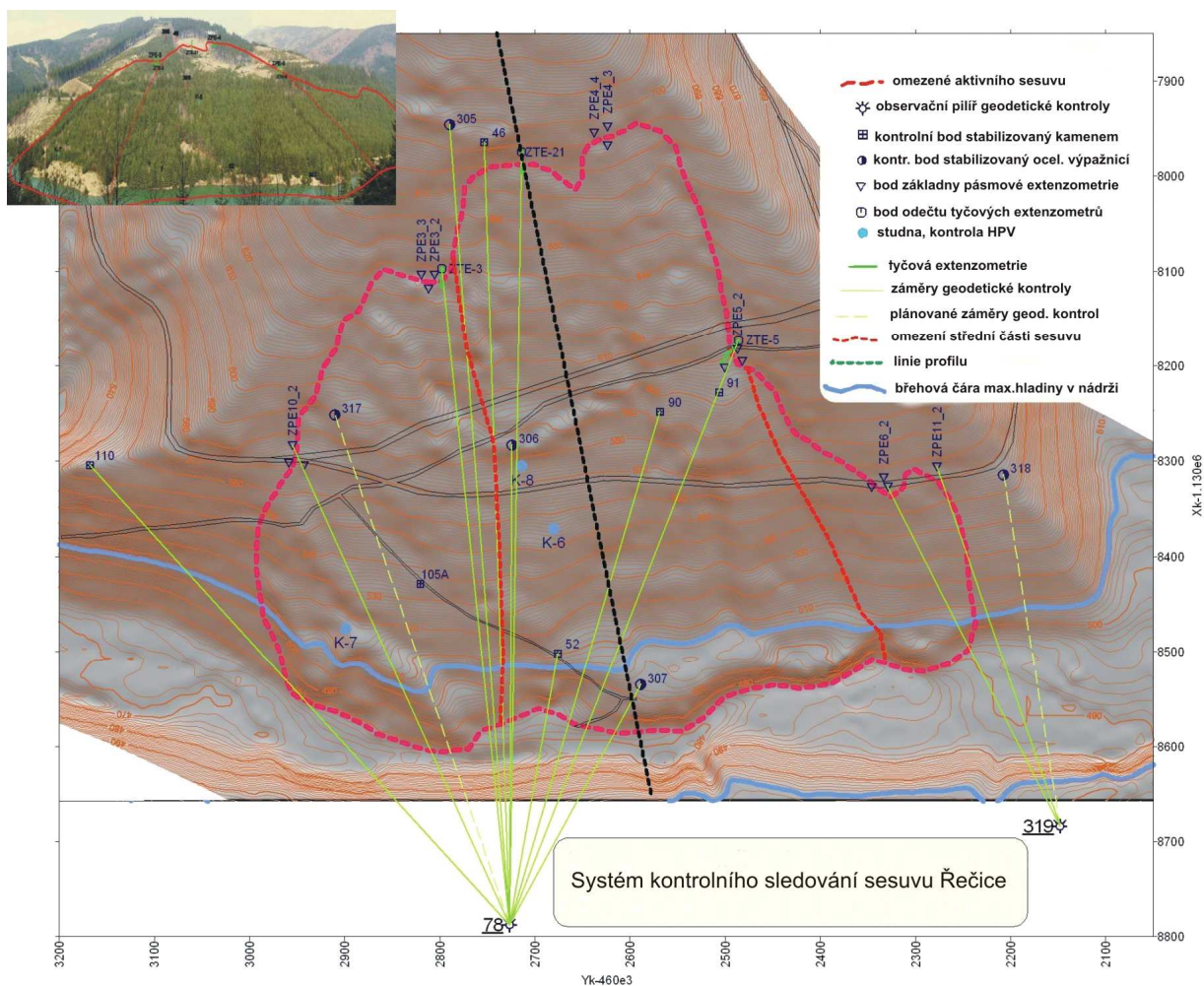


Obrázek 3: Určování polohových změn stabilizovaných bodů trigonometrickým měřením. Zdroj: [20]

Ze stejného zdroje [20] pochází i příkladný popis měření sesuvu Řečice:

Hlavním principem kontrolního sledování pohybu sesuvu Řečice je měření pohybu bodů na sesuvu vůči stabilním - referenčním - bodům mimo sesuv. Tato měření probíhají v několika úrovních: *geodetická měření úplná* - navázaná na trigonometrické body základní sítě, *geodetická měření operativní* - polární metodou - používají jako referenční body observační pilíře 78 a 319 a body 110, 305, event. 46 jako referenční body pro měření horizontálních a vertikálních úhlů, *elektrooptická měření délek* mezi observačními pilíři 78 a 319 a kontrolovanými body na sesuvu Řečice a jeho okolí a referenčními body pro měření pohybu na okrajových trhlinách. Pro kontrolu stálosti v poloze observačních pilířů jsou měřeny délky na referenční body 110, 305 a 46.

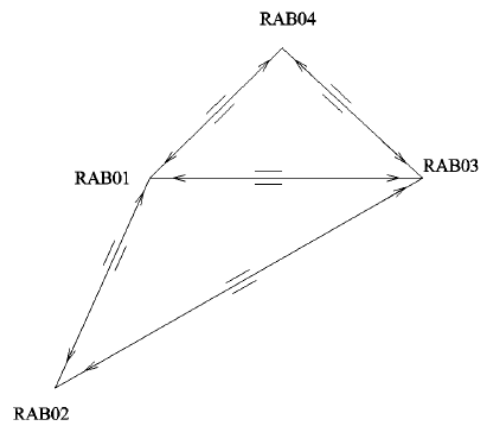
Obrázek 4: Příklad instrumentace sesuvu Řečice na vodním díle Šance. Zdroj: [20]



Podle [21] je použití terestrických teodolitových technologií v případě použití speciálního signalizačního přípravku a stabilizace diskrétního charakteristického měřeného bodu terénu umožňuje oproti GPS měření určovat kromě 3D souřadnic bodu terénu i změnu sklonu stabilizačního znaku. V tomto případě dostáváme další parametr, který vypovídá o dějích ve svrchní zemské části zájmové lokality. Rovněž je možné vypočítat i bod „zlomu“. Jedná se o bod, na němž je nulová změna sklonu stabilizačního znaku. Pro realizaci terestrického měření je ovšem potřeba vybudovat místní prostorovou síť. V případech, kdy není splněn předpoklad stabilní polohy stanoviskových bodů sítě nebo vznikne podezření na jejich nestabilitu, je potřeba lokální síť připojit (transformovat) do změřově větší sítě (národní nebo lokální sítě velkých rozměrů).

Geodetická prostorová síť Rabenov (Obrázek 5) je tvořena třemi instrumentovanými inklinometrickými vrty (RAB01, RAB02, RAB03) se zapuštěnou kombinovanou pažnicí o hloubce 24 m, které podle předpokladu zasahují až do

stabilního podloží. (Takto vystrojené vrty umožňují provádět geotechnická měření pomocí inklinometrů). Hlava vrtu je upravena pro jednoznačné dostředění geodetických přístrojů na stativu. Čtvrtým stanoviskovým bodem (RAB04) je nastřelovací hřeb umístěný na betonové patce zrušeného sloupu elektrického vedení. Síť má tvar lichoběžníka, v němž je kromě obvodových stran měřena s ohledem na konfiguraci terénu pouze úhlopříčka RAB01-RAB03. Délka úhlopříčky je cca 419 m a leží zhruba na horizontále na vypuklém zlomu terénu. Převýšení bodů RAB02 a RAB04 dosahuje přibližně 65,5 m na délku 693 m.



Obrázek 5: Schéma sítě. Zdroj: [21]

Stabilizace 23 diskretních charakteristických bodů terénu je provedena ocelovou tyčí o průměru 0,06 m a délce 1,25 m s vnitřním závitem na horním konci, který je chráněn krytkou. Protože terén je členitý a zakrytý převážně náletovou vegetací, jsou takto stabilizované body při měření signalizovány pomocí speciálního přípravku, který je standardně osazen dvěma všesměrnými odraznými hranoly elektrooptických dálkoměrů firmy Leica Geosystems. U této signalizační tyče jsou přesně známy jednotlivé konstrukční rozměry: vzdálenost mezi geometrickými středy horního a dolního hranolu a vzdálenost mezi středem horního hranolu a patou přípravku se závitem pro uchycení na stabilizační tyč.

Od podzimu 2003 do léta 2006 se uskutečnilo devět etap měření (0. – 8.). Na základě vyhodnocení terestrických měření v 0. - 2. etapě měření bylo vysloveno podezření na nestabilitu stanoviskových bodů, proto bylo nutno lokální síť připojit do geodetického referenčního systému, resp. do velké regionální sítě. Současně byl geotechniky vysloven požadavek pro nalezení technologie pro rychlé geologické mapování terénních zátrhů, stupňů a deformací povrchu terénu. Jako nejvhodnější varianta se jevil využití technologie GPS. Významným úkolem měření GPS bylo zajištění dat pro transformaci mezi jednotlivými etapami měření sítě prováděnými totálními stanicemi a jejich připojení do referenčního systému. Na základě dřívějšího testování provedeného autorem článku byla použita NAVSTAR - GPS aparatura Trimble 5700. Pro zaměření sítě se používá rychlá statická metoda (fast-static). Doba observace na bodě není nikdy kratší než 10 minut při viditelnosti 6 a více družic.

Maximální hodnota parametru PDOP je rovna hodnotě 6. Elevační maska na přijímačích je zpravidla nastavena na 13°.

Podle [22]: Účinkem geomorfologických procesů, které se podílejí na vývoji pískovcového reliéfu, dochází v řadě případů i ke katastrofickému řízení skal s možností hospodářských ztrát nebo i ohrožení bezpečnosti i života lidí.

V Polické vrchovině i v jiných oblastech pískovcového reliéfu v ČR, Německu či Polsku dochází k takovému skalnímu řízení, což vedlo: [22] (...) k sledování těchto nebezpečných oblastí a posléze i k budování systémů jejich monitorování. Na sousedních Stolových horách v Polsku bylo poprvé použito systému měření geodetické prostorové sítě metodou vypracovanou prof. Caconěm (Akademia rolnicza Wroclav) v kombinaci s přesnými dynamometry, terčovými měřidly TM-71 konstrukce ing. Košťáka (Ústav struktury a mechaniky hornin Akademia věd ČR Praha). Vystal také požadavek rozšířit tento monitoring i do české části pískovcových pseudokrasových terénů. (...) Od roku 1989 byl postupně budován systém tzv. malé geodetické sítě, systém spojovací geodetické sítě Ostaš - Hejšovina i systém terčových měřidel TM-71.

Základ tzv. malé geodetické sítě tvoří "velké body" - betonové pilíře s potřebnou geodetickou instalací, z nichž dva jsou vztažnými body (jsou lokalizovány ve směru ke středu vrcholové plošiny Ostaše), další dva jsou stanoviskovými body (jsou lokalizovány v okraji vrcholové plošiny) a jeden je orientačním bodem (je lokalizován na úpatí Ostaše již mimo terén tvořený kvádrovými pískovci, ve vzdálenosti přes 1700 m od prvních čtyř bodů). V blízkosti stanoviskových bodů se nachází řada tzv. "malých bodů" umístěných na plochá temena okolních skalních věží a pilířů, které jsou součástí vysoké okrajové stěny Ostaše. Body tvoří ocelové čepy zapaštěné hluboko do skalního masívu s vrcholem jen 25 mm vyčnívajícím nad skalní povrch, na vrcholu opatřené zaměřovacím křížem. Přímé měřitelnými veličinami na této monitorovací síti jsou směry, délky i převýšení. Směry jsou měřeny metodou ve skupinách teodolity první třídy přesnosti. Délky kratší než 20 m jsou měřeny ocelovým komparovaným pásmem s redukcí o vlivy teplot a převýšení. Délky nad 20 m jsou měřeny elektrooptickými dálkoměry. Výškové rozdíly jsou měřeny metodou přesné geometrické nivelace. Dosavadní sledování s frekvencí minimálně jedenkrát ročně prokázalo, že ve sledovaném úseku skalního okraje Ostaše i v současné době dochází k rozvolňování skalního masívu, rotaci a "kývání" okrajových skalních věží a nevratným pohybům: rozvolněné skalní věže a pilíře vyjíždějí po svém plastickém podloží do vnějšího svahu s posunem až 5 mm za rok.



Poslední aktivitou této monitorovací série je sledování tzv. spojovací geodetické sítě Ostaš - Hejšovina (Szczeliniec), která propojuje obě oblasti se systémy terčových měřidel TM-71 i malých geodetických sítí - oblast Ostaše, Kočičích skal a Hejdy v Polické vrchovině a oblast v masívu Szczeliniec v NP Góry Stolowe v Polsku. Česká část této mezinárodní geodetické sítě má osm geodetických bodů (jsou stejné konstrukce jako "velké" body malých geodetických sítí), které jsou rozloženy západně od linie polického zlomu (bod 1, 2 a 3), mezi polickým a bělským zlomem (bod 4, 5 a 6) a východně od bělského zlomu na hřebenu Broumovských stěn (bod 7 a 8). Všechny body spojovací sítě (včetně polské části) jsou monitorovány terestrickou i satelitární geodézií a gravimetrií a výsledky sledování pohybů ve svrchní části litosféry celého území jsou významnými informacemi pro vyhodnocování geologických pochodů i na obou malých geodetických sítích a systémech TM-71.

### **2.2.2.3. Geodynamický výzkum**

Vědeckou činnost v této oblasti v České republice provádí Ústav struktury a mechaniky hornin AVČR, v.v.i. (ÚSMH) oddělení geodynamiky. I do tohoto multidisciplinárního výzkumu zasahuje geodézie. Tento ústav se podílí na řadě projektů, které se zakládají na geodetických metodách, především z oblasti družicové geodézie.

Na webových stránkách ÚSMHV [23] můžeme nalézt např. projekt „Experimentální výzkum dynamiky Země a jejího povrchu“, na kterém se podílí i VUGTK. V projektu byl výzkumný tým ÚSMH AV ČR zodpovědný např. za vybudování regionální geodynamické sítě ZÁPADNÍ SUDETY a realizování ročních epochových GPS měření. V letech 2001-2004 realizoval čtyři epochová 48-hodinová GPS měření na geodynamické síti ZÁPADNÍ SUDETY. Zpracovával a interpretoval naměřená GPS data. Vybuodoval a provozoval pět permanentních GPS observatoří SNEC, BISK, MARJ, POUS a VACO, které pracují v samostatném automatickém režimu sběru dat a jejich přenosu na server ústavu. Observatoře registrují signály amerického i ruského satelitního systému GPS a GLONASS.

Podle [24] bylo v druhém pololetí roku 2000 započato s budováním monitorovacích stanovisek geodynamické sítě „Západní Sudety“ (ZAPSUD) určené (a) ke sledování relativních posunů zemského povrchu při využití technologií družicové geodézie a (b) k ověřování současných i nově vyvíjených metodických postupů

registrace a interpretace GPS dat. Vytipování vhodných míst pro příjem družicových signálů družic systémů NAVSTAR a GLONASS bylo provedeno v závislosti na strukturně-geologické stavbě lugické oblasti a na topografických podmínkách oblasti. Rekognoskace vytipovaných míst přímo v terénu ověřily vhodnost jejich výběru a umožnily nastartovat finální, legislativně-právní část těchto aktivit, t.j. získání povolení výstavby betonových pilířů sítě ZAPSUD od vlastníků pozemků.

V prvním pololetí 2001 pak bylo pokračováno v budování geodynamické sítě Západní Sudety v souladu s geodynamickou sítí budovanou na polském území univerzitou ve Wroclawi a v návaznosti na stávající geodynamickou síť ve Východních Sudetech „SUDETY“. Z celkem 40 vytipovaných míst po rekognoskaci terénu a posouzení možnosti příjmu družicových signálů bylo vybráno 15 potenciálních GPS stanovisek. Byla započata jednání s vlastníky pozemků, Správami chráněných krajinných oblastí a nájemci pozemků. Firma SPELEO Horská Kamenice, která v loňském roce již zhotovila ocelové desky s nucenými centracemi pro upevnění GPS antén zahájila výstavbu betonových pilířů na místech, pro která byl již získán souhlas. Výstavba cca 12 bodů by měla být dokončena v měsíci červnu. První společná česko-polská 48hodinová GPS kampaň proběhne koncem srpna.

V účinné spolupráci s pracovníky Rolnické univerzity ve Wroclawi, Správou KRNP, polského Krkonošského národního parku a s pracovníky Zeměměřického ústavu bylo schváleno umístění semipermanentní GPS observatoře na základním geodetickém bodě na vrcholu Sněžky. Obdobná stanice bude vybudována na polské Szrenicy. Byly řešeny technické otázky (např. upevnění antény, ochrana před blesky) či otázky způsobu přenosu dat, jejich archivování atd. [24]

Cílem dalšího projektu, který ÚSMH vykonává ve spolupráci s Vídeňskou univerzitou, mající název „Sledování recentního geodynamického vzájemného působení mezi Alpami a Českým masívem“ je sledování geodynamických interakcí mezi strukturními jednotkami Alp a Českého masívu na základě GPS pozorování a jejich vztahu k těmto strukturám a jejich geofyzikálním polím.

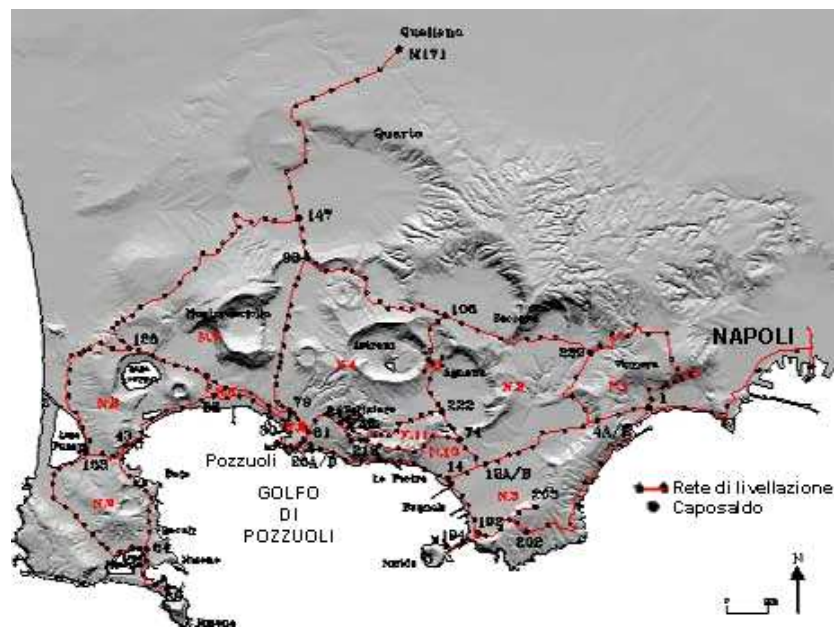
Jiný projekt „Vymezení zón geodynamické pohyblivosti zemského povrchu a určení jejich nestability pro aplikace v územním plánování a v projektování staveb“ s finanční podporou AV ČR, vymezený na období 2005 – 2009 řeší metodické postupy, které dovolí aplikovat data získaná přímým sledováním dynamických pohybů zemského povrchu v úlohách územního a urbanistického plánování oblastí a v úlohách projektování staveb a jejich úprav z hlediska zeměřesného inženýrství. Jedná se o

pohyby způsobené dlouhodobými geodynamickými procesy probíhajícími v zemské kůře, které nevratně deformují zemský povrch, a o krátkodobé zemětřesné pohyby vyvolávající okamžitá dynamicky intenzivní seismická vlnění. Budou vypracována kritéria jak tyto dynamické účinky kategorizovat dle jejich velikosti a přímých dopadů na stavební objekty. Na jejich základě budou vymezeny zóny pohyblivosti zemského povrchu vyvolaných výše uvedenými procesy a oceněna nestabilita těchto zón z dat naměřených a vyhodnocených pomocí technologií GPS, InSAR a nivelační geodézie a z hodnot pozorovaných účinků seismických vln a jejich vztahu k lokální geologii místa pozorování. [23]

### 2.2.2.3. Geodetický monitoring vulkanických oblastí

Sopečné jevy jsou především uvedeny, doprovázeny a následovány modifikacemi zemské kůry. O tyto stálé zemské deformace je velký zájem. Jejich intenzita a šíření jsou určeny dynamickými vlastnostmi vulkanického systému. Přesný obraz deformace oblasti je velmi užitečný pro analýzu parametrů ve vztahu k rytmu sopky, způsobující rozvodnou síť, a k rozlišení typologie sledovaného jevu.

Z těchto důvodů jsou realizovány a neustále aktualizovány monitorovací systémy povrchových pohybů v Neapoli a okolí. Tyto technologicky vyspělé sítě stále aktualizovaných geometrických provedení jsou patřičný integrovaný geodetické systém pro monitoring zemských deformací Neapolských aktivních vulkánů (Vesuv, Ischia a Campi Flegrei).



Obrázek 6: Geometrická nivelace. Zdroj: [28]

Vesuvská Observatoř spravuje monitoring vulkanických oblastí v Campania k odhalení změn fyzických a chemických parametrů, které by mohly předpovědět jakoukoliv novou eruptivní aktivitu; v tomto případě to okamžitě varuje Civil Protection

Corps (civilní ochranné složky). Díky těmto sítím jsou zemské deformace monitorovány ve Vesuvu a Flegreanských oblastí, užitím standardních technik (nivelace, EDM - elektronické měření délek, sklonových, gravimetrických a maregrafických rozborů) a satelitních systémů (GPS, SAR). Geodetický monitorovací systém se stává ze souvislého registračního systému a pravidelných měření, jejichž frekvence se mění dle používané metodiky. [28]

#### **2.2.2.4. Geodézie a hydrologie**

Podle [25] není při sledování morfologického vývoje koryta jiné možnosti než geodetické zaměření koryta, které se periodicky opakuje.

Morfologie toku a údolní nivy je ovlivňována a úzce souvisí s řadou veličin. Je spjata zejména s geologií, erozními procesy a hydrologií povodí sledovaného toku. Navíc se v morfologii toku a jejích změnách odráží vliv řady antropogenních zásahů a změn jak v povodí, tak i ve vlastním toku. Identifikace charakteristických forem a rysů může leccos naznačit o procesech, probíhajících v povodí a říční síti a tak pomoci zjistit i jejich příčiny. Tento úkol však bývá často velmi obtížný, protože zatímco některé procesy jsou lokálního charakteru a některé se uplatňují v měřítku jistého úseku toku, jiné jsou spojeny s odezvou celého říčního systému - např. změny srážkoodtokového vztahu nebo eroze v povodí.

Vzhledem k tomu, že morfologické změny jsou povětšinou způsobovány přírodními procesy, bývají velmi pomalé a pokud nezasáhne nějaká katastrofická přírodní událost (např. povodeň), projevují se v období spíše řádu desítek či stovek než jednotek let. Nešetrný zásah do koryta toku však může vyvolat změny i poměrně rychlé (pozorovatelné v období řádu jednotek let).

K měření geodetickými způsoby pro dlouhodobé sledování dochází i na jiných hydrologických objektech. C. Skourtis, et al. [26] popisují více než 30leté geodetické sledování deformací dvou přehrad různého typu Kremasta a Ladon v západním Řecku.

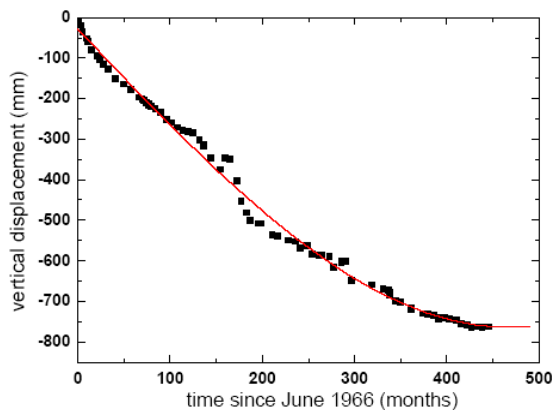
Geodetický monitorovací systém na největší evropské přehradě Kremasta se sestával ze 14 referenčních stanovišť zřízených po stranách v blízkosti opěr přehrad a 25 kontrolních bodů umístěných na hřebenu a obou stranách přehrad. Měření horizontálních odchylek a vertikálních posunů na 25 kontrolních bodech byla vztažena k referenčním stanovištím R1 až R14 zhruba dvakrát ročně od r. 1966.

Horizontální odchylky byly měřeny vysoce přesným teodolitem (Wild T2) na referenčních stanovištích R8 až R14, směřující k referenčním stanovištím R1 až R7 – takto byly definovány přímé linie. Odchylky jednotlivých kontrolních bodů (15 až 39) byly definovány jako rozdíl mezi odchylkami kontrolních bodů v určitém měření a počátečním měření v r. 1966. Přesnost metody je pár milimetrů.

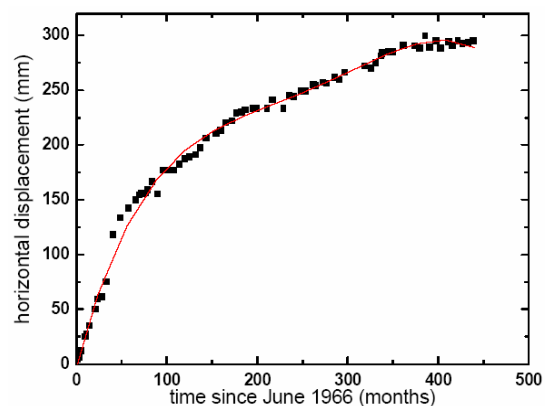
Vertikální posuny byly měřeny užitím velmi přesného nivelátoru (Wild N2) vztažením ke zkušebnímu bodu založenému přibližně 100 m od přehrady. Přesnost vertikálních posunů je  $\pm 2$  mm.

Vertikální posuny na kontrolním bodě 22 umístěném v prostředku hřebenu přehrady postupem času narůstaly, ale poté se stabilizovali. Celkový pokles asi o 75 cm je polovinou toho, co vypočítali konstruktéři.

*Graf 1: Vertikální posun v čase na kontrolním bodě 22. Tenká křivka signalizuje nejpřihodnější polynom 3. stupně. Zdroj: [26]*



*Graf 2: Horizontální odchylky v čase na kontrolním bodě 19. Zdroj: [26]*



Horizontální odchylky kontrolního bodu 19, bodu rovněž uprostřed přehrady, které dosahovaly maximálních hodnot ze všech měřených bodů, byly modelovány polynomem 4. stupně. Kumulativní odchylka činí řádově 30 cm po směru toku a má tendenci se nadále stabilizovat.

Stejná měření probíhala v letech 1960 – 2001 i na druhé Ladonské přehradě střední velikosti. Jen přesnosti měření dosahovaly vyšších hodnot v souvislosti s použitými přístroji. Přesnost horizontálních výchylek se rovnala  $\pm 0,68$  mm. To značí, že horizontální odchylky vypočtené nad tuto hranici jsou význačné oproti náhodným chybám. Přesnost vertikálních výchylek je přesností nivelování okolo 0,5 mm/km. Pro krátké tratě v tomto případě dosahuje přesnost výškových měření 0,07 mm.

Dostupná původní data obsahují informace o datu měření, okolní teploty a úrovně naplnění během měření každého z 6 kontrolních stanovišť. Přehrady jsou

obvykle ovlivněny změnami naplnění. Protože úroveň odchylek byla malá (několik mm) a byl tu důkaz oscilace, byly použity signal processing metody, autokorelace a Lomb normalizovaný periodogram k určení, zda se vyskytovala periodičita u pozorovaných výchylek a zda tyto výchylky souvisely s kolísání stupně naplnění.

Geodetický monitoring na obou přehradách je založen na tradičních geodetických technikách, které jsou velmi přesné, ale na druhou stranu časově náročné a nákladné. Budoucím krokem je přijetí nových technik, převážně založených na dálkoměrném GPS, pro optimalizovaný monitoring.

Metody GPS je užito i při měření slapových sil na stanicích zřízených při pobřeží např. Spojeného království či USA.

Cílem studie [27] je užití GPS, absolutní tíže a slapových měření k zdokonalení globálních dat souvisejících se změnou hladiny moře. Změny hladiny moře mohou odhalit více o našem životním prostředí. Ale co když používaná zařízení k měření jsou ovlivněny efektem pohybů ker? K vyloučení tohoto, jsou užita GPS údaje pro výpočet



Obrázek 7: Anténa v Pier. Zdroj: [27]

vertikálních rychlostí v místech sledování slapů. Spojením této informace s výškovými údaji by měla vzniknout přesnější rychlost vzestupu hladiny moře, zejména v oblastech, kde se rychlosti významně liší od globálního průměru.

Instalování kontinuálních GPS stanovišť vyžaduje viditelnost oblohy, stabilizaci, ochranu stanoviště, dostupnost zdroje energie a spojení. Přednostní je umístit GPS anténu/přijímač co nejbližší k přílovo měru, protože lze využít jeho ochrany, energie a napojení do sítě. Stabilizace je dosažena buď ve skalním podloží, nebo použitím hloubkového upevňovacího prvku.

Efekty multipathu jsou v každém případě posouzeny. Každé GPS stanoviště v síti nahromadí kolem 14 tisíc měření denně, neboť přijímač sbírá data v 30tívteřinových intervalech, pomocí L1 a L2 kanálu a pseudovzdálenostních měření.

## **3. Cíle a metodika**

### **3.1. Získání podkladů**

Vybudování a zaměření sítě geodetických bodů pro dlouhodobé sledování změn výškových profilů terénu v mikropovodí Mlýnského potoku předcházela řada úkonů a rozhodnutí. Jedním z nich může být získání dostupných podkladů a informací týkající se této oblasti. Na internetu se v databázi trigonometrických a zhušťovacích bodů – DATAZ, spravované Českým úřadem zeměměřickým a katastrálním (ČÚZK), vyhledá podle k. ú. triangulační list, ve kterém jsou zakresleny místní existující body základní, trigonometrické, zhušťovací a body výškového bodového pole. Na geodetické a nivelační údaje těchto bodů odkazují internetové odkazy. Na příslušném katastrálním úřadě lze získat v elektronické podobě ortofotomapu, případně si můžeme vystačit s grafickým mapovým výstupem této oblasti, který je dostupný na známých mapových portálech (např.: [www.amapy.cz](http://www.amapy.cz), [www.smapy.cz](http://www.smapy.cz)).

### **3.2. Terénní průzkum**

Dalším z úkonů pro následující práce k dosažení stanoveného cíle je terénní průzkum nutný jednak ke kontrole evidovaných bodů DATAZem, ale také k seznámení se s místními podmínkami pro budoucí volbu vhodné geodetické metody sběru dat.

### **3.3. Požadavky na metodu sběru dat**

Ke splnění úkolu diplomové práce bylo provedeno měření profilu úseku koryta toku téměř od jeho počátku až po mostní konstrukci na dolní části toku.

#### **3.3.1. Polohová přesnost**

Vzhledem k povaze měřeného objektu (koryto potoka) není na místě pořízení dat objektu s přesností v rádech milimetrů, čili záznam trasy části potoka byl měřen s přesností na centimetry. Dále je pro vyhodnocení a porovnání následujících opakovaných zaměření koryta s již provedenými měřeními doporučeno tuto přesnost brát s citem a rozumnou rezervou, právě s ohledem na „živou“ povahu objektu.

### **3.3.2. Výšková přesnost**

Výšky profilu koryta budou zaznamenávány s centimetrovou přesností jednak pro kontrolu při vyhodnocování dat, jednak pro následné vyhotovení grafického výstupu.

### **3.4. Doba měření**

Dobou zaměření sítě geodetických bodů a podrobných bodů potoka je myšlena roční doba, ve které budou tyto geodetické práce každoročně prováděny. Ze všech čtyř ročních období je nejvíce příhodné jarní, ve kterém již sníh v této oblasti po průměrné zimě nenalezneme. V povodí, dávno po oblevě, naakumulovaná voda odešla podzemní i povrchovou cestou a půda si pomalu „sedlá“. Vegetace se teprve pozvolna probouzí k životu, aby později mohla ukrýt divokou, či polní zvěř, a tak i geodet nebude mít v tuto dobu potíže s orientací, pohybem a manipulací v místním terénu.

### **3.5 Výběr geodetické metody, sběr dat a jejich vyhodnocení**

Po vyhodnocení výše zjištěného se dostáváme k výběru geodetické metody pro zaměření a vybudování sítě geodetických bodů. Následuje sběr dat, jejich zpracování a vyhodnocení a případný následný grafický výstup, vše s pomocí geodetických softwarů.



## 4. Výsledky

### 4.1. Charakteristika lokality

Mikropovodí leží v jižních Čechách v okrese Český Krumlov v Chráněné krajinné oblasti Šumava mezi pravým břehem Lipenské přehrady a státní hranicí s Rakouskem. Mlýnský potok se nachází na pravém břehu Lipna u obce Pasečná, je součástí povodí Dunaje. Území tedy leží v katastrálním území Pasečná, přičemž na západ a východ sousedí s katastrálními územími Jasánky a Přední Výtoň. (viz Obrázek 8)



Obrázek 8: Poloha řešené lokality. Zdroj: [www.amapy.cz](http://www.amapy.cz).

Povodí je dále charakterizováno plochou (ha) 214,7 s pouhým 9 % plošným zastoupením lesních porostů a je převážně orientováno JZ, SV. Nadmořská výška (m. n. m.) se zde pohybuje v intervalu 784 – 884. Povodí pokrývají z 90 % polointenzivní pastviny a sečené louky.

### 4.1.1. Ekologie

Všechna 3 výše zmiňovaná katastrální území se nalézají v chráněné krajinné oblasti Šumava. Patří mezi evropsky významné lokality.

Chráněná přírodní památka Multerberské rašeliniště se nachází cca 2 km východně od osady Pasečná vlevo podél komunikace Pasečná – Spáleníště v úvalu bezejmenné vodoteče na okraji lesního porostu. Na západním okraji na něj navazují mokré louky. Důvodem ochrany je rostlinné společenstvo blatkového rašeliniště na podkladu tvořeném granitem, granitovým porfyrem a granulitem. Rašelina zde dosahuje mocnosti 200 - 310 cm.

Tato lokalita dále spadá do Ptačí oblasti Šumava, která byla zřízena nařízením vlády č. 681 z roku 2004.

Povodí Mlýnského potoka bylo v 80. letech minulého století systematicky odvodňováno. Koryto (dno a břehy do výšky 0,5 m) bylo tvořeno betonovými prefabrikáty (úprava přirozeného vodního toku z roku 1966). Tok byl uměle napřímen, zahlouben (až 1,5 m) a vyústovala do něj drenáž odvodňující okolní pastviny (poslední systematické odvodnění z roku 1980). Místy, zejména v horní části toku, již docházelo k narušení opevnění a tvorbě nánosů a naplavenin. Částečně se snižovala funkčnost drenáží, což se projevilo průsaky a zamokřením v okolí toku. Částečná revitalizace, tj. úprava ve stávajícím korytě toku, Mlýnského potoka se uskutečnila v období od 1. srpna do 17. listopadu 1998. Cílem revitalizace bylo zpomalit odtok vody a odnosy látek z krajiny, zvýšit samočisticí schopnost vody a obnovit život v korytě toku. Stavbu projektovala firma Projekta, projektové a stavební sdružení se sídlem v Táboře. Vlastní výstavbu provedl Agrostav a.s., výsadby zeleně firma Asakon Č. Budějovice, investorem a stavebním dozorem byla Státní meliorační správa, územní pracoviště Č. Krumlov.

Soustavná měření, která probíhají v rámci výzkumného úkolu LAE (Laboratoř aplikované ekologie) v povodí Mlýnského potoka již od roku 1997, umožní s odstupem několika let vyhodnotit přínos a efektivitu provedené revitalizace.

### 4.1.2. Pedologie

Z pedologického hlediska mají místní půdy nízký obsah organických látek. Vyskytují se zde půdy s kódem BPEJ 9.69.01, 9.36.21 a 9.36.24. Všechny bonitované půdně ekologické jednotky se nacházejí v klimatickém regionu 9 (chladný, vlhký, suma teplot na 10 °C: pod 2000, vláhová jistota nad 10, suchá vegetační období 0, průměrné roční teploty pod 5 °C, roční úhrn srážek nad 800 mm).

Největší část území zaujímají první dvě výše zmiňované BPEJ. První obsahuje hlavní půdní jednotku (HPJ) 69 – půda glejová zrašeliněná, převážně těžká, půdní substrát dtto, hydroglej, se sklonitostí 1-3° (rovina s možností plošné vodní eroze) a s všesměrnou expozicí.

Jde o půdu hlubokou, bezskelovitou. Třída propustnosti 3 (střední), tj. 0,08 až 0,83 mm/min., podorničí s výraznou strukturou, nebo tvořené hlínou. Středně propustná svrchní vrstva půdy je uložena na jílovité hlíně se slabě vyvinutou kostkovitou nebo polyedrickou strukturou (platí i o druhé zmiňované BPEJ). Nejméně vyskytující se BPEJ č. 9.36.24 označuje půdu bezskelovitou, či slabě skeletovitou, mělkou.

Druhá a také třetí BPEJ popisuje HPJ 36 – hnědá půda kyselá a hnědá půda podzolová, lehčí, středně těžká, či lehká, z různých půdních substrátů, s možným výskytem šterkoviště. Sklonitost je pak 3-7° (mírný svah) a expozice na východ a západ, JZ – SZ nebo JV – SV.

### 4.2. Možné příčiny poklesu půdy

Nacházíme se v kopcovité oblasti střídavě s lučními a zalesněnými plochami. Takto lze pohlížet i na řešené povodí Mlýnského potoka, který odvádí vodu z přilehlých svahů, z nichž na hřebenu jednoho z nich se nalézají lesní porosty. Možnou příčinou poklesu půdy v povodí by tedy mohly být svahové pohyby a deformace.

Faktory způsobující svahové pohyby (deformace) se zabývá [20]. Představují jak přírodní anomální procesy, tak umělé zásahy do ustáleného dlouhodobého režimu vývoje svahu. Tyto faktory nelze zařadit pouze do jedné obecné skupiny. Z hlediska charakteru působení a doby trvání se dají rozdělit na permanentní (dlouhodobé) a epizodické (krátkodobé). Z hlediska *geneze* pak na přirozené a umělé (antropogenní činnost – násypy, zářezy atd.).

Příčiny svahových pohybů lze začlenit do 4 základních skupin:

1. *morfologické poměry* (změna sklonu a výšky svahu),
2. *geologická stavba* (litologická a strukturní anizotropie),
3. *fyzikální faktory* (teplota, srážky, expozice svahu, rychlé tání sněhu, působení podzemní vody, zvětrávání, promrzání vulkanické erupce, zemětřesení,...),
4. *antropogenní faktory* (stavební činnost, odstranění vegetace, hornická činnost,...).

#### ad 1.

Změna výšky a sklonu svahu představuje jeden z hlavních faktorů způsobujících vznik sesuvných pohybů. Častou příčinou změny sklonu svahu je odnos materiálu z paty svahu např. vlivem *fluviální eroze* (říční činnost). Prohlubování údolí převážně erozní činností vede ke zvětšení výšky svahu a k uvolňování bočních napětí ve svazích. Vznikají pukliny rovnoběžné s povrchem, do kterých snadno vniká voda a napomáhá svah rozrušovat.

Tuto příčinu můžeme ihned v našem povodí zavrhnout, neboť Mlýnský potok by svou činností nedokázal poškodit patu svahu.

#### ad 2.

Přírodní podmínky, ve kterých se svahové pohyby vyvíjí, představují soubor geologických, morfologických, hydrogeologických a klimatických poměrů. Geologicko-tektonická stavba ovlivňuje geomorfologické a hydrogeologické poměry daného svahu, a může být proto určující podmínkou pro vznik sesuvu. V povrchových zónách je to geologická struktura, vytvořená zvětrávacími, erozními a akumuláčními procesy v období kvartéru, na kterou působí sezónní klimatické vlivy. Nejrozšířenějším typem je hluboce zvětralý svah nebo svahová deprese, zatížená suťovými akumulacemi. Nezvětralý, ukloněný podklad předurčuje smykovou plochu. V podpovrchových zónách jsou to takové geologické struktury, u nichž byly při vzniku svahu nařezány oslabené zóny v masivu.

Na plastickém, nepropustném podkladu (jílovce, slínovce) leží rigidní komplex nadložních hornin (vápence, pískovce, neovulkanity). Postupnou erozí dochází k rozčlenění svrchního komplexu a vytváření tahových puklin lemujících údolí. Voda proniká přes pukliny až na nepropustné podloží a snižuje jeho smykovou pevnost. Výsledkem je pohyb bloků rigidního komplexu po plastickém podkladu směrem do údolí. Dalším typem jsou svahy s mnohonásobným střídáním vrstev nebo poloh hornin pevnějších a méně odolných s rozdílnou propustností (např. pískovce, jílovce).

Smykovou plochu často předurčují vrstevní plochy ve směru svahu. Geologickou jednotkou, pro kterou jsou zmiňované poměry typické, je flyšové pásmo (karpatský flyš).

ad 3.

### **Klimatické poměry**

Množství srážek je v ČR dáno nejen polohou cyklón a anticyklón, ale také nadmořskou výškou, orientací a expozicí svahu. Nejvíce srážek spadne na SZ svahy a hřebenové polohy, méně na JZ svahy při stejné nadmořské výšce (do 1000 m n.m.). Důležité jsou extrémní srážky, zejména ty, které vyvolávají přívalové deště, neboť značně urychlují krajinnotvorné pochody (erozí půdy, sesuvy apod.) a vyvolávají extrémní průtoky na vodních tocích. Voda infiltrující do horninového prostředí sytí zeminy a tíha zvodněné vrstvy narůstá. Dočasně se zvyšuje pórový tlak a snižuje pevnost ve smyku. Anomálie se nejvíce projevují v již existujících sesuvech a často zapříčiňují reaktivaci pohybu.

O tom, jaké množství vody ze srážek (dešťových, sněhových) se dostane do horninového prostředí, rozhodují také procesy, které jsou ovlivněny zejména teplotou vzduchu - tání sněhu, výpar. Obvykle na jaře může docházet po výrazném oteplení k *rychlému tání sněhové pokrývky*, přičemž se vytváří nové hydrologické podmínky svahu.

### **Působení podzemní vody**

Změna rychlosti a tlaku proudící podzemní vody může vést k vyplavení částic zeminy (sufózi). Vznikají podzemní dutiny a porušuje se stabilita svahu. Velmi náchylná je jemná písčité a prachovitá frakce při překročení kritické rychlosti proudění vody. Pokud se v podloží nepropustných vrstev nachází napjatá hladina, působí tato vztlakem. Typickou geologickou jednotkou, u které se podílí vztlak na aktivaci respektive reaktivaci svahových deformací, je u nás flyšové pásmo.

### **Zvětrávání**

Významným faktorem podmiňujícím velmi nebezpečné gravitační deformace je proces zvětrávání. Má charakter mechanického rozrušování i chemického rozkladu (hydratační pochody, výměna iontů v jílech působením prosakující vody atd.). Silně se porušuje struktura a textura horniny a rozvíjí se oslabené zóny masivu. Intenzita, rychlost a hloubka zvětrávání je závislá na srážkových a teplotních klimatických poměrech, vegetačním pokryvu atd.

### **Vliv promrzání**

Činnost mrazu má nemalý vliv na aktivitu sesuvů. Voda po zmrznutí v trhlinách mění svůj objem a snižuje soudržnost (po rozmrznutí) horninového materiálu. Např. v jílovitých a jílovito-písčících zeminách se tvoří ledové vrstvičky. Povrchová vrstva při jejích tání rozbíjí vlivem silně se zvětšujícího objemu vody.

### **Vulkanické erupce a zemětřesení**

Pravděpodobnost působení těchto faktorů v této oblasti je pramalá až mizivá.

Přesnější a více informací by pro dané území zajistilo provedení geologického, případně pedologického průzkumu.

#### ad 4.

Mezi hlavní antropogenní příčiny vzniku sesuvů patří změna geometrie svahu vlivem odlehčení jeho dolní části stavebním zářezem (např. výstavbou komunikace a kanalizací) nebo výkopem jámy.

Dalším velmi častým případem změny geometrie svahu je přetížení jeho horní části násypem nebo stavební konstrukcí. Vlivem přetížení může dojít k nárůstu napětí v pórech zeminy a posléze ke snížení vnitřního tření.

### **Umělé vibrace**

Neboli technická seismicita jsou odrazem lidské aktivity a zahrnují např. výstavbu pilot, otřesy v lomech, průjezdy těžké mechanizace atd.

### **Odstranění vegetace**

Může nepříznivě ovlivňovat stabilitu svahu. Kořeny udržují stabilitu mechanickým působením a přispívají k vysoušení svahu tím, že část vody spotřebují. Po odstranění rostlinstva se na svahu výraznějším způsobem uplatňuje povrchová eroze a mění se vodní režim v povrchových vrstvách.

V řešené lokalitě by se dalo uvažovat o účinku vlivu zatížení z provozu na místní zpevněné komunikaci na hřebenu povodí.

### 4.3. Dostupné měřické metody

Zaměření sítě geodetických bodů lze provést několika geodetickými metodami. Pro splnění cíle této práce lze uvažovat tři metody: GPS, tachymetrie a nivelace. Tyto poskytují možnost splnění úkolu mé práce s dosažením různých přesností, s různým stupněm náročnosti na provedení a náročnosti časové a budou dále popsány.

#### 4.3.1. GPS RTK

Družicový navigační systém globálního určování polohy GPS (Global Positioning System) se také označuje NAVSTAR (Navigation System using Time and Ranging – navigační systém využívající měření času a vzdáleností) a pracuje na principu jednosměrného dálkoměru. Měřenou veličinou je doba šíření signálu z družicové antény k přijímací anténě. Tento naměřený čas je převáděn pomocí rychlosti šíření signálu na vzdálenost.

GPS přijímače provedenou na základě přijatých signálů z družic výpočty polohy, rychlosti a času. To nám například umožňuje relativní určování polohy. Poloha bodu se určuje vzhledem k referenčnímu bodu, jehož geocentrické souřadnice jsou známy. V tomto případě je třeba uskutečnit simultánní měření dvěma přístroji. Toto řešení má primární význam v geodézii a v železničním stavitelství, protože umožňuje určit délku základny (vektoru) s milimetrovou přesností a využívá se diferenciálních fázových měření. Při statickém určování polohy je přijímač po dobu měření vzhledem k zemskému povrchu v klidu. Při kinematickém měření je anténa stanice GPS vzhledem k zemskému povrchu v pohybu.

RTK (Real Time Kinematic), tedy kinematická metoda řešená v reálném čase automaticky určuje prostorové trojrozměrné (3D) souřadnice měřených bodů. V geodetické praxi se při aplikaci GPS z převážné většiny využívá simultánní fázové měření. Ani RTK není v tomto směru výjimkou. Výpočet prostorových souřadnic měřeného bodu v reálném čase však vyžaduje použití speciální měřicí aparatury vybavené jak po hardwarové tak po softwarové stránce. Celá aparatura se skládá ze dvou základních komponent – referenční stanice a roveru (pohyblivé měřicí stanice). Jak rover, tak referenční stanice obsahují většinou dvoufrekvenční přijímač GPS s anténou, jež je u referenční stanice zpravidla umístěna na stativu, u roveru na teleskopické tyči. Zmiňovaným speciálním vybavením aparatury se myslí především radiomodemy zajišťující přenos korekčních dat.

Základním principem metody je získání aktuálních přesných korekcí měřených souřadnic v reálném čase. Tyto korekce nepřímo poskytuje s dostatečnou přesností referenční stanice umístěná na bodě o známých souřadnicích. Referenční stanice přijímá signál z družic, převádí jej do jiného formátu a tento vysílá pomocí radiomodemu do roveru – rovněž v reálném čase. V současné době odpadá potřeba vlastní referenční stanice. Tato může být nahrazena sítí CZEPOS, což jsou referenční stanice umístěné na budovách katastrálních úřadů (na jihu Čech to jsou Tábor, Prachatic, Dačice, Kaplice). Přímo v roveru dochází k výpočtu potřebných korekcí porovnáním signálu přijatého z referenční stanice se známými souřadnicemi stanoviště. Tyto přijaté korekce jsou použity při zpracování družicového signálu přijímaného roverem ke zvýšení přesnosti určení prostorové polohy bodu. Analýza signálu je založená na zpracování dopplerovsky posunuté nosné vlny. Jedná se tedy o fázové měření. Pro výpočty je nutno použít speciální software, který využívá algoritmy pro rychlý výpočet počáteční fázové ambiguity.

Dostupnost výsledků v reálném čase samozřejmě přináší řadu výhod. Ihned v terénu máme možnost kontroly správnosti provedeného měření. Měřená data můžeme okamžitě nejen prohlížet, ale i editovat a kontrolovat přímo v terénu a nikoliv tak činit až při postprocessingu v kanceláři. Jistým omezujícím faktorem měření je dosah radiomodemu. Uplatnění metody je potom závislé především na dosahu radiomodemu a morfologických podmínkách. Obecně se tvrdí, že při užití radiomodemu by pro zajištění centimetrové přesnosti neměla být vzdálenost mezi referenčním a pohyblivým přijímačem větší než 10 km. Při běžném vysílacím výkonu je maximální dosah v otevřené krajině přibližně 2-5 km. Dosah radiomodemů používajících radiové vlny je značně závislý na konfiguraci terénu, ale z části i na počasí, vlhkosti vzduchu či vlhkosti zemského povrchu. Další výhodou radiolinky je možnost připojit více roverů současně na jednu referenční stanici. Akční rádius při měření tedy může být značně proměnlivý.

Polohová přesnost klasických geodetických GPS se dle výrobce a produktu pohybuje v kinematickém módu na úrovni 12 mm + 2 ppm (Magellan ProMark 3) či 10 mm + 1 ppm (Trimble R6). Výšková přesnost GPS se obecně pohybuje v hodnotách dvojnásobku až trojnásobku přesnosti polohové (Magellan ProMark 3 15 mm + 2 ppm, Trimble R6 20 mm + 1 ppm).

Problém může způsobit rušení nebo interference signálu a to jak GPS signálu z družic, tak signálu pro přenos korekčních dat. Jev může nastat při použití jakéhokoliv



vysílacího zařízení v bezprostřední blízkosti měřících aparatur. Používáme-li pro vzájemnou komunikaci profesionální vysílačky na frekvenci blízké frekvenci radiomodemu, mohlo by teoreticky docházet k interferenci elektromagnetických vln. Různé modely GPS aparatur používají odlišné frekvence a do značné míry jsou tedy rušivé vlivy závislé na typu použitého přístroje. Při použití kinematické metody v reálném čase na větší vzdálenosti je také možné data přenášet mobilními telefony. S rostoucí vzdáleností stanic však roste nepřesnost určení korekcí a při použití mobilního telefonu pro přenos korekcí se samozřejmě patřičně zvyšují náklady.

Dále přesnost ovlivňuje zejména postavení satelitů na obloze vůči pozorovateli, minimálně je třeba jeden satelit v nadhlavníku a další tři rovnoměrně rozmístěné na obloze. Dalším faktorem, který bývá v terénu velmi významný je zastínění výhledu na satelity (v údolích, v zástavbě, v lesních porostech).

Technologie určování polohy s využitím GPS je tedy oproti klasickým geodetickým metodám velmi úsporná a efektivní. Nezávisí totiž na vzájemné viditelnosti bodů (tato je nezbytná pro úhlová a délková měření) a nezávisí na denní nebo noční době. V případě, že se pro měření využije více přijímačů, zvyšuje se i produktivita práce (proti triangulaci 2 až 5 krát). GPS poskytuje běžné výsledky v souřadnicích vztahených k Světovému geodetickému systému z roku 1984 – WGS 84 (World Geodetic System). Výsledky lze převést do běžné kartografické projekce. Stačí vyhledat minimálně 3 body se známými souřadnicemi v systému JTSK – pro potřeby Helmertovy transformace z WGS 84 do S-JTSK.

### **4.3.2. Tachymetrie**

Dosud nejčastěji užívaná geodetická metoda sběru dat v terénu. Mohu si však troufnout říci, že bude postupným rozvojem GPS technologií a aparatur postupně nahrazena.

Tachymetrie se používá při současném měření polohopisu a výškopisu. Poloha podrobných bodů se určuje ze sítě tzv. tachymetrických stanovisek polárními souřadnicemi – vodorovným úhlem a délkou. Síť tachymetrických stanovisek se zaměřuje převážně polygonovými pořady. Polohově i výškově se síť připojuje na dané trigonometrické a zhušťovací body, popř. body PPBP. Dané polohové a výškové body je nutné předem ověřit kontrolním měřením. Výška podrobných bodů je určena trigonometricky – ze změřeného svislého úhlu a délky.

K tachymetrickému měření se používají přístroje označované jako tachymetry. Tachymetr je přístroj umožňující měření délek, vodorovných a svislých úhlů. Tachymetrem je každý teodolit vybavený svislým kruhem a dálkoměrnými ryskami – nitkový tachymetr (kromě klasického nitkového tachymetru lze použít i tachymetr autoredukční – přímé určení vodorovné vzdálenosti, nebo tachymetr diagramový – přímé určení vodorovné vzdálenosti a převýšení). Součástí vybavení při použití nitkového tachymetru jsou také tachymetrické latě (slouží k měření délek). Vedle nitkového tachymetru je možné použít i elektronický tachymetr (v současnosti nejpoužívanější), který je namísto tachymetrické latě vybaven odrazným hranolem (reflektorem) na výsuvné výtyčce sloužícím opět k měření délek. Podle použitého tachymetru se pak tachymetrie dělí na tachymetrii nitkovou a tachymetrii s elektronickým tachymetrem a blokovou tachymetrii.

Elektronické tachymetry mají řadu předností. Vyznačují se vysokou přesností délkového měření (od 1mm + 1ppm s až 5mm + 5ppm podle způsobu signalizace bodu – výtyčka s odrazným hranolem je držena volně v ruce nebo upevněna ve speciálním stojánku, např.: Topcon DTM-520 2 mm + 2 ppm, Leica TC 1800 1 mm + 2 ppm) a velkým dosahem (až 5 km). Levnější typy mají přesnost měření úhlů 10 až 20<sup>cc</sup>, dosah měření vzdáleností do 1 km s chybou 1 až 2 cm. Elektronické tachymetry umožňují měřit buď polární souřadnice nebo relativní pravouhlé souřadnice a převýšení včetně automatické registrace naměřených dat. Vodorovná délka se pomocí elektronického tachymetru určuje již s fyzikální redukcí a součtovou konstantou. Stanoviska tvoří polygonový pořad. Je nutná vzájemná viditelnost mezi sousedními stanovisky (nevyužívá se plně dosahová možnost přístroje). Pokud není možné ze stanoviska některé podrobné body výškopisu zaměřit, volí se další (vedlejší) stanoviska. Ta se určují zpravidla rajonem. Při výpočtu souřadnic stanovisek se řeší oboustranně orientovaný, popř. vetknutý, polygonový pořad.

Přesnost podrobného měření a výsledných výšek podrobných bodů např. výškopisu mapy velkého měřítka se vyjadřuje ve vztahu k blízkým bodům podrobného, příp. základního bodového pole. Charakteristikou přesnosti určení výšek  $H$  podrobných bodů výškopisu je základní střední výšková chyba  $m_H$ . Výšky souboru podrobných bodů jedné třídy přesnosti musí být určeny tak, aby charakteristika  $m_H$  nepřekročila kritérium  $u_H$  uvedené v tabulce 3 a u bodů terénního reliéfu (na nezpevněném povrchu) nepřekročila kritérium  $3 \cdot u_H$  (viz Tabulka 3).

Tabulka 3: Kritéria přesnosti podrobných bodů výškopisu. Zdroj: [30]

Kód charakteristiky kvality	1	2	3	4	5
$u_H$ (m)	0.03	0.07	0.12	0.18	0.35
$u_V$ (m)	0.30	0.40	0.50	0.80	1.50

### 4.3.3. Geometrická nivelace

Výškový rozdíl dvou bodů lze geometrickou nivelací určit dvěma základními metodami – kupředu a ze středu.

Geometrická nivelace kupředu se pro určování výškových rozdílů vzdálenějších bodů nehodí a prakticky se nepoužívá (pracnost, nutnost stabilizace všech bodů, vliv hlavní systematické chyby – porušení podmínky  $L \parallel Z$ ). Svou podstatou se však uplatňuje ve speciálních nivelačních pracích – měření profilů.

Profil je řez terénu svislou rovinou podél určité čáry. Čára může být skutečná nebo myšlená, co do tvaru může být čára přímá, lomená, zakřivená. Rozeznáváme profil podélný (podél komunikace, vodního toku apod.) a příčný (zpravidla kolmý na profil podélný). Charakteristické body podélného profilu se stabilizují v místech změny směrových resp. výškových poměrů nebo v pravidelných intervalech (např. po 20 m) označenými dřevěnými kolíky. Zde jsou voleny příčné profily. Vzdálenosti mezi podrobnými body profilu, označenými kolíkem nebo jinak dočasně stabilizovanými, se mohou změřit pásmem, optickým nebo elektronickým dálkoměrem.

Při měření vzdáleností dálkoměrem je možné postavit přístroj na jeden bod (nejvýhodnější je počáteční bod profilu) a tak z jednoho stanoviště postupně změřit vzdálenosti několika podrobných bodů. V každém případě se určí (vypočítají) vzdálenosti všech podrobných bodů profilu od počátku profilu. Tyto vzdálenosti se nazývají staničení a zapisují se obvykle už do měřického zápisníku a do grafického vyjádření profilu.

Při měření profilu dálkoměry se měří současně vzdálenosti i převýšení. Tady je třeba mít na paměti, že při záměrech delších než 300 m je nutno při výpočtu převýšení zavést korekci ze zakřivení Země a z atmosférické refrakce.

Pokud je třeba zaměřit výškové poměry (tvar reliéfu) v určitém pruhu (několik desítek metrů, výjimečně několik set metrů) podél trasy existujícího projektovaného

objektu, zaměřují se ještě příčné profily, často se říká také příčné řezy. Směr příčného řezu je zpravidla kolmý na podélný profil v daném bodě.

V dnešní době se užívají automatické nivelační přístroje, tj. přístroje s automatickým (digitálním) odečítáním na principu čárkového kódu (čtení na lati s čárkovým kódem je automaticky odečítáno elektronickým okem – CCD kamerou – a ukládáno na paměťové médium). Z polohy zaostřovací čočky dokáže přístroj automaticky při každém čtení na lati určit i vodorovnou vzdálenost (s přesností 3 – 5 mm / 10 m a střední kilometrovou chybou do 2 mm; Leica Runner24 – střední kilometrová chyba 2 mm, Topcon DL-102C 1 mm). Automatický sběr a ukládání dat usnadňuje nivelační proces a plně eliminuje nejběžnější zdroje chyb (chybu z odečtení a chybu při zápisu). Přístroj zavádí měřické korekce a vlastní chybové korekce zjištěné testem přístroje.

Během vývoje nivelačních přístrojů se pokusila řada výrobců nahradit světelný paprsek realizující záměrnou přímku viditelným paprskem laserovým (nejčastěji užívaný zdroj – červená laserová dioda). Po rozložení tohoto paprsku do roviny lze realizovat též viditelnou záměrnou rovinu. Využití tohoto druhu přístrojů je především ve stavebnictví a inženýrské geodézii. Při delších záměrech je nedílnou součástí přístroje odečítací zařízení na lati (čidlo), které umožní určit střed paprsku (divergence je 20 – 30 mm / 200 m) s přesností 0,5 – 2,5 mm podle délky záměry. Z konstrukčního hlediska rozlišujeme laserové nivelační přístroje:

- kompaktní (laserový zdroj a dalekohled tvoří jediný celek),
- aditivní (do běžných typů nivelačního přístroje se přivádí světlovody laserové světlo) a
- rotující (po rozložení laserového paprsku do roviny lze sledovat viditelný paprsek na více laticích – příp. vybavených detektory – najednou; přesnost je 0,8 – 3,0 mm / 100 m podle délky záměry).

K přesným nivelačním pracím se používají latě, které mají stupnice nanesenou na invarovém pásku – říká se jim invarové latě. Invarová lať se skládá z dřevěného nebo kovového pouzdra, do kterého je umístěn napnutý invarový pás (napínaný silou 200 N), na který jsou nanесeny dvě stupnice proti sobě posunuty o známou konstantu. Tato konstanta má kontrolní význam. Rozdíl čtení na obou stupnicích musí být roven konstantě. Stupnice na laticích jsou ve většině případů děleny po 5 mm, ale s číslováním po 10 mm, takže vypočtená převýšení jsou dvojnásobná. Číslování na laticích je buď vzpřímené nebo převrácené. Se zavedením elektronických nivelačních přístrojů jsou

latě místo stupnice opatřeny čárkovým kódem. Pro přesnou a velmi přesnou nivelaci se používají latě celistvé (z jednoho kusu), opatřené krabicovou libelou. Délka latí bývá 3 m, popř. 1,75 m. Pro běžné technické práce nižší přesnosti se používají též latě skládací zásuvné a sklopné o délce 3 a 4 m s E stupnicí.

Přesná nivelace se používá při určování nadmořských výšek ve výškovém bodovém poli, zejména v nivelačních pořadech III. a IV. řádu a v plošných nivelačních sítích, ale i při speciálních pracích vyšší přesnosti, spadajících do oblasti inženýrské geodézie (např. měření deformací stavebních objektů). Technologii měření stanovuje „Nivelační instrukce pro práce v ČSJNS“.

Zde se uvádí např.: zvětšení dalekohledu má být alespoň 24 násobné, citlivost nivelační libely alespoň 20,6“ (41 v koincidenční úpravě), nebo kompenzátor odpovídající přesnosti. Délky záměr nemají přesáhnout 50 m, výška záměry nad terénem nemá klesnout pod 50 cm (ve svažitém terénu u záměr kratších než 20 m pod 25 cm). Základním kritériem dosažené přesnosti je mezní odchylka  $5\sqrt{R_{km}}$ , kde R je délka nivelačního oddílu v km, mezi nivelovaným převýšením TAM a ZPĚT. Pro nivelační úsek (několik oddílů) je mezní odchylka přísnější (ochrana před působením větších zbytkových systematických chyb).

Nejběžnější nivelace – technická nivelace (TN) – postačuje pro většinu technických úkolů a pro určení nadmořské výšky některých bodů v podrobném výškovém bodovém poli. Technologii měření stanovuje „Směrnice pro technickou nivelaci“.

Zvětšení dalekohledu má být nejméně 16 násobné, citlivost nivelační libely alespoň 60“ (80“ v koincidenční úpravě) nebo kompenzátor odpovídající přesnosti.

Rozlišují se dva druhy technické nivelace. Základní přesnosti a zvýšené přesnosti. Při TN základní přesnosti se mohou používat latě dlouhé 2 – 4 m (celistvé, rozkládací, zasouvací, sklápěcí), i nevybaveny krabicovou libelou – možno nahradit kýváním. Délka záměr může být do 120 m. Základní kritérium přesnosti je mezní odchylka mezi daným a měřeným převýšením  $40\sqrt{R_{km}}$ . Vzniklá odchylka se rozdělí na záměry vzad (na celé mm).

Při TN zvýšené přesnosti se používají celistvé latě délky 2 – 3 m. Latě se musí urovnávat do svislice pomocí krabicové libely umístěné na lati. Max. délka záměr 80 m, ideálně 40 – 50 m. Mezní odchylka pak činí  $20\sqrt{R_{km}}$ .

Další dva typy nivelace – velmi přesná a zvlášť přesná nivelace se používají pro práce v základním výškovém poli a to především v I. a II. řádu.

#### 4.3.4. Zhodnocení a výběr měřické metody

Výše uvedené měřické metody poskytují možnost splnění úkolu této práce s dosažením různých přesností, s různým stupněm náročnosti provedení a náročnosti časové. Ne však každá je pro dosažení cíle v dané lokalitě příhodná.

Elegantní a rychlá metoda GPS RTK by možná i přes překážku přílišné vzdálenosti od referenční stanice v Kaplici, která činí přes 30 km vzdušnou čarou, stačila na vytvoření geodetických bodů sítě, ale pro další měření profilu koryta potoka by již byla nepoužitelná pro bujnou vegetaci podél potoka, která by již měření výrazně ztížila, a také by byl velice složitý záznam výšek u těchto podrobných bodů koryta potoka. Vyšší výšková členitost v dané oblasti a tudíž i vyšší pracnost vyplývající z množství vykonaných pořadů (přestav) rovněž zamezuje užití jakékoliv nivelační metody.

Zbývá tedy v současné době nejpoužívanější metoda s užitím elektronického tachymetru, neboli totální stanice, díky níž je možné vhodným zvolením polygonového pořadu vybudovat síť pevných bodů, z které půjde zaměřovat vybraný profil směrově i výškově. Užití této přesné geodetické metody také zaručuje i stálost měřické sítě bodů, neboť ta může být kdykoliv právě pomocí elektronického tachymetru a geodetické úlohy „vytyčování“ obnovena.



*Obrázek 9: Mlýnský potok. Zdroj: Autor.*

## 4.4. Postup prací

### 4.4.1. Přípravné práce

Řešená lokalita byla nejprve vyhledána na mapovém portále [www.amapy.cz](http://www.amapy.cz), kde proběhlo prvotní seznámení s územím ze základních map, ortofotomap a turistických. Pro výše uvedené důvody byla zvolena metoda tachymetrického měření pomocí elektronického tachymetru.

Pak byly v rámci přípravných prací k vybudování a zaměření geodetické sítě bodů získány údaje o trigonometrických, zhušťovacích a nivelačních bodech na serveru ČÚZK – aplikace Databáze bodových polí (<http://dataz.cuzk.cz>).

Z této aplikace byl dále pro lepší orientaci v terénu vytištěn výřez přehledové mapy – triangulační list č. 5316.

Dále byly z tohoto triangulačního listu pro vytvoření, napojení a zaměření geodetické sítě bodů vytištěny geodetické údaje těchto bodů:

- zhušťovací body č. 215, 214 a 213.

Pro měření bylo použito vybavení katedry pozemkových úprav – totální stanice Leica TC 407, hliníkový stativ, dva odrazné hranoly s cílovým terčem, dvě vysílačky, pásmo, svinovací metr, ocelové trubky, dřevěné kolíky, značkovácí barva ve spreji a kladivo.

Tabulka 4: Parametry totální stanice Leica TCR 407. Zdroj: [www.papaspol.cz](http://www.papaspol.cz)

Úhlová přesnost	7"
Dosah dálkoměru	3500 m (dle světelných parametrů bodu cíle)
Přesnost (DIN 18723)	+/- 2 mm + 2 ppm
Zvětšení dalekohledu	30 x
Doba měření	1 sec. standardní, 0,3 sec. tracking
Měření s viditelným laserem	
Dosah laserového dálkoměru	bez hranolu 80 m / 170 m, s hranolem 7500 m
Délková přesnost	+/- 3 mm + 2 ppm
Pointer	velikost stopy 12 mm na 50 m (elipsa)
Hmotnost	4,2 kg
Displej	LCD, 6 řádků po 31 znacích

#### **4.4.2. Rekognoskace terénu**

Měření proběhlo 13. 6. 2007. Byla provedena rekognoskace terénu, nalezení a zjištění stavu zhušťovacích bodů a to vizuálně, zda není stabilizace některého z bodů poškozena, a kontrolou číselných údajů podle místopisu.

Nalezení všech bodů proběhlo bez větších problémů, jejich stabilizace byla v pořádku a poloha se také nelišila od údajů uvedených v místopisech. Míry všech bodů souhlasily a body tak byly vzaty za totožné. Nic nebránilo započítí měření a stabilizaci geodetické sítě bodů pro zaměření průběhu koryta Mlýnského potoka.

#### **4.4.3. Vybudování geodetické sítě bodů**

Měřickou skupinu tvořili jeden měřič a dva figuranti. Daným územím byl vhodně navržen polygonový pořad oboustranně připojený a jednostranně orientovaný, který znamenal geodetickou síť, ze které se průběžně zaměřovaly podrobné body koryta Mlýnského potoka (vedení polygonového pořadu je zobrazeno v Příloze 5).

Jeho počátek byl zvolen ve zhušťovacím bodě č. 215, který se nachází vpravo od pozemní komunikace vedené nad mikropovodím ve směru do obce Pasečná. Orientace na tomto bodě byla provedena severně na zhušťovací bod č. 214. Polygon dále tvořilo 6 vrcholů – stanovisek 4001 až 4006 – a byl zakončen jihozápadně od obce Pasečná orientací ze stanoviska 4006 na zhušťovací bod č. 213 jihozápadně od obce Pasečná (vedení polygonového pořadu je zobrazeno v Příloze 5).

Vzhledem k dalšímu opakovanému využití stanovisek, byla na každém nejprve provedena stabilizace pomocí ocelové trubky, signalizované pro lepší dohledání zatlučením barvou značeného kolíku v blízkosti trubky (ke stabilizaci stanoviska 4003 byla využita jamka na vrcholu balvanu u skruže, která byla také patřičně označena barvou ve spreji). Teprve potom byla totální stanice na stativu zhorizontována a zcentrována na střed ocelové trubky. Proběhlo zadání dat o stanovisku, následně orientace, pak záznam měřených podrobných bodů, které probíhalo střídavě na dvě výtyčky s odraznými hranoly.

#### **4.4.4. Měření podrobných bodů**

Profil koryta potoka se měřil tzv. „U-profilem“ – zaznamenávalo se po dvou bodech na každém břehu potoka (čtveřice bodů) – body označující hranu plochy dna koryta a plochy svahů koryta a body označující hranu plochy svahu koryta a plochy



okolního terénu. Tato čtveřice měřených bodů se opakovala v rozmezí přibližně 20 metrů, nebo výrazných směrových a tvarových změn koryta podél toku od mostního objektu na dolní části toku směrem nahoru. Celkem bylo zaznamenáno 260 podrobných bodů, které nebyly nikterak stabilizovány. Výtyčka byla pokládána přímo na terén (dno koryta). Také proto během měření došlo k výskytu chyby, která je patrná na podélném profilu (Příloha 7), kdy jeden bod má vyšší výšku než bod předešlý (výše položený). Zřejmě byla výtyčka dána na v potoce vloženou překážku, např. kámen.

Zaznamenávání údajů o úhlech a vzdálenostech měřených bodů bylo ukládáno přímo do paměti totální stanice s kontinuálním číslováním bodů. Pro měření výšek byla stanovena konstantní výška zaměřovaného hranolu nad zaznamenávaným bodem, a to 146 cm, s tím, že pokud to okolnosti měření vyžadovaly, zvýšila se výška hranolu na potřebnou hodnotu, která byla měřičem do přístroje ručně zadána.

Některé záměry dosahovaly délky vyšší než 200 m, kdy vznikají nezanedbatelné odchylky měření, a proto byly dále při výpočtech zaváděny opravy (redukce) ze zanedbání skutečného horizontu a z vertikální refrakce.

#### **4.4.5. Výpočty**

Zaznamenaná data byla přenesena z totální stanice datovým kabelem do počítače ve formátu GSI, který byl pomocí na katedře dostupného geodetického softwaru Kokeš načten. Zaznamenané body s jejich daty byly roztrženy mezi body polygonu a body podrobné, u nichž byla provedena hromadná úprava číslování (seznam souřadnic podrobných bodů je v Příloze 3). Při zpracovávání podrobných bodů, vzešly dvě neúplně zaznamenané čtveřice bodů, kdy v každé chybělo po jednom bodu. Toto si lze vysvětlit jako chybu obsluhy totální stanice.

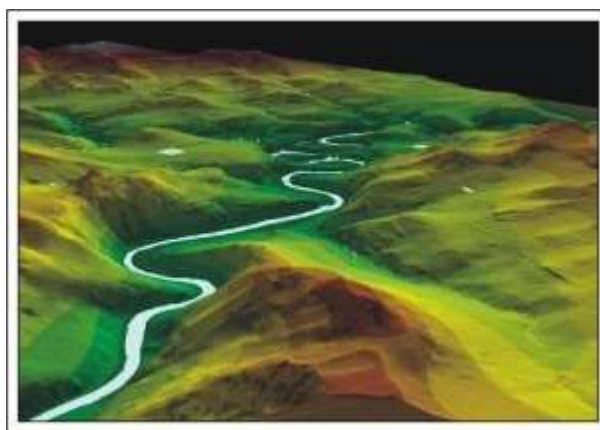
Nejprve bylo nutné v programu Kokeš vypočítat polygonový pořad. Souřadnice polygonových bodů YX byly vypočteny navolením příslušné úlohy pro výpočet polygonového pořadu oboustranně připojeného a jednostranně orientovaného (včetně navolení redukcí chyb ze zanedbání skutečného horizontu a z vertikální refrakce). Po překontrolování dosažených a mezních odchylek v protokolu o výpočtu (viz Příloha 1) byl uložen seznam souřadnic polygonových bodů do formátu TXT. Takto byla zajištěna stálost (obnovitelnost) sítě pevných bodů. Výšky pak byly vypočteny ručně z naměřených zenitových úhlů a šikmých délek. Jednotlivá převýšení bodů byla opravena o poměrnou část rozdílu naměřeného převýšení a skutečného převýšení počátečního a koncového bodu polygonu (zhušťovací body č. 214 a 213) viz Příloha 2.

Teprve poté načtením takto dříve vypočtených souřadnic polygonového pořadu a zápisníku podrobných bodů byly dávkovým příkazem vypočteny souřadnice a výšky zaznamenaných podrobných bodů (pro přehlednost vyexportovány do formátu TXT, viz Příloha 3).

#### 4.4.6. Grafické výstupy

S již vypočtenými 3D souřadnicemi podrobných bodů zaměřeného koryta potoka se dá dále díky moderní výpočetní technice pracovat. Samotný geodetický program Kokeš umožňuje ve své základní verzi tvorbu liniových kreseb, profilů, řezů ve 2D provedení. Existují ale také další speciální programy pro tvorbu digitálních modelů terénu (DMT), které zacházejí do 3D zobrazení.

Takovým je i program Atlas DMT, který umožňuje vzájemnou propojenost s programem Kokeš a který jsem měl možnost si pro tuto práci od Katedry pozemkových úprav zapůjčit a pokusit se vytvořit s jeho pomocí DMT z vypočtených dat uložených v textovém souboru, přesněji vytvořit digitální model profilu koryta. Ale během užívání programu jsem byl programem upozorněn, že potřebný 3D modul nelze hardwarovým klíčem spustit (zřejmě bylo třeba zakoupit rozšíření) a veškeré možnosti práce s tímto programem skončily v liniových 2D kresbách, které dokonce vykazovaly hrubé chyby, jejichž původ jsem si nedokázal vysvětlit. Program jsem tedy vrátil a spokojil se s možnostmi programu Kokeš.



Obrázek 10: Příklad DMT. Zdroj: [www.tmapy.cz](http://www.tmapy.cz).

V programu Kokeš jsem založil výkres a do něj načtl a zobrazil všechny podrobné body, ručně logicky je spojil, aby tvořily trasu koryta – vytvořil hrany. Zvolenou hranu dna potoka jsem dále díky údajům o výškách jednotlivých bodů nechal zobrazit jako podélný profil (Příloha 7).

V tomto geodetickém softwaru je také možné vkládat rastry. Do dalšího výkresu jsem do podkladu promítl ortofotosnímek, u kterého je možné dále měnit intenzitu jasu a vytvořil přehlednou mapu včetně měřické sítě a měřených bodů pospojovaných různě silnou a barevnou čarou (viz Příloha 5).

V Příloze 6 jsou ukázky některých příčných řezů vedených vždy čtveřicí měřených podrobných bodů. Další příloha 4 zobrazuje přehledný výkres měřených podrobných bodů vč. polygonového pořadu – přehledka.

#### **4.5. Návrh metodického postupu**

Pro úlohu dlouhodobého sledování změn v daném území je třeba několika zásad, které je nutno dodržovat pro vyvarování se dosažení nepřesných a nevěrohodných výsledků a údajů.

V podstatě jde o vytvoření metodického postupu opakovaného provedení směrového i výškového zaměření sledované části krajiny, v tomto případě části koryta Mlýnského potoka, k porovnávání a dalšímu vyhodnocení. Pro největší objektivnost výsledků je pak v zájmu toho, kdo se tímto zabývá, aby tento postup vždy dodržoval.

V prvé řadě jde o výběr doby v roce, kdy bude prováděno měření. Tato by se měla pro následná měření přibližně shodovat. Časové rozpětí mezi měřeními je závislé na prvotních výsledcích. Doporučuji první tři roky měřit objekt každoročně a pak z porovnání získaných dat uvážit zachování pravidelnosti, nebo její prodloužení na odstup tří či více let. Dále by mělo být zachováno užívání téže aparatury pro měření.

Před zaměřením profilu by měly být vyhledány pevné body sítě a měla by být ověřena jejich totožnost s prvotními souřadnicemi a výškami. Pokud se některý bod nedohledá (dřevěný kolík zmizel), nebo některý bod vykazuje značné odchýlení od původního zaměření (bod mohl být poškozen), je třeba jej opětovně vytýčit a opakovat jeho stabilizaci. Zkontrolována by měla být i totožnost geodetických bodů, na něž se provádí připojení a orientace. Takto se předejde chybám, které by vznikaly při následujícím podrobném měření. Ideální případ, který je však náročnější na provedení, je stabilizovat polygonové body až do vrstvy geologického podloží, které by zajistilo jejich dlouholetou přesnou stálost. Je třeba co nejvíce dbát pozornost na správné zaměření bodů geodetické sítě vzhledem k subjektivnímu a nahodilému výběru podrobných bodů koryta potoka. Navrhoval bych rovněž stálého figuranta/stálé

figuranty pro výběr podrobných bodů při měření, popřípadě dodržovat stejné praktiky jejich výběru.

Pro výpočty naměřených dat je vhodné užívat shodného programu, toto však už nemusí platit pro grafické zpracování vypočtených dat.

## 5. Závěr

Cílem této diplomové práce bylo vybudovat a zaměřit měřickou síť bodů pro dlouhodobé sledování změn v krajině. Dále jsem se měl zabývat možnými příčinami poklesu půdy v řešeném území, porovnat měřické metody k dosažení cíle a navrhnout metodický postup pro dlouhodobé sledování změn profilů v terénu.

V teoretické části této práce jsem se zabýval vysvětlením základních pojmů a několika příklady týkající se tématu této práce. Vyhledal jsem a uvedl některé existující či provedené projekty, které jsou spjaty s tématem mé práce a které popisují užití některé z geodetických metod pro dlouhodobé sledování změn. Příklady sahají i do různých oblastí, kde lze dlouhodobý monitoring vykonávat. Dále byly stanoveny cíle práce a metodika jejich dosažení. Ve vlastní práci bylo nejprve přiblíženo řešené území a vyjmenováno několik možných příčin poklesu půdy v této lokalitě.

V praktické části pak byly popsány dostupné možnosti spějící k dosažení cíle práce, které byly vyhodnoceny v závislosti na vlastnostech zvolené sledované lokality. S ohledem na jejich možnost použití v daném případě byla zvolena metoda pomocí elektronického tachymetru, díky němuž bude zajištěna i stálost bodů sítě snadným vytyčením. Byl popsán průběh příprav pro provedení vybrané metody – sběr podkladů, rekognoskace. Následovalo vlastní měření a vybudování geodetické sítě bodů pro potřeby dlouhodobého sledování změn užitím zvolené metody za použití vybavení katedry, které proběhlo během jediného dne.

Změřená data byla přenesena do počítače a vypočtena v softwaru Kokeš, ve kterém proběhla i další grafická zpracování (přehledná mapa s kresbou, příčné řezy, podélný profil). Vytvoření působivého digitálního modelu zabránil samotný program na jeho tvorbu Atlas DMT zapůjčený ve škole a to pro nedostupnost potřebného modulu programu.

Dlouhodobé sledování změn v krajině, ať už třeba výškových profilů terénu, lze za pomoci řady metod z rozličných oborů a věd provádět v dnešní době s nevídanou přesností. Záleží jen na požadované přesnosti, zvolené metodě a její náročnosti na provedení. Právě geodetický obor se dostává do stádia, kdy přesnost dosáhla své maximální hranice a obor se nyní věnuje vývoji produktů a metod monitorování s komfortnějším a rychlejším provedením za stejně vysokých přesností. Je to důkazem toho, že rozvoj kráčí neustále vpřed, a když už dosáhne mety, vezme to jiným (dalším) směrem.

## 6. Seznam použité literatury

- [1] SCHENK, Jan. *Geodetické sítě : bodová pole* Ostrava : Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2005. 18 s. ISBN 80-248-0781-5. Dostupný z WWW: <<http://igdm.vsb.cz/igdm/materialy/geosite.pdf>>.
- [2] RATIBORSKÝ, Jan. *GEODÉZIE 10*. 1. vyd. Praha : Vydavatelství ČVUT, 2000. 234 s. ISBN 80-01-02198-X.
- [3] NEVOSÁD, Zdeněk, VITÁSEK, Josef. *GEODÉZIE III*. 1. vyd. Brno : VUTIUM, 2000. 140 s. ISBN 80-214-1774-9.
- [4] BLAŽEK, Radim, SKOŘEPA, Zdeněk. *GEODEZIE 3*. 2. přeprac. vyd. Praha : ČVUT, 2004. 162 s. ISBN 80-01-03100-4.
- [5] ZEMAN, Antonín. *FYZIKÁLNÍ GEODÉZIE 10 : Teorie výšek a výškové systémy. Doplnkové skriptum*. 1. vyd. Praha : ČVUT, 2003. 83 s. ISBN 80-01-02733-3.
- [6] MARŠÍK, Zbyněk, MARŠÍKOVÁ, Magdalena. *Geodezie II.* 1. vyd. České Budějovice : Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích Zemědělská fakulta, 2002. 123 s. ISBN 80-7040-546-5.
- [7] TOMÁŠEK, Milan. *Atlas půd České republiky*. 1. vyd. Praha : Český geologický ústav, 1995. 36 s., 42 kříd. příloh, skládaná mapa. ISBN 80-7075-198-3.
- [8] ŠVEC, Mojmír, HÁNEK, Pavel. *STAVEBNÍ GEODÉZIE 10*. 2. vyd. Praha : ČVUT, 1999. 175 s. ISBN 80-01-02076-2.
- [9] LECHNER, Jiří, PRAŽÁK, Josef. *Bodové pole – terminologie, legislativa, předpisy* [online]. WEB SERVER ZEMĚMĚŘIČ, 12.06.2007 , 13.06.2007 [cit. 2008-06-10]. Text v češtině. Dostupný z WWW: <[http://www.zememeric.cz/default.php?clanek\\_tisk.php?zaznam=2574](http://www.zememeric.cz/default.php?clanek_tisk.php?zaznam=2574)>.
- [10] *Terminologický slovník zeměměřictví a katastru nemovitostí* [online]. VÚGTK, 2005-2008 [cit. 2008-06-10]. Dostupný z WWW: <<http://www.vugtk.cz/slovník/>>.
- [11] Vyhláška ČÚZK 31/1995 Sb. ze dne 1. února 1995, kterou se provádí zákon č. 200/1994 Sb. o zeměměřictví a o změně a doplnění některých zákonů souvisejících s jeho zavedením. ČÚZK. Praha: ČÚZK.
- [12] Zákon České národní rady č. 359/1992 Sb. o zeměměřických a katastrálních orgánech, jak vyplývá ze změn provedených zákony a vyhláškami č. 107/1994 Sb., č. 200/1994 Sb., č. 62/1997 Sb., č. 132/2000 Sb., č. 132/2000 Sb. a č. 186/2001 Sb.

- [13] ZEMĚMĚŘICKÝ ÚŘAD ODBOR NIVELACE A GRAVIMETRIE [online]. [cit. 2008-06-12]. Dostupný z WWW: <<http://bodovapole.cuzk.cz/>>. Praha: ČÚZK.
- [14] VOŘÍŠEK, Pavel. S-JTSK : SYSTÉM JEDNOTNÉ TRIGONOMETRICKÉ SÍTĚ KATASTRÁLNÍ. [online]. 2008 [cit. 2008-06-12]. Dostupný z WWW: <[http://www.stavebniskola.cz/geodezie/05\\_s\\_jtsk.pdf](http://www.stavebniskola.cz/geodezie/05_s_jtsk.pdf)>.
- [15] MARŠÍKOVÁ, Magdalena, MARŠÍK, Zbyněk. *Dějiny zeměměřičství a pozemkových úprav v Čechách a na Moravě v kontextu světového vývoje*. 1. vyd. Praha : LIBRI, 2007. 182 s. ISBN 978-80-7277-318-3.
- [16] ČADA, Václav. *Přednáškové texty z Geodézie* [online]. [cit. 2008-06-12]. Dostupný z WWW: <<http://gis.zcu.cz/studium/gen1/html/ch10.html#id384782>>.
- [17] *Geodetické základy na území České republiky* [online]. [cit. 2008-06-12]. Dostupný z WWW: <[http://www.cuzk.cz/Dokument.aspx?PRARESKOD=998&MENUID=0&AKCE=DOC:30-ZU\\_GEOZAKLADY](http://www.cuzk.cz/Dokument.aspx?PRARESKOD=998&MENUID=0&AKCE=DOC:30-ZU_GEOZAKLADY)>. Praha: ČÚZK.
- [18] Vyhláška č. 26/2007 Sb., kterou se provádí zákon č. 265/1992 Sb., *o zápisech vlastnických a jiných věcných práv k nemovitostem*, ve znění pozdějších předpisů, a zákon č. 344/1992 Sb., *o katastru nemovitostí České republiky*, ve znění pozdějších předpisů. Praha: ČÚZK.
- [19] HÁNEK, Pavel. *Měření posunů geodetickými metodami* [online]. [cit. 2008-06-17]. Dostupný z WWW: <[http://home.zf.jcu.cz/public/departments/kpu/vyuka/geod\\_hanek/mereni\\_posunu.doc](http://home.zf.jcu.cz/public/departments/kpu/vyuka/geod_hanek/mereni_posunu.doc)>.
- [20] MARSCHALCO, Marian, MÜLLEROVÁ, Jarmila, IDEŠ, David. *Svahové deformace - výukové multimediální texty* [online]. Ostrava : VŠB - Technická univerzita, [cit. 2008-06-19]. Dostupný z WWW: <<http://geologie.vsb.cz/svade/>>.
- [21] HÁNEK, Pavel. *TRANSFORMACE 3D LOKÁLNÍ SÍTĚ URČENÉ PRO SLEDOVÁNÍ SVAHOVÝCH SESUVŮ DO REFERENČNÍCH SYSTÉMŮ ČR* [online]. VUT v Brně Fakulta stavební, [cit. 2008-06-20]. Dostupný z WWW: <[http://www.fce.vutbr.cz/veda/JUNIORSTAV2007/Sekce\\_6.2/Hanek\\_Pavel\\_CL.pdf](http://www.fce.vutbr.cz/veda/JUNIORSTAV2007/Sekce_6.2/Hanek_Pavel_CL.pdf)>.
- [22] *Plán péče o Chráněnou krajinnou oblast Broumovsko na období 2003 - 2012* [online]. Praha 4 - Chodov : Správa chráněných krajinných oblastí České republiky, [cit. 2008-06-23]. Dostupný z WWW: <<http://www.broumovsko.ochranaprirody.cz/res/data/014/002509.pdf>>.
- [23] *Ústav struktury a mechaniky hornin* [online]. [cit. 2008-06-24]. Dostupný z WWW: <<http://www.irsm.cas.cz/>>.
- [24] *Výzkumné centrum dynamiky Země : Přehled činnosti centra* [online]. Katedra fyzické geografie a geoekologie PřF UK, [cit. 2008-06-24]. Dostupný z WWW: <[http://www.natur.cuni.cz/~kfggsekr/research/vcdz/cinnost.html#cinnost\\_2000](http://www.natur.cuni.cz/~kfggsekr/research/vcdz/cinnost.html#cinnost_2000)>.

- [25] *Monitoring a modelování* [online]. ČVUT v Praze FSV katedra hydrauliky a hydrologie, [cit. 2008-06-24]. Dostupný z WWW: <<http://hydraulika.fsv.cvut.cz/Predmety/HEMM/skripta/MONIT.DOC>>.
- [26] SKOURTIS, C., et al. *Long-term Geodetic Monitoring of Two Dams in Western Greece* [online]. Nottingham UK : 2004 [cit. 2008-06-24]. Text v angličtině. Dostupný z WWW: <[http://www.fig.net/nottingham/proc/ts\\_05\\_1\\_skourtis\\_etal.pdf](http://www.fig.net/nottingham/proc/ts_05_1_skourtis_etal.pdf)>.
- [27] NEREM, Steve, et al. *Study of Sea Level Change in the Northeastern U.S. Using GPS & Tide Gauge Data with Applications to Global Sea Level Change* [online]. Center for Space Research The University of Texas at Austin, June 07, 1999 [cit. 2008-07-11]. Anglický. Dostupný z WWW: <<http://www.csr.utexas.edu/gps/index.html>>.
- [28] *MONITORING NETWORKS IN VOLCANIC AREAS* [online]. [cit. 2008-07-14]. Anglický. Dostupný z WWW: <<http://www.ov.ingv.it/inglese/reti/reti.htm>>.
- [29] JINDRA, D. GPS v dnešní geodetické praxi. *Zeměměřič plus, 1*, č.3. 1999.
- [30] ČSN 01 3411. Mapy velkých měřítek, kreslení a značky. 1989.



## **7. Seznam příloh**

Příloha 1

**Protokol o výpočtu polygonového polygonu**

Příloha 2

**Výškové vyrovnání bodů polygonového pořadu**

Příloha 3

**Seznam souřadnic podrobných bodů**

Příloha 4 (formát A3, výkresy č. 1 a 2)

**Přehledný výkres měřených podrobných bodů**

Příloha 5

**Přehledná mapa zobrazující trasu polygonového pořadu a zaměřenou část toku**

Příloha 6 (výkresy č. 1 a 2)

**Některé příčné řezy**

Příloha 7 (formát A3)

**Podélný profil Mlýnského potoka**