

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

Zemědělská fakulta

Katedra pozemkových úprav

Studijní program: Zemědělské inženýrství

Studijní obor: Katedra pozemkových úprav

**Zjišťování poklesu půdního horizontu na odvodněných
plochách geodetickými metodami**

Geodetical detection of soil horizont subsidence in tile drainet areas

Autor: Jana Pichlíková

Vedoucí DP: Ing. Bc. Martin Pavel

© 2009

Abstrakt

Cílem práce je ověřit účinnost různých metod sběru geodetických údajů za účelem zjišťování poklesů půdních horizontů v odvodněných oblastech.

První část se zabývá příčinami poklesu půdního horizontu. Nejprve jde o seznámení s pojmy půda, půdní profil a půdní horizont. Mezi významné příčiny poklesu půdního horizontu pro náš výzkum patří vodní eroze, zhutňování půd, odvodnění a vyplavování živin z půdy. Dalšími příčinami, které mohou způsobovat poklesy půdních horizontů, jsou poklesy půdy v důsledku čerpání podzemní vody, půdní a horninové sesuvy, větrná eroze a těžba.

V druhé části jsou popsány vhodné geodetické metody ke sledování poklesů půdy a rozbor jejich přesnosti. Jedná se o popis následujících metod: technická nivelace, trigonometrické určování výšek a použití GPS.

Třetí část je věnována rekognoskaci zvolené lokality a návrhu metodického postupu měřických prací. Popisovanou lokalitou je povodí Mlýnského potoka. Navrženou metodou je zaměření podélného profilu údolím. Počátek profilu byl stanoven na zhušťovací bod číslo 0953160215.

Čtvrtá část pojednává o možnostech vyhodnocení výsledků a návrhu vhodného kritéria pro sledování změn. Zde jsou vyhotoveny podélné profily naměřené v letech 2005, 2006 a 2007 a jejich porovnání. Navrženým kritériem je zaměření profilů po delších časových úsecích (alespoň po pěti letech) a poté jejich porovnání, nebo zvolení jiné lokality, která je nově odvodněna.

Abstract

The goal of my work is to verify the effectiveness of various methods of collecting geodetic data in order to locate the decline of soil horizon in the dewatered areas.

The first part deals with the causes of soil horizon subsidence. To begin, there is an introduction of the concepts of soil, soil profile and soil horizon. Among the major causes of subsidence of soil horizons for our research are water erosion, compact soil, drainage and leaching of nutrients from the soil. Other causes that can cause decreases of soil horizons are the subsidence due to pumping of groundwater, soil and rock landslides, wind erosion and mining.

The second section describes the appropriate surveying methods to monitor subsidence and analysis of their accuracy. This is a description of the following methods: technical leveling, trigonometric height determination and the use of GPS.

The third part is devoted to reconnaissance of a selected location and design of the methodological procedure for measuring work. The described location is the basin of Mlýnský Creek. The proposed method is the focus of the longitudinal profile of the valley. The beginning of the profile was set to compressor section number 0953160215.

The fourth part deals with the possibilities of evaluation of the results and draft of the appropriate criteria for monitoring changes. Here are complete longitudinal profiles measured in the years 2005, 2006 and 2007 and their comparison. The proposed criterion is the focus of the profiles after long periods (at least five years) and then comparing them, or select another location, which is a newly drained.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „Zjišťování poklesu půdního horizontu na odvodněných plochách geodetickými metodami“ vypracovala samostatně s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b Zákona č. 111/1998 Sb. v plném 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. Dostupné na internetu: http://www.jcu.cz/education/zverej_kvalif_praci. Opatření rektora o zveřejňování disertačních, diplomových, bakalářských a rigorózních prací studentů JU (R 83 z 20. 4. 2007).

V Cehnicích dne 24. 4. 2009

.....

podpis

Poděkování

Ráda bych tímto poděkovala vedoucímu diplomové práce panu Ing. Martinu Pavlovi, Bc. a konzultantovi diplomové práce panu Ing. Karlu Mikovi za konzultace, odbornou pomoc a cenné rady, které mi v průběhu zpracování práce ochotně poskytovali.

Poděkování též patří členům katedry pozemkových úprav a panu Ing. Janu Procházkovi z laboratoře aplikované ekologie, kteří mi poskytli potřebné materiály (jmenovitě Ing. Pavlu Ondrovi a Ing. Pavlu Žlábkovi, Ph.D.).

**Zjišťování poklesu půdního horizontu na odvodněných
plochách geodetickými metodami**

Geodetical detection of soil horizon subsidence in tile drainet areas

Jana Pichlíková

© 2009

OBSAH

1. Úvod.....	5
2. Příčiny poklesu půdního horizontu.....	6
2.1. Půda, půdní profil, půdní horizont	7
2.1.1. Půda	7
2.1.2. Stratigrafie půdního profilu, morfologie a signatura půdních horizontů.....	9
2.1.2.1. Diagnostické horizonty.....	10
2.2. Eroze.....	12
2.2.1. Vodní eroze.....	13
2.2.2. Větrná eroze.....	15
2.2.3. Způsoby protierozních opatření.....	16
2.3. Zhutňování půd (pedokompakce).....	17
2.3.1. Stávající situace ve zhutnění půd v ČR.....	17
2.3.2. Zhutnění půdy omezuje produkční a ekologické funkce v rostlinné výrobě.....	18
2.3.3. Principy ochrany a uchování půdní struktury.....	18
2.3.3.1. Minimalizace zhutnění.....	19
2.4. Poklesy půdy.....	20
2.4.1. Příčina poklesů (sesuvů) půdy čerpáním podzemní vody (Cause of land subsidence from ground-water pumping).....	20
2.4.2. Škody způsobené sesuvem/poklesem půdy.....	20
2.4.3. Souvislosti poklesů půdy s klimatickými změnami a nárůstem počtu obyvatel na jihozápadě	20
2.4.4. Rozsah poklesů ve vybraných oblastech na jihozápadě.....	21
2.5. Odvodnění a vyplavování živin z půdy.....	23
2.5.1. Půda a dynamické faktory, které ovlivňují vyplavování živin.....	24
2.5.2. Odvodnění	25
2.5.2.1. Argumenty v neprospěch odvodnění zemědělských půd....	25
2.5.2.2. Odvodňování rašelinišť.....	28

2.6. Půdní a horninové sesuvy.....	29
2.6.1. Vznik a společné řídicí faktory sesuvů.....	30
2.6.2. Půdní sesuvy u nás a v zahraničí.....	30
2.7. Těžba.....	32
2.7.1. Povrchová, hlubinná a lesní těžba.....	32
2.7.2. Vlivy poddolování na pohyby zemského povrchu.....	33
2.7.3. Vertikální pohyby zemské kůry.....	34
3. Přehled vhodných geodetických metod ke sledování poklesů půdy a rozbor jejich přesnosti.....	36
3.1. Výšková měření.....	36
3.1.1. Základy a metody výškového měření.....	36
3.2. Nivelace.....	39
3.2.1. Geometrická nivelace ze středu.....	41
3.2.2. Rozbor přesnosti.....	43
3.2.3. Přehled chyb vznikajících při nivelaci.....	45
3.3. Trigonometrické měření výšek.....	46
3.3.1. Trigonometrické měření výšek blízkých bodů.....	47
3.3.2. Trigonometrické měření výšek vzdálených bodů.....	48
3.3.3. Rozbor přesnosti trigonometrického měření výšek.....	51
3.4. Základní principy GPS.....	54
3.4.1. Jednofrekvenční GPS přijímače.....	54
3.4.2. Dvoufrekvenční GPS přijímače.....	55
3.4.3. Podmínky pro geodetická měření GPS technologií.....	55
3.4.4. Geodetické metody měření GPS technologií.....	57
3.4.4.1. Statická metoda.....	57
3.4.4.2. Rychlá statická metoda (pseudostatická metoda).....	57
3.4.4.3. Metoda stop and go (polokinematická metoda).....	57
3.4.4.4. Kinematická metoda.....	58
3.4.4.5. RTK - real time kinematic.....	58

4. Rekognoskace zvolené lokality a návrh metodického postupu měřických prací.....	60
4.1. Zájmová oblast.....	60
4.1.1. Charakteristika sledovaných povodí.....	61
4.1.2. Struktura a stav vegetačního krytu.....	62
4.2. Popis lokality Mlýnského potoka.....	63
4.2.1. Geologické začlenění.....	64
4.2.2. Množství a kvalita srážkové a odtékající vody.....	65
4.2.3. Zhodnocení provedené revitalizace.....	66
4.2.4. Pedochemické charakteristiky.....	67
4.2.4.1. Obsah organických látek.....	67
4.2.4.2. Výskyt půdních typů.....	68
4.2.5. Aktuální stav bezlesí na celém povodí.....	70
4.2.5.1. Společenstva luk, pastvin a vřesovišť.....	70
4.2.5.2. Společenstva rašelinných luk a rašelinišť.....	71
4.2.5.3. Synantropní vegetace.....	71
4.2.6. Celkové zhodnocení.....	71
4.3. Návrh metodického postupu měřických prací.....	73
4.3.1. Návrh vhodného měřického postupu.....	73
5. Možnosti vyhodnocení výsledků – návrh vhodného kritéria pro sledování změn.....	75
5.1. Uskutečněná měření.....	75
5.1.1. První měření.....	75
5.1.2. Druhé měření.....	75

5.1.3. Třetí měření.....	76
5.2. Nivelace profilů.....	77
5.2.1. Podélný profil.....	77
5.3. Podélné profily a jejich porovnání.....	78
6. Závěr.....	80
7. Seznamy.....	81
7.1. Seznam obrázků, tabulek a grafů.....	81
7.2. Seznam příloh.....	82
7.3. Seznam použité literatury a internetových zdrojů.....	83

1 Úvod

Téma diplomové práce jsem zvolila na základě výběru z navržených témat, která vytvořil pan Ing. Karel Mika.

Cílem práce je ověřit účinnost různých metod sběru geodetických údajů za účelem zjišťování poklesů půdních horizontů v odvodněných oblastech.

2 Příčiny poklesu půdního horizontu

V první části jsou popsány příčiny poklesu půdního horizontu. Nejprve jde o seznámení s pojmy půda, půdní profil a půdní horizont. Mezi významné příčiny poklesu půdního horizontu pro náš výzkum patří vodní eroze, zhutňování půd, odvodnění a vyplavování živin z půdy. Dalšími příčinami, které mohou způsobovat poklesy půdních horizontů, jsou poklesy půdy v důsledku čerpání podzemní vody, půdní a horninové sesuvy, větrná eroze a těžba.

2.1 Půda, půdní profil, půdní horizont

2.1.1 Půda

Definovat stručně a jednoznačně pojem půdy není snadné. Je to nejsvrchnější porézní vrstva zemské kůry, která je složená z minerálních částic různé velikosti, živých organismů, odumřelých zbytků a organických látek v různém stadiu rozkladných a syntetických přeměn a je prostoupena vodou a vzduchem. Tento heterogenní polydisperzní třífázový přírodní útvar se působením vnitřních a vnějších činitelů neustále mění a rozvíjí. Je to složitý dynamický systém s vlastní autotransformační a transportní schopností. [1] Její stavba a složení jsou výsledkem působení klimatu, podzemní vody, živých organismů a dalších půdotvorných faktorů na výchozí substrát v reálném čase. [3] Na půdu je třeba vždy pohlížet jako na nedílný dynamický přírodní útvar, který se vyvíjí a udržuje pod vlivem okolního prostředí; proto část půdy vytržená z celku půdního těla a zkoumaná bez souvislosti s podmínkami svého vzniku přestává být půdou, ale stává se pouhou zeminou. Výstižnou, i když dnes už archaicky znějící definici půdy podal jeden ze zakladatelů českého půdoznalectví V. Novák: "Půda je přírodní útvar, který se vyvíjí z povrchových zvětralin kůry zemské a ze zbytků ústrojenců a jehož stavba a složení jsou výsledkem podnebí a jiných faktorů půdotvorných". Tuto definici je třeba upřesnit v tom smyslu, že zejména v současnosti zůstává být půda pouze přírodním útwarem, ale stává se v různé míře výtvořem antropogenním. [2]

Půda byla vždy řazena mezi základní složky životního prostředí, které podmiňují udržení života na Zemi. Význam půdy pro život na zeměkouli je mnohonásobný. Půda hraje nezastupitelnou roli ve stabilitě ekosystémů a v ovlivňování bilance látek a energie. Působí jako pufrační prostředí, jež mimo jiné zadržuje, degraduje, ale za určitých podmínek i uvolňuje potencionálně rizikové látky. Stav půdního fondu je tedy jedním z faktorů přímo vytvářejících a ovlivňujících stav životního prostředí a udržitelný rozvoj. Z půdy pochází mnoho základních složek stavebních materiálů a

surovin, půda poskytuje prostor pro umístování staveb, rekreační činnost a další aktivity člověka, atd. [3] Rozdílně může být půda chápána z pohledů jednotlivých profesí.

Pro zemědělce a lesníka je základním výrobním prostředkem, je zde tedy uplatňováno i ekonomické hledisko. Z geologického hlediska se jedná o zvětranou povrchovou část zemské kůry, která je promíchána s organickými zbytky. Z pohledu chemika je zásobárnou prvků a sloučenin, nezbytných pro výživu rostlin. Z ekologického hlediska je prostředím půdního edafonu s jeho požadavky na energii a živiny, který se účastní základních koloběhů v přírodě. Jinak bude posuzovat půdu stavební organizace, atd. [1]

Není možné jednoznačně specifikovat nejdůležitější funkci půdy. Půda je důležitou zásobárnou vody pro rostliny a mikroorganismy a je filtračním prostředím pro prosakující vodu. Půda má důležitou funkci v hydrologickém cyklu, na jejích vlastnostech závisí množství vody, které se zasáhne ze srážek a množství vody stékající po povrchu půdy a způsobující povodně, vodní erozi, zanášení vodních toků a vodních nádrží splaveninami. Navíc i růst rostlin je závislý na vlhkostních poměrech půdy a na množství vody zadržované v půdě. V hydrologickém cyklu je půdní voda, její stav a pohyb rozhodujícím činitelem pro zvládnutí celého procesu. Objem vody zadržované půdou je téměř o jeden řád vyšší než celkový objem všech nádrží v ČR. [3] Pro člověka je nejdůležitější vlastností půdy její úrodnost, tj. schopnost zabezpečovat nezbytnými podmínkami (zejména vodou a živinami) existenci a reprodukci rostlin, a v závislosti na nich i živočichů a lidí. Tedy vztaženo na zemědělsky využívané půdy, poskytovat sklizně pěstovaných plodin. V současné době se však do popředí stále více dostávají i jiné, mimoprodukční funkce půdy, např. funkce hygienická. [2] Poškození všech složek životního prostředí, má pro člověka velmi nepříznivé důsledky, což platí v plné míře pro půdu, která je neobnovitelným přírodním zdrojem. Od roku 1980 došlo na Zemi k závažné degradaci půdy a její produkční schopnosti na více než 10% rozlohy zemědělského a lesního půdního fondu jako důsledek eroze, kontaminace, nesprávné kultivace, nekontrolovatelné pastvy, zasolení a desertifikace. V mnoha případech byla nevhodnými způsoby obdělávání půdy negativně ovlivněna kvalita povrchové i podzemní vody. Současná hrozba globálních klimatických změn a změn

v hydrologických cyklech je též do značné míry důsledkem účinků obdělávání půdy na půdní procesy. [3]

K obecně ochuzovacím pochodům patří povrchové eroze (vodní a větrná), odvápnění části nebo celé půdy (dekalifikace), proplavení lehce rozpustných solí (desalinizace), vmytí Na^+ a solí z natrikového horizontu solonců (dealkalizace), tvorba vyplavení křemíku u lateritů (desilikace). K protikladným jevům patří pochody obohacovací (iluviální). Lze je rozdělit na kumulaci erodovaných součástí, na kalcifikaci (hromadění novotvarů $CaCO_3$), salinizaci (hromadění lehce rozpustných solí v solončacích), alkalizace (akumulace Na^+ v půdním koloidním komplexu solonců), tvorba iluviálních horizontů a illimerizovaných (argilický horizont) a podzolových půd (spodikový horizont) a silikaci (hromadění kyseliny křemičité v iluviálních horizontech lateritů). [4]

2.1.2 Stratigrafie půdního profilu, morfologie a signatura půdních horizontů

S půdou se seznamujeme zásadně do takové hloubky, kam zasahují půdotvorné pochody. V našich podmínkách tato hloubka obvykle činí 120 až 150 cm. Svislý průřez takového odkryvu nazýváme *půdním profilem*. [2]

Základní kategorií pro identifikaci je *půdní typ*. Tato základní diagnostická kategorie se identifikuje prostřednictvím diagnostických horizontů. *Diagnostický horizont* je definován souborem vizuálních a analytických znaků s hraničně měřitelnými kategoriemi. Kritéria použitá pro diagnostické horizonty vycházejí z československých klasifikačních kritérií. [1] Působením půdotvorných procesů postupně došlo k rozčlenění půdního profilu na několik více méně zřetelně vytvořených poloh – genetických půdních horizontů. Jednotlivé horizonty jsou charakterizovány specifickým souborem znaků a vlastností, z nichž zvláště nápadné jsou znaky morfologické, ověřitelné přímo v terénu. Horizonty s obdobnými morfologickými i analytickými znaky označujeme názvem obvykle odvozeným od hlavního půdotvorného pochodu, který byl příčinou

jejich vzniku. Půdní horizonty se odlišují svými vlastnostmi: barva, mocnost, textura, struktura, obsah humusu.

V uplynulých 40 letech byla v zemědělství používána geneticko-agronomická klasifikace půd. Podle této klasifikace byl proveden Komplexní průzkum půd, delimitace půdního fondu i průzkum pro vymezení bonitovaných půdně ekologických jednotek. Ve snaze o sblížení stanovisek zemědělských a lesnických pedologů byla v roce 1974 Hraškem a kol. vypracována jednotná mapa půd ČSSR v měřítku 1:500000. Dalším významným krokem bylo vypracování jednotného klasifikačního systému půdy. Tento byl přijat na VI. půdoznalecké konferenci v roce 1985 a vyšel v roce 1987 pod názvem **Morfogenetický klasifikační systém půd ČSSR (MKSP)**. Jedná se o klasifikaci vnitřních vlastností pedonů, určených souborem genetických horizontů s jejich morfologickými, fyzikálními a chemickými vlastnostmi.

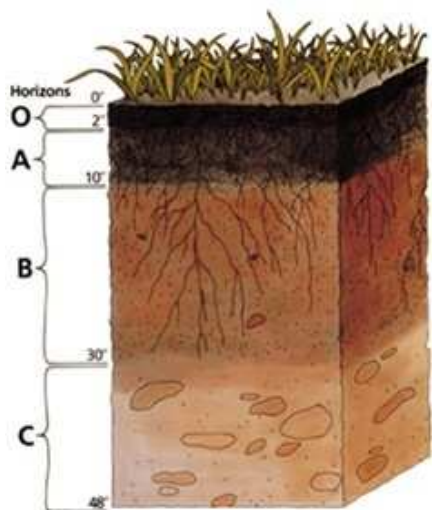
Usnesením konference bylo doporučeno používat tento jednotný klasifikační systém v publikacích a odborných pracích. V další části tohoto textu je použit morfogenetický klasifikační systém půd. [4]

2.1.2.1 Diagnostické horizonty

- a) Nadložní diagnostické horizonty - organogenní
- b) Povrchové diagnostické horizonty – humusové
- c) Podpovrchové diagnostické horizonty
- d) Substrátové horizonty

Pozn. V příloze č. 1 jsou uvedeny diagnostické horizonty ve větší šíři. [1]

Obrázek č. 1: Základní diagnostické horizonty



O - nadložní organický horizont

A - humusový horizont

B - metamorfický horizont (půdní horizont)

C - půdotvorný substrát (matečný půdotvorný substrát) [5]

2.2 Eroze

Eroze ochuzuje zemědělské půdy o nejurodnější část – ornici a koloidní podíl. Tím mj. výrazně zhoršuje fyzikálně-chemické vlastnosti půdy a podmínky k tvorbě či k uchování stabilní struktury, která je v erodovaných půdách vesměs degradovaná. Protierozní ochrana půdy musí zahrnovat komplex organizačních, agrotechnických a technických opatření vzájemně se doplňujících a respektujících současně základní požadavky na ochranu půdní struktury. Prakticky však většina protierozních opatření (racionální organizace pozemků, minimalizace zpracování půdy, diferencovaná skladba osevního sledu, ochrana povrchu půdy, neškodné odvedení povrchových vod včetně stagnujících, přeměna povrchového odtoku v podpovrchový a eliminace ohnisek eroze) včetně prevence současně chrání půdní strukturu. Naopak – zachování stabilní struktury je jedním ze základních předpokladů ochrany půd před erozí. [7]

Eroze snižuje mocnost ornice, v extrémních případech je zcela zlikvidována orniční vrstva i podorničí. Omezují se ekologické funkce půdy. Rychleji dochází k poškození povrchových a podzemních vod. Snižuje se zdržování vody (retence) a regulační funkce půdy v hydrosféře. Omezuje se produkční schopnost půdy tj. schopnost produkce biomasy. Neméně důležité jsou i vedlejší účinky eroze. Jedná se o zanášení toků a nádrží, obohacování vody živinami atd. V ČR je potenciálně ohroženo přes 50 % půd vodní erozí, jak je patrné v tabulce č. 1. Aktuální vodní erozí je postiženo 40 % orných půd. Větrná eroze poškozuje téměř 10 % orných půd. [11] Při převaze odnosných pochodů nad půdotvornými procesy dochází k redukci půdního profilu a tím k snížení úrodnosti půdy, v extrémních případech k úplné devastaci krajiny a k ohrožení životního prostředí.

Eroze půdy je funkcí komplikovaného spoluúčinkování činitelů klimatických, topografických, půdních, vegetačních a antropogenních. Je možno rozlišit erozi normální (vodní, větrnou), při níž je odnos svrchní části půdního profilu neustále nahrazován půdotvornými procesy, takže mocnost půdního profilu se výrazně nemění, a erozi urychlenou, je-li odnos svrchní části půdního profilu větší, než mohou nahradit půdotvorné procesy. [8]

2.2.1 Vodní eroze.

Voda eroduje hlavně působením mechanické síly svého povrchového odtoku, a to buď jen občasných vodních proudů, které vznikají po prudších deštích a sněhovém tání, nebo vodou tekoucí soustředěně a trvale v bystřinách, potocích a řekách. Stojaté vody (rybníky, jezera, moře) erodují pobřeží jenom za vlnobití, podzemní voda bývá příčinou půdního sesouvání, jež často erozní jevy provází. Může také vyvolat výraznou erozi chemickou, v krasových útvarech i mechanickou, vytvoří-li soustředěné podzemní proudy. Podrobnější podmínky, za jakých vodní eroze vzniká a působí, rozhodují o jejím stupni (intenzitě) a škodlivosti. [9]

Urychlená vodní eroze půdy se projevuje v humidních oblastech podle intenzity svého působení třemi základními způsoby. Plošný odnos je odnos jemných půdních částic, uvolněných nárazy dešťových kapek, plošným tokem slabé vrstvy vody po povrchu půdy, zejména na polích. Kdežto pod vegetační pokrývkou (les, louka) je účinek plošného splachu minimální. Stružková eroze vzniká soustředěním odtékající povrchové vody do stružek, které se zvolna zařezávají do svahů. K stružkové erozi dochází především vlivem intenzivních dešťů a i v našich poměrech tak může dojít k snížení svahů o 70 až 140 mm za rok. Prohlubováním stružek a růstem jejich délky (např. na Ukrajině byl pozorován růst délky výmolů i o několik desítek metrů za rok) dochází zejména v málo odolných horninách k stružkové erozi, která silně narušuje rovnováhu přírodních procesů v reliéfu krajiny (kromě povrchového odtoku ovlivňuje i režim podzemních vod a vegetační kryt). [8] *Příčiny zrychlené eroze mohou být různé, obecné povahy lesnické, zemědělské nebo technické.*

Příčiny povahy *lesnické* nastávají, jestliže se horské a silně sklonité polohy odlesňují, smíšené lesní prostory se nahrazují v zájmu lepší těžby výhradně jehličnatými, těžší se holosečí, lesní půda se zbavuje hrabanky, podrost se ničí pasením v lese apod. Tím vším se zhoršují protierozní vlastnosti lesní půdy, až konečně dojde k úplnému eroznímu rozrušení půdy.

Z příčin *zemědělských* vzniká eroze, jsou-li pole zakládána v nevhodných polohách a jsou-li nesprávně obdělávána nebo osévána plodinami, které neodpovídají daným stanovištním podmínkám. Zejména je nebezpečné zakládat pole na svazích se sklonem nad 10-15 °, umisťovat je délkovým rozměrem po svahu a v tomto směru je také orat. Rovněž jednostranné pěstování plodin, např. obilnin, snižuje protierozní odolnost půdy, neboť porušuje její drobtovitou strukturu, a tím uvolňuje cestu vodnímu splachu a větrnému odnosu. Stejně tak působí špatně provozovaná pastva.

Příčinou zrychlené eroze mohou však také být různé *technické zásahy*, jestliže porušují přirozenou stabilitu zemin, zhoršují odtok srážkové vody, obnažují půdu mýcením porostů apod. Nebezpečné jsou např. hluboké zářezy vzniklé při stavbě cest a silnic, nesprávně vedené odvodňovací nebo cestní příkopy, hluboce zaříznutá koryta řek a kanálů, přesušující půdu pobřežních poloh, rušení vodních ploch rybníků a starých říčních ramen, jednostranné a příliš radikální odvodňování apod. Uvedené příčiny se často kombinují, což jejich škodlivý účinek ještě mnohonásobně zvyšuje.

Uvedené formy urychlené vodní eroze nebývají vždy v přírodě ostře od sebe odlišeny a často do sebe navzájem přecházejí. V porovnání s plošnou erozí je stržová eroze více koncentrovaná a nepostihuje svah v tak značném rozsahu. Srážková voda působí erozně nejen na povrchu, ale i při svém podzemním odtoku. Někteří autoři proto mluví o podzemní erozi a rozeznávají různé její druhy, např. vnitropůdní erozi, tunelovou erozi aj. [9]

Tab. 1: potenciální ohrožení zemědělské půdy vodní erozí na území ČR

Stupeň ohrožení vodní erozí ($t \cdot ha \cdot r^{-1}$)		Plocha zemědělské půdy (ha)	%
Velmi slabé ohrožení	Méně než 1,6	134 041	3
Slabé ohrožení	1,6 – 3,0	1 094 507	26
Střední ohrožení	3,1 – 4,5	1 054 905	25
Silné ohrožení	4,6 – 6,0	728 972	17
Velmi silné ohrožení	6,1 – 7,5	484 365	11
Extrémně silné ohrožení	Více než 7,5	782 601	18
Součet		4 279 391	100

[11]

2.2.2 Větrná eroze

Větrnou erozí byly postiženy zejména některé oblasti v Číně, střední Asii, výrazné účinky větrné eroze se vyskytují na mnoha místech Severní Ameriky, Austrálie, střední a jižní Afriky aj. Větrná eroze zde postihuje nejen lehké písčité půdy, nýbrž i jiné druhy půd, na nichž má zemědělec a lesník zvýšený zájem. Při velkých prašných bouřích bývá odnášena ornice až do hloubky 20 cm, ojediněle i větší. Kromě toho jsou prašné bouře škodlivé i tím, že silně znehodnocují území, kde dochází k sedimentaci eolických nánosů.

Urychlená eroze půdy může být vyvolána *různými přírodními příčinami*, např. změnou podnebí aj. *V současné době je jednou z hlavních příčin urychlené eroze půdy člověk* (antropogenní eroze). Např. v průběhu posledních 10 000 let vymýtil člověk 2/3 přírodních lesních porostů, které nahradil společenstvy trávními (např. v Čechách bylo ještě v 10. stol. zalesněno téměř 90% celkové rozlohy území). Tyto a jiné zásahy měly za následek změny v povrchovém odtoku, především na obdělávaných polích v mírně humidní zóně s hustým osídlením. Tak spolu se stoupající hospodářskou činností člověka stoupá i intenzita urychlené eroze a v některých oblastech nabývá katastrofálních rozměrů.

Urychlená eroze půdy, která se stala celosvětovým problémem, se projevuje, zejména v kulturní krajině, buď jako přímé působení na půdu (destrukce půdního profilu, vznik různých erozních forem, např. „badlands“ v Dakotě, Nebrasce, Arizoně, již. Itálii, Číně aj.) nebo nepřímě, např. akumulací materiálu v terenních depresích a nížinách, znečišťování vodních toků, zanášením nádrží, poškozováním komunikací apod. [8]

Oblast neúrodných půd v USA zvaná Bad Lands je turisticky přitažlivou krajinou poutající pozornost návštěvníků, ale i názorným příkladem degradace půd, je výstrahou před bezohledným kořistěním z přírody. Například v severní části Velkých prérií (Great Plains), jež se pozvolna svažují k východu na úpatí severoamerických Kordiller a na nichž jsou nápadné lesnaté Black Hills v předpolí Skalnatých hor. Obdělávání půdy se tam rozšířilo do pásma silně kolísajícího malého množství srážek, kde jsou výnosy sklizní nejisté. Prudké větry způsobily odnos půdy obnažované orbou. Silné deště

dopadající na vysušenou ornici měly za následek velkou stružkovou i plošnou erozi. Erozní rýhy, jež hloubila stružková eroze až do podoby strží či roklí (v americké angličtině „gullies“), se posouvaly zpětnou erozí stále blíž k hornímu toku řek a potoků. Za desítky roků snížily veliké plochy území o jedno patro, ležící až o 150 m hlouběji; splach přitom odplavil miliardy tun úrodné půdy až do Mexického zálivu. Téměř půl milionu farmářů přišlo o svá hospodářství. Suchost této oblasti v dešťovém stínu Kordiller se zřetelně odráží od bujné vegetace v údolích řek, které tento kraj odvodňují směrem na východ do Mississipi. Dobře je patrné, jak stržová eroze, vycházející od řek, zasahuje ve zpeřených tvarech do zemědělské plošiny. Malý zbytek obdělávané staré plošiny vyčnívá jako ostrov z hlouběji ležící okolní krajiny. [10]

2.2.3 Způsoby protierozních opatření

Uvědomíme-li si, že 0,1 mm odnesené půdy za rok představuje roční úbytek 1 m³ půdy z 1 ha (odnosu však podléhají i hnojiva, zejména umělá prášková hnojiva – asi 1/3 umělých hnojiv je u nás každoročně vyplavována do povrchových i podzemních vod), pak je zcela evidentní význam všech protierozních opatření. [8] Klasické způsoby protierozní ochrany, jak je uvádějí například J. Cablík a K. Jůva, dělíme na:

- Zemědělsko-technickou úpravu půdy (organizaci, agrotechniku),
- Ochranu půdy rostlinným krytem (zeměděl., trvalé kultury, pásy)
- Úpravu plošného srážkového odtoku (terasováním, záchytnými příkopy, odvodňováním),
- Zajištění výmolů, strží a sesuvů (postupnou asanací),
- Hrazení bystřin (sklonovou a průtokovou úpravou a objekty) [6]

Ochranu půdy proti různým erozním formám však nelze chápat jako soubor izolovaných opatření, nýbrž jako součást celkové ochrany krajiny proti devastaci. V tomto směru bylo dosaženo značných úspěchů, např. v USA, kde byly devastovány rozsáhlé plochy prérijních oblastí, byla zřízena široce organizovaná protierozní služba (Soil Conservation Service). [8]

2.3 Zhutňování půd (pedokompakce)

2.3.1 Stávající situace ve zhutnění půd v ČR

Stávající stav zhutnění půd je důsledkem v minulém období dlouhodobě uplatňovaných jednostranných a nevhodných intenzifikačních opatření. Jednalo se především o neúměrné dávky a nesprávný sortiment minerálních hnojiv, nedostatečný přísun organické hmoty do půdy, používání těžké mechanizace a celou řadu dalších faktorů, kdy nebyly uplatněny kompenzační vazby především preventivního charakteru a agrobiologická opatření vedená k omezování zhutnění půdy. [14] Dlouhodobým obděláváním půdy bez dostatečných kompenzačních vazeb dochází k postupné degradaci struktury i v půdách s původně přirozeně dobrou strukturou. Naproti tomu je možné volbou správného obdělávání půdy zlepšit strukturu již poškozených (např. zhutnělých) nebo přirozeně bezstrukturních půd (půd se strukturou koherentní nebo prostě zrnitou). [7] Podle průzkumu zhutnění půd, které se naposledy uskutečnilo v 80. letech minulého století, bylo nadměrným zhutněním postiženo kolem 38 % výměry orné půdy.

Podle naposledy provedených odhadů, publikovaných v Situační a výhledové zprávě Ministerstva zemědělství ČR (MZe ČR, 1999) je nadměrným zhutněním v různém stupni postiženo zhruba 45 % zemědělského půdního fondu, z toho 15 % je *zhutnění genetické*, dané přirozenými vlastnostmi těžkých půd a zbývající podíl připadá na *zhutnění technogenní* v důsledku nevhodného způsobu strojního obdělávání půdy. [14]

Genetické zhutňování je dáno povahou půdotvorného substrátu, zrnitostním složením (vyšší obsah jílu), obsahem Ca a Mg, vlastnostmi sorpčního komplexu, strukturou půdy, genetickým půdotvorným procesem. Jedná se o zhutňování přirozeného charakteru.

Na *technogenní zhutňování* jsou náchylnější těžké a středně těžké půdy, na těžkých půdách v kombinaci s genetickým zhutňováním. Jde o zhutňování antropogenního charakteru [14]

Současné hlavní příčiny zhutnění půd, které i v minulém období vedly ke zhutňování půdy, jsou i nadále antropogenního charakteru. V současnosti je situace ve zhutnění půdy o to složitější, že ve značné míře je půda dlouhodobě degradována

kompakcí v podorničních horizontech. Zhutnění půdních vrstev v těchto hloubkách je velmi perzistentní a odstranitelné pouze v dlouhodobém časovém horizontu. Efektivnímu řešení této závažné problematiky se dosud v zemědělských podnicích věnuje jen minimální pozornost. Vývoj fenoménu půdního zhutnění tak směřuje ke zvýšení plošného rozsahu a k zesílenému charakteru půdní degradace. [14]

2.3.2 Zhutnění půdy omezuje produkční a ekologické funkce v rostlinné výrobě

Nadměrné zhutnění (kompakce) půdy způsobuje tyto hlavní nepříznivé jevy:

- zhoršuje půdní prostředí,
- zvyšuje energetickou náročnost při zpracování půdy,
- zhoršuje využití živin rostlinami,
- nepříznivě ovlivňuje výši a jakost produkce plodin.

Nadměrné zhutnění půdy negativně působí na mimoprodukční (ekologickou) funkci půdy tím, že:

- zpomaluje a omezuje infiltraci vody do půdy, čímž se podporuje povrchový odtok a následná vodní eroze půdy se všemi jejími důsledky,
- snižuje retenční (zádržnou) schopnost půdy,
- urychluje a zintenzivňuje se vysychání půdy (výpar vody). [14]

2.3.3 Principy ochrany a uchování půdní struktury

Za hlavní úkol zpracování půdy je v současné době považováno vytvoření příznivého strukturního stavu, který se vyznačuje vodostálými agregáty, které jsou nutné z hlediska drobivosti půdy a úpravy seťového lůžka i z hlediska propustnosti ornice a podorničí pro kořeny a schopnosti vést vodu a vzduch v aktivním profilu půdy (Šimon – Lhotský, 1989).

Při úvahách o možnostech zlepšování půdní struktury je třeba zohlednit jak nápravné tak preventivní prostředky:

- Omezování a odstraňování utužení (zhutnění) půd,
- Protierozní ochranu půd,

- Zlepšování podmínek pro biologické procesy v půdě,
- Regulaci vody (infiltraci, akumulaci) v půdě,
- Využívání podorničních vrstev (fyziologické prohlubování půd). [7]

2.3.3.1 Minimalizace zhutnění

Pro minimalizaci zhutnění způsobené zhutněním je nutné dodržovat následující pravidla:

- Zpracování a poježdění půdy ve vhodném vlhkostním stavu;
- Nepřetěžování půdy těžkými mechanismy ani počtem pojezdů;
- Vhodnější je opakovaně jezdit v téže koleji, než při každém přejezdu volit jinou stopu (při opakovaných pojezdech se snižuje relativní nárůst zhutnění, je tedy také výhodné, je-li celková hmotnost stroje rozložena na více náprav);
- Pojezdy po půdě před orbou jsou méně škodlivé než po orbě či jiné operaci základního zpracování půdy;
- Přejezdy půdy na jaře je potřeba omezit na minimum (je výhodné, je-li možné některé operace zpracování půdy nebo hnojení přesunout z jara na podzim předcházejícího roku);
- Využívat možnosti agregace operací, především při zpracování půdy s cílem omezit pojezdy po nakypřené půdě na minimum
- Dostatečné organické hnojení - organická hmota patří k nejdůležitějším strukturotvorným látkám: její dostatečný přísun je podmínkou tvorby žádoucí struktury půdy i jako preventivní opatření proti poškození půdy zhutněním. Organická hmota v půdě je zdrojem výživy mikroorganismů, zdrojem živin pro rostliny a zdrojem látek pro vznik humusu v půdě. Po stránce půdní mechaniky zvětšuje větší podíl organické hmoty v půdě odolnost půdní struktury vůči deformaci (větší interval elastické deformace).
- Vápnění - vápněním kyselých půd se udržuje půdní reakce v optimálním stavu pro strukturotvorné procesy. Vápník (sloučeniny vápníku) sám o sobě současně působí jako vazebný prostředek při tvorbě půdní struktury. [7]

2.4 Poklesy půdy (Land Subsidence)

2.4.1 Příčina poklesů (sesuvů) půdy čerpáním podzemní vody (Cause of land subsidence from ground-water pumping)

Pokles půdy je snížení povrchu půdy výškovými změnami, které se dějí v podzemí. Častými příčinami poklesu půdy lidskou činností je čerpání vody, ropy a zemního plynu z podzemních slojí; rozpouštění vápencových zvodní (sinkholes); zřícení podzemních dolů, odvodňování organických půd a počáteční navlhčení suchých půd (hydrokompakce). Nadměrné čerpání podzemní vody ze zvodní je hlavní příčinou propadání v jihozápadních Spojených státech, a tak jako se zvyšuje čerpání podzemní vody, poklesy půdy se budou také zvyšovat. Snížení vyvýšenin zemského povrchu z tohoto procesu je trvalé. Například, jestliže snížená hladina podzemní vody způsobila pokles půdy, doplnění zvodní tak, aby podzemní vody byly vráceny na původní úroveň, by nevedlo ke znatelnému vyrovnání vyvýšení povrchu pozemku. [13]

2.4.2 Škody způsobené sesuvem/poklesem půdy

Poklesy půdy způsobují mnoho problémů, včetně: 1. změn v nadmořské výšce a sklonu potoků, kanálů a stok; 2. poškození mostů, silnic, železnic, kanalizací a dešťových vpustí, splaškových kanalizací, kanálů a hrází, 3. poškození soukromých a veřejných budov, a 4. poruchy krytů studní. V některých pobřežních oblastech má pokles za následek příliv stěhujících do níže položených oblastí, kteří byli dříve nad úrovní vysokých přílivů. [13]

2.4.3 Souvislosti poklesů půdy s klimatickými změnami a nárůstem počtu obyvatel na jihozápadě

V oblastech, kde klimatické změny mají za následek méně srážek a snížené zásoby povrchové vody, bude čerpáno více podzemních vod. V jižní části Spojených států počínaje státy na pobřeží Mexického zálivu a západně (včetně států New Mexiko, Colorado, Arizona, Utah, Nevada a Kalifornie), obsahují hlavní zvodně stlačitelný jíla a naplaveniny, které se stlačí, když je čerpána podzemní voda. Také vzrůst počtu obyvatel

na jihozápadě zvýší nároky na zásoby podzemní vody, což bude příčinou více poklesů půdy v oblastech již klesajících a nových poklesů v oblastech, kde k poklesům zatím nedošlo. V minulosti byly velké poklesy půdy v zemědělských oblastech, kde byla podzemní voda čerpána na zavlažování. V budoucnu však může mít rostoucí populace za následek problémy s poklesy v metropolitních oblastech, kde budou škody z poklesu půdy obrovské. [13]

2.4.4 Rozsah poklesů ve vybraných oblastech na jihozápadě

V důsledku velké výstavby zdrojů podzemních vod na Jihozápadě USA po 2. světové válce došlo v mnoha oblastech k poklesu půdy. V následující tabulce č. 2 jsou uvedeny přibližné maximální poklesy půdy v roce 1997 na vybraných místech na jihozápadě USA:

Tab. 2: Příklady poklesů na jihozápadě USA

Arizona		Nevada		California		Texas	
Eloy	15 feet	Las Vegas	6 feet	Lancaster	6 feet	El Paso	1 foot
West of Phoenix	18 feet	New Mexico		Southwest of Mendota	29 feet	Houston	9 feet
Tucson	<1 foot	Albuquerque	„<“ 1 foot	Davis	4 feet		
		Mimbres Basin	2 feet	Santa Clara Valley	12 feet		
				Ventura	2 feet		

Pozn.: feet = stopa (míra)

[13]

Obr. 2: Přibližné umístění maximálního poklesu ve Spojených státech je označeno výzkumem Dr. Joseph F. Polanda (na fotografii). Značky na stožárech ukazují přibližné výšky zemského povrchu v roce 1925, 1955 a 1977. Tabulka je umístěna v San Joaquin Valley jihozápadě od Mendoty, Californie. [13]



Obr. 3: Příklad zemní trhliny. [13]



2.5 Odvodnění a vyplavování živin z půdy

Erozní splachy, smyvy a výluhy znečišťují hlavně povrchové vody, a to jak tekoucí (potoky, řeky), tak stojaté (rybníky, přehradní nádrže), přičemž stupeň znečišťování se různí podle místních podmínek, zejména klimatických (intenzita a četnost srážek, návětrnost), geologických, geomorfologických, pedologických a vegetačních (zemědělské obdělávání, zalesňování aj.). [20]

Velmi znečištěné odtoky vznikají zejména na svahových polích, oraných po sklonu a obhospodařovaných protierozně málo odolnými plodinami (okopaniny, obilniny), takže *voda snadno smývá a vymílá ornici a vyluhuje živiny*. Naproti tomu plodiny ve vhodně volených osevních postupech vytrvalé pícniny a dobře vzrostlé travní a lesní porosty vytvářejí odtoky neporovnatelně čistší, s malým obsahem splavené zeminy a živin, jak ukazuje tabulka 4.

Tab. 3: Ztráta půdních živin v závislosti na způsobu obhospodařování

Způsob obhospodařování	Odtok % srážek	Smyv $t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$	Ztráta živin $kg \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$		
			N	P_2O_5	K_2O
Odplevelený úhor	31,3	500	128,6	61,8	493,2
Monokultura pšenice	25,2	100	120,4	14,1	98,8
<i>osevní postup</i> ¹⁾	14,1	34	7,7	2,9	54,0
Vytrvalé pícniny	11,0	4	0,8	0,1	0,8

¹⁾ *v osevním postupu: pšenice, jetel, kukuřice*

[20]

Množství erozních produktů zanášených smyvem do vodních toků jsou mimořádně velká, podle B. Mařana (1964) ve formě splavenin až 4 mil. t ročně z území našeho státu. S uvážením látek ve vodě nejen nerozpustných, ale také rozpuštěných udává J. Bulíček (1972) celkové roční množství 6,35 mil. t, z čehož připadá na nerozpustné látky 3,10 mil. t a na rozpuštěné 3,25 mil. t.

Přítom roční ztráty živin vyplavovaných z 1 ha půdy a přiváděných erozním smyvem do toků činí podle šetření u dusíku (N) 10-40 kg, u fosforu (P_2O_5) 0,5 kg, u draslíku (K_2O) 5-6 kg a u vápníku (CaO) 45-500 kg. [20]

Vyplavování živin je sestupný pohyb rozpuštěných látek v půdním profilu prosakující vodou. Živiny, které jsou vyplaveny pod zónu zakořenění vegetace, se dočasně ztratily ze systému, ale mohou být recyklovány, pokud kořeny rostou hlouběji. Vyplavené živiny mohou přispět ke kontaminaci podzemních vod v oblastech s intenzivním zemědělstvím. Vyluhování dusičnanů je rovněž významným zdrojem okyselení půdy. [19]

2.5.1 Půda a dynamické faktory, které ovlivňují vyplavování živin

Obecně lze říci, že transport vodou pod zónu zakořenění vyžaduje, aby obsah půdní vody přesáhl polní kapacitu a vodní bilance byla pozitivní, což znamená, že voda vstupů se srážkami (a zavlažování) překročí evapotranspiraci. Proto jsou vyplavování ztráty živin obecně vyšší ve vlhkém než v suchém podnebí. Avšak v některých půdách může voda proniknout do podloží prostřednictvím nepřerušovaných vertikálních makropórů, když je převážná část půdního profilu suchá. To je důležité především v praskání jílovitých půd na začátku období dešťů. Makropóry jsou také vytvořeny činností fauny a kořenovým růstem. Pouze vedou vodu za podmínek silného deště nebo zavlažování, za jiných podmínek jsou vyplněny vzduchem.

Půdy s vysokým stupněm infiltrace vody a nízkou retenční schopností živin, jako například písčité půdy a dobře-strukturované feralitické půdy s nízkou aktivitou jílu a nízkým obsahem organické hmoty, jsou zvláště náchylné k vyplavování živin. Některé živiny jsou z organických půd vyplavovány snadno. Podloží acidity také vede ke zvýšení odplavování živin omezením hloubky zakořenění citlivých rostlin. [19]

2.5.2 Odvodnění

Ukazatelem potřeby *odvodnění* je porušený vodní režim půdy. Půda takto poškozená trpí nadměrnou vlhkostí, vysokým stavem podzemní vody, popřípadě i povrchovým zaplavováním, což vyvolává závažné poruchy v jejím fyzikálním, chemickém i biotickém stavu. Nadbytek vody půdu *rozplavuje, vyluhuje nebo splachuje*, zhoršuje přístup vzduchu, ochlazuje značným odpařováním půdní vody a ztěžuje, až i znemožňuje obdělávání. V souvislosti s těmito fyzikálně škodlivými jevy se nezdravě porušuje půdní biochemismus, zejména pokud jde o humifikaci, kdy se při špatném provzdušování, nedostatečném okysličování a slabé mikrobiální činnosti vytváří sorpčně nenasycený a jakostně závadný kyselý humus. Půdním typem zamokřování jsou podzolové půdy, charakterizované vznikem ochuzeného, tzv. eluviálního horizontu s méně hodnotným zrnitostním složením, malým obsahem humusu i vápna a kyselou reakcí. [28] Odvodnění působí rovněž prospěšně na *biochemickou činnost půdy*, neboť dobré provzdušnění, prokysličování a oteplování půdy zabezpečuje oxidační průběh chemických pochodů v půdě a zintenzivňuje činnost aerobních mikrobů. V odvodněné půdě se proto *uvolňují půdní živiny*, které při zamokření zůstávají nevyužity, takže se plně mohou uplatnit přirozená i strojená hnojiva. Nelze však přehlížet, že při nadměrném nebo špatně založeném odvodnění může dojít i k *vyplavování minerálních živin*. [9]

2.5.2.1 Argumenty v neprospěch odvodnění zemědělských půd

- lze je pracovním shrnout např. takto.:

Odvodněním se zvyšuje celkový odtok vody z krajiny (na účet snížené evapotranspirace). Hladiny a zásoby podzemní vody jsou sníženy. Kapacita zdrojů podzemní vody (např. studní) ovlivněných odvodněním je snížena, některé studně mohou být zcela vyřazeny z funkce. *Tím se také krajina stává celkově sušší a méně odolnou vůči projevům sucha a větrné eroze.* V některých případech odvodňovací systémy také odtok urychlují a přispívají, i když ne v rozhodující míře, ke kulminačním průtokům povodní.

Odvodnění, zejména drenáž, posunuje půdní procesy od anaerobiózy k aerobnímu prostředí. *Půdní organická hmota vytvořená v podmínkách zamokření se v důsledku toho urychleně rozkládá.* Obsah (surového) humusu v půdě se snižuje, *zrašelinělý horizont se ztenčuje a mizí.* Tento úbytek není v historicky krátké době nahraditelný spontánní tvorbou vysoce kondenzovaného humusu typického pro nezamokřené půdy mírného pásma.

Rozklad půdní organické hmoty a posun k aerobnímu půdnímu prostředí jako takový zhoršují podmínky pro denitrifikaci (redukci dusičnanů na kysličníky dusíku a vzdušný dusík), která je v zamokřených a poříčních zónách krajiny významným samočisticím procesem. *V důsledku toho se zvyšuje obsah dusičnanů v půdní a podzemní vodě a ve vodách drobných vodních toků a nádrží.* Jakost vody v povrchových i podzemních vodních zdrojích se tak zhoršuje, často nad přípustné limity. Vliv mineralizace organické hmoty je mimořádně významný u novostaveb drenáží v hydromorfních a semi-hydromorfních půdách; u starších drenážních systémů se ustaluje dynamická rovnováha bilance minerálního dusíku, zvýšené vyplavování dusičnanů však pokračuje, neboť snížený přísun dusíku z mineralizace je nahrazen přísunem v hnojivech a potlačení denitrifikačních procesů odvodněním je trvalé. Povrchové vodní útvary jsou při dostatku jiných živin eutrofizovány a rozvíjejí a přemnožují se v nich nižší i vyšší organizmy, které představují zdravotní riziko, ztěžují jejich hospodářské využití a potlačují přirozené složky jejich bioty. [27]

Jak užitečnost, tak škodlivost je faktická. V důsledku okysličení půdy dochází k urychlení mineralizace půdní organické hmoty a k omezení anaerobních a tudíž také denitrifikačních procesů, což má škodlivý důsledek *v podobě vyplavování živin, zejména dusičnanů,* do vodních toků, ale na druhé straně to vede ke snížení emise skleníkových plynů – N_2O , CH_4 , H_2S , a pravděpodobně i dalších. [27.1]

Současné stanovištní poměry lze oproti stavu, kdy byly odvodňovací stavby projektovány a postaveny, charakterizovat zejména těmito následujícími změnami:

- Vlivem nevhodného způsobu hospodaření, využívání těžkých zemědělských strojů a nadměrného zatížení půd imisemi došlo k významným (převážně nepříznivým)

změnám ve fyzikálních, chemických a *biologických vlastnostech půdního profilu, projevujících se mimo jiné sníženou vertikální propustností půdního profilu.*

- Vlivem nekoncepční a mnohdy neregulované antropogenní činnosti v oblasti krajinného plánování byly a jsou i v současné době části zájmového území *postiženy vodní a větrnou erozí s významným rizikem odplavením nebo odsunu ornice bohaté na organickou hmotu a živiny včetně odpovídajících změn v reliéfu terénu.* [27.3]

Správci melioračních zařízení vymezují zejména tyto následující problémy:

1) Problémy funkčnosti

2) Dalšími problémy s nefunkčností odvodnění na odvodněných pozemcích

- *Značná zhutněnost zemědělských půd* způsobená používáním těžké mechanizace bez následného podrývání a provzdušnění,
- *Zamokřená půda se obtížně zpracovává*
- *Stále se snižující podíl humusu* (omezená produkce chlévské mrvy) v orné půdě, který jímá vodu a v důsledku toho dochází ke značným splachům,
- *Bezorebný způsob obdělávání pozemků,*
- *Pěstování zemědělských plodin, které nezadržují srážky (kukuřice, slunečnice),* takže při srážkách nad 30 mm dochází ke značným splachům ornice do recipientů, které jsou zanášeny, snižuje se jejich kapacita, a to vede k vytvoření podmínek pro vznik povodňových stavů v intravilánech obcí.

Z výše uvedeného vyplývá, že je nutné zlepšit péči o vybudovaná podrobná odvodňovací zařízení, aby nedocházelo ke škodám na zemědělských kulturách, zejména v produkčních zemědělských oblastech. [27.4]

Intenzivní odvodnění a související zemědělství na jih od jezera Okeechobee v EAA způsobily obrovský úbytek organické půdy. Zhutňování a oxidace organické půdy na zemědělských pozemcích na jih od jezera byly jedním z prvních pozorovaných ekologicky destruktivních účinků velkého měřítko odvodnění. Ve většině oblastí bylo ztraceno 5 stop nebo více organické půdy rokem 1984. Nedávno vypočtená míra ztráty v EAA je okolo 1 stopy/rok. [21]

2.5.2.2 Odvodňování rašelinišť

Způsoby odvodňování rašelinišť jsou v zásadě stejné jako u minerálních půd, musí však být přizpůsobeny zvláštním poměrům rašelinišť, zejména jejich povrchovému vyčlenění, mocnosti, povaze a vlastnostem rašeliny i způsobům zamyšleného užívání po odvodnění. Těchto zvláštních podmínek je třeba dbát jak při návrhu a stavbě hlavních odvodňovacích zařízení, tak i při uspořádání odvodnění podrobného. Správně založené odvodnění rašelinišť předpokládá jejich předběžný průzkum, při němž se zjistí charakteristické znaky rašelinné půdy, jako stupeň jejího vývoje a zralosti, strukturální stav, pórovitost, vodní jímavost a také kontrakce rašeliny, tj. její objemové smršťování po vysušení. Zvláště k vysychání musí odvodňovací návrh přihlížet, neboť rašelina se po odvodnění sesedá, čemuž je třeba přizpůsobit již předem polohové a výškové uspořádání odvodňovacích staveb. [15]

Poněvadž největší sesedání rašeliny odpovídá místům, kde je nejmocnější a nejméně rozložená, není u hlubokých rašelinišť vždy správné zakládat hlavní kanály v relativně nejnižších místech, jak se jeví před odvodněním. Bezpečnější je přesvědčit se předběžným sondováním o hloubkovém rozložení rašeliny a teprve pak přizpůsobit trasy kanálů předpokládanému sednutí povrchu rašeliniště. Nesprávné posouzení této okolnosti může způsobit, že se spádové založení kanálů poruší i směrově obrátí, jakmile se projeví jejich odvodňovací účinek. Zvláštní pozornosti vyžaduje trasování hlavního odvodňovacího kanálu v rašeliništích větší mocnosti. V tomto případě není vždy správné, umístí-li se kanál v relativně nejhlubších místech, neboť po sesednutí odvodněné rašeliny se může povrchové vyčlenění rašeliniště podstatně měnit. Největší sesedání odpovídá polohám, v nichž rašelina vykazuje největší mocnost a je nejméně rozložená. Průměrně počítáme se sesednutím rašeliny po odvodnění o 10-25 %. [9]

2.6 Půdní a horninové sesuvy

Sesuvy půdní nebo horninové jsou další nebezpečnou formou poškozování půdy. Vznikají na sklonitých svazích nebo nad stržemi, řečišti, hlubokými zářezy apod. a velmi rozrušují postižené polohy a přesunem uvolněných hmot také přilehlá údolí, pole, komunikace, budovy i sídliště. Polohy postižené sesuvy, tzv. svážná území, se zpravidla vyznačují nepravidelně zvlněným terénem s trhlinami, strženými a vyvrácenými stromy, které nemají v sesouvající se půdě pevné stanoviště. [20]

Sesouvání půdy nebo horninových zvětralin může být vyvoláno různými příčinami, zejména však velkým zatížením svahů, oslabením paty svahů, zmenšováním soudržnosti svahové zeminy zvětráváním, rozmočením nebo silnými otřesy, anebo vznikem skluzné plochy na nepropustné spodině. Uvedené příčiny se zpravidla různě kombinují, při čemž však nebezpečně vždy spolupůsobí činnost vody, jež vniká trhlinami půdního povrchu do propustných vrstev svahu, rozmáčí zeminu a vytváří na nepropustném podloží skluznou plochu, po které krycí vrstvy vlastní vahou sjíždějí. Rekultivace těchto území předpokládá, aby byly především odstraněny příčiny sesouvání a vzniklé již sesuvy byly ustáleny a zajištěny před pohybem a rozšiřováním. *Základem rekultivace svážných území je proto zpravidla jejich odvodnění, po němž pak následují další ustalovací a zajišťovací práce.* [9]

U nás se vyskytují území náchylná k sesuvům zvláště v oblasti flyšového pásma Karpat, dále v některých oblastech Českého masívu, na jihovýchodní Moravě a v menší míře i jinde. Rušivá činnost přírodních živlů je velmi nebezpečná a škodlivá, poněvadž znehodnocuje půdu pro zemědělské a lesnické užívání často na velkých rozlohách. Ochrana půdy před poškozováním je proto nanejvýš důležitá a nutná. [20] Skutečná flyšovitá hornina se skládá ze střídavých vrstev jílovců a pískovců. Tyto horniny mají nízkou permeabilitu, to znamená, že povrch těchto hornin a plochy odlučnosti od jiných hornin se velmi rychle nasytí vodou, což má za následek hladký a kluzký povrch. Tektonické přesmyky a zlomy usnadňují vnikání vody a tvoření zlomových pásem potřebných pro aktivaci sesuvů a pohyb svahů. Dalšími druhy materiálu, které podporují pohyb, jsou směsi hlíny s kamením, jílem, a sedimenty písku a hlíny. [17]

2.6.1 Vznik a společné řídicí faktory sesuvů

Sesuv lze definovat jako 'pohyb masy horniny, suti nebo zeminy dolů ze svahu'. Rozlišujeme dva typy sesuvů: pomalu se pohybující nebo rychle se pohybující. [18] Je způsobený geologickými a klimatologickými podmínkami právě tak jako morfologií reliéfu a činností člověka. Všechny tyto faktory napomáhají a vyvolávají zhroucení svahů. Vývoj sesuvů může změnit reliéf a tvořit novou strukturu krajiny. V zalidněných oblastech, poškozují sesuvy půdy infrastrukturu, budovy, telekomunikace, rozvody potrubí a další škody v jejich transportní cestě. [17] Trvalým nebezpečím jsou však strmé svahy, které vznikly při různých stavbách odkopávkou ve sklonu převyšujícím přirozený sklon místní zeminy, takže může nastat sesuv svrchní půdy. Toto nebezpečí se zejména zvyšuje, nejsou-li svahy chráněny drnovým krytem, takže se snadno porušují odtokem vody za přívalových dešťů nebo za rychlého jarního tání. V sesouvajícím se svahu vznikají trhliny a pohyby půdy, které pak rozšiřují poruchu i do značné vzdálenosti nad svahem. Zvlášť nebezpečné je, vytvoří-li se sesuv přetížením půdy nevhodně umístěnou stavbou nebo skládkou, anebo tím, že se podemele úpatí svahu, zemina svahu se rozmočí apod. [20]

2.6.2 Půdní sesuvy u nás a v zahraničí

V období 1999 až 2001 bylo s výhodou využito metody podrobného geomorfologického mapování při výzkumu a mapování svahových deformací v oblasti flyšového reliéfu Vnějších Západních Karpat. Tyto svahové deformace (zejména sesuvy) vznikly nebo byly aktivovány ve velkém množství a často s katastrofálními následky po extrémních srážkách v červenci 1997. [16] Severovýchodní Morava byla zvlášť zasažena v důsledku vlastností flyšových hornin, které jsou na pohyb v době vytrvalých dešťů velmi náchylné. Jednou z nejvíce poškozených oblastí byl okres Vsetín, kde jsou majetky obyvatel stále vystaveny velkému riziku. Tato živelní pohroma trápí Valašsko několik staletí. Prvé dokumenty o sesuvu v okrese Vsetín pocházejí z obce Hošťálková. V roce 1919 zde byl velký sesuv dlouhý 750 m a široký 200 - 300 m. Údajně zničil šest selských usedlostí a vytvořil malé jezero, když zahradil místní potok.

Ve stejném roce zde byla velká povodeň, která byla zřejmě hlavní příčinou této kalamity. Záznamy o všech sesuvech půdy v zemi byly prováděny v letech 1956 - 1962 a jelikož se jedná o aktivaci mnoha dalších sesuvů, je tato evidence stále vedena na GEOFONDU v Praze. [17]

Obr. 4: Odříznutí silnice kolapsem hrany od proudnice na Furnas Volcano, v průběhu roku 1997 (Road cut off by the collapse of edge of a streamline at Furnas Volcano, during the 1997). [18]



2.7 Těžba

2.7.1 Povrchová, hlubinná a lesní těžba

Průmyslová těžba uhlí, rud a hornin je pro půdu vždy velmi nebezpečným zásahem, ať již se provádí jako těžba hlubinná nebo povrchová. Z těchto dvou způsobů je poměrně méně závadná hlubinná těžba, zejména provozuje-li se ve velkých těžních hloubkách. Projevuje se hlavně místními poklesy a propadlinami půdy (tzv. pinky) v poddolovaných plochách, porušeným režimem podzemních vod a zhoršeným odtokem povrchové vody, která pak zamokřuje svrchní půdu a vytváří v propadlinách močály a nádrže stojaté vody (u nás např. v Ostravsko-karvinské pánvi a jinde). [20]

Hlubinná těžba je provázena deformacemi zemského povrchu, tj. pokles poddolovaných území. Jejich příčinou jsou otřesy při trhacích pracích v podzemí a pozdější sesedávání nadložních vrstev do vyrubaných prostor. Poklesy vedou až k úplné destrukci původního reliéfu krajiny, povrchové vodní sítě a režimu podzemních vod. Dochází k trvalému zaplavení nejnižších partií pokleslých lokalit a vzniku bezodtokových území. S poklesávajícím terénem klesají železniční tratě, vozovky, mosty, inženýrské sítě a ohroženy jsou budovy i celé obce. Trvalé zamokření způsobuje degradaci zemědělských půd, zejména v důsledku snížení jejich pórovitosti a provzdušněnosti. [26]

Mnohem výrazněji však narušuje půdu *povrchová těžba*, zejména hnědouhelná (v ČR v oblasti Mostu a Chomutova) tím, že vytváří rozlehlé těžební jámy hluboké 20-50 m. Ty pak zábořem půdy, narušeným odtokem vody, vyvolanou erozí a jinými jevy zpravidla půdu zcela devastují. Rovněž lomy sloužící těžbě hornin nebo jámy na těžbu hornin poškozují půdu při nejmenším v jejím úbytku a využívání.

Lesní těžba může rovněž velmi výrazně poškozovat lesy a tím také půdu, provádí-li se neodborně a bez zřetele na zachování lesa v trvale dobrém vývojovém a produkčním stavu. Při kácení stromů, klučení pařezů a odvozu dříví dochází snadno k nadměrnému poškozování podrostu, rozrušování půdy, zhoršování povrchového odtoku vody a vzniku erozních jevů. Ve svažitých terénech působí pak zejména škodlivě nevhodné

způsoby přibližování dříví, při nichž z hořejších částí svahů jsou stahovány svrchní humózní vrstvy půdy, a to někdy až na skalní podklad. [20]

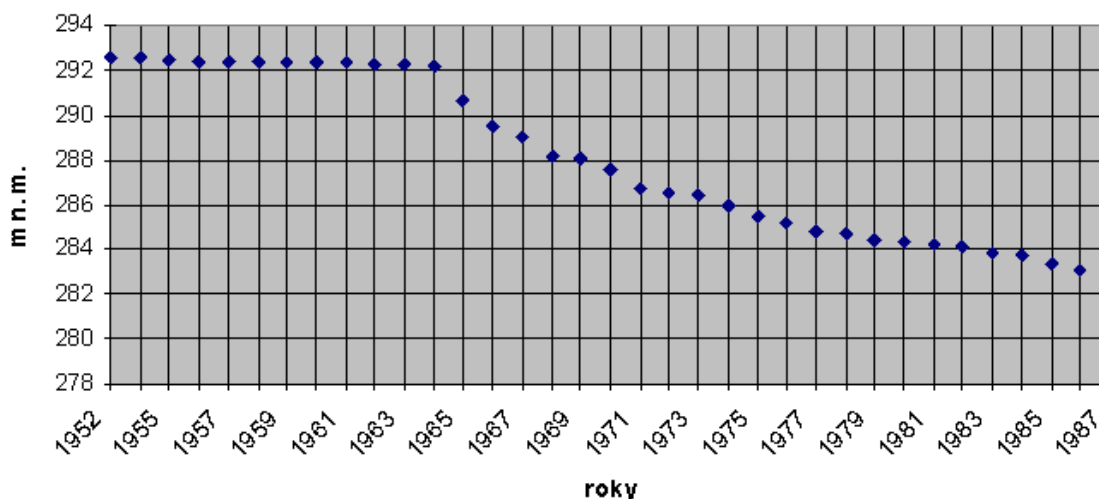
2.7.2 Vlivy poddolování na pohyby zemského povrchu

Hlubinné dobývání ložisek způsobuje, že postupným zavalováním vyrubaných prostor nadložními horninami – případně jejich prohnutím, dojde při vyrubání dostatečně velkého prostoru (plochy slojového ložiska) postupně k deformacím hornin především v nadloží vyrubaného prostoru, až dojde k pohybu povrchu. [22] Vlivy poddolování se na reliéfu krajiny projevují postupným vytvářením *poklesových kotlin* s průvodními deformacemi terénu, jako jsou: poklesy, zlomy, posuny, zakřivení, naklonění, atd. Při hlubinném dobývání černého uhlí se vytváří v zemské kůře uměle prázdné prostory, které se postupem času zaplňují okolními horninami přirozenou cestou nebo se vydobytý prostor zaváže hlušinou a popílkem. Toto postupné zaplňování může vést k výrazným pohybům masy hornin, které se projeví až na povrchu. V praxi je možno definovat dvě základní složky pohybu určitého bodu na povrchu, složku svislou (pokles) a složku vodorovnou (posun). [23] Ve vzniklých depresích se může hromadit voda. Kromě přetváření terénu dochází také ke změně režimu podzemních i povrchových vod, fyzikálně-mechanických, pevnostních a přetvárných charakteristik apod. [24]

Na okrajích poklesových kotlin může docházet k rozvoji *svahových pohybů*, jsou-li k tomuto příhodné podmínky, např. dostatečný sklon svahu, geologická stavba apod. Gravitační pohyby na poddolovaném území jsou jedním z rizik, které s sebou těžba černého uhlí v Ostravsko-karvinském revíru nese, a je proto důležité tuto skutečnost brát v úvahu při rozhodování o územním plánování. Poddolování většinou není prvotní příčinou vzniků sesuvů, je ale významným činitelem, který ovlivňuje rozsah, hloubku i rychlost pohybu, často reaktivuje staré a uklidněné sesuvy. Důvodem je především výškový rozdíl terénu vniklý nerovnoměrným klesáním, rozvolnění struktury svahu vlivem vzniku tahového napětí, zvýšená infiltrace vody aj. [24]

2.7.3 Vertikální pohyby zemské kůry

Zdrojem údajů mohou být výsledky tzv. Opakované nivelace – připojení dolů v OKR. Měření jsou prováděna od roku 1982 (Geodézie Opava, Geometra Opava). V dobývacím prostoru Lazy se nacházelo 6 bodů uvedeného nivelačního pořadu, ze kterých byly dva zničené (stav z roku 1993). Stabilní body se zpravidla nacházejí v prostoru OKR. Další data může poskytnout sledování výškových změn vybraných objektů prováděné pracovníky Dolu Lazy. Např. od roku 1952 do roku 1987 byly sledovány výškové změny budovy ZDŠ Veverka Lazy. Z výsledku nivelace vyplývá, že v uvedeném časovém úseku velikost poklesů dosáhla 9,640 m. V průběhu prvních 12 let sledování výše uvedeného objektu probíhaly poklesy zvolna a k roku 1964 dosáhly velikosti 0,373 m. Už v roce 1965 se velikost poklesů zvýšila cca 5x.



Graf č. 1 – Průběh poklesu bodu č. 1 na budově ZDŠ Veverka v Lazích v období 1952 – 1987

Výše uvedené zdroje údajů je nutné považovat za relativní, protože jednotlivé nivelační pořady zpravidla nejsou napojené na body mimo poddolované území, ale na ohradníky. Ohradníky patří v poddolovaném území k relativně nejstabilnějším bodům, ale i přesto u nich dochází k výškovým výkyvům a v některých případech k jejich zničení. V případě výškové nivelace objektů dochází často ke zničení nivelační značky

v důsledku demolice staveb, a proto nelze získat výsledky nivelace v přesně stanoveném časovém úseku. Dalším nedostatkem je, že měření probíhala u jednotlivých bodů v různém časovém období a nelze tak získat postačující síť nivelačních bodů. Z výše uvedeného vyplývá, že na základě analýzy těchto údajů nelze získat absolutní hodnoty změn výškových poměrů, a proto údaje o průběhu poklesů poskytují pouze relativní výsledky. [25]

3 Přehled vhodných geodetických metod ke sledování poklesů půdy a rozbor jejich přesnosti.

3.1 Výšková měření

Stejně tak jako je důležité znát polohu jednotlivých bodů povrchu zemského, je inženýrskou praxí stále více požadováno uvádět u těchto bodů také jejich výšku nad určitou srovnávací plochou nebo rovinou a to z toho důvodu, že při projektování staveb všeho druhu se bez přesného výškopisu neobejdeme. V mnoha případech je znalost výškopisu důležitější než polohopis, např. při řešení liniových staveb vodohospodářských nebo komunikačních. I v ostatních případech, ať již půjde o vypracování urbanistického řešení nové výstavby nebo o umístění stavby do terénu, potřebuje projektant znát výškové poměry a to jak generelně z topografických map, tak detailně pro určitou lokalitu.

V minulosti hlavně mapy velkých měřítek neměly výškopis, a aby je bylo možné plně využít, je do nich výškopis dnes doplňován. Nové mapy a plány pak bez výjimek mají obě složky, tj. polohopis i výškopis. [29]

3.1.1 Základy a metody výškového měření

Výškou bodu rozumíme svislou vzdálenost bodu od jeho průmětu na nulovou hladinu. Výšky jednotlivých bodů udáváme buď v hodnotách absolutních nebo relativních.

Relativní výška bodu je výškový rozdíl mezi dvěma hladinami, z nichž hladina základního bodu je jiná než nulová. Používá se k určení výšek při pracích malého rozsahu a místního významu. Výškový rozdíl dvou bodů nazýváme převýšením a označujeme je ΔV .

Nadmořská (absolutní) výška bodu je vzdálenost bodu od střední hladiny moře (tzv. nulová), měřená podél tížnice; je rovna změně tíhového potenciálu od hladiny moře, dělené střední hodnotou tíže. Nulová hladinová plocha platná pro naše území do roku 1955 byla odvozena od střední hladiny Jaderského moře, z pozorování vodočtu na Molo Sartorio v Terstu. [29]

V rámci sjednocení výškových základů v socialistických státech a v bývalém SSSR, bylo u nás po r. 1949 překročeno k připojení prvního řádu československé jednotné nivelační sítě (ČSJNS) na síť sovětskou a přešli jsme z výškového systému tzv. jadranského na výškový systém baltský, odvozený od střední hladiny Baltského moře, podle pozorování na vodočtu v Kronštadtě. Rozdíl mezi jaderským a baltským systémem je -0,42 m po vyrovnání. Vzhledem k uvedenému rozdílu mezi těmito dvěma výškovými systémy a dále pak proto, že některé výškové podklady byly vyhotoveny ve výškovém systému baltském před vyrovnáním (rozdíl -0,46 m až -0,68 m) a na některých plánech je užito i výšek relativních, je předepsáno, že každý výškopisný plán (mapa) musí mít uvedeno, v kterém výškovém systému byl výškopis vyhotoven. V nižší geodézii předpokládáme, že hladinové plochy jsou spolu ekvidistantní. Ve skutečnosti jsou mírně sbíhavé od rovníku k pólům. [29]

Pro rozdíl výšek dvou bodů A , B zavedeme si jednotné označení: převýšení a symbol $\Delta V = V_A - V_B$. Úkolem výškového měření je určovat převýšení mezi body. Známe-li absolutní výšku základního bodu, můžeme určit absolutní výšku všech ostatních bodů, které jsou na základní bod připojeny. Převýšení dvou bodů A , B jak bylo uvedeno, je rozdíl jejich svislých vzdáleností od nulové hladinové plochy. Budeme-li považovat hladinovou plochu za nulovou, pak hladinové plochy s ní rovnoběžné v těchto bodech budou skutečnými horizonty a převýšení se rovná rozdílu výšek těchto horizontů.

Při malých vzdálenostech mezi body A , B (do 70 m) můžeme hladinovou plochu považovat za vodorovnou rovinu a skutečné horizonty nahradit zdánlivými, které vytyčíme měřickým přístrojem. V těchto případech nemusíme brát zřetel na zakřivení Země. [29]

Metody výškového měření. Výškové rozdíly se mohou zjišťovat několika způsoby (metodami) podle toho, jakou vyžadujeme přesnost a jaké pomůcky máme k dispozici.

Nejpoužívanější metody v geodetické praxi jsou:

1. Nivelace, metoda nejpřesnější, při které převýšení určujeme pomocí vodorovné záměry nivelačního přístroje.
2. Trigonometrické měření výšek, při kterém převýšení určíme výpočtem z měřené vzdálenosti a svislého úhlu.
3. Barometrická měření výšek, při kterém výškový rozdíl určíme z rozdílů tlaku vzduchu na určovaných bodech.

Pro měření poklesů půdního horizontu jsou vhodné metody: technická nivelace, trigonometrické určování výšek a GPS. [29]

3.2 Nivelace

Nivelace je nejpřesnější měřická metoda pro určení převýšení mezi dvěma body. Toto převýšení jsme si označili ΔV . Převýšení bodů získáme z rozdílu výškových odlehlostí od vodorovné roviny, kterou vytyčíme buď přístrojem, nebo jinou pomůckou. Uplatnění nivelace vzhledem na její přesnost je nejen při budování výškových geodetických základů pro celá státní území, tj. i pro naši ČSJNS, ale používáme ji při všech stavebních pracích a jejich realizaci. [29]

S nivelací se setkáváme všude tam, kde je třeba zajistit přesnou horizontální polohu, jako je tomu např. při uložení strojních zařízení (v cementárnách, válcovnách, při usazení turbín apod.). Nivelací zjišťujeme sedání budov, přehrad a jiných význačných objektů.

Touto metodou se zjišťují i pohyby kůry zemské např. u nás na jižním Slovensku mezi Bratislavou a Komárnem i jinde.

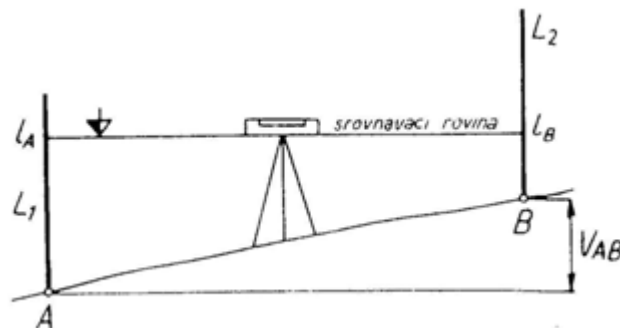
Princip nivelace nám objasňuje Obr. 2 a je založen na tom, že od vytyčené vodorovné přímky určujeme svislé vzdálenosti l_A, l_B pro body A, B , jejichž převýšení chceme určit a jehož hodnota podle obrázku je:

$$\Delta V = V_{AB} = l_A - l_B$$

Při známé výšce bodu A , ať již absolutní nebo relativní, je hledaná výška bodu B

$$V_B = V_A + \Delta V = V_A + l_A - l_B$$

Obr. 5: Určení převýšení nivelací



Zpravidla však při určování výškového rozdílu mezi dvěma body nevystačíme s jedním stanoviskem přístroje, poněvadž jsme při měření omezení jednak tím, že ze stanoviska přístroje nemusí být vidět obě nivelační latě postavené na bodech A , B , a dále tím, že délka záměry nesmí překročit určitou prakticky přípustnou mez. [29]

Jinou překážkou může být omezená délka latě a velký sklon terénu. Proto při větších vzdálenostech a výškových rozdílech bodů představujeme nivelační přístroj a latě několikrát. Celkový výškový rozdíl se pak vypočte jako součet výškových rozdílů vyšetřených na každém stanovisku:

$$V_{AB} = z_A - p_1 + z_1 - p_2 + z_2 - p_3 + z_3 - p_B = \sum_z - \sum_p$$

Výška bodu B se pak rovná:

$$V_B = V_A + V_{AB}$$

Úsek z je určený na lati vzadu a p je úsek na lati postavené vpředu. Mezilehlé body nazýváme představovými body, seskupení latí a přístroje na jednom stanovisku nivelační sestavou a soubor sestav mezi výchozím a konečným bodem, pro něž určíme výškový rozdíl pak nivelačním oddílem.

Větší počet oddílů za sebou následujících a spojujících důležité nivelační body tvoří nivelační pořady. Nivelační pořady se mohou rozdělit na nivelační úseky např. na úseky stejného směru, stejnoměrného spádu, na části pořadu omezené dvěma význačnými body apod. Jeden nebo několik nivelačních pořadů tvořících uzavřený obrazec tvoří nivelační polygon. [29]

Dnes rozlišujeme nivelaci podle přesnosti a známe nivelaci velmi přesnou (mezinárodní, vysoké přesnosti), dále nivelaci přesnou, technickou a konečně hrubou (přibližnou). Dále lze rozdělit nivelaci podle použitých přístrojů a použitých postupů.

Ačkoliv nivelace je v podstatě jednoduchý měřický výkon, je celá řada překážek, které ohrožují přesnost jejich výsledků. V první řadě je to křivost zemského povrchu, která je příčinou chyb v odečtení na lati, protože přímka záměrná neprobíhá plochou

skutečného horizontu, nýbrž vodorovně tzv. horizontem zdánlivým. Laťové úseky jsou pak o něco větší, než by měly být. [29]

Dále pozměňujeme výsledky nivelačních prací nerovnoběžnost hladinových ploch Země a jejich vzdálenost se může kromě toho měnit vlivem anomálií tíže.

Nepříznivě na přesnost měření působí také atmosférické vlivy tj. teplo, mráz, vlhko, tlak, vítr, a to jak na vlastní měření, tak na použité přístroje i na stabilitu nivelačních bodů. Vlivem tepla a vlhka se mění i délka metru na nivelační lati. Ohříváním součástí nivelačního přístroje slunečními paprsky se porušuje základní podmínka tj. rovnoběžnost osy libely a záměrné dalekohledu.

Společným vlivem všech atmosférických činitelů vzniká refrakce a vlnění vzduchu. Refrakce vzniká při průchodu světelných paprsků různě hustými vzduchovými vrstvami; vlnění vzduchu pak znemožňuje přesné odčítání na nivelační lati. A to jsme vyjmenovali jen nejběžnější překážky mající negativní vliv na přesnost výsledků měření, aniž jsme uvažovali, že stabilita nivelačních značek může být porušena pohyby zemského povrchu horotvorné povahy, nebo i činností lidí, např. v poddolovaných oblastech.

Proti vyjmenovaným vlivům těchto činitelů se bráníme vhodnou ochranou měřických pomůcek, vhodně uspořádanými nivelačními postupy, opravami naměřených převýšení a vhodnou volbou míst pro nivelační značky i materiálem, z něhož značky zhotovujeme. [29]

3.2.1 Geometrická nivelace ze středu

Při této metodě se stavíme s nivelačním přístrojem mezi oba body, jejichž převýšení chceme určit. Mohou nám nastat dva případy:

a) body *A*, *B* jsou blízké, takže stačí pouze jedno postavení přístroje čili jedna nivelační sestava,

b) body *A*, *B* jsou vzdálené, resp. Jejich převýšení je velké, takže je zapotřebí více nivelačních sestav. To je náš případ.

Při tomto způsobu měření se vliv refrakce a zakřivení povrchu zemského projevuje v minimální, prakticky se vylučuje tím, že záměry vzad a vpřed děláme stejně dlouhé. Stejně dlouhými záměry se vyloučí i chyba z nedokonalé rektifikace nivelačního přístroje s pevným dalekohledem.

Proto geometrická nivelace ze středu je nejužívanější a také nej přesnější způsob měření výšek a používá se jak u VPN, PN i *technické nivelace*.

Při geometrické nivelaci ze středu (blízkých bodů), se stavíme s nivelačním přístrojem doprostřed mezi body, jejichž výškový rozdíl máme určit. Po urovnání přístroje zacílíme nejdříve na lať postavenou na bodě A a po případném dorovnání libely elevačním šroubem u nivelačních přístrojů libelových přečteme podle střední nivelační rysky záměrného kříže na nivelační lati čtení vzad z . [29]

Poté zacílíme dalekohledem na bod B a stejným způsobem provedeme čtení na lati na bodě B tzv. čtení vpřed p . Výškový rozdíl mezi body A a B určíme pak jako rozdíl čtení vzad a čtení vpřed., tj.:

$$\Delta V_{AB} = z - p$$

a nadmořskou výšku bodu B vypočteme ze vztahu:

$$V_B = V_A + (z - p)$$

Výška horizontu přístroje se určí takto:

$$V_h = V_A + z$$

Výšku bodu B můžeme pak určit:

$$V_B = V_h - p$$

Jsou-li body A a B od sebe vzdáleny, resp. převýšení je tak velké, že zaměření nelze provést na jednu sestavu, provádíme měření na více sestav. Nivelační lať postavíme svisle na bod A . Přístroj umístíme od latě do vzdálenosti max. 70 m na stanovisko S_1 . Do téže vzdálenosti ve směru na bod B zatlačíme do země nivelační podložku (do přestavového bodu P_1). Při záměře na bod A obdržíme čtení z_1 , na bod P_1 čtení p_1 .

Přeneseme přístroj za bod P_1 na stanovisko S_2 a na bodu P_1 zpět čteme z_2 a na dalším přestavovém bodě P_2 ve směru na bod B pak čteme p_2 . Tento způsob měření opakujeme, až se dostaneme do bodu B . [29]

Výšku bodu B určíme pak podle vzorce:

$$V_B = V_A + (z_1 - p_1) + (z_2 - p_2) + \dots$$

který můžeme přepsat do tvaru: $V_B = V_A + \sum z - \sum p$.

Způsob zápisu naměřených nivelačních údajů při geometrické nivelaci ze středu je patrný z nivelačních zápisníků v příloze I.

Abychom dosáhli dobrých výsledků, je nutno zachovávat zásady dané „Nivelační instrukcí“ vydanou ČÚGK, která předpisuje pracovní postup a stanovuje kritéria pro jednotlivé druhy nivelačních měření.

Při PN, která slouží pro určení výšek bodů sítí oblastních i místních, nesmí střední kilometrová chyba překročit hodnotu $\pm 2,5$ mm, při TN pak $\pm 7,5$ mm/1 km, dvakrát nivelované trati. Při výškovém měření pro územní plánování, v pozemním stavitelství a pro běžné technické práce přichází v úvahu nejvíce technická nivelace (TN), připojená zpravidla na pevné výškové body z ČSJNS různých řádů, které jsou poblíž měřené lokality. [29]

3.2.2 Rozbor přesnosti

Abychom dosáhli předepsanou přesnost při měření stanovenou pro TN, je nutno dodržovat určité zásady. Nivelační přístroj, pokud je použito přístroje s nivelační libelou, chráníme před slunečními paprsky měřickým slunečníkem. Přístroj stavíme do středu nivelační sestavy, abychom vyloučili nesplněné podmínky $L \parallel Z$. Přístroj vždy před měřením pečlivě horizontujeme a před čtením dorovnááme nivelační libelu elevačním šroubem. Nivelační lať – komparovanou – pokud možno z jednoho kusu, stavíme svisle podle krabicové libely, přičemž vzdálenost mezi přístrojem a nivelační lať nesmí u TN přesáhnout 70 m (obvykle do 50 m), aby se vyloučil vliv zakřivení Země a bylo zajištěno dobré čtení laťového úseku. Nivelační měření má být prováděno v ranních a večerních hodinách za dobré viditelnosti a ne za poledne, kdy se vzduch chvěje a čtení je nepřesné. Výška záměry nemá jít těsně nad zemí, nad obilím, blízko stěny, aby vliv refrakce byl minimální. Stejně tak nemá být zaměřováno na konec

nivelační latě nejen proto, že se konec latě více kývá, ale projevují se zde chyby způsobené roztažností latě vlivem teploty a z její nesvislosti.

Převýšení mezi největší a nejmenší výškou profilu na povodí Mlýnského potoka činí po zaokrouhlení 26 metrů. Pro zaměření technickou nivelací byl použit digitální nivelační přístroj DiNi 22, jehož standardní odchylka při měření činí 1,3 mm na 1 km. Délka profilu dosahuje délky 466 m a přesnost dostačující pro naše měření byla zvolena na 2 až 3 cm, v důsledku toho že se pohybujeme na pastvině, která je sešlapávána pasoucím se dobytkem, přejížděna mechanizací a zemědělsky upravována podle potřeb zemědělců, kteří na ní hospodaří např. zpodmítána, zorána a následně opět zasetá atd. Za použití digitálního nivelačního přístroje s výše uvedenou přesností lze říci, že chyby vzniklé při měření můžeme vyloučit, protože by byly tak malé, že by do námi požadované přesnosti neměly vliv.

Obr. 6: ukázka kódové nivelační latě a digitálního nivelačního přístroje DiNi 22 použitých při měření profilu. [35]



3.2.3 Přehled chyb vznikajících při nivelaci

Při nivelaci je nutno vyvarovat se především chyb hrubých (např. zmýlení se ve směru číslování stupnice, neurovnání bubliny nivelační libely před odečtením).

Kromě toho se musíme postarat též o to, aby dalekohled i okulár byly vždy správně zaostřeny (bez paralaxy), a přístroj byl dobře zrektifikován. Tím odstraníme některé chyby. Nelze se však vyhnout dalším chybám, jež vznikají jednak ne zcela přesným dodržením teoretických předpokladů o úpravě přístroje a latě, jednak vlivem různých okolností vnějších, jejichž příčiny mohou mít svůj původ v osobě pozorovatele, v jeho nedokonalých smyslech, zaviňujících nepřesnosti a chyby, jež označujeme jako chyby náhodilé.

K nevyhnutelným chybám patří např.:

- a) chyba z refrakce paprsků záměny horizontů
- b) chyba z nepřesné rektifikace nivelační libely (sklonu záměry)
- c) chyba z nakloněné latě
- d) chyba z nesprávné délky laťového metru
- e) chyba ve čtení na lati (z odečítání laťové stupnice)
- f) chyba z nepřesného urovnání nivelační libely
- g) paralaxa záměrného kříže, chvění vzduchu

Chyby uvedené pod body a – d jsou chyby systematické, které můžeme určit a z výsledků měření vyloučit. Chyby náhodné (bod e – g) a jejich vliv se projevuje i při geometrické nivelaci ze středu, a to při každém čtení (vzad i vpřed). [29]

3.3 Trigonometrické měření výšek

S trigonometrickým měřením výšek se setkáváme všude tam, kde nám jde o zjištění převýšení dvou bodů od sebe značně vzdálených a použití nivelace z hlediska požadované (menší) přesnosti by bylo neekonomické, nebo kdy máme určit poměrně přesně výšku určitého předmětu (komínu, věže, budovy) a přímé měření výšky pásmem není možné z technických důvodů.

Je založeno na poznacích z trigonometrie, protože ve většině případů se jedná o řešení pravoúhlého nebo obecného trojúhelníka, v němž buď známe, nebo si můžeme změřit potřebné prvky.

Výškový rozdíl h bodů A a B, jejichž vodorovná vzdálenost je s , a úhel mezi spojnicí AB a vodorovným směrem je ε , vypočítáme z pravoúhlého trojúhelníka.

$$h = s \cdot \operatorname{tg} \varepsilon \text{ nebo } h = s \cdot \operatorname{tg} z$$

Úhel z (zenitový úhel) je úhel mezi směrem svislým a směrem na určovaný bod, který čteme na vertikálním kruhu přístrojů, určených k měření zenitových vzdáleností (indexy v základní poloze dalekohledu jsou proti sobě 100° a 30° nebo 90° a 270°).

Budeme-li předpokládat, že vzdálenost s je změřena nebo vypočtena bez chyby, záleží pouze na tom s jakou přesností změříme výškový úhel; míru přesnosti určíme ve vztahu mezi chybou výškového rozdílu a chybou ve výškovém úhlu. Diferencováním rovnice $h = s \cdot \operatorname{tg} \varepsilon$ podle proměnných obdržíme:

$$dh = \frac{s}{\cos^2 \varepsilon} d\varepsilon$$

Přejdeme-li ke středním chybám, můžeme napsat:

$$m_h = \frac{s}{\cos^2 \varepsilon} m_\varepsilon$$

Uvážíme-li, že při určování výškových rozdílů na velké vzdálenosti bude úhel ε malý, bude $\cos \varepsilon \cong 1$, lze potom předcházející vzorec přepsat do tvaru: $\cos \varepsilon \cong sm_\varepsilon$

A z toho:

$$m_{\varepsilon}'' \approx \frac{mh}{s} \rho''$$

Jestliže tedy požadujeme, aby střední chyba v určení převýšení nepřekročila hodnotu např. $m_h = \pm 5$, při vzdálenosti 300 m, pak střední chyba ve změření úhlu ε nesmí být větší než

$$m_{\varepsilon}'' = \frac{\pm 5 \text{ cm}}{30\,000 \text{ cm}} 206\,265'' = \pm 34,4''$$

Z rovnice je patrné, že m_{ε}'' klesá se vzrůstající vzdáleností např. při $s = 1000$ m bude $m_{\varepsilon}'' = \pm 10,3''$. To znamená, že čím bude větší vzdálenost, tím p řečněji se musí změřit výškový úhel. Na přesnost určení převýšení při vzdálenosti $s > 300$ m má ještě vliv zakřivení zemského povrchu a refrakce. Jejich vliv se odstraňuje zavedením oprav do výpočtu. Společná hodnota obou oprav se počítá podle vzorce:

$$O = \frac{1 - k}{2r} s^2$$

Kde k je refrakční součinitel = 0,13, r je poloměr Země, $r = 6\,371$ km a s je vodorovná vzdálenost dvou bodů. [29]

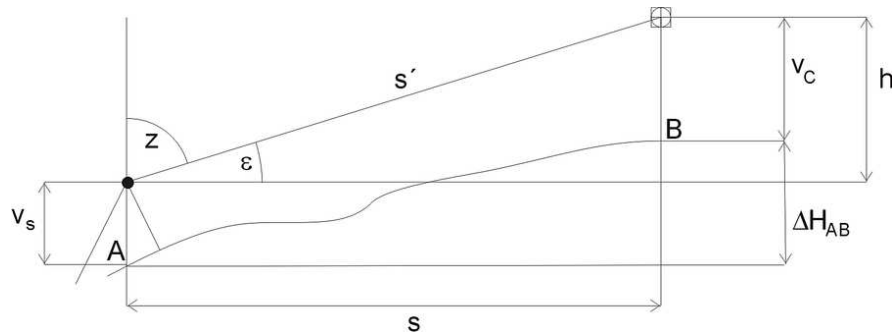
3.3.1 Trigonometrické měření výšek blízkých bodů

V našem případě máme za úkol určit převýšení šestnácti bodů od zhušťovacího bodu číslo 215. Teodolit postavíme na ZhB 215 pro zaměření výškového úhlu ε a na další body postupně stavíme signál, na něž měříme ze zhušťovacího bodu. Dále musíme znát vzdálenost s jednotlivých bodů od ZhB 215, kterou určíme přímým měřením, výšku teodolitu v_p nad ZhB a výšku signálu p nad jednotlivými body (při našem měření byla zvolena stejná výška přístroje i signálu). Z obrázku je patrné:

$$h = s \cdot \text{tg } \varepsilon$$

$$\Delta V_{AB} = V_B - V_A = h - p + v_p \text{ pro naše měření pouze } \Delta V_{AB} = h$$

Obr. 7: Trigonometrické určení výšky bodu



Pozn. $v_p = v_s$ (výška přístroje = výška stanoviska)

Jelikož známe nadmořskou výšku bodu A (ZhB 215), můžeme snadno určit i výšku jednotlivých bodů.

$V_B = V_A + v_p + h - p$, nám se $v_p = p$, pak vzorec pro výpočet výšky bodu B bude upraven takto: $V_B = V_A + h$

3.3.2 Trigonometrické měření výšek vzdálených bodů

Při určování převýšení dvou bodů, jejichž vzdálenost je větší než 300 m ($s \gtrsim 300m$), je nutno počítat s vlivem zakřivení povrchu zemského a s refrakcí. Vliv zakřivení Země na určování výšek. Rozdíl mezi skutečným a zdánlivým horizontem, který musíme připočítat k vypočítanému výškovému rozdílu, počítáme ze vzorce:

$$c_1 = q = \frac{s^2}{2r}$$

kde s je vodorovná vzdálenost mezi určovanými body a r je poloměr Země, kterou uvažujeme jako kouli o poloměru $r = 6\,371$ km.

Vlivem refrakce, zaměřujeme z bodu A místo do bodu B do bodu B', z toho důvodu, že při průchodu paprsku různě hustými vrstvami vzduchu nad zemí nastává ohyb paprsku. Paprsek při přechodu vrstvami vzduchu (hustšího při zemi) se postupně

láme ke kolmici a má tvar plochého oblouku se středem v bodu C . Úhel, o který se odchýlí paprsek z bodu A do bodu B tím, že směřuje do B' , nazýváme refrakční úhel a označujeme jej ρ . Při určení jeho velikosti předpokládejme, že $s = AB = AB_0$, protože úhel ρ je velmi malý.

Délku oblouku můžeme vyjádřit dvojím způsobem:

a) Z poloměru Země: $s = r\varphi$

Nebo z refrakčního oblouku: $s = r' \cdot 2\rho$

Z uvedených rovnic lze vypočítat porovnáním: $\rho = \frac{r}{r'} \cdot \frac{\varphi}{2} = k \frac{\varphi}{2}$

Hodnota $\frac{r}{r'}$ je tzv. refrakční koeficient. Když dosadíme za φ hodnotu $\frac{s}{r}$ obdržíme vzorec pro hodnotu refrakčního úhlu: $\rho = k \cdot \frac{s}{2r}$

Refrakční koeficient není stálý. Jeho velikost je závislá na řadě činitelů (nadmořské výšky, krytu zemského povrchu, zeměpisné šířky atd.), a mění se i během dne vlivem barometrického tlaku, teploty aj. Na území naší republiky má hodnotu od 0,80 do 0,18 a pro výpočty uvažujeme střední hodnotu 0,13: V míře úhlové má hodnotu:

$$\rho^{cc} = 0,13 \frac{s [km]}{2.6371 [km]} \cdot 636\,620$$

$$\rho^{cc} = 6,5^{cc} \cdot s [km]$$

Chybu z refrakce c_2 určíme podle vzorce:

$$c_2 = BB' = s\rho = k \frac{s^2}{2r}$$

Protože úhel ρ jest velmi malý.

Pro správnou hodnotu rozdílu platí: $h = s \operatorname{tg} s + c_1 - c_2$

Dosaďme za c_1 a c_2 : $h = s \cdot \operatorname{tg} s + \frac{s^2}{2r} - k \frac{s^2}{2r} = s \operatorname{tg} s + \frac{1-k}{2r} s^2$

Poslední člen této rovnice představuje celkovou opravu trigonometricky určeného převýšení, vyplývající ze zakřivení Země a z refrakce.

Jestliže dosadíme do vzorce za $k = 0,13$ a $r = 6\,371\text{ km}$, obdržíme pro hodnotu celkové opravy O jednoduchý vzorec vhodný pro další výpočty:

$$O[\text{cm}] = \frac{1-k}{2r} s^2 = \pm 6,8[\text{cm}] \cdot s^2$$

Přičemž vzdálenost s je uvedena v km. [29]

V našem případě je nad 300 m vzdáleno 6 bodů. V následující tabulce je uveden vliv zakřivení Země a refrakce na trigonometricky měřené body. Do vzorce opravy se dosazuje za s vzdálenost v km.

Tab. 4: Celková oprava z vlivu zakřivení Země a refrakce na trigonometricky měřené body

Vzdálenost s [km]	$O[\text{m}] = \frac{1-k}{2r} s^2 = \pm 6,8[\text{cm}] \cdot s^2$
0,46625	0,015
0,43049	0,013
0,40379	0,011
0,37643	0,010
0,34654	0,008
0,31523	0,007

Při trigonometrickém měření výšek se doporučuje měřit výškové úhly ϵ anebo zenitové vzdálenosti ve dvou polohách dalekohledu, abychom vyloučili vliv

systematických chyb, zvláště pak chybu indexovou. Pro zvýšení přesnosti měření provádíme měření vícekrát nezávisle na sobě a pro výpočet uijeme aritmetický průměr.

Při rostoucí vzdálenosti s vzrůstá rychle hodnota oprav a při nejistotě refrakčního koeficientu není při vzdálenostech větších než 3 km jistota v určení oprav.

Obr. 8: ukázka použitého přístroje při měření - totální stanice Leica TC 407. [36]



Technické informace:

dalekohled – zvětšení 30 x,

měření délek: dosah – 3 500 m

přesnost měření $\pm(2 \text{ mm} + 2\text{ppm } \textit{D})\text{m.s.e.}$

doba měření: 1. Sec

přesnost měření úhlů: 7''

kompenzátor: dvojosý

displej: oboustranný

hmotnost přístroje: 4,2 kg

3.3.3 Rozbor přesnosti trigonometrického měření výšek

Chyba Δh , kterou můžeme očekávat ve vypočteném výškovém rozdílu h , bude způsobena jednak chybou $\Delta \varepsilon$ v měřeném úhlu, jednak nejistotou Δk v refrakčním součiniteli. Vzdálenost s , považujeme za správnou, a proto $\Delta s = 0$. Vztah mezi chybami dostaneme diferencováním rovnice

$$h = s \cdot \text{tg } \varepsilon + \frac{1 - k}{2r} \cdot s^2$$

a prisoudíme-li diferenciálům dh , $d\varepsilon$, dk význam chyb Δh , $\Delta \varepsilon$, Δk , můžeme psát:

$$dh = \frac{s}{\cos^2 \varepsilon} d\varepsilon - \frac{s^2}{2r} dk$$

a jestliže diferenciálům přisoudíme význam příslušných středních chyb, bude:

$$m_h = \frac{s}{\cos^2 \varepsilon} m_\varepsilon - \frac{s^2}{2r} m_k$$

a protože úhel ε je obvykle úhel malý, lze položit $\cos^2 \varepsilon \cong 1$ a rovnice přijde do tvaru:

$$m_h = sm_\varepsilon - \frac{s^2}{2r} m_k$$

Jestliže výškové úhly, resp. zenitové vzdálenosti měříme na obou bodech, je

$k = konst.$ a $m_k = 0$, můžeme střední chybu trigonometricky určeného rozdílu vyjádřit jednoduchým vzorcem:

$$m_h = \pm sm_\varepsilon$$

což odpovídá vzorci:

$$m_{\Delta V} \cong sm_\varepsilon$$

Souvislost mezi vahou p a délkou záměry s odvodíme ze základního vztahu pro váhu, podle něhož platí:

$$p = \frac{1}{m_h^2} = \frac{1}{s^2}$$

čili váhy ubývá se čtvercem vzdálenosti. V praxi se zavádí za $p = \frac{1}{s}$. [29]

Tab. 5: Rozbor přesnosti měření vzdálených bodů přístrojem Leica 407

Vzdálenost s [km]	Přesnost přístroje	Váha $p = \frac{1}{s}$	Střední chyba měření stroje [m]
0,46625	7''	0.000021	0,016
0,43049	7''	0.000023	0,015
0,40379	7''	0.000025	0,014
0,37643	7''	0.000027	0,013
0,34654	7''	0.000029	0,012
0,31523	7''	0.000032	0,011

Střední chyba měření stroje v měření úhlů udaná výrobcem je 7'' v převodu na grady je to 0,0022. Předpokladem je, že udaná přesnost měření úhlů je dosahována i při měření samotném (cílem této diplomové práce není testovat přesnost přístroje udanou výrobcem a dosahovanou při měření). Délka profilu dosahuje délky 466 m a přesnost dostačující pro naše měření byla zvolena na 2 až 3 cm (viz str. 44). Chybu měření stroje vypočteme ze známé vodorovné vzdálenosti bodu a úhlové přesnosti stroje podle vzorce:

$$tg 0.0022 \times \text{vzdálenost bodu od Zh.B} = \text{chyba měření stroje}$$

$$0.0022 \text{ g} = 7''$$

Výpočet jsem provedla pouze pro body vzdálené (tzn. dále než 300 m). Pokud budeme spoléhat na přesnost měření stroje, kterou udává výrobce, pak je daný přístroj pro naše měření dostačující. U nejvzdálenějšího bodu dělá střední chyba určeného převýšení 0,016 m, což je méně než je požadavek na přesnost určení převýšení. O hodnoty zakřivení Země a refrakce je totiž možno převýšení opravit.

3.4 Základní principy GPS

Obecně by se pojmem GPS (Global Positioning System, globální polohový systém) dal označovat každá technologie nebo systém pro družicovou navigaci. Dnes se GPS skládá hlavně ze tří samostatných systémů: NAVSTAR (USA), GLONASS (Rusko) a GALILEO (EU). NAVSTAR je jen formální název, který byl použit při schvalování celého projektu. Provozovatelem tohoto systému je Ministerstvo obrany USA.

Vývoj systému GPS byl zahájen na začátku 70. let americkým vojenským letectvem. Systém byl nejprve vyvíjen pro navigaci rychle se pohybujících objektů (letadel, řízených střel, kosmických objektů atd.). Od roku 1993 je plnění funkční a vedle navigačního využití poskytuje velké množství geodetických aplikací využitelných pro vojenské i civilní potřeby.

GPS je družicový pasivní radiový systém sloužící k určení polohy, rychlosti a času v reálném čase na kterémkoli místě na Zemi (Rapant 2001). Pro určování polohy uživatele využívá pasivní dálkoměrnou metodu. Vzdálenosti uživatele od jednotlivých družic jsou určovány pomocí doby potřebné k absolvování této dráhy radiovým signálem vysílaným družicemi. K určení rychlosti pohybu uživatele se využívá Dopplerova jevu. [16]

3.4.1 Jednofrekvenční GPS přijímače

Jednofrekvenční GPS přijímače přijímají signál pouze na jedné frekvenci. Jedná se o statickou metodu, která spočívá v kontinuální observaci několika aparatur po dobu několika hodin až dnů. [16]

3.4.2 Dvoufrekvenční GPS přijímače

Dvoufrekvenční přijímače se používají pro podrobná geodetická měření, nejvíce pro zaměřování rozsáhlých liniových staveb, vytyčování velkého množství bodů a sledování deformací objektů.

Dvoufrekvenční přijímače poskytují základní přesnost 5 mm a přesnost kinematických metod 1 cm dle [16]. Ke standardnímu vybavení patří funkce RTK (input a output) i vybavení firmawareovou inicializací OTF. Doba inicializace je maximálně 30 sekund. Jsou odolné vůči efektům vícecestného šíření signálu a vyhovují spolehlivosti inicializace (výsledků) přes 99,9 %. Používá se univerzální anténa jak pro kinematická měření, tak i pro velmi přesná statická měření. Součástí je většinou i kvalitní datacollector do extrémních podmínek. Uvedené údaje jsou platné pro přístroj uvedený v [16].

3.4.3 Podmínky pro geodetická měření GPS technologií

V závislosti na účelu a požadované přesnosti sítě a použitým přístroji lze použít následující metody:

- 1... statická (mP = 3 - 5 mm)
- 2... rychlá statická (mP = 5 - 10 mm + 1 ppm)
- 3... stop and go (mP = 10 - 20 mm + 1 ppm)
- 4... kinematická (mP = 20 - 30 mm + 3 ppm)
- 5... RTK - real time kinematic (mP = 30 - 50 mm)

Vzhledem k tomu, že při těchto měřeních očekáváme výsledky v řádech centimetrových (viz výše) je nutné splnit několik základních podmínek:

- a.. dostatečně velká viditelná část oblohy
- b.. nepřítomnost předmětů způsobujících multipath (vícecestné šíření signálu)

Pro metody statické a rychlé statické, které dávají ve výsledku nejpřesnější výsledky je nutné měření plánovat. Hlavní pozornost je nutné věnovat volbě metody a délce observace (měření). Doba observace se volí dle:

- a.. rozmístění družic během měření
- b.. počtu viditelných družic během měření
- c.. stavu ionosféry
- d.. délky doby provozování základny
- e.. překážek v okolí určených bodů

Minimální počet družic, které je nutné pozorovat, se volí dle použité metody. Minimum pro určení polohy i výšky je viditelnost 4 družic. Veškeré plánování se provádí na počítači pomocí software. Např. modul Vis-A-Vis výpočetního systému GeoGenius od firmy Spectra Precision vypočítá po zadání data měření, přibližných souřadnic a výšky stanoviště a úhlu elevační masky údaje o dosažitelnosti družic systémů NAVSTAR GPS a GLONASS (podle aktuálního almanachu). V software je možné interaktivně modelovat případné překážky v měření. Plánovací data se zobrazují v grafické podobě. Je možné též zobrazit grafy, např. faktorů omezujících přesnost DOP (Dilution of Precision) a jejich modifikace (PDOP, GDOP, atd.). Plánování se nejvíce využívá při statické metodě. Z grafů se snadno stanoví nevhodná období pro pozorování na daném stanovišti a určí se optimální čas pozorování. Pro snížení vlivu ionosférické refrakce by bylo nejlepší měřit v noci, ale z praktického hlediska se měří ve dne.

Před měřením se při použití statické metody provádí vždy rekognoskace bodů. Zjišťuje se přístup k bodům, vhodnost polohy bodu vzhledem k okolním překážkám. Je také nutné posoudit, zda v okolí bodu nemůže nastat multipath (vícecestné šíření signálu) a případně částečně eliminovat tento efekt použitím krycího talíře antény. [16]

3.4.4 Geodetické metody měření GPS technologií

3.4.4.1 *Statická metoda*

Statická metoda spočívá v kontinuální observaci několika aparatur po dobu několika hodin až dnů. Jde o metodu časově nejnáročnější, ovšem poskytující nejpřesnější výsledky. Používá se pro speciální práce s maximální požadovanou přesností (budování polohových základů, regionální geodynamika, sledování posunů a přetvoření). Při opakovaných měřeních v dostatečně vzdálených časových intervalech je možné sledovat tektonické pohyby bodů. Při delších základnách vykazuje statická metoda mnohem vyšší přesnost než metody klasické geodézie. V případě proměrování velmi dlouhých základů (kontinentální měření) je nutné modelovat při výpočtu celou řadu faktorů, které se na krátkých základnách neprojevují.

3.4.4.2 *Rychlá statická metoda (pseudostatická metoda)*

Doba observace při této metodě dosahuje několika minut, což je umožněno technologií rychlého určování ambiguit. Metoda vyžaduje dvoufrekvenční přijímač s P kódem a výhodnou konfiguraci družic (5 až 6 družic s elevací vyšší než 15°). Velké omezení pro tuto metodu představuje úmyslné rušení kódu - selective availability, nebo nahrazení P kódu jeho šifrovanou verzí Y kódem. Metoda se realizuje dvojicí přijímačů a měření lze uskutečnit v okruhu 15 kilometrů od zvoleného referenčního bodu. Použití je pro zhušťování základních i podrobných bodových polí a budování prostorových sítí nižší přesnosti.

3.4.4.3 Metoda stop and go (polokinematická metoda)

Je obdobná rychlé statické metodě, přijímač však nepřestává měřit ani při přesunu mezi jednotlivými podrobnými body. Pouze na prvním bodě je nutné setrvat tak dlouho, dokud není možné spolehlivě vyřešit ambiguitu. Pro určení ambiguit se využívá měření v kinematickém režimu na koncových bodech známé výchozí základny, na které jsou známé souřadnicové rozdíly s přesností 5 cm, nebo se využívá výměny antén mezi dvěma blízkými přijímači (5 až 10 metrů). Přijímač, který se pohybuje, musí být nastaven v kinematickém režimu, přijímač na referenční stanici může pracovat jak v

kinematickém tak ve statickém režimu. Na měřených bodech je možno měření zkrátit na několik sekund za předpokladu, že během přesunu nedošlo ke ztrátě signálu (pak metoda přechází v rychlou statickou metodu). Metoda stop and go se využívá pro určování souřadnic podrobných bodů.

3.4.4.4 Kinematická metoda

Metoda rozlišuje dvě technologie měření. Kinematická metoda s inicializací je podobná metodě stop and go s tím rozdílem, že po počáteční inicializaci (vyřešení ambiguity) provádí pohybující se přijímač měření v krátkém časovém kroku. Nutnost opakování inicializace po ztrátě signálu během měření se pokouší odstranit kinematická metoda bez inicializace. Tato metoda vychází z předpokladu, že ambiguity je možno určit na základě přesných kódových měření i při pohybu přijímače (on-the-fly ambiguity resolution).

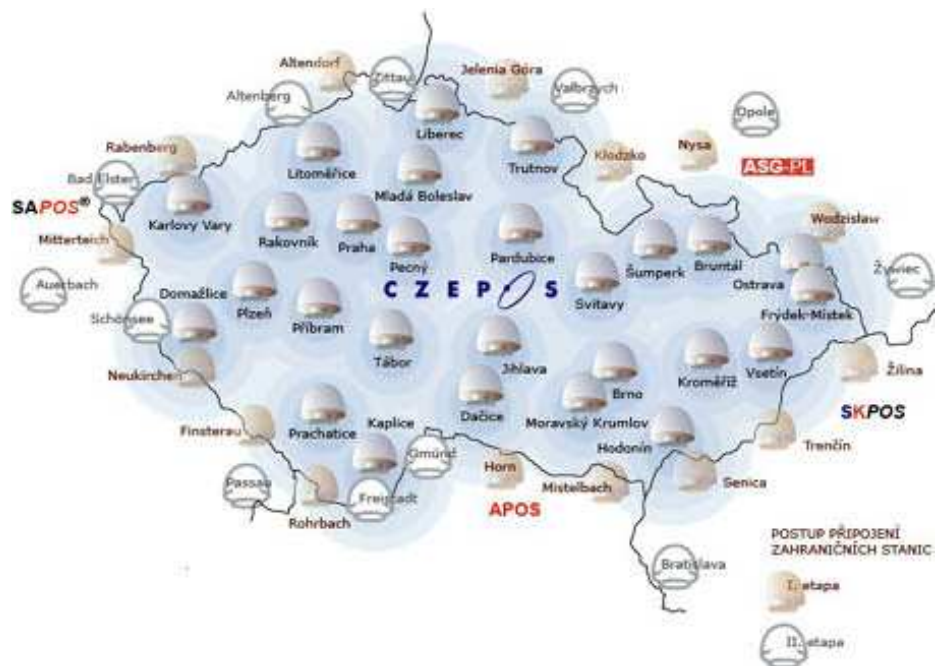
3.4.4.5 RTK - real time kinematic

Kinematická metoda v reálném čase je nejnovější metodou měření. Využívá rádiového přenosu korekcí fázových měření od referenčního k pohybujícímu se přijímači. Metoda nachází uplatnění při určování souřadnic bodů podrobných bodových polí a podrobných bodů, především však při vytyčování. [16]

Obecně je vhodná metoda dvoufrekvenční RTK, nejlépe měření se dvěma aparaturami, přičemž jedna je na známém bodě a druhá na určovaném, neboť použití sítě CZEPOS by nemuselo být spolehlivé v okrajových částech republiky (naš případ). Měření RTK (real time kinematic) určuje korekce na známém bodě a posílá je druhému přístroji a tak stačí proto měřit pro cm přesnost jen vteřinu. Ostatní metody GPS (statická, stop and go) nejsou vhodné, neboť sice určují polohu s vyšší přesností, ale měření každého bodu trvá dlouho. S využitím CZEPOS czepos.cuzk.cz se data korekcí stahují z internetu a tím stačí pro měření vysoké přesnosti jen jeden přístroj.

CZEPOS je síť pevných GPS referenčních stanic, jejíž budování v ČR organizuje a financuje Zeměměřický úřad.

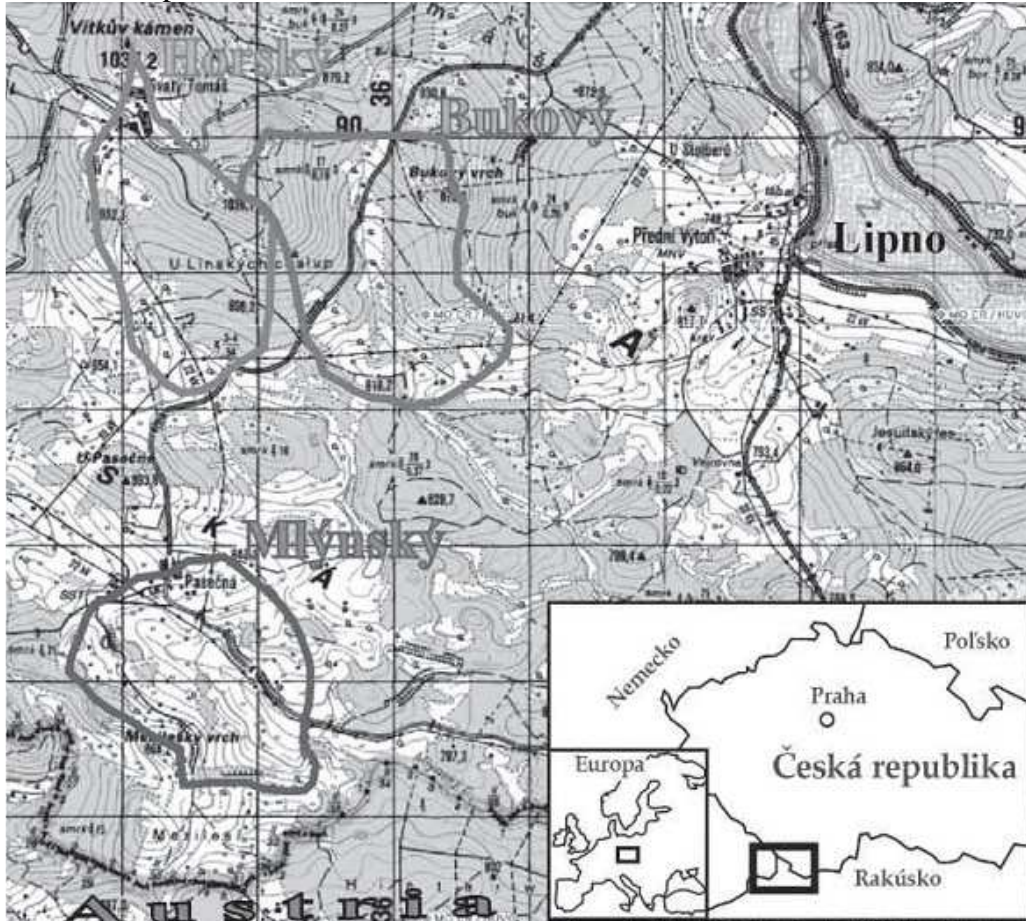
Obr. 9: přehled pevných GPS referenčních stanic na území ČR. [37]



4 Rekognoskace zvolené lokality a návrh metodického postupu měřických prací

4.1 Zájmová oblast

Obr. 10: Mapka sledovaného území [34]



Členové laboratoře aplikované ekologie Jihočeské univerzity se zabývají studiem třech povodí v oblasti lipenského pravobřeží na Šumavě, monitorují povodí Mlýnského, Horského a Bukového potoka v příhraniční oblasti. Jimi zjištěné výsledky jsem použila pro porovnání Mlýnského potoka s Horským a Bukovým. Zájmové území je díky svému vývoji za posledních více než 50 let zcela unikátní. [34] Sledovaná povodí se nacházejí v oblasti Svatotomášské hornatiny a náleží k povodí Dunaje, mají srovnatelnou plochu, nadmořskou výšku i prostorovou orientaci. Využití a způsoby hospodaření se však v jednotlivých povodích významně liší (viz Tab. 6, str. 65).

Lipenské pravobřeží bylo osídlováno od 13. století. Vytvořila se postupně sídelní struktura založená na extenzivním využívání celého území. Poválečný odsun obyvatel německé národnosti, vybudování „železné opony“ a přehradní nádrže Lipno oddělující tuto oblast od vnitrozemí byly příčinou zániku většiny sídel. Výrazně tak poklesla hustota obyvatelstva z původních 40 na 2.3 obyvatele na km². Po dobu půl století zde probíhal specifický způsob hospodaření daný režimem hraničního pásma a odlišný od okolního území. Na většině dříve zemědělsky obhospodařovaných ploch povodí Horského a Bukového potoka došlo k postupnému zalesnění převážně smrkem, v povodí Horského potoka byla navíc podstatná část území ponechána přirozené sukcesi. Pouze povodí Mlýnského potoka si dochovalo charakter zemědělsky využívaného území. Převažující pastevní hospodaření bylo provázeno systematickým odvodněním většiny bezlesých ploch. [32]

4.1.1 Charakteristika sledovaných povodí

Nyní uvedu krátkou charakteristiku všech tří povodí a dále se budu zabývat zejména povodím Mlýnského potoka a jeho srovnáním s povodími Horského a Bukového potoka, na kterém jsem prováděla geodetická měření.

– *Povodí Mlýnského potoka* bylo v minulosti systematicky odvodňováno, potok napřímen, vydlážděn a zahloben. Povodí pokrývají z 91 % jednosečné louky a polointenzivní pastviny. Na podzim 1998 se uskutečnila revitalizace Mlýnského potoka, což umožňuje v rámci výzkumu navíc sledovat a hodnotit změny a výsledný efekt vlastní revitalizace.

– Plochy v *povodí Bukového potoka* pokrývá v současnosti z větší části sekundární les s převahou smrku.

– *Povodí Horského potoka* je více než z poloviny pokryto lesními porosty, zůstaly zde však z minulosti plochy bezlesí extenzivně obhospodařované a navíc zde vznikla plošně významná území přirozené sukcese (mokřady a mezofilní lada).

Všechna 3 povodí jsou srovnatelná rozlohou (ca 200 ha), expozicí, nadmořskou výškou (800 – 1 000 m) a klimatickými podmínkami, liší se jen ve způsobu využití území. Na povodích se od r. 1997 monitoruje stav a struktura vegetačního krytu,

množství a kvalita srážek, sezónní dynamika odtoku vody a množství látek v odtékající vodě. V závislosti na antropogenním ovlivnění krajiny, stavu a struktuře vegetace se zde sleduje disipace sluneční energie prostřednictvím měření meteorologických charakteristik a analýzy dat dálkového průzkumu Země (Procházka et al., 2001a, b). [34]

Tab. 6: Základní charakteristika sledovaných povodí

	Mlýnský potok	Horský potok	Bukový potok
Plocha povodí (ha)	214,7	201,7	264,4
Poměr les:bezlesí	1:10	1:0,36	1:0,05
Nadm. výška (m n. m.)	784-884	826-1026	805-1026
Převažující orientace	JZ, SV	J-JZ, SV-V	JV-V, JZ
Způsob hospodaření na bezlesí	Polointenzivní pastviny, sečené louky (195,6 ha)	Extenzivní sečené a neobhospod. plochy (56,4 ha)	Extenzivní sečené a neobhospod. Plochy (12,8 ha)

[32]

4.1.2 Struktura a stav vegetačního krytu

V povodí Mlýnského potoka v rámci bezlesí převládají druhově bohatší extenzivně obhospodařované pastviny sv. *Cynosurion* a druhově chudé polointenzivně obhospodařované trvalé travní porosty (TTP).

Druhovou skladbu lesů všech tří povodí tvoří podle terénního šetření a lesnických porostních a typologických map převážně smrkové monokultury různého stáří, převládá kategorie 30 – 80 let. Kultury jsou z lesnického hlediska poměrně mladé.

Ve studovaném území se nacházejí vzácné a ohrožené druhy vyšších rostlin, na jejichž výskyt je jednoznačně nejbohatší povodí Horského potoka (31 druhů). Nejmenší počet druhů (10) a i četnost jejich populací je v povodí Mlýnského potoka, které se nejintenzivněji zemědělsky využívá a systematicky odvodňuje. [34]

4.2 Popis lokality Mlýnského potoka

Revitalizovaný Mlýnský potok se nachází na pravém břehu Lipenské přehrady v blízkosti hranic s Rakouskem a je součástí povodí Dunaje. Sledovaná část povodí Mlýnského potoka o rozloze 214,1 ha se rozprostírá v nadmořské výšce 784 - 884 m, převažující svahová orientace povodí je JZ a SV. Pouze 18,5 ha (9%) plochy povodí je porostlé lesem (jedná se převážně o smrkové monokultury), 195,6 ha zaujímá bezlesí (91%). Bezlesí je ze 68% zemědělsky využíváno jako jednosečné louky a polointenzivní pastviny (131,8 ha), 15% bezlesí tvoří nevyužívané zemědělské plochy. Zbývající část povodí pokrývá zástavba, zahrádky, zemědělské objekty a silnice.

Fytogeograficky spadá sledované území do bioregionu 1.62 Šumavský, speciálně západní části fyto geografického podokresu 37. Vyšebrodsko. Vegetační stupeň (podle Skalického) je submontánní (Culek at al. 1996). [31]

Obnova potočního dna Mlýnského potoka se uskutečnila v období mezi 1. srpnem a 17. listopadem 1998. Revitalizace proběhla na úseku dlouhém 1 692 m. Na povodí Mlýnského potoka byla provedena nepřetržitá (souvislá) měření průtoku vody a chemie vypouštěné (discharged) vody a srážek byly provedeny v rámci projektu, který provádí Laboratoř aplikované ekologie. Kromě toho jsou monitorovány: ichtyofauna, obsah živin v půdě, disipace sluneční energie a rozvoj vegetace (Procházka et al., 2001). Před revitalizací bylo koryto (dno a břehy do výšky 0,5 m) 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. Zde se postupně vyvíjela submerzní vegetace (např. *Cardamine amara*, *Glyceria fluitans*). Částečně se zřejmě snižovala funkčnost drenáží, to se projevilo průsaky a zamokřením v okolí toku. Břehy pokrývala především mezofytní vegetace (díky nízké hladině podzemní vody) s roztroušeným náletem dřevin (*Picea abies*, *Betula pendula*, *Sorbus aucuparia*, *Salix* sp. aj.). [33]

4.2.1 Geologické začlenění

Území České Republiky je vytvořeno ze dvou velkých geologických jednotek:

- 1) **hercynské mezevropy** (zvána též *hercinidy* nebo *variscidy*), kam patří *Český masiv*, jenž je součástí pohoří táhnoucích se z Bretaně přes Centrální masiv, Německo a Českou republiku dále do Polska a na Ukrajinu;
- 2) **alpinské neoevropy** (zvána též *alpidy*), kam patří *karpatská soustava* na východě Moravy a Slezska.

Hranicí mezi těmito jednotkami jsou sníženiny táhnoucí se po linii Moravská brána - Hornomoravský úval - Vyškovská brána - Dyjsko-svratecký úval, přičemž ty jsou součástí karpatské soustavy.

Geologicky spadá sledované povodí do *moldanubika*. *Moldanubikum* (*moldanubická kra*) je nejstarší stavební jednotkou Českého masivu a přísluší mu území zaplňující prostor mezi tokem Vltavy a Dunaje; výrazně přesahuje do Horní Falce a do Rakouska k Dunaji. Do *moldanubika* patří Český les, Šumava, Novohradské hory, větší části jihočeské vysočiny a Českomoravské vrchoviny.

Základními horninami *moldanubika* jsou silné metamorfity, a to ***pararuly*** (přeměněné sedimenty), které převažují, a dále ***ortoruly*** (přeměněné vyvřeliny), ***granulity***, ***amfibolity***, ***serpentinity*** aj. V oblasti Královského hvozdu na Šumavě a v Českém lese nalezneme méně metamorfované horniny - ***svory***.

Na území *moldanubika* jsou rozsáhlé oblasti budované *hlubinnými vyvřelinami* granitoidního typu (žulami, granodiority), na námi sledované lokalitě se jedná o *centrální moldanubický pluton* v jižní části *moldanubika*, zasahující lipenskou část Šumavy, Novohradské hory a jih Českomoravské vrchoviny (a dále se táhnoucí k toku Dunaje). Toto těleso, které je mladší než okolní horniny, vzniklo při hercynském (variském) vrásnění a bylo odhaleno denudací. [30]

4.2.2 Množství a kvalita srážkové a odtékající vody

V průběhu sezóny 1997 byly odebrány orientační vzorky, v sezóně 1998 byly prováděny pravidelné měsíční odběry (ve vegetačním období po 14 dnech) a měření průtoků na uzávěře modelového povodí. Současně byl uskutečněn kompletní odběr všech stálých přítoků, 2 krát za sezónu 28 přítoků. Průtok byl změřen vždy na stejném profilu toku na uzávěře povodí metodou stanovení na bázi povrchové rychlosti.

Tab. 7: Sumy látek dopadajících ve srážkových vodách (vstup) a odtékající vodou (výstup) z povodí (equivalent.rok⁻¹) [31]

	<i>povodí Mlýnského potoka</i>	
eq.rok ⁻¹	vstup	výstup
NO₃⁻	4 375,3	14 494,7
NH₄⁺	984,9	29,1
SO₄²⁻	4 991,4	25 650,1
Cl⁻	728,4	3 368,5
Ca	760,7	12 628,2
Mg	182,8	2 872,7
Na	419,8	6 737,0
K	728,9	4 243,4
Fe	67,6	1 020,7
Zn	42,5	29,1
Mn	42,1	72,9

V tabulce 7 je uvedeno množství látek dopadajících ve srážkových vodách za rok do povodí (vstup) a množství látek, které odteče Mlýnským potokem za rok z povodí (výstup). Hodnoty, které byly vypočteny na základě pravidelných rozborů a měření, vyjadřují několikanásobně vyšší odtoky NO₃⁻ a SO₄²⁻, ale i Ca, Mg a K, než dopadá s dešťovou vodou. Z povodí odtéká 3,5x více NO₃⁻, 5x více SO₄²⁻ a 16x více Ca

než dopadá. Poměr mezi koncentrací látek v dešťové a v odtékající vodě může ukazovat na převládající proces mineralizace v půdním profilu. [31]

Povodí Mlýnského potoka vykazuje předpokládané zhoršení krajinných funkcí, která se projevují nižším podílem v povodí zadržené vody a horší kvalitou odtékající vody. Vodivost a chemizmus vod Horského a Bukového potoka jsou srovnatelné s obdobnými úseky povrchových vod centrální Šumavy. *Naproti tomu koncentrace většiny iontů ve vodě Mlýnského potoka jsou výrazně vyšší, a s tím souvisí i zvýšená množství vodou odnášených rozpuštěných látek a zvýšené látkové ztráty z povodí.* [34]

4.2.3 Zhodnocení provedené revitalizace

Zásah ve vlastním korytě vedl:

- 1) k mírnému zvýšení hloubky vody v potoce jak prohloubením koryta (vytrhání panelů), tak zvednutím hladiny (výstavba objektů)
- 2) ke zvýšení členitosti a drsnosti dna toku, k mírnému rozvlnění proudnice
- 3) částečně k vytvoření podmínek pro nástup mokřadní vegetace
- 4) k okamžitému návratu ryb.

Ing. Procházka a kol. se domnívají, že vlastní rekultivační zásah povede do určité míry ke zvýšení biodiverzity potočního biotopu, dále ke zlepšení vzhledu, *ale zřejmě nepovede ke zlepšení hydrologického režimu v krajině (retence vody v povodí, odtokové poměry) a ke snížení vyplavování rozpuštěných látek z povodí.* K tomuto názoru je vedou tyto důvody:

- 1) nedošlo ke změně hlubokého zaklesnutí toku, čímž se udržuje nízká hladina podzemní vody
- 2) zůstala nezměněna trasa toku, to neumožní vznik přirozené potoční nivy
- 3) tím, že byla v povodí ponechána resp. obnovena odvodňovací drenáž, je nízkou hladinou podzemní vody určen profil půdy se střídavým vysušením a zamokřením

4) kolísáním hladiny podzemní vody po srážce a v době sucha dochází k urychlení mineralizace a k následnému vyplavování látek (zejména alkálií a dusičnanů) z půdy, dochází k okyselování půdního substrátu.

K celkovému zlepšení funkce krajiny by vedla revitalizace celého povodí, nikoli pouze koryta toku. Stávající funkční systematické odvodnění většiny ploch v povodí a výrazné zahloubení toku neumožňuje výraznější změnu hydrologického režimu. [31]

4.2.4 Pedochemické charakteristiky

4.2.4.1 *Obsah organických látek*

Z prostorové distribuce biomasy v rámci jednotlivých povodí vyplynulo, že celková nadzemní biomasa vegetace v povodí Mlýnského potoka je 5 – 6 krát nižší než v povodí Bukového, resp. Horského potoka. Tomu odpovídají i výsledky získané z analýzy půdních vzorků vegetačních typů sledovaných povodí. Vysoký obsah organických látek v půdě se zjistil v povodí Horského a Bukového potoka (s převahou lesních a mokřadních biotopů), nejnižší v povodí Mlýnského potoka (odvodněné pastviny). Také zásoba dostupných látek (vodní výluh) je výrazně vyšší v povodích Horského a Bukového potoka (viz tab. 4). [30] Průměrné hodnoty podílu organických látek v horizontech A i B v povodí Horského a Bukového potoka byly statisticky významně vyšší než hodnoty z povodí Mlýnského potoka ($p < 0.001$). [32]

Tab. 8: Organické látky v půdě a látky extrahované vodním výluhem z půdy sledovaných povodí [32]

Povodí	Organické látky [kg. ha ⁻¹]	Cl [kg. ha ⁻¹]	Celkový N [kg. ha ⁻¹]	P_4^d [kg. ha ⁻¹]	S_4^2 [kg. ha ⁻¹]	K [kg. ha ⁻¹]	Mg [kg. ha ⁻¹]	Ca [kg. ha ⁻¹]
Mlýnského potoka	360 874	41	38	1	222	10	6	25
Horského potoka	653 119	87	67	35	752	123	36	140
Bukovského potoka	487 394	50	41	4	554	14	8	37

Nižší průměrný obsah organických látek v půdě Mlýnského povodí odpovídá představě, že půda na odvodněných pozemcích podléhá intenzivní mineralizaci. Během rozkladu organických látek vznikají kyseliny (NO_3^- , SO_4^{2-}) a oxid uhličitý, který následně reaguje s vodou za uvolnění protonu H^+ a HCO_3^- . Uvolněné protony pak nahrazují vápník a hořčík, které jsou vyplavovány do odtékajících vod. Tento mechanismus může být v některých případech významnější, než vliv kyselých srážek. Celkové množství ročního odnosu vápníku z povodí Mlýnského potoka je 5 až 6 krát vyšší než odnos z povodí Horského a Bukového potoka. Mlýnským potokem odtéká okolo 60 kg Ca z ha a přibližně stejné množství K, Na, Mg dohromady. To představuje množství minimálně 400 kg/ha hnojiv, které by mělo být ročně aplikováno za účelem kompenzace odnosu bazických kationtů a tím neutralizace uvolněných protonů. [32]

4.2.4.2 Výskyt půdních typů

Podle půdní mapy České republiky měřítka 1 : 1 000 000 se na povodí Mlýnského potoka vyskytují rezivé půdy s podzoly. Půdotvornými substráty jsou zvětralinové starých vyvěřelin – intruzív; bazické, neutrální a kyselé horniny žulového typu. Z hlediska klimatických poměrů spadá území do okrsku mírně chladného. Podle půdní zrnitosti převažují půdy hlinitopísčité (směrem na západ půdy štěrkovité až kamenité). [2]

a) **Rezivé půdy** jsou u nás rozšířeny především ve vyšších polohách, nejčastěji nad 800 m n. m., někdy i níže. Rezivé půdy vznikaly převážně pod kyselými horskými bučinami, případně smrčínami, v chladném a vlhkém klimatu. Jako půdotvorný substrát se uplatňují hlavně zvětralinové kyselé horniny, zejména vyvěřelin a metamorfik, ale i sedimentů (pískovců, slepenců). Reliéf je nejčastěji svažité, horský.

Hlavním půdotvorným pochodem při tvorbě rezivých půd je intenzivní vnitropůdní zvětrávání, doprovázené výrazným uvolňováním seskvioxidů (Fe, Al). Na rozdíl od podzolů nejsou však volné seskvioxidy v profilu přemísťovány. Tyto pochody považujeme za počátek podzolizačního procesu.

Humusový horizont je u lesnických využívaných půd mělký, ale je překryt

relativně mocnou polohou surového humusu. Také u zemědělských půd nedosahuje větších mocností; pod ním leží nápadný rezivý horizont vnitropůdního zvětrávání zbarvený volnými oxidy železa, ve své svrchní části i humusem. Teprve pod tímto horizontem přichází matečný substrát.

Rezivé půdy jsou, podobně jako hnědé půdy, často mělké, obvykle výrazně skřetovité, zejména ve spodině. Obsah humusu je přes své nepříznivé složení poměrně vysoký. Půdní reakce je velmi nízká, sorpční vlastnosti nepříznivé. Naproti tomu fyzikální stav těchto půd je vzhledem ke kypré konzistenci povrchových i podpovrchových horizontů relativně příznivý.

Rezivé půdy jsou po zemědělské stránce nevalné kvality; *jsou vhodné pro pícniny, ale hlavně pro trvalé travní porosty*. Jako lesní půdy však obvykle prokazují vysokou produktivitu. [2]

b) Podzoly jsou u nás zastoupeny především v nejvyšších horských polohách, ve velmi vlhkém a chladném klimatu. Roční úhrn srážek zpravidla značně přesahuje 800 mm. Průměrná roční teplota kolísá mezi 0 až 6 °C. Tyto půdy vznikaly hlavně pod jehličnatými, zejména smrkovými lesy. Matečným substrátem jsou zpravidla zvětralinou minerálně slabších hornin: žul, rul, svorů, pískovců apod. Podzoly se uplatňují obvykle ve výškách nad 800 m n. m., kde se často střídají s rezivými půdami; s rostoucí výškou jich přibývá. Přebývá silně členitý, středohorský až vysokohorský reliéf. Vedle horských podzolů známe i u nás značně rozšířené podzoly nížinné, a to na extrémně chudých písčitéch substrátech (pískovcích, navátých píscích, terasových šterkopiscích) pod borovými doubravami. Reliéf terénu zde bývá naopak často velmi plochý.

Hlavním půdotvorným pochodem je intenzivní vyplavování – podzolizace. Ve velmi kyselém prostředí se rozkládají prvotní minerály a přemísťují se oxidy železa i hliníku do spodiny. Společně s oxidy jsou přemísťovány i humusové látky.

Pod humusovým horizontem (často s mocnou vrstvou surového humusu na povrchu) leží dokonale vybělený eluviální horizont iluviální. Tento horizont se zpravidla skládá ze dvou částí; svrchní, méně mocná, tmavohnědě zbarvená se vyznačuje nahromaděním přemísťených humusových látek, zatímco druhá, mocnější, rezivá vznikla nahromaděním sloučenin trojmocného železa a poněkud hlouběji i

hliníku. Často je impregnace iluviálního horizontu nahromaděnými látkami tak intenzivní, že se vytvářejí pevně stmelené partie písčivcového charakteru (tzv. ortsteiny), které v podobě víceméně horizontálně uložených desek prostupují iluviálním horizontem. Zrnitostní složení podzolů je převážně lehčí, velmi častý je skelet. Obsah surového humusu je vysoký, reakce obvykle silně kyselá, sorpční vlastnosti velmi špatné. Fyzikální vlastnosti jsou příznivější.

Podzoly jsou půdy s *velmi nízkou přirozenou úrodností*. Využívají se jako horské louky a pastviny. S podzoly se však shledáváme hlavně pod lesem, který v případě horských podzolů může být i relativně produktivní. [2]

4.2.5 Aktuální stav bezlesí na celém povodí

V rámci bezlesých formací povodí Mlýnského potoka lze vyčlenit (podle Neuhäusla in Hejný, Slavík 1988) jednotlivé typy porostů ze skupin společenstev luk, pastvin a vřesovišť (třídy *Molinio-Arrhenatheretea* a *Nardo-Callunetea*), rašelinných luk a rašelinišť (třídy *Scheuchzerio-Caricetalia fuscae* a *Oxycocco-Sphagnetetea*), a synantropní vegetace především tříd *Galio-Urticetea* a *Chenopodietea*. Aktuální stav povodí byl zpracován v červenci 1998 detailním mapováním vegetačního krytu pochůzkami v terénu při použití leteckých snímků (1988, 1 : 6 000) na základě podrobné metodiky používané Správou NP Šumava (z roku 1995) a upravené pro zájmové území. Vegetační jednotky byly určeny podle fytoecologických snímků a floristických soupisů.

4.2.5.1 *Společenstva luk, pastvin a vřesovišť*

Společenstva luk, pastvin a vřesovišť jsou vesměs člověkem vytvořená, vázaná svou existencí na určitý hospodářský režim. Luční společenstva se vyznačují značným ročním kolísáním v množství biomasy, velkou citlivostí k ekologickým změnám (zejména vodnímu režimu a přísunu živin) a ke způsobu obhospodařování. Vřesoviště a některé pastviny představují podstatně stabilnější útvary.

Druhovou diferenciaci luk a pastvin podmiňuje především půdní typ, úživnost půdy, půdní voda a její kolísání a způsob obhospodařování (pastva, odvoz biomasy, hnojení).

4.2.5.2 *Společenstva rašelinných luk a rašelinišť*

Vytvářejí se na půdách trvale dosycovaných podzemní vodou jako společenstva velmi různorodé struktury a floristické skladby. Vzhledem k systematickému odvodnění povodí zaujímají tyto porosty pouze nevýznamnou část břehových porostů Mlýnského potoka.

4.2.5.3 *Synantropní vegetace*

Společenstva vznikající z různých typů přirozené a polopřirozené vegetace pod antropogenním tlakem („šťovíkové louky“, zaplevelené plochy v okolí vesnic a zemědělských objektů, příkopy,..). Tyto plochy jsou potenciálním zdrojem ohrožení skladby okolních porostů, ze kterých se mohou šířit invazní druhy. Za invazní, popř. potenciálně invazní, synantropní druhy v území lze považovat:

Urtica dioica - zarůstající systematicky oblasti se zvýšeným přísunem dusíku - místa volného vytékání splaškových vod, okolí kravínů (Pasečná), zbytky starých staveb.

Rumex obtusifolius (v některých porostech i *Rumex crispus*) - zejména na plochách intenzivně využívaných pastvin. [31]

4.2.6 Celkové zhodnocení

Povodí Mlýnského potoka bylo v minulosti systematicky odvodněno, potok napřímen a zahlouben. Povodí si zachovalo podobný charakter jako před rokem 1945, 91% plochy povodí pokrývají polointenzivní obhospodařované louky a pastviny.

Nejvyšší vodivost (množství rozpuštěných látek) odtékající vody byla opakovaně zjišťována na uzávěře povodí Mlýnského potoka, nejnižší na uzávěře Bukového potoka. Patrně zvýšená rychlost rozkladu organických látek v půdním profilu

povodí Mlýnského potoka (ve srovnání s povodím Horského a Bukového potoka) se projevuje několikanásobně vyšší koncentrací NO_3^- a Ca v odtékající vodě.

Vegetační kryt povodí Mlýnského potoka se v důsledku zemědělského hospodaření a odvodnění systematickou meliorací nejvíce vzdaluje jak přirozenému stavu vegetace, tak i druhotnému bezlesí s hodnotnými lučními společenstvy. Podle družicových snímků je patrné, že schopnost disipovat sluneční energii (tj. zabránit nárůstu teploty) je zřetelně nižší na Mlýnském povodí a dobře koresponduje s nižšími vlhkostními poměry, nižším množstvím rostlinné biomasy i popisem vegetace. [32]

4.3 Návrh metodického postupu měřických prací

Poloha příčného profilu je vzhledem k nutnosti přesné lokalizace v následujících letech stabilizována pevnými měřickými značkami. Podélný profil byl zaměřen celkem třikrát v rozmezí konce dubna a začátku května, tak aby byla měření provedena za podobných vegetačních podmínek.

Na povodí Mlýnského potoka sledujeme, zda dochází k poklesu půdního horizontu. Abychom mohli pokles sledovat, vytvořili jsme zde podélný profil údolím. Profil na Mlýnském potoce začíná na zhušťovacím bodě č. 0953160215 (žulový mezník 16x16 cm). Konec profilu je na 466 m vzdáleném plastovém mezníku. Jeho poloha je zajištěna vytyčovacím prvky ze zhušťovacího bodu 0953160215 (v zápisníku). Na přímé spojnici těchto bodů bylo osazeno 15 dočasných značek (dřevěné kolíky), u nichž pak bylo určeno převýšení. Poloha těchto dočasných značek je formou jejich staničení na měřické přímce zaznamenána v zápisníku, což umožní velmi přesné obnovení jejich stabilizace při následujících měřeních.

4.3.1 Návrh vhodného měřického postupu

Měření můžeme provést metodou *technické nivelace*. Abychom mohli zaměření provést, musíme si připravit totální stanici a odrazný hranol pro vytyčení jednotlivých bodů profilu a nivelační přístroj se dvěma nivelačními latěmi. Vytyčení bodů provedeme ze známých hodnot vytyčovacích prvků a poté tyto body zaměříme technickou nivelací. Tato metoda je časově náročnější a pro potřeby zjišťování poklesu půdního horizontu na pastvině, kde se pase skot, příliš přesná vzhledem k naší zvolené přesnosti měření.

Metodou GPS nebyl podélný profil měřen, ale je to také jedna z možností jak profil zaměřit. U tohoto měření není potřeba totální stanice na zaměření jednotlivých bodů profilu, pokud máme k dispozici GPS s funkcí RTK, která ihned načítá souřadnice, takže se na jednotlivé body dostaneme přesně. Pokud bychom neměli tuto

GPS k dispozici, musely by se jednotlivé body nejprve zaměřit totální stanicí. K tomuto měření by byla potřeba dvě aparatury. Jedna aparatura by se stabilizovala na ZHB 0953160215 a s druhou by se postupně obcházely jednotlivé body profilu.

Obecně je vhodná metoda dvoufrekvenční RTK, nejlépe měření 2 aparatury, 1 na známém bodě, 1 na určovaném, neboť použití sítě CZEPOS by nemuselo být spolehlivé v okrajových částech republiky (naš případ). Měření RTK (real time kinematics) určuje korekce na známém bodě a posílá je druhému přístroji a tak stačí proto měřit pro cm přesnost jen vteřinu.

Výhoda GPS: - měření rychlé

- při použití RTK měří jen jedna osoba
- umí navigovat na polohu - šipky.

Nevhodné pro zarostlé území neboť pod stromy ztrácí signál.

Pro zaměření podélného profilu metodou *trigonometrického určování výšek* použijeme totální stanici, která vyhovuje zvolené přesnosti měření, a odrazný hranol. Totální stanici ustavíme na ZhB č. 0953160215 a na jednotlivé body profilu se dostaneme přes známé hodnoty vytyčovacích prvků. Zaměřením jednotlivých bodů získáme převýšení od ZhB č. 0953160215, zjištěná převýšení pak přičteme, nebo odečteme ke známé výšce ZhB č. 0953160215. Je to metoda nejrychlejší a kdykoliv opakovatelná.

5 Možnosti vyhodnocení výsledků – návrh vhodného kritéria pro sledování změn.

5.1 Uskutečněná měření

5.1.1 První měření

Přístroj: Digitální nivelační přístroj DiNi 22, v. č. 700343A

 Teodolit Leica TC 407, art. number: 737919

Zaměřil: Ing. Karel Mika

Zaměření příčného profilu přes sledované povodí Mlýnského potoka proběhlo 28. dubna 2005. Pro samotné zaměření byla použita metoda technické nivelace. Digitální přístroj umožnil zvýšit přesnost odečítání na lati, proto jsou výsledky uvedeny s přesností na desetiny milimetrů. Měřická lat' byla stavěna přímo na terén v těsné blízkosti vytyčených dočasných bodů. Nadmořská výška jednotlivých bodů je vztažena k výšce počátečního zhušťovacího bodu ve výškovém systému Bpv.

Po technické nivelaci byl bod č. 1 (plastový mezník) kontrolně zaměřen trigonometrickou nivelací. Přístroj byl postaven na ZhB č. 215, orientace byla stanovena na větrnou elektrárnu a kontrolně byl zaměřen bod č. 1 (plastový mezník).

Zaměření podrobných bodů profilu a zápisník technické nivelace v roce 2005 jsou uvedeny v příloze č. 2 a příloze č. 3.

5.1.2 Druhé měření

Přístroj: Digitální nivelační přístroj DiNi 22, v. č. 700343A

 Teodolit Leica TC 407, art. number: 737919

Zaměřil: Ing. Karel Mika

Druhé měření proběhlo 5. 5. 2006 za jasného počasí a mírného větru. Profil byl zaměřen metodou technické nivelace se stejným nivelačním přístrojem jako v roce 2005. Digitální přístroj umožnil zvýšit přesnost odečítání na lati, proto jsou výsledky uvedeny s přesností na desetiny milimetrů. Měřická lať byla stavěna přímo na terén v těsné blízkosti vytyčených dočasných bodů. Nadmořská výška jednotlivých bodů je vztažena k výšce počátečního zhušťovacího bodu ve výškovém systému Bpv. Po zaměření posledního bodu profilu se provedlo kontrolní zaměření na ZhB č. 214 (žulový mezník 16 x 16 cm).

Vytyčení podrobných bodů profilu a zápisník technické nivelace v roce 2006 jsou uvedeny v příloze č. 4 a příloze č. 5.

5.1.3 Třetí měření

Přístroj: Teodolit Leica TC 407, art. number: 737919

Zaměřil: Ing. Karel Mika, Jana Pichlíková

Zaměření profilu bylo provedeno 3. 5. 2007 za jasného počasí a bezvětří. Pro samotné zaměření byla použita metoda trigonometrického určování výšek. Ze ZhB č. 095316-215 bylo po zařazení do směru a vzdálenosti zaměřeno patnáct bodů podélného profilu a bod č. 1 (plastový mezník). Na závěr bylo kontrolně zaměřeno na ZhB č. 216 (žulový mezník 16 x 16 cm).

Zaměření profilu v roce 2007 metodou trigonometrického určování výšek je uvedeno v příloze č. 6.

Návrhem vhodného kritéria pro sledování změn je vytvoření podélných profilů jednotlivých měření a poté jejich vzájemné porovnání.

5.2 Nivelace profilů

Profilem rozumíme obraz svislého řezu terénem, vedený podél čáry přímé nebo zakřivené (např. podél kruhového oblouku) rozvinutý do zobrazovací roviny. Rozeznáváme profily podélné a příčné. Profil vedený osou projektované liniové stavby (silnice, železnice apod.) se nazývá podélný profil; profily vedené napříč obvykle kolmo k ose liniové stavby (kolmo na podélný profil) se nazývají příčné profily. [33]

5.2.1 Podélný profil

Jednotlivé body podélného profilu se vytyčí kolíky o určitých vzdálenostech (např. 20 m), obvykle v místech příčných profilů. Dále se vytyčí a zaměří body ve výrazných lomech terénu. Kolíky zatloukáme do úrovně s terénem a vedle nich se zarážejí ploché popisné kolíky se staničením, resp. číslem bodu. Při nivelaci podélného profilu postupujeme tak, že nivelační přístroj umístíme doprostřed, pokud je to možné mezi daný výškový bod a příslušný bod trasy. Potom postavíme nivelační lať na výškový bod A a provedeme čtení vzad z_A , čímž určíme výšku horizontu přístroje V_h :

$$V_h = V_A + z_A.$$

Výšky dalších bodů podélného profilu určíme tak, že nivelační lať stavíme postupně na hlavy kolíků a čteme čtení stranou s_i . Výška bodu se pak rovná:

$$V_i = V_h - s_i.$$

Na kolíku N asi 50 m od stanoviště přístroje založíme přestavový bod tzn., že ze stanoviště S_1 budeme mít čtení vpřed p_N ; nyní přeneseme přístroj do bodu S_2 a měříme jako při první nivelační sestavě. Takto postupujeme až na konec vytyčeného profilu. Poslední bod trasy připojíme na nejbližší bod, např. B*. Při menších pracích si můžeme relativní výšku bodu A volit (100,000 m), lépe je však připojit se na státní nivelaci. Po skončení měření vypočteme v nivelačním zápisníku výšky jednotlivých bodů trasy a sestojíme podélný profil. [29]

5.3 Podélné profily a jejich porovnání

Tab. 9: Porovnání výšek jednotlivých bodů profilu v povodí Mlýnského potoka

Číslo bodu	Rok měření 2005	Rok měření 2006	Odchylka 2005 – 2006 [m]	Rok měření 2007	Odchylka 2005 – 2007 [m]
	Nadm. výška [m]	Nadm. výška [m]		Nadm. výška [m]	
ZhB 215	796,53	796,53	±0,00	796,53	±0,0
16	794,27	794,27	±0,00	794,27	±0,0
15	791,80	791,80	±0,00	791,79	-0,01
14	789,77	789,76	-0,01	789,76	-0,01
13	787,41	787,42	+0,01	787,41	±0,00
12	784,68	784,68	±0,00	784,67	-0,01
11	784,76	784,77	+0,01	784,73	-0,03
10	786,02	786,02	±0,00	785,99	-0,03
9	787,34	787,34	±0,00	787,31	-0,03
8	789,06	789,07	+0,01	789,05	-0,01
7	790,88	790,89	+0,01	790,86	-0,02
6	793,49	793,50	+0,01	793,47	-0,02
5	796,34	796,34	±0,00	796,31	-0,03
4	800,77	800,78	+0,01	800,75	-0,02
3	804,14	804,14	±0,00	804,10	-0,04
2	806,95	806,95	±0,00	806,88	-0,07
1	810,79	810,78	-0,01	810,70	-0,09

V tabulce 9 jsou uvedeny nadmořské výšky bodů profilu v povodí Mlýnského potoka a jejich odchylky. Odchylky mezi rokem 2005 a 2006 jsou nulové nebo do 1 cm. Odchylky mezi rokem 2005 a 2007 jsou však až do 9 cm. Výsledky ukazují rozdíly mezi naměřenými hodnotami mezi rokem 2005 a 2007 s tím, že v roce 2005 byl profil

zaměřen digitálním nivelačním přístrojem DiNi 22 a v roce 2007 totální stanicí Leica 407.

V přílohách číslo 7, 8 a 9 jsou uvedeny podélné profily z jednotlivých let, kdy došlo k zaměření. Zde jsem chtěla vytvořit srovnávací profil provedených měření, ale odchylky byly tak malé (téměř na úrovni chyby měření), že by na profilu v uvedeném měřítku 1:1000/200 nebylo téměř nic vidět.

6 Závěr

K poklesu půdního horizontu by docházelo, pokud by se měřením zjistilo, že naměřené hodnoty na jednotlivých bodech jsou každým rokem nižší. Pokud by se zjištěné hodnoty z každého roku vynesly do podélného profilu a došlo k jejich porovnání, bylo by viditelné jejich postupné klesání, pak by opravdu docházelo k poklesu půdního horizontu.

V našem případě nelze říci, že půda stále klesá. Sledované povodí Mlýnského potoka bylo odvodněno v roce 1980 a měření probíhala až v letech 2005, 2006 a 2007. Z toho lze také vyvodit, že se půda systematickému odvodnění již přizpůsobila a k poklesu došlo zejména v prvních letech po odvodnění, kdy se snížila hladina podzemní vody, množství vody a prvků obsažených v půdě. Pro toto měření je třeba delší časový rozsah. Bylo by vhodné opakovat měření v periodách po pěti letech a poté je porovnat. Zvláště zajímavé by bylo sledovat pokles u nově odvodněného území, kde se půda na toto odvodnění ještě nestihla adaptovat. K prokázání posunu na konci profilu by bylo vhodné provést ještě další měření, neboť zatím je možné prokázat posun pouze v jedné etapě.

7 Seznamy

7.1 Seznam obrázků, tabulek a grafů

Obrázky

Obr. 1: Základní diagnostické horizonty.....	11
Obr. 2: Přibližné umístění maximálního poklesu.....	22
Obr. 3: Příklad zemní trhliny.....	22
Obr. 4: Odříznutí silnice kolapsem hrany od proudnice na Furnas Volcano.....	31
Obr. 5: Určení převýšení nivelací.....	39
Obr. 6: Ukázka kódové nivelační latě a digitálního nivelačního přístroje DiNi 22 použitých při měření profilu.....	44
Obr. 7: Trigonometrické určení výšky bodu.....	48
Obr. 8: Ukázka použitého přístroje při měření - totální stanice Leica TC 407.....	51
Obr. 9: Přehled pevných GPS referenčních stanic na území ČR.....	59
Obr. 10: Mapka sledovaného území.....	60

Tabulky

Tab. 1: Potenciální ohrožení zemědělské půdy vodní erozí na území ČR.....	14
Tab. 2: Příklady poklesů na jihozápadě USA.....	21
Tab. 3: Ztráta půdních živin v závislosti na způsobu obhospodařování.....	23
Tab. 4: Celková oprava z vlivu zakřivení Země a refrakce na trigonometricky měřené body.....	50
Tab. 5: Rozbor přesnosti měření vzdálených bodů přístrojem Leica 407.....	53
Tab. 6: Základní charakteristika sledovaných povodí.....	62
Tab. 7: Sumy látek dopadajících ve srážkových vodách (vstup) a odtékající vodou (výstup) z povodí (equivalent.rok ⁻¹).....	65
Tab. 8: Organické látky v půdě a látky extrahované vodním výluhem z půdy sledovaných povodí.....	67
Tab. 9: Porovnání naměřených výšek jednotlivých bodů profilu v povodí Mlýnského potoka.....	78

Grafy

Graf č. 1 – Průběh poklesu bodu č. 1 na budově ZDŠ Veverka v Lazích v období 1952 –1987.....	34
---	----

7.2 Seznam příloh

Příloha č. 1 – Diagnostické půdní horizonty

Příloha č. 2 – Zaměření podrobných bodů profilu v roce 2005

Příloha č. 3 – Zápisník technické nivelace v roce 2005

Příloha č. 4 – Vytyčení podrobných bodů profilu v roce 2006

Příloha č. 5 – Zápisník technické nivelace v roce 2006

Příloha č. 6 – Zaměření profilu v roce 2007 metodou trigonometrického určování výšek

Příloha č. 7 – Podélný profil 2005

Příloha č. 8 – Podélný profil 2006

Příloha č. 9 – Podélný profil 2007

Příloha č. 10 – Geodetické údaje zhušťovacího bodu č. 215

7.3 Seznam použité literatury a internetových zdrojů

1. LEDVINA, R., HORÁČEK, J., ŠINDELÁŘOVÁ, M., *Geologie a půdoznalství*. České Budějovice: ZF JU, 2000. 203 s.
2. TOMÁŠEK, M., *Atlas půd České republiky*, Praha: Vydavatelství Českého geologického ústavu, 1995. 67 s. ISBN 80-7075-198-3.
3. KUTÍLEK, M., KURÁŽ, V., CÍSLEROVÁ, M., *Hydropedologie 10*. 2. vyd. Praha: ČVUT, 2000.
4. LEDVINA, R., HORÁČEK, J., *Klasifikace a oceňování půd I*. [online elektronická skripta]. České Budějovice: ZF JU, 1997.
Dostupné na internetu: <<http://home.zf.jcu.cz/public/users/urbanek/publikace>>
5. WIKIPEDIE, *Pedologie: Diagnostický půdní horizont*. [online]. [cit. 29. července 2008]
Dostupné na internetové adrese: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Půdní_horizonty>
6. DÝROVÁ, E., *Agromelio *76: Vztah protierozní ochrany půdy k nové organizaci půdního fondu a k odvodnění*. Karlovy Vary: ČVTS - Dům techniky, 1976. 197 s.
7. HLUŠIČKOVÁ, J., LHOTSKÝ, J., *Ochrana půdní struktury před technogenní degradací: Metodiky pro zavádění výsledků výzkumu do zemědělské praxe*. Praha: Ústav zemědělských a potravinářských informací, 1994. 40 s.
8. CHÁBERA, S., *Pedologie a pedogeografie*. České Budějovice: Pedagogická fakulta, 1978.
9. JŮVA, K., *Meliorace*. 1. vyd. Praha: Československá akademie zemědělských věd ve spolupráci se Státním zemědělským nakladatelstvím, 1962.
10. BECKEL, L. a kol., *Global Change: Družicové snímky dokládají, jak se mění svět*. Praha: GeoMedia s.r.o., 1997. ISBN 3-575-15794-4.
11. VÁCHAL, J., MAZÍN, V., DUMBROVSKÝ, M. a KOL., *Pozemkové úpravy I*. [online elektronická skripta]. České Budějovice, 2005.

Dostupné na internetové adrese:

<http://home.zf.jcu.cz/public/departments/kpu/vyuka/pu/internet_ucebnice_pu.htm>

12. ECKELMANN, W. a KOL., *Common Criteria for Risk Area Identification according to Soil Threats*. [online]. European Commission, 2006.

Dostupné na internetové adrese:

<http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/ESDB_Archive/eusoils_docs/esb_rr/n20_EUR22185.pdf>

13. LEAKE, S. A., *Land Subsidence From Ground-Water Pumping*. [online]. Geological Survey, [cit. 6.února 2004; 13:09:08 MST].

Dostupné na: <<http://geochange.er.usgs.gov/sw/changes/anthropogenic/subside>>

14. JAVŮREK, M., VACH, M., *Negativní vlivy zhutnění půd a soustava opatření k jejich odstranění: Metodika pro praxi*. Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., 2008. ISBN 978-80-87011-57-7.

15. JŮVA, K., *Odvodňování půdy*. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1957. 526 s.

16. VOŽELÍNEK, V. a kol., *Integrace GPS/GIS v geomorfologickém výzkumu*. Olomouc: Univerzita Palackého, Přírodovědecká fakulta, 2001. 185 s. ISBN 80-244-0383-8.

17. TRVALE UDRŽITELNÝ ROZVOJ KRAJINY, *Sesuvy půdy*. [online]. Czech Republic, 1999. [cit. 12. března 2009].

Dostupné na internetové adrese:

<<http://igorindruch.sweb.cz/ceska/projekt-obecny/sesuvyobecne.htm>>

18. U.S. GEOLOGICAL SURVEY, *Landslide Hazards Program* [cit. 6.dubna 2009; 2:29:47 PM].

Dostupné na internetové adrese: <<http://landslides.usgs.gov>>

19. LEHMANN, J., SCHROTH, G., *Nutrient leaching*. [online], Cornell University, Department of Crop and Soil Science. [cit. 2003].

Dostupné na internetové adrese:

<[http://www.css.cornell.edu/faculty/lehmann/publ/Lehmann et al., 2003, Leaching CABI book.pdf](http://www.css.cornell.edu/faculty/lehmann/publ/Lehmann%20et%20al.,%202003,%20Leaching%20CABI%20book.pdf)>

20. JÚVA, K., HRABAL, A., TLAPÁK, V., *Ochrana půdy, vegetace vod a ovzduší*. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1977. 180 s.

21. SOUTH FLORIDA INFORMATION ACCES, *Water and Environmental Stress: Soil Subsidence*. [online]. U.S. Geological Survey, [2. října 2004, 07:32 AM(PK)].

Dostupné na internetové adrese:

<<http://sofia.usgs.gov/publications/circular/1134/wes/soil.html>>

22. SCHENK, J., *Měření pohybů a deformací v poklesové kotlině*. 1. vyd. Ostrava: VŠB-TU Ostrava. 2006.

23. BSUMKOVÁ, R., *Vlivy poddolování na tvorbu digitální katastrální mapy (Impact of undermining on the creation of digital cadastral maps)*. [online]. Ostrava: VŠB-TU, Hornicko-geologická fakulta. Institut geodézie a důlního měřictví.

Dostupné na internetové adrese:

<[http://www.fce.vutbr.cz/veda/dk2004texty/pdf/06_Geodezie a kartografie/6_01_Practicke_aspekty_geodezie_a_kartografie/Bsumkova_Romana.pdf](http://www.fce.vutbr.cz/veda/dk2004texty/pdf/06_Geodezie_a_kartografie/6_01_Practicke_aspekty_geodezie_a_kartografie/Bsumkova_Romana.pdf)>

24. IDES, D., LIBERNA, A., MANFRINOVÁ, J., *Svahové deformace v rámci územního plánování*. [online]. Ostrava. [cit. leden 2005].

Dostupné na internetové adrese:

<<http://fast10.vsb.cz/cssi/files/2005-1/infcssi-2005-1-3.doc>>

25. MULKOVÁ, M., *Mapování antropogenních změn krajiny v poddolovaných oblastech*. [online]. Ostrava: Ostravská univerzita, Přírodovědecká fakulta. Sborník 14. Kartografické konference. [cit. 11. – 13. září 2001].

Dostupné na internetové adrese:

<http://gis.zcu.cz/kartografie/konference2001/sbornik/mulkova/Mulkova_referat.html>

26. SVORA, M. *Ekosystém a těžba surovin*. [online]. [cit. 30. března 2001].

Dostupné na internetové adrese: <<http://ekologie.xf.cz/temata/tezba/tezba.htm>>

27. VÚMOP, *Sborník panelové diskuse a workshopu konaných v Praze dne 3. 11. 2005: Zemědělské odvodnění v kulturní krajině (Drainage of agricultural lands in the context of cultural landscape)*. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy Praha, 2006. ISBN 80-239-7308-8.

- 27.1 DOLEŽAL, F., *Funkce drenážních systémů, jejich „užitečnost“ či „škodlivost“*
- 27.2 DOLEŽAL, F., *Porovnání se situací v zahraničí*
- 27.3 KULHAVÝ, F., *Význam odvodňovacích staveb pro krajinu 21. století*
- 27.4 HALAČKA, J., *Zemědělské odvodnění v kulturní krajině z pohledu ZVHS-OPM*

28. Jůva, K., Dvořák, J., Tlapák, V., *Odvodňování zemědělské půdy*. Státní zemědělské nakladatelství v Praze. Praha. 1987. ISBN 07-036-87 04/16.

29. Pokora, M. a kol., *Geodézie 1*. Praha: Geodetický a kartografický podnik v Praze. 1985. 548 s. ISBN 03/4 29-600-85.

30. GEOGRAFICKÝ SERVER, *Geologická stavba České republiky*. [online]. [cit. 20. března 2009].

Dostupné na internetové adrese: <<http://www.zemepis.com/geologiecr.php>>

31. PROCHÁZKA, J. A KOL., *Hodnocení revitalizace mlýnského potoka I.: úvodní studie*. [dokument word]. Probíhá jako součást projektu MŠMT VS 96 072.

32. PROCHÁZKA, J. a KOL., *Vliv hospodaření na vegetaci a toky energie, vody látek a rozpustné látky v malých povodích na Šumavě (Impact of management on vegetation and energy, water and soluble matter flows in small catchments of Šumava Mountains)*. [dokument pdf]. Vimperk: Silva Gabreta, 2001. roč. 6.

33. IV. *International scientific meeting: Ekotrend 2005* (Proceedings) „Renewal and function of anthropogenic impacted landscape“ [dokument pdf], [cit. 20. září 2006; 12:56].

34. PROCHÁZKA, J. A KOL, *Holistický přístup k hodnocení krajiny a monitoring malých povodí (Holistic Approach to Landscape Evaluation and Monitoring of Small Catchments)*. [dokument pdf]. Životné prostredie. Roč. 40, č. 2, 2006.

35. TRIMBLE, SPECTRA PRECISION, *Trimble DiNi Digital Levels: The DiNi 12, DiNi 12T and DiNi 22 – economical and easy to use vertical measuring tools*. [online dokument pdf]. [cit. 28. března 2009]

Dostupné na internetové adrese: <www.geotrim.fi/EP/Tiedostot/Dini.pdf>

36. GP PRAHA, Katalog a ceníky. [online]. [cit. 9. dubna 2009].

Dostupné na internetové adrese: <<http://www.gpprague.cz/cs/index.html>>

37. ZEMĚMĚŘICKÝ ÚŘAD, *Česká síť permanentních stanic pro určování polohy*. [online]. [cit. 8. března 2009].

Dostupné na internetové adrese: <<http://czepos.cuzk.cz>>

Literatura číslo 31 až 34 byla vypůjčena od pana Ing. Jana Procházky z LAE (Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta, Laboratoř aplikované ekologie, Studentská 13, 370 05 České Budějovice)

Příloha č. 1 - Diagnostické horizonty

a) Nadložní diagnostické horizonty - organogenní

Rašelinový - **T** horizont vzniká rašeliněním organických zbytků bez promíchání s minerální frakcí půdy v podmínkách zamokření. Má více než 50 % organické hmoty.

Zrašelinělý (histický) **Th** horizont, v němž převládá již minerální složka půdy nad organickou. Obsah organických látek je však minimálně 15 %.

Organogenní terrestrický **O** horizont není pravým diagnostickým horizontem, ale slouží ke klasifikaci půd v kategorii systému - forma nebo subtyp. Má více než 30 % organických látek a má jeden nebo více z následujících souborů horizontů: opadanka **Ol** (fö rna), drť **Of** (fermentační), měl **Oh** (humifikační).

a) Povrchové diagnostické horizonty - humusové

Ochrický - mladý, zpravidla mělký Ao horizont	Humuseluviální Ae horizont
Melanický tmavě zbarvený Al	Antropický Ak horizont
Umbrický tmavě zbarvený Au	Orniční Ap horizont
Andický tmavě zbarvený Aa horizont	Drnový Ad horizont
Molický hluboký, tmavě zbarvený Am horizont	

b) Podpovrchové diagnostické horizonty

Kambický Bv horizont	Mramorovaný pseudoglejový Bm horizont
Luvický Bt horizont	Glejový G horizont
Podzolový Bs horizont	Glejový redukční Gr horizont
Slancový iluviální Bn horizont	

c) Další diagnostické horizonty (jak povrchové, tak podpovrchové)

Eluviální E horizont	Fosilní horizont f
Solončakový S horizont	Karbonátový Ca horizont
Rubefikovaný r horizont	Oglejený horizont g

d) Substrátové horizonty

Matečná hornina - **C** horizont je tvořen nepřemístěným horninovým materiálem.

Detritát matečné horniny - **Cd** horizont je označován někdy i **C₁**, **C₂**, **C₃** atd. Jedná se o horizont zvětrávání horniny. Jednotlivé vrstvy (**C₁** vrchní **C₂** a **C₃** hlubší) jsou uloženy nad vlastní matečnou horninou.

Vlastní matečná hornina - **Cn** horizont je vrstva horniny podstatně neovlivněné zvětráváním.

Přemístěný půdotvorný substrát - **M** horizont je tvořen přemístěnými půdními materiály.

Podložní hornina - **D** horizont se může nacházet pod **C** nebo **M** horizontem. Neúčastní se tvorby půd, protože má jiné vlastnosti než půdotvorný substrát. [1]

Příloha č.3

Zápisník pro technickou a plošnou nivelaci

Číslo bodu		Čtení na lati			Nadmořská výška horizontu stroje	Nadmořská výška bodu		Poznámka
přestavo- vého	bočního	vzad +	vpřed -	bočné -		přestavového	určeného bočně	
								lokality: Mlýnský potok, jasno, beavč. měřeno: 28.4.2005 tři
215		0,381			796,91	796,53		ZhB (HLAVA KAMENE)
				1,031			795,88	OSA CESTY
				2,640			794,27	
101			3,041			793,87		
		0,193			794,06			
	15			2,261			791,80	
102			3,396			790,67		
		0,283			790,95			
	14			1,183			789,77	
	13			3,540			787,41	
103			3,670			787,28		
		0,386			787,66			
	12			2,984			784,68	
	11			2,901			784,76	
	10			1,648			786,02	
104			1,559			786,11		
		3,477			789,58			
	9			2,245			787,34	
	8			0,527			789,06	
105			0,445			789,14		
		3,854			792,99			
	7			2,112			790,88	
106			0,166			792,83		
		3,475			796,30			
	6			2,807			793,49	
107			0,281			796,02		
		3,668			799,69			
	5			3,347			796,34	
108			0,296			799,39		
		3,558			802,95			
	4			2,179			800,77	
109			0,320			802,63		
		3,637			806,27			
	3			2,124			804,14	
110			0,160			806,11		
		3,888			809,99			
	2			3,044			806,95	
111			0,560			809,43		
		2,327			811,76		810,04	OKRAJ PASTVINY
				1,721			809,00	DNO STROUHY
				2,764		810,79		PLAST. MEZNIK
	1		0,973					
	[2]	29,127	14,867	= [p]				
		ah	ah ^{nk}	= +14,26		V _k - V _p = 14,26		
						L _{km} = 0,466	a _{maxmm} = 40·√L = 27	
								stroj: DiNi 22, v.č. 700343A
								vypočetl: Ing. Karel Míša
								přepočtl: Jana Pichlíková

Příloha č. 5
Zápisník pro technickou a plošnou nivelaci

část 1

Číslo bodu		Čtení na lati			Nadmořská výška horizontu stroje	Nadmořská výška bodu		Poznámka
přestavo- vého	bočného	vzad +	vpřed -	bočné -		přestavového	určeného bočně	
								lokality: Mlýnský potok, jasno-viž
								měřeno: 5.5.2006
215		0,896			797,43	796,53		ZhB (Hlava kamene)
				1,524			795,90	
	16			3,158			794,27	
101			3,153			794,27		
		0,089			794,36			
	15			2,565			791,80	
102			3,710			790,62		
		0,493			791,14			
	14			1,380			789,76	
	13			3,728			787,42	
103			3,430			787,71		
		0,490			788,20			
	12			3,520			784,68	
	11			3,439			784,77	
104			2,072			786,13		
	10			2,187			786,02	
	9			0,864			787,34	
		3,245			789,38			
	8			0,308			789,07	
105			0,131			789,25		
		3,579			792,82			
	7			1,937			790,89	
106			0,214			792,61		
		3,607			796,22			
	6			2,717			793,50	
107			0,263			795,95		
		3,385			799,34			
	5			2,998			796,34	
108			0,226			799,11		
		3,410			802,52			
	4			1,746			800,78	
109			0,308			802,21		
		3,367			805,58			
	3			1,443			804,14	
110			0,201			805,38		
		3,490			808,87			
	2			1,923			806,95	
111			0,150			808,72		
		2,494			811,21			
	1		0,430			810,78		plast. mezník
		0,086			808,81			
112			3,120			805,69		
		0,303			805,99			
113			3,259			802,73		
		0,167			802,90			
114			3,351			799,55		
		0,220			799,77			
115			3,243			796,52		
		0,181			796,70			

Příloha č. 5

Zápisník pro technickou a plošnou nivelaci

část 2

Číslo bodu		Čtení na lati			Nadmořská výška horizontu stroje	Nadmořská výška bodu		Poznámka
přestavového	bočního	vzad +	vpřed -	bočné -		přestavového	určeného bočně	
	116		0,815			795,89		
		2,418			798,31			
	215		1,776			796,53	ZhB (HLAVA KAMENE)	
		[z] = 29,426	29,422	=[p]				
		$\Delta h^{niv} = +0,004$			$\Delta_{um} = 0,466$	$a_{maxmm} = 40\sqrt{L} = 27$		
							stroj: DiNi 22, v.č. 700343A	
							vypočetl: Ing. Karel Mika	
							přepočtl: Jana Pichliková	

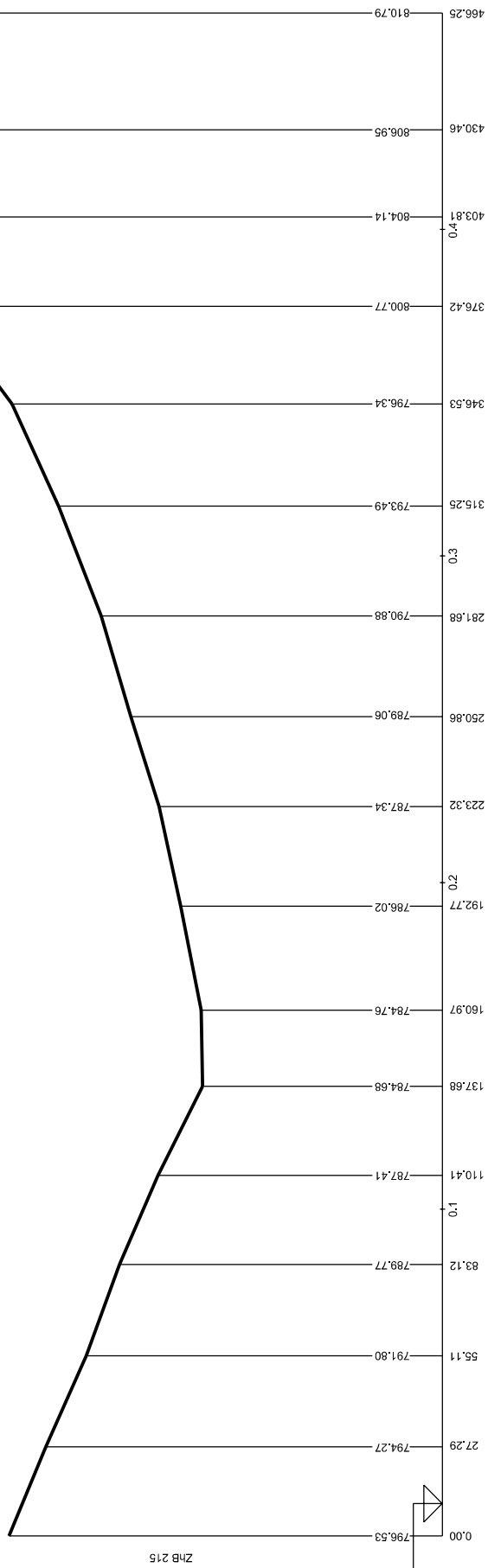
PODĚLNÝ PROFIL

M 1:1000/200

Mlýnský potok - profil mezi ZHB 215 a stabilizovaným plastovým mezníkem

zaměřil: Ing. Karel Mlika

datum: 28. dubna 2005

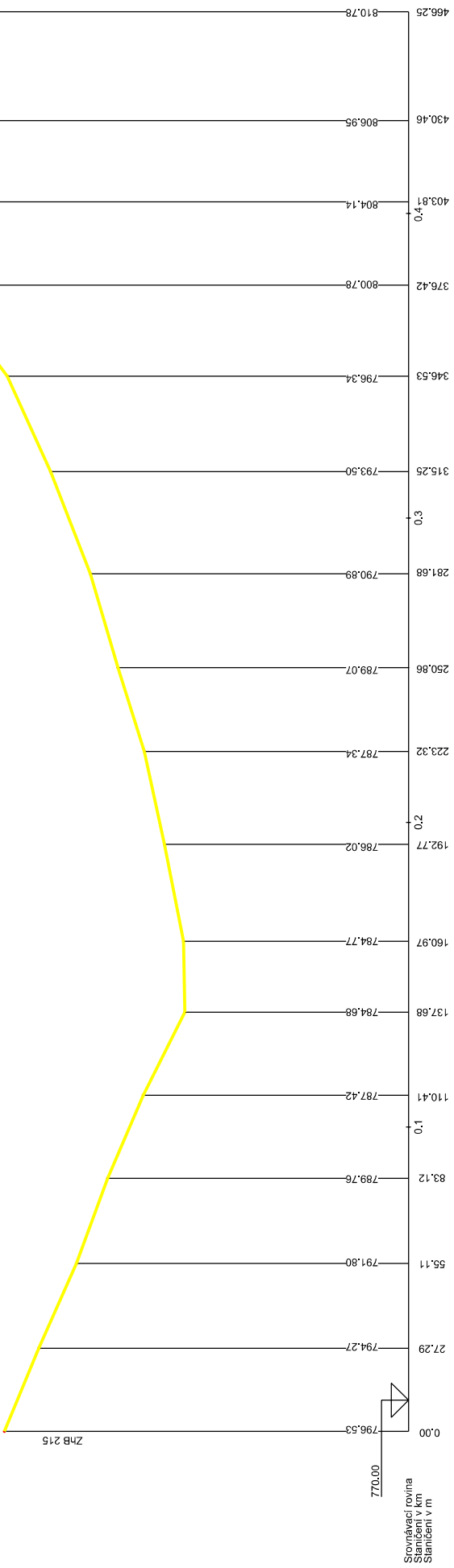


ZHB 215

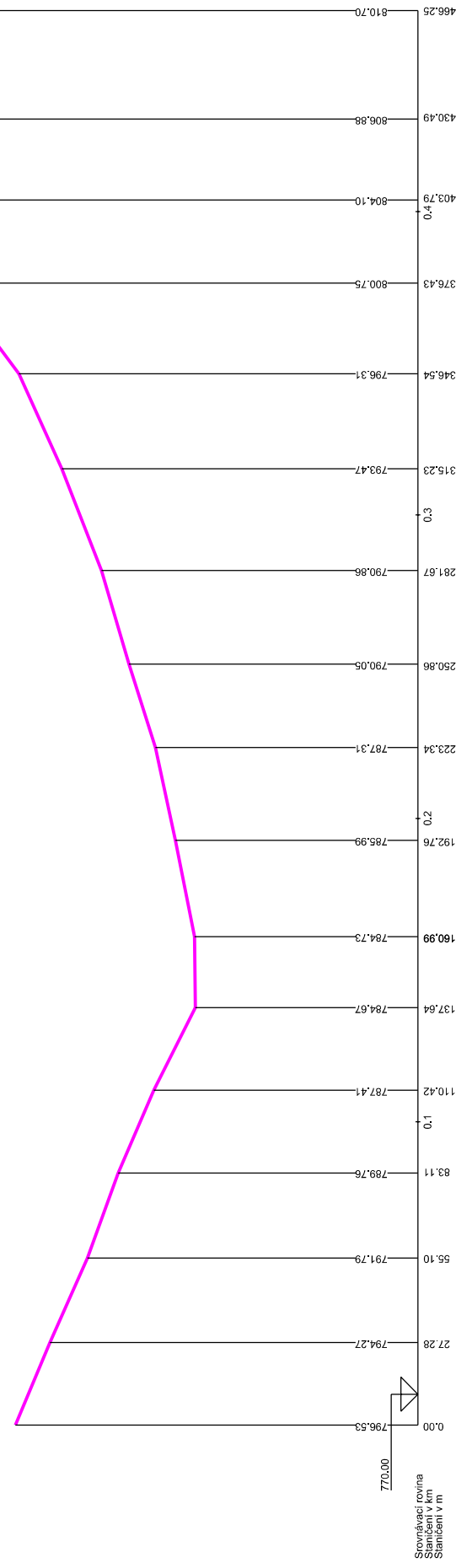
770.00

Srovnávací rovina
Staničení v km
Staničení v m

PODELNÝ PROFIL
 M 1:1000/200
 Mlýnský potok - profil mezi Zha 215 a stabilizovaným písečným mezníkem
 zaměřil Ing. Karel Jilka
 datum: 3. květen 2006



PODÉLNÝ PROFIL
 M 1:1000/200
 Mlýnský potok - profil mezi ZNB 215 a stabilizovaným pílastovým mezníkem
 měřeno: J. Pichlíková
 datum: 3. květen 2007



GEODETICKÉ ÚDAJE

zhušřovacího bodu

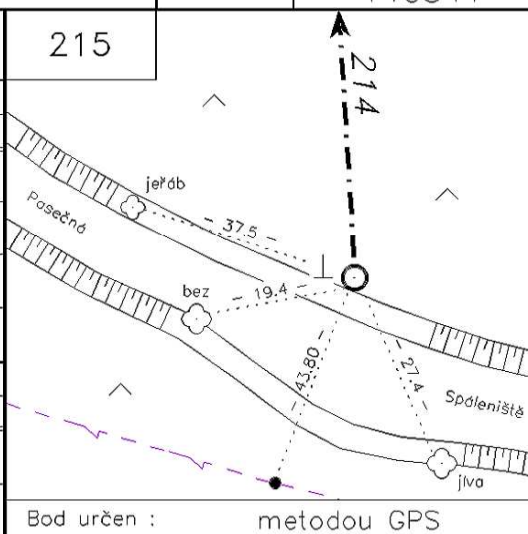
Kraj: Jihočeský
 Okres: Český Krumlov
 Obec: Přední Výtoň

List č.: 1/1
 Stav k:

Vytvořeno pro web 14.04.2009

TL	5316
ZM-50	32-41
SMO-5	140541

Číslo a název bodu		215	Nad Mlýnským potokem			215
Bod	Druh	Y	X	Nadmořská výška		
				Bpv	vztahuje se na	
215	ZHB	787269.91	1203743.17	796.53	hranol	
Orientace na body (v grádech) :						
Bod číslo :	Jižník	Délka strany	Bod číslo :	Jižník	Délka strany	
214	196.41119	607.705				
Bod určen : metodou GPS						



Místopisný popis : Bod je 1.4 km jihovýchodně od osady Pasečná, na stupni proti místu rozšířené silnice.

Bod určen :

Bod	215				
Stab. údaje		0.00	žula 16x16x71	0.00	0.00
		.91	žula 20x20x6		0.00
Ochranný znak: (druh,rok)	OT-2000				
Kat.území Parc.čís.	Pasečná 3009/2				

--	--	--	--

--	--	--	--

Bod	215		
Organizace, rok	Zřizen	2000 KÚ ČB	
	Určení YX	2001	
	Určení výšky	2001	
	[Pře]Stabilizace	2000	
Rok	Údržba	1900	
	Obnova		

Poznámka :