

**UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE**

**Přírodovědecká fakulta**

**Katedra fyzické geografie a geoekologie**

Studijní program: Geografie

Studijní obor: Geografie a kartografie



Kateřina Schreiberová

**KLASIFIKACE SVAHOVÝCH POHYBŮ S APLIKACÍ NA VYBRANÉ OBLASTI  
ETIOPSKÉ VYSOČINY**

**CLASSIFICATION OF LANDSLIDES IN SELECTED AREAS OF THE ETHIOPIAN  
HIGHLAND**

Bakalářská práce

Vedoucí práce, školitel: Doc. RNDr. Vít Vilímek, CSc.

Praha, 2014

## ZADÁNÍ PRÁCE

**Název práce:** Klasifikace svahových pohybů s aplikací na vybrané oblasti Etiopské vysočiny

**Cíle práce:** Bakalářská práce je založená na rešeršním zpracování svahových pohybů s aplikací v zájmových oblastech Etiopské vysočiny. V teoretické části jsou uvedeny klasifikace svahových pohybů, charakteristiky a metody výzkumů svahových pohybů. Popsány jsou i jednotlivé podmínky podílející se na spuštění svahové aktivity. Bakalářská práce obsahuje i praktickou část, kde cílem je identifikování a klasifikování svahových pohybů v zájmových oblastech Etiopské vysočiny. Hlavním cílem této práce je zjistit, jak výskyt skupin klasifikovaných svahových pohybů souvisí s jejich geologickými poměry.

**Použité metody práce:** studium odborné literatury, využití DPZ – družicové snímky, Google Earth, zpracování dat klasifikovaných svahových pohybů

**Zájmové území:** Etiopská vysočina, oblasti: Dessie, Dejen, Gohatsion

**Datum zadání:** 13. 1. 2013

**Podpis studenta**

.....  
Kateřina Schreiberová

**Podpis vedoucího práce**

.....  
Doc. RNDr. Vít Vilímek, CSc.

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, dne 30. 7. 2014

.....

Kateřina Schreiberová

### **Poděkování:**

*Děkuji zejména vedoucímu práce a školiteli Doc. RNDr. Vítu Vilímkovi, CSc. za cenné rady, náměty a připomínky k mé práci a za jeho vstřícnost a ochotu. Dále děkuji svým rodičům za umožnění mého studia na Přf UK a za celkovou podporu mých blízkých a přátel.*

# KLASIFIKACE SVAHOVÝCH POHYBŮ S APLIKACÍ NA VYBRANÉ OBLASTI ETIOPSKÉ VYSOČINY

## ABSTRAKT

Etiopská vysočina se nachází na velmi členitém tektonickém reliéfu v blízkosti Velké příkopové propadliny. Dalšími příznivými podmínkami pro vznik svahových pohybů jsou výškové rozdíly v údolích, které dosahují až 2 000 m. Bakalářská práce seznamuje se svahovými pohyby v Etiopské vysočině a uvádí podmínky vedoucí k nestabilitě svahů. Dále jsou uvedeny klasifikace svahových pohybů dle různých kritérií. Pro účely praktické části je stěžejní klasifikace dle mechanismu pohybu a analýza konkrétních svahových pohybů v zájmových oblastech Etiopské vysočiny. Vlastní identifikace skupin svahových pohybů je založena na metodách dálkového průzkumu. Pro další možný výzkum jsou v práci popsány metody terénního průzkumu svahových pohybů.

**Klíčová slova:** svahové pohyby, Etiopská vysočina, dálkový průzkum země, nadmořská výška

# CLASSIFICATION OF LANDSLIDES IN SELECTED AREAS OF THE ETHIOPIAN HIGHLAND

## ABSTRACT

This thesis is an introduction to landslides and how they are triggered and occur on the tectonic pattern in the Ethiopian Highland, which borders with the Great Rift Valley. Included in this thesis are types of classifications of landslides. Especially on base of the main mechanics of mass wasting movement are the landslides classified in investigation part. The methodology of landslide investigation is based on remote sensing. Further discussed is the methodology used in landslide investigation in general, as well as the causes of downhill movements in landslide prone areas of the Ethiopian Highland.

**Keywords:** landslides, Ethiopian Highland, remote sensing, elevation

**Citační vzor:**

SCHREIBEROVA, K. Klasifikace svahových pohybů s aplikací na vybrané oblasti Etiopské vysočiny, Praha, 2014. 84 s. Bakalářská práce. Katedra fyzické geografie a geoekologie, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova v Praze. Vedoucí práce doc. RNDr. Vít Vílímek, Csc.

# OBSAH

SEZNAM ZKRATEK.....	10
---------------------	----

1 ÚVOD.....	11
-------------	----

## REŠERŠE

2 SVAHOVÉ POHYBY.....	12
-----------------------	----

2.1. Klasifikace svahových pohybů.....	13
--	----

2.2. Charakteristiky hlavních typů svahových pohybů.....	16
--	----

2.2.1. Ploužení.....	17
----------------------	----

2.2.2. Sesouvání.....	18
-----------------------	----

2.2.3. Stékání.....	19
---------------------	----

2.2.4. Řízení.....	20
--------------------	----

2.3. Příčiny svahových pohybů.....	20
------------------------------------	----

2.3.1. Geologické poměry.....	21
-------------------------------	----

2.3.2. Geomorfologické poměry.....	21
------------------------------------	----

2.3.3. Hydrogeologické poměry.....	21
------------------------------------	----

2.3.4. Klimatické a meteorologické poměry.....	22
--	----

2.3.5. Antropogenní poměry.....	22
---------------------------------	----

2.3.6. Procesy ovlivňující stabilitu svahu.....	22
---	----

3 METODY VÝZKUMU SVAHOVÝCH POHYBŮ.....	23
--	----

3.1. Terénní výzkum a mapování.....	23
-------------------------------------	----

3.1.1. Laboratorní a terénní zkoušky.....	23
---	----

3.1.2. Měření přetváření povrchu horninového masivu.....	23
--	----

3.1.2.1. Geodetické metody.....	23
---------------------------------	----

3.1.2.2. Globální družicový systém.....	24
---	----

3.1.2.3. Pozemní fotogrammetrie.....	25
--------------------------------------	----

3.1.2.4. Pozemní laserové skenování.....	25
--	----

3.1.2.5. Inklinometrická měřidla.....	26
---------------------------------------	----

3.1.2.6. Deformometrická měřidla .....	26
3.1.3. Měření deformací v hloubce horninového masivu .....	27
3.1.3.1. Tyčové extenzometry .....	27
3.1.3.2. Křehké vodiče .....	28
3.1.3.3. Přesná inklinometrie.....	28
<b>3.2 Satelitní a letecké snímkování.....</b>	<b>28</b>
<b>4 ETIOPSKÁ VYSOČINA .....</b>	<b>30</b>
<b>4.1. Svahové pohyby v Etiopské vysočině .....</b>	<b>30</b>
<b>4.2. Geologie Etiopské vysočiny .....</b>	<b>31</b>
4.2.1. Prekambrium.....	31
4.2.2. Prvohory.....	31
4.2.3. Druhohory.....	31
4.2.4. Třetihory a čtvrtohory .....	31
<b>4.3. Oblasti zájmu v Etiopské vysočině.....</b>	<b>32</b>
4.3.1. Oblast Dessie .....	32
4.3.1.1. Geologické poměry v Dessie.....	34
4.3.1.2. Sesuvné pohyby v Dessie .....	34
4.3.2. Oblast Dejen – Gohatsion .....	35
4.3.2.1. Geologické poměry oblasti Dejen – Gohatsion .....	37
<b>4.4. Klimatické a meteorologické podmínky .....</b>	<b>37</b>
4.4.1. V Etiopské vysočině .....	37
4.4.2. V zájmových oblastech.....	39
<b>4.5. Půdní a vegetační podmínky .....</b>	<b>42</b>
<b>4.6. Zemětřesení .....</b>	<b>42</b>
4.6.1. Tektonické podmínky .....	45
<b>4.7. Vulkanické podmínky.....</b>	<b>45</b>

## **PRAKTICKÁ ČÁST**

<b>5 SVAHOVÉ POHYBY V ZÁJMOVÝCH OBLASTECH.....</b>	<b>47</b>
<b>5.1. Data a použitá metodika.....</b>	<b>47</b>



5.2.	<b>ASTER</b> .....	<b>47</b>
5.3.	<b>Google Earth</b> .....	<b>47</b>
5.4.	<b>Analýza klasifikovaných svahových pohybů</b> .....	<b>48</b>
5.4.1.	Klasifikace svahových pohybů dle mechanismu pohybu .....	49
5.4.2.	Geologické poměry a skupiny svahových pohybů .....	50
5.4.3.	Velikost a orientace skupin svahových pohybů .....	53
5.4.4.	Antropogenní poměry a skupiny svahových pohybů .....	53
<b>6</b>	<b>DISKUZE</b> .....	<b>57</b>
6.1.	<b>Srovnávací analýza geologických poměrů a skupin svahových pohybů</b> <b>v zájmových oblastech</b> .....	<b>57</b>
6.1.1.	Dessie .....	57
6.1.2.	Dejen .....	58
6.1.3.	Gohatsion .....	58
6.2.	<b>Spoušťové faktory vedoucí k zahájení svahových pohybů</b> .....	<b>59</b>
6.3.	<b>Vlivy způsobující zkreslení výsledků</b> .....	<b>59</b>
<b>7</b>	<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>61</b>
7.1.	<b>Rešeršní část</b> .....	<b>61</b>
7.2.	<b>Praktická část</b> .....	<b>63</b>
	<b>POUŽITÁ LITERATURA A ZDROJE</b> .....	<b>65</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b> .....	<b>73</b>
	<b>SEZNAM TABULEK</b> .....	<b>74</b>
	<b>SEZNAM GRAFŮ</b> .....	<b>74</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH</b> .....	<b>74</b>
	<b>PŘÍLOHY</b> .....	<b>75</b>

## SEZNAM ZKRATEK

<b>ASTER</b>	The Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer
<b>DEM</b>	Digital elevation model
<b>DPZ</b>	dálkový průzkum země
<b>GIS</b>	geografické informační systémy
<b>DNP</b>	digitální nivelační přístroj
<b>3D</b>	trojrozměrný prostor

# 1 ÚVOD

Svahové pohyby přirozeného původu, ale i ty vyvolané lidskou činností, patří k rozšířeným geodynamickým jevům na zemském povrchu. Nebezpečí vzniku sesuvů jednak ohrožuje lidské životy, ale je i limitujícím faktorem pro zlepšení infrastruktury a celkového rozvoje Etiopie.

Specifickou oblastí je okrajová část Etiopské vysočiny na hranici s Velkou příkopovou propadlinou, kde se nachází značné tektonické zlomy. Minulé tektonické aktivity a denudační procesy měly značný vliv na morfologické změny. Kotlina Dessie, která je tektonického původu, je lokalizovaná na západním okraji Afarské deprese. Rozsáhlé geomorfologické průzkumy poukázaly na morfodynamické procesy různé typologie a velikosti. Tyto procesy silně interagují se zastavěnou částí města Dessie, jednoho z nejvíce důležitých měst Etiopie s přibližně 200 000 obyvateli. Naopak druhá a třetí vybraná lokalita se nachází v údolí Modrého Nilu oblastí Dejen a Gohatsion. Přes obě oblasti prochází jediná silnice, která je každoročně zasažena značným počtem svahových pohybů.

Metody výzkumu svahových pohybů se dělí na dvě skupiny. První skupinou je terénní průzkum, kde se dají využít zejména geodetické metody, pozemní fotogrammetrie nebo laserové skenování, popř. inklinometrická a deformometrická měření. Druhou skupinou jsou metody DPZ, na kterých je založená praktická část této práce. DPZ je velmi preferovanou metodou výzkumu v mnoha fyzikogeografických disciplínách v 21. století.

Fyzikogeografická charakteristika této práce se bude zabývat geomorfologií, klimatickými a meteorologickými poměry v souvislosti s úhrnem srážek a jeho rozložením během roku. Dále jsou v práci uvedeny nejdůležitější vlivy půdních a vegetačních poměrů.

Cílem práce je na základě dostupné literatury uvést klasifikace svahových pohybů a vypracovat rešerši o svahových pohybech v Etiopské vysočině a jejich spouštěcích faktorech. Dále je důležité popsání charakteristiky skupin svahových pohybů, protože zpracování této rešeršní části bude základem pro praktickou část, kde svahové pohyby budou identifikovány a klasifikovány. Poznatky z literatury jsou tedy aplikovány v zájmových oblastech Etiopské vysočiny. Dalším cílem je zpracování získaných dat a interpretace výsledků a uvedení jednotlivých výstupů a závěrů, například uvedení nejčastějších skupin svahových pohybů v zájmových oblastech. Hlavním cílem práce je analýza klasifikovaných svahových pohybů ve vztahu ke geologickým poměrům.

# REŠERŠE

## 2 SVAHOVÉ POHYBY

V současné době existuje mnoho různých definic svahových pohybů. Většina autorů definuje svahové pohyby s ohledem na jejich pole zájmu. Terminologie je tedy závislá na vědním oboru. Dvěma základními přístupy může být rozdělení na geomorfologické a geologické pole zájmu.

- **geomorfologie** -v geomorfologii se vývoj svahových pohybů studuje jako proces tvorby reliéfu
- **geologie** -v geologii se vývoj svahových pohybů studuje jako forma denudačních procesů nebo jako jeden ze zdrojů vzniku a rozvoje svahových sedimentů

Z definice podle Varnes (1978) je pro účely geomorfologie důležitá informace, že ovlivnění nebo narušení struktury svahu může iniciovat svahový pohyb. Za svahové pohyby v užším slova smyslu se například v geologii nepovažují případy, kdy horninové masy na svazích unášejí transportační médium (voda, led, sníh nebo vítr) (Ondrášík a Rybář, 1991). Pro účely bakalářské práce je nejvhodnější definice, kterou uvedl Varnes (1978). V tabulce 1 jsou shrnuty všechny důležité definice svahových pohybů dle jednotlivých autorů.

**Tabulka 1: Definice svahových pohybů dle jednotlivých autorů**

AUTOR	DEFINICE SVAHOVÉHO POHYBU
Varnes (1978) <sup>1</sup>	GE: Gravitační pohyb hornin, zeminy a půdy po svahu, který může nastat spontánně bez zřejmé spouštěvé události, stejně jako může být zahájen silnými dešti, zemětřesením nebo antropogenním ovlivněním a zásahem do struktury svahu.
Cruden (1991)	GE: Pohyb hmoty hornin, úlomků nebo zeminy ze svahu směrem dolů.
Dikau et al. (1996)	G: Pohyb hmoty, který nevyžaduje transportní médium jako například vodu, vzduch nebo led.
Brunsdon a Thornes (1979)	G: Je pohyb zeminy ve spádovém směru pod vlivem gravitace bez primární asistence kapaliny jako transportního činitele.

Vysvětlivky: GE = geomorfologická definice; G = geologická definice

---

<sup>1</sup> Varnes (1978) ke své definici dodává, že nejčastěji svahový pohyb iniciují právě spouštěvé události.

## 2.1. Klasifikace svahových pohybů

Svahové pohyby jsou velmi různorodé. Jejich vznik a vývoj je podmíněný místními přírodními poměry. Základní platné klasifikace jsou postupně uvedeny v této kapitole.

Základním tříděním svahových pohybů je klasifikace podle mechanismu pohybu, a to na čtyři základní skupiny<sup>2</sup>, uvádí Horník et al. (1986):

- **ploužení** (creep; kriechen; reptación)
- **sesouvání** (sliding; gleiten; deslizaminetos)
- **stékání** (flow; fließen; flujos)
- **řícení** (fall; fallen; derrumbe)

Z důvodu rozsáhlé klasifikace svahových pohybů dle mechanismu a výsledných svahových deformací dle Nemčok et al. (1974) je tabulka přehledně uvedena v příloze 1. Méně podrobná verze stejné klasifikace je pro rychlou orientaci a použití v této práci uvedena v tabulce 2.

**Tabulka 2: Klasifikace dle mechanismu svahových pohybů**

TYP SVAHOVÉHO POHYBU DLE MECHANIZMU	SVAHOVÝ POHYB	VÝSLEDNÁ SVAHOVÁ DEFORMACE
PLOUŽENÍ	rozvolňování svahů	zdvojené hřbety
	gravitační vrásnění	gravitační vrása, bulging
	blokové pohyby	blokové pole
	povrchové ploužení	slézání svahových hlín a sutí, plošná soliflukce
SESOUVÁNÍ	sesouvání podél rotační smykové plochy	rotační sesuv, sesuv podél rotační smykové plochy
	sesouvání podél rovinné smykové plochy	planární sesuv, sesuv podél rovinné smykové plochy
	sesouvání podél složené smykové plochy	sesuv podél složené smykové plochy, laterální sesuv
STÉKÁNÍ	stékání svahových uloženin	zemní proud, bahnitý proud, hlinito-kamenitý a bahnitý přívalový proud, mura, flowage
ŘÍCENÍ	sesypávání	drolení, sesyp
	opadávání úlomků	opadový a suťový kužel, osyp, halda, kamenné moře
	odvalové řícení	skalní řícení, odvalové zřícení
	planární řícení	planární skalní zřícení

Zdroj: převzato a upraveno z Nemčok et al. (1974)

<sup>2</sup> Názvosloví je dodatkově uvedeno v tomto pořadí: anglický, německý a španělský jazyk.

Typy svahových pohybů klasifikoval ve své studii také Varnes (1978) a klasifikace je uvedena v tabulce 3, kde jsou vypsané jednotlivé svahové pohyby s vazbou na změnu hornin.

**Tabulka 3: Typy svahových pohybů**

TYP POHYBU	HORNINY		
	SKALNÍ A POLOSKALNÍ	ZEMINY	
		Převážně sypké a nesoudržné	Převážně jemnozrnné soudržné
TEČENÍ		suťové proudy	zemní proudy
SESOUVÁNÍ	blokový sesuv	sesuv suti	sesuv zemin
PŘEKLÁPĚNÍ	překlápění skalních hornin	překlápění suti	
ŘÍCENÍ	skalní řícení	opadávání úlomků	opadávání zeminy
KOMPLEXNÍ	kombinace dvou a více typů		

Zdroj: převzato a upraveno z Varnes (1978)

Velmi důležitou charakteristikou je rychlost svahových pohybů. Její klasifikace podle Varnes (1958) je uvedena v tabulce 4. Základem hlavních kritérií je dělení podle mechanismu a rychlosti svahových pohybů.

**Tabulka 4: Klasifikace svahových pohybů podle rychlosti pohybů**

Rychlost (ft/s)	Popis	Typická rychlost
$10^2$	↑ extrémně rychlý	10 ft/s = 3 m/s
$10^1$		
$10^0$	↑ velmi rychlý	1 ft/min = 0,3 m/s
$10^{-1}$		
$10^{-2}$	↑ rychlý	5 ft/den = 1,5 m/den
$10^{-3}$		
$10^{-4}$		
$10^{-5}$	↑ mírný	5 ft/měsíc = 1,5 m/měsíc
$10^{-6}$		
$10^{-7}$	↑ velmi pomalý	5 ft/rok = 1,5 m/rok
$10^{-8}$		
$10^{-9}$	↓ extrémně pomalý ↓	1 ft/5 let = 60 mm/rok

Zdroj: převzato a upraveno z Varnes (1958)

Dále pak Nemčok et al. (1974) rozdělili svahové pohyby dle rychlosti:

- **velmi pomalé a pomalé** - převládajícím mechanismem je ploužení
- **rychlé** - převládajícím typem je sesouvání
- **katastroficky rychlé** - uplatňuje se pohyb ve viskózním stavu nebo volný pád

Při popisu svahových deformací je vhodné k základnímu třídění použít i další, tzv. vedlejší kritéria klasifikace, jak uvádí Řezníček et al. (1980):

a) **podle věku**

- *recentní* - pohyb se uskutečňuje za současných klimatických a morfologických podmínek
- *fosilní* - pohyb se uskutečnil za jiných než současných klimatických a morfologických podmínek, např. v pleistocénu nebo pliocénu

b) **podle stupně aktivity**

- *aktivní* - v současnosti jsou svahové pohyby v pohybu
- *potenciální* - pohyb je v současnosti zklidněný, ale příčiny přetrvávají a za příznivých podmínek se může pohyb obnovit
- *stabilizovaný* - příčiny vzniku pohybu zanikly, případně se lidským zásahem odstranily

c) **geneze**

- *přírodní* - pohyb vznikl na přírodních svazích bez zásahu člověka
- *uměle vyvolaný* - pohyb vznikl na přírodních svazích nebo v zářezech a násypch lidskou činností

d) **vývojového stádia**

- *iniciální*
- *rozvinuté*
- *finální*

e) **opakovatelnosti**

- *jednorázové* - k pohybu na určitém místě došlo pouze jednou
- *periodické* - pohyb se na určitém místě opakuje vlivem periodicity spoušťového faktoru

f) **směru narůstání**

- *progresivní* - postihnutá oblast se rozšiřuje po svahu ve směru pohybu
- *retrogradní* - postihnutá oblast narůstá směrem po svahu vzhůru

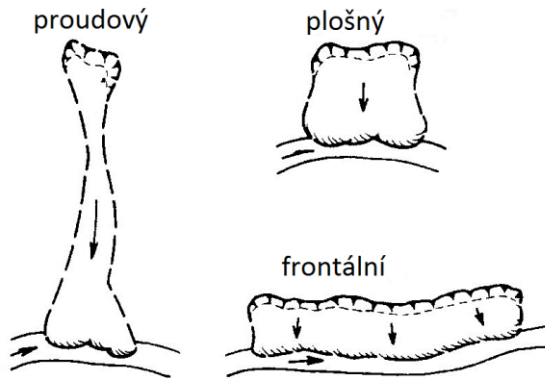
g) **půdorysu**

- *proudový* - délka deformovaného území mnohonásobně převyšuje šířku
- *plošný* - délka se přibližně rovná šířce
- *frontální* - šířka mnohonásobně převyšuje délku

#### h) morfologických forem

- *zřetelné* - svahové pohyby jsou neporušené mladšími modelačními
- *pohřbené* - zakryté mladšími sedimenty (např. říční akumulací)

**Obrázek 1: Dělení svahových pohybů podle půdorysového tvaru**



Zdroj: převzato a upraveno z Ondrášik a Rybář (1991)

Důležitou součástí pro klasifikování svahových pohybů je zejména volba kritérií. Například Terzaghi (1925) při klasifikování zohlednil fyzikální vlastnosti hornin. Dalším kritériem je i hodnocení průběhu smykové plochy dle Institutu geologického inženýrství (2014):

- **asekventní** - smyková plocha je zakřivená přibližně do tvaru válce
- **konsekventní** - k pohybu dojde po plochách jako je vrstevnatost nebo pukliny
- **isekventní** - bez přímého vztahu k textuře masivu

Skempton a Hutchinson (1969) rozdělili svahové pohyby do dvou základních skupin:

- **prvotní sesuvy** - svahové pohyby vznikly v doposud neporušených masívech
- **druhotní sesuvy** - svahové pohyby vznikly na existujících oslabených plochách

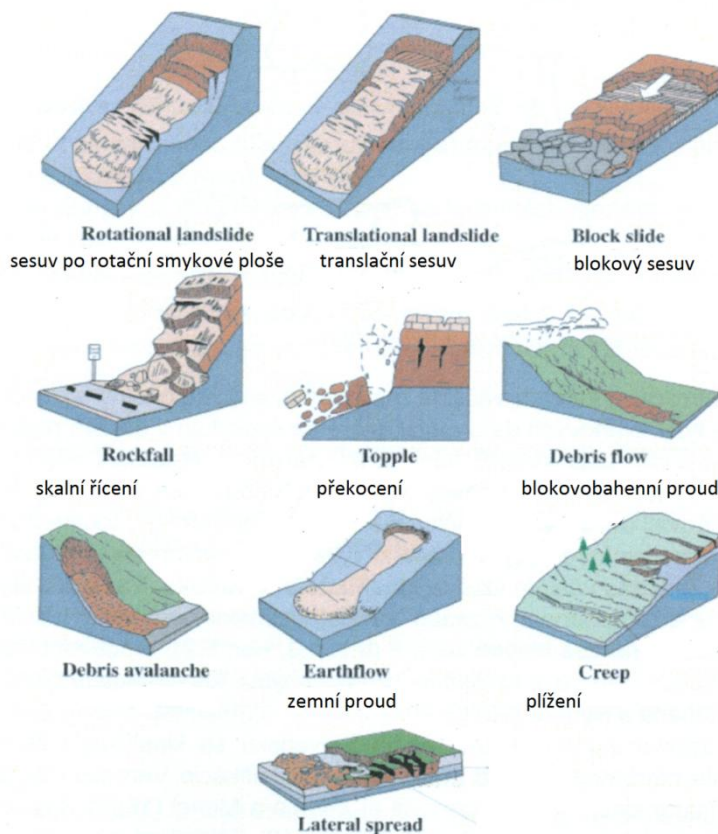
Existuje mnoho klasifikací, ze kterých většina má pouze omezený regionální význam, a to z důvodu, že autoři do klasifikací zahrnují jen ty typy svahových deformací, které se vyskytují v daném regionu.

## 2.2. Charakteristiky hlavních typů svahových pohybů

Vizuální znázornění jednotlivých typů svahových pohybů je vidět na obrázku 3. V této kapitole jsou uvedeny základní typy svahových pohybů a popsány podrobněji s typickou charakteristikou. Dále jsou uvedeny i příklady pro tyto jednotlivé skupiny.



**Obrázek 2: Znárodnění základních typů svahových pohybů**



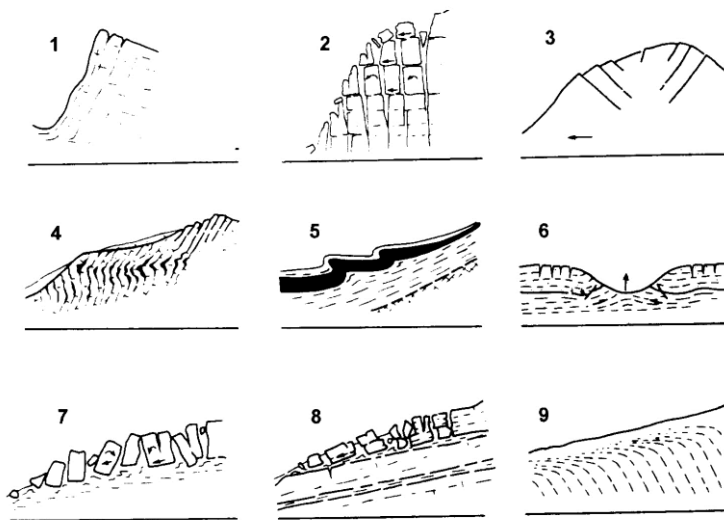
Zdroj: převzato a upraveno od Americké geologické společnosti (2014)

### 2.2.1. Ploužení

Ploužení je pomalý a dlouhodobý, zpravidla nezrychlující se, pohyb horninových hmot na svahu, přičemž smyková plocha je ve většině případů nezřetelná. Pokud se proces zrychlí, ploužení přechází na sesouvání, tečení nebo řícení. Rozlišují se formy hloubkového a povrchového ploužení. Základními typy hloubkového ploužení je rozvolňování svahů, gravitační vrásnění a blokové pohyby (Demek et al., 1988). Následující dělení a příklady ploužení jsou dle Horník et al. (1986):

- příklad 1 vznik exfoliačních puklin lemujících tvary svahů a údolí
- příklad 2 rozvolňování svahů otevíráním tahových trhlin v jeho horní části
- příklad 3 a 4 deformace vysokých horských svahů s převýšením několika set metrů
- příklad 5 gravitační vrásnění sedimentárních vrstev podél okrajů platformních pánví
- příklad 6 údolní antiklinály, které vznikly vytlačením měkkých hornin na dnu říčních údolí (bulging)
- příklad 7 blokové pohyby po plastickém podloží
- příklad 8 blokové pohyby podél předurčené smykové plochy
- příklad 9 povrchové ploužení

**Obrázek 3: Jednotlivé příklady a ukázky ploužení**



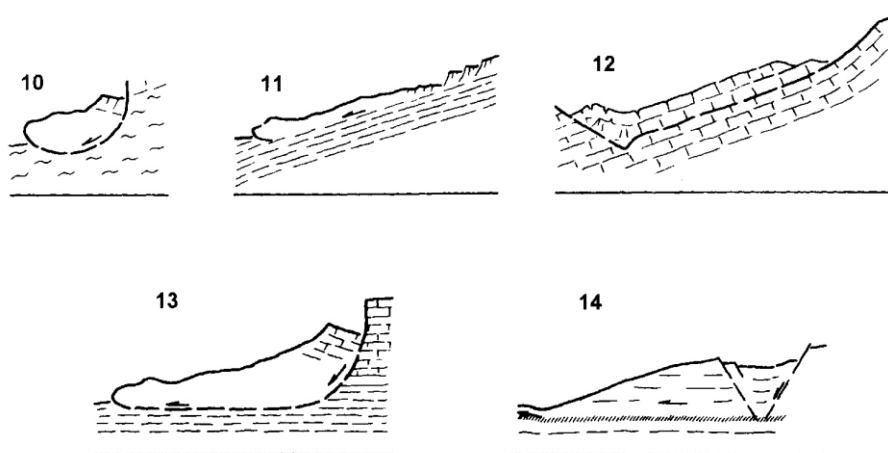
Zdroj: převzato a upraveno z Ústavu geotechniky VUT (2014)

### **2.2.2. Sesouvání**

Sesouvání je rychlý, krátkodobý pohyb horninových hmot na svahu podél jedné nebo více smykových ploch. Charakteristické je, že část sesunutého materiálu se nasune na původní terén v předpolí. Při sesouvání se mohou v hlubších částech současně uplatňovat i pomalé deformace plouživého charakteru, v povrchových částech i stékání a řícení. Výslednou formou sesuvného pohybu je sesuv. Sesuvy podrobněji rozdělujeme podle tvaru a průběhu smykové plochy. Rozlišujeme sesuvy podle rotační, planární a složené smykové plochy (Ondrášik et al., 2011). Následující dělení a příklady sesouvání jsou dle Ondrášik et al. (2011):

- |            |  |
|------------|--|
| příklad 10 | sesouvání podél rotační smykové plochy   |
| příklad 11 | sesouvání podél rovinné smykové plochy   |
| příklad 12 | sesouvání skalních hornin podél rovinné smykové plochy   |
| příklad 13 | sesouvání podél složené (kombinované) smykové plochy   |
| příklad 14 | sesouvání po horizontální nebo mírně ukloněné ploše, která vystupuje při patě svahu a odlišuje se svými fyzikálně - mechanickými vlastnostmi od hornin v nadloží |

**Obrázek 4: Jednotlivé příklady a ukázky sesouvání**



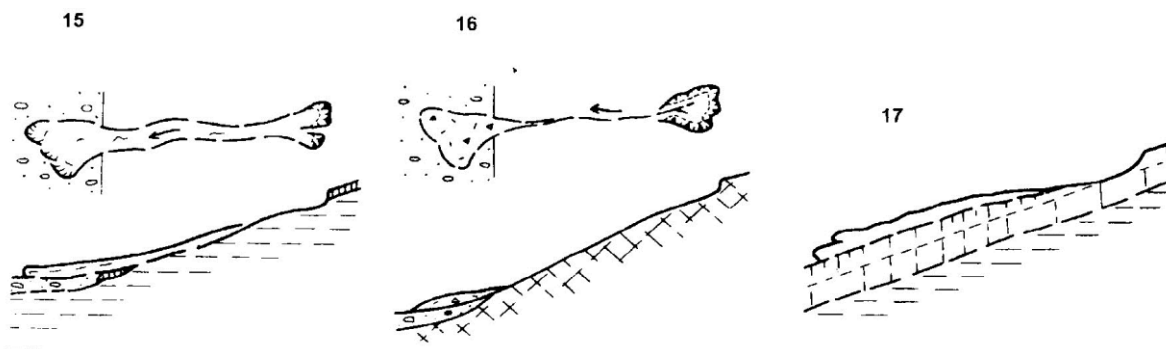
Zdroj: převzato a upraveno z Ústavu geotechniky VUT (2014)

### 2.2.3. Stékání

Stékání je krátkodobý pohyb horninových hmot ve viskózním stavu. Podstatná část hmoty vyteče ze zdrojové oblasti a přemístí se po povrchu terénu, a to často na velkou vzdálenost. Tekoucí hmoty jsou ostře oddělené od neporušeného podloží. Výslednou formou tečení je zpravidla proudové těleso. V určitých případech se při tečení uplatňuje vodní transport horninových hmot po svahu. Charakter rychlého tečení může mít i pohyb v úlomkovitých horninách bez jakéhokoliv obsahu vody (Horník et al., 1986). Následující dělení a příklady stékání jsou dle Horník et al. (1986):

- příklad 15 stékání svahových uloženin v podobě proudů v hornatinách
- příklad 16 stékání hlinitých a úlomkovitých svahových uloženin na strmých svazích působením přívalových vod nazývaných přívalové kamenito – bahnité proudy
- příklad 17 stékání vodou nasycených povrchových částí pokryvných útvarů (soliflukce) v období tání sněhu a ledu nebo po nadměrných dešťových srážkách

**Obrázek 5: Jednotlivé příklady a ukázky stékání**



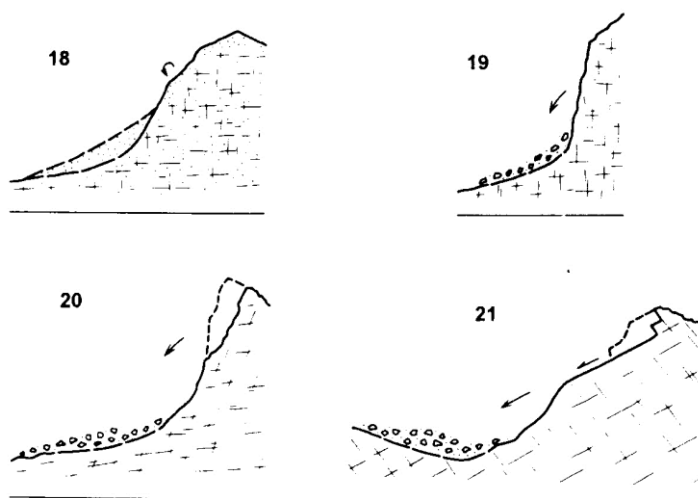
Zdroj: převzato a upraveno z Ústavu geotechniky VUT (2014)

## 2.2.4. Řízení

Řízení je náhlý a krátkodobý pohyb horninových hmot na strmých svazích, přičemž se postihnuté horniny rozvolní a ztrácí krátkodobě kontakt s podložím. Při pohybu se uplatňuje volný pád, ale současně i ostatní formy pohybu. V případě, kdy hmoty ztratí kontakt s podložím, může docházet k plouživým i sesuvným pohybům. Vzdálenost přemístěných hmot je vzhledem na prostorové rozměry zříceného materiálu z masivu mnohonásobně větší (Ondrášik a Rybář, 1991). Následující dělení a příklady řízení jsou dle Ondrášik a Rybář (1991):

- příklad 18 náhlé přemístění drolicích se úlomků poloskalních hornin valením po svahu
- příklad 19 náhlé přemístění úlomků skalních hornin, které se pohybují nejprve volným pádem, pak valením nebo posouváním po svahu (opadávání úlomků)
- příklad 20 náhlé přemístění částí skalních stěn v horských a vysokohorských oblastech převážně volným pádem (skalní řízení)
- příklad 21 náhlé přemísťování skalních hmot v horských a vysokohorských oblastech, přičemž se kombinuje kluzný pohyb po předurčené ploše s volným pádem (planární řízení)

**Obrázek 6: Jednotlivé příklady a ukázky řízení**

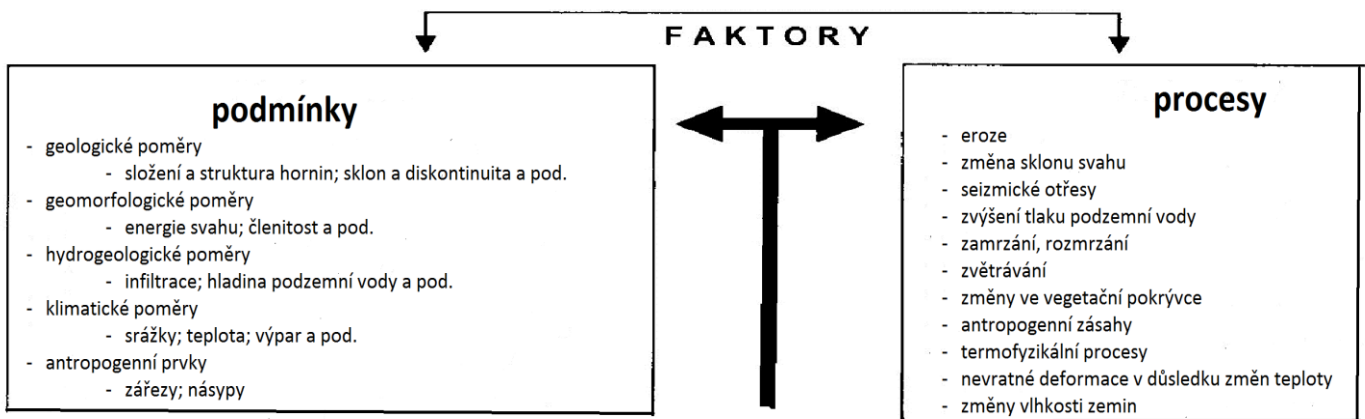


Zdroj: převzato a upraveno z Ústavu geotechniky VUT (2014)

## 2.3. Příčiny svahových pohybů

Základní podmínkou úspěšného řešení problematiky svahových pohybů je stanovení příčiny jejich vzniku. Přírodní poměry území vytváří podmínky, ve kterých vznikají svahové pohyby. Faktory jsou procesy, které mění podmínky a způsobují narušení stability svahu. Podstatné faktory, které se převážně podílí na vzniku svahového pohybu, souhrnně vytváří příčinu jeho vzniku (Pašek, 1974). Na obrázku 7 jsou tyto faktory znázorněny a dále popsány v kapitolách 2.3.1. - 2.3.6.

**Obrázek 7: Faktory podílející se na vzniku svahových pohybů**



Zdroj: upraveno a převzato z Pašek (1974) a Ondrášik et al. (2011)

### 2.3.1. Geologické poměry

Geologické poměry mají rozhodující význam pro spuštění svahového pohybu. Všeobecně může svahový pohyb vzniknout v každém horninovém prostředí. Navzdory tomu jsou určité geologické struktury více příznivé pro vývoj svahových pohybů. Podle Nemčok (1982) jde o následující typy geologických struktur:

- **povrchové struktury** – svahové pohyby jsou mocné pouze do několika desítek metrů a jejich vývoj ovlivňují sezónní změny klimatu
- **hlubinné struktury** – svahové poruchy jsou mocné až několik stovek metrů bez přímého vlivu sezónních změn klimatu

V jejich rámci je účelné dále ještě rozlišit:

- svahy ve skalních horninách s příznivou orientací dominujících ploch nespojitosti
- geologické struktury dvou typů horninových komplexů s rozdílnými pevnostními a deformačními charakteristikami

### 2.3.2. Geomorfologické poměry

Geomorfologické poměry na svahu jsou odrazem působení komplexu geologických a klimatických podmínek s vývojem v čase. Podle typu horninového prostředí se uplatňuje litologické složení hornin, případně strukturně - geologické poměry, ale též projevy recentní tektoniky (Demek, 1988). Podle Záruba a Mencl (1987) jsou pro geomorfologické poměry stěžejní sklon a výška svahu.

### 2.3.3. Hydrogeologické poměry

Hydrogeologické poměry jsou podobně jako geomorfologické poměry vázané na geologickou stavbu. Některé sesuvné pohyby jsou vázané na místa výstupu podzemních vod na povrch. Výrazné

zvýšení hladiny podzemní vody zpravidla způsobuje oživení pohybů na svahu. Na přírodních svazích stupeň nasycení vodou závisí na povrchových a podzemních vodách, které jsou dále v závislosti s klimatickými poměry (Záruba a Mencl, 1974).

#### **2.3.4. Klimatické a meteorologické poměry**

Klimatické poměry se mění v závislosti na klimatické zonálnosti a mění se i vliv klimatických poměrů na vývoj svahových pohybů v jednotlivých klimatických zónách. Citlivost svahů na extrémní srážky se též liší v závislosti na typu a hloubkovém dosahu svahové poruchy. Ondrášik et al. (2011) uvádí, že dlouhodobé srážkové bilance přímo ovlivňují nasycení masivu vodou.

#### **2.3.5. Antropogenní poměry**

Antropogenními faktory jsou zejména z majoritní části procesy spojené se stavební činností a s odstraněním vegetace na svahu. Z tvrzení Institutu geologického inženýrství (2014) vyplývá, že stavební činnost je hlavní antropogenní příčinou vzniku svahových pohybů, a to zejména z důvodu změny geometrie tvaru vlivem odlehčení jeho dolní části stavebním zářezem, například výstavbou komunikace nebo kanalizace. Další autoři Ayalew a Yamagishi (2002), Nyssen et al. (2003) uvádí rostoucí dopad lidských činností na nestabilitu svahů v příkladu intenzivního zemědělství, využívání půdy a urbanizace. Zvláště náchylné oblasti pro zahájení svahové aktivity v případě silného deště jsou odlesněná území, popisuje Nyssen et al. (2002).

#### **2.3.6. Procesy ovlivňující stabilitu svahu**

Procesy ovlivňující stabilitu svahu mohou způsobit vratné nebo nevratné změny podmínek a stupně stability svahu. Vratné změny, tj. střídavé snížení a zvýšení stupně stability vyvolávají epizodické a periodické procesy (např. seizmický otřes). Neperiodické procesy (např. boční eroze svahu) způsobují jednorázové nevratné změny, které snižují stupeň stability (Ondrášik a Rybář, 1991).

Určujícím hlavním faktorem je ten proces, který nejvíc přispěl k prvotnímu vzniku, zrychlení nebo oživení svahového pohybu. Správné určení hlavních spouštěčových faktorů patří mezi základní úlohy při studiu příčin porušení stability svahu. Do úvahy se může zapojit i několik procesů najednou.

## **3 METODIKA VÝZKUMU SVAHOVÝCH POHYBŮ**

### **3.1. Terénní výzkum a mapování**

V rámci mapování a terénního výzkumu jde především o práci přímo v terénu, kde se snažíme získat maximum informací o daném území. Terénní výzkum má výhodu, že se jedná o průzkum „in situ“. Metodou lze změřit hloubky a tvary oslabených zón nebo průběh smykové plochy svahu. Dále též zhodnotíme geomorfologické a hydrologické poměry, ale i geologické struktury.

Pro zobrazení svahových deformací se vyžadují vhodné topografické podklady, a to v příslušném měřítku mapy (nejlepší ve velkém měřítku 1:5 000) (Geografický ústav- Masarykova univerzita, 2006). Vítaným prostředkem je mapování s využitím internetu a jeho programů jako je například Google Earth. Naopak při podrobném průzkumu, zejména strmých skalních svahů na okrajích pohoří nebo podél komunikačních tras, se s úspěchem dají použít fotogrammetricky nebo laserovým skenerem sestavené mapové podklady (viz 3.1.2.3. a 3.1.2.4.). V nedostupném terénu se s výhodou dají použít i satelitní a letecké snímky (viz 3.2.).

#### **3.1.1. Laboratorní a terénní zkoušky**

Skladba zkoušek pro zjištění vlastností hornin nevyhnutelných při řešení stability svahu se v jednotlivých případech mění. Potřebné vlastnosti zemin a slabě zpevněných sedimentů se dají stanovit i na vzorcích. Na skalnatých svazích je potřebné zjistit údaje o puklinavosti a porušených zónách. Povaha zkoušek závisí na povaze horninového prostředí a typu svahové poruchy, jak uvádí Pašek et al. (1995).

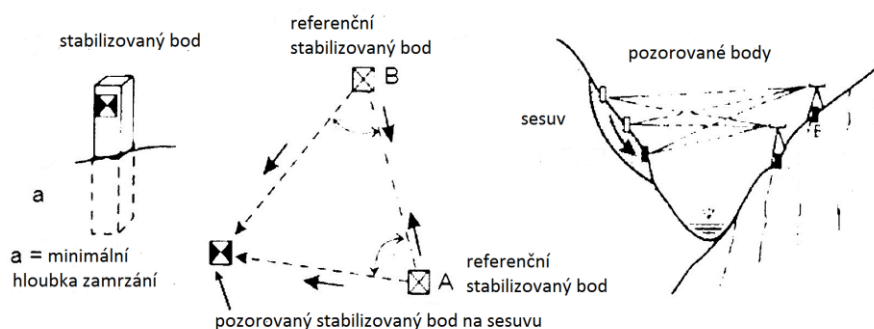
Při laboratorním výzkumu se věnuje největší pozornost stanovení pevnostních a deformačních charakteristik i indexových vlastností. Stanovuje se vrcholová a reziduální smyková pevnost. Hodnoty vrcholové pevnosti se využívají při řešení stability takových svahů, ve kterých ještě nedošlo k vytvoření smykové zóny. Reziduální smyková pevnost se používá pro výpočty stability v již existujících svahových pohybech (Aldorf a Mullerova, 1994).

#### **3.1.2. Měření přetváření povrchu horninového masivu**

##### **3.1.2.1. Geodetické metody**

Geodetické metody patří mezi standartní způsoby pozorování polohových (vertikálních a horizontálních) změn na povrchu. Při monitorování se nejčastěji používají metody nivelace, trigonometrická měření, přesná dálková měření elektronickými distančními přístroji a měření automatizovanými optickými stanicemi (viz trigonometrické měření na obrázku 8).

**Obrázek 8: Určení polohových změn stabilizovaných bodů trigonometrického měření**



Zdroj: upraveno a převzato z Ondrášek et al. (2011)

Digitálními nivelačními přístroji (DNP) se měří svislé posuny na principu optického rozpoznání obrazu. Senzor převádí kódové dělení nivelační latě na obrazový signál, který je pomocí korelačních vztahů přeměněn na číselnou hodnotu. Automatizovanými stanicemi se měří vzdálenosti a úhly a monitorují se posuny, jak uvádí Katedra matematiky - Západočeská univerzita (2014). Oba typy přístrojů je možné integrovat do systému GeoMonitor, který slouží na řízení systému a registraci dat. Cílem monitoringu ve většině případů není jen zachytit deformaci, ale zjistit i její příčiny, je možné do systému GeoMonitor kromě geodetických robotů integrovat i jiné snímače, např. piezometr, extenzometr, tenzometr apod. Díky využití DNP je možné kontinuální pozorování výškového posunu na libovolném počtu bodů s vysokou přesností (Torge, 2001).

### 3.1.2.2. Globální družicový polohový systém

Globální družicový systém (GNSS) je služba, která pomocí družic umožňuje autonomní prostorové určení polohy s celosvětovým pokrytím. Uživatelé používají malé elektronické rádiové přijímače, které na základě odeslaných signálů z družic umožňují vypočítat jejich polohu s přesností na desítky až jednotky metrů. Ve speciálních vojenských nebo vědeckých aplikacích na několik cm a mm. Nejdostupnější a hojně komerčně využívaný polohový družicový systém je tzv. GPS<sup>3</sup> (Univerzita Princeton, 2014)

K monitoringu se využívají GPS přístroje, které neurčují absolutní polohu bodu<sup>4</sup>, ale pouze jeho polohu vzhledem na jeden nebo víc vztažných bodů. Diferenciální systém GPS (DGPS) vyžaduje nejméně dva přijímače: jeden je permanentní stanicí (postaví se nad pevný bod se známými souřadnicemi), a druhým přijímačem se měří pozorované body, uvádí Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie – Univerzita Karlova (2014). Monitoring je totiž chápán jako kontrola a sledování stavu svahového pohybu v čase.

<sup>3</sup> Zkratka pochází z anglického termínu Global Positioning System, dle Slovníku cizích slov (2014).

<sup>4</sup> Používá se relativní určování polohy.



### 3.1.2.3. Pozemní fotogrammetrie

Fotogrammetrie je technika získávání informací o fyzických objektech a prostředí skrz proces zaznamenávání, měření a interpretace fotografických snímků a obrazů vektorů elektromagnetického záření a dalších jevů (American Society of Photogrammetry, 1980).

V praxi se využívají fotogrammetrické práce orientované na odkryté části masivů hornin (vertikální stěny a vysoké skalní svahy). Uložení údajů na odpovídající médium umožňuje studovat horninový masiv a jeho porušenost, charakterizovat orientaci základních typů diskontinuit, určit typ deformace, morfologickou pozici, v optimálním trojrozměrném vjemu (Kraus, 2007).

Charakteristickým znakem fotogrammetrie je, že studium fyzického stavu horninového masivu se uskutečňuje na snímcích a ne na studovaném objektu. Informace se získávají v okamžiku vyhotovení snímku, který zachytává časově úzce vymezený stav monitorovaného objektu, což je právě pro monitoring dominující, uvádí Hanzl a Sukup (2001).

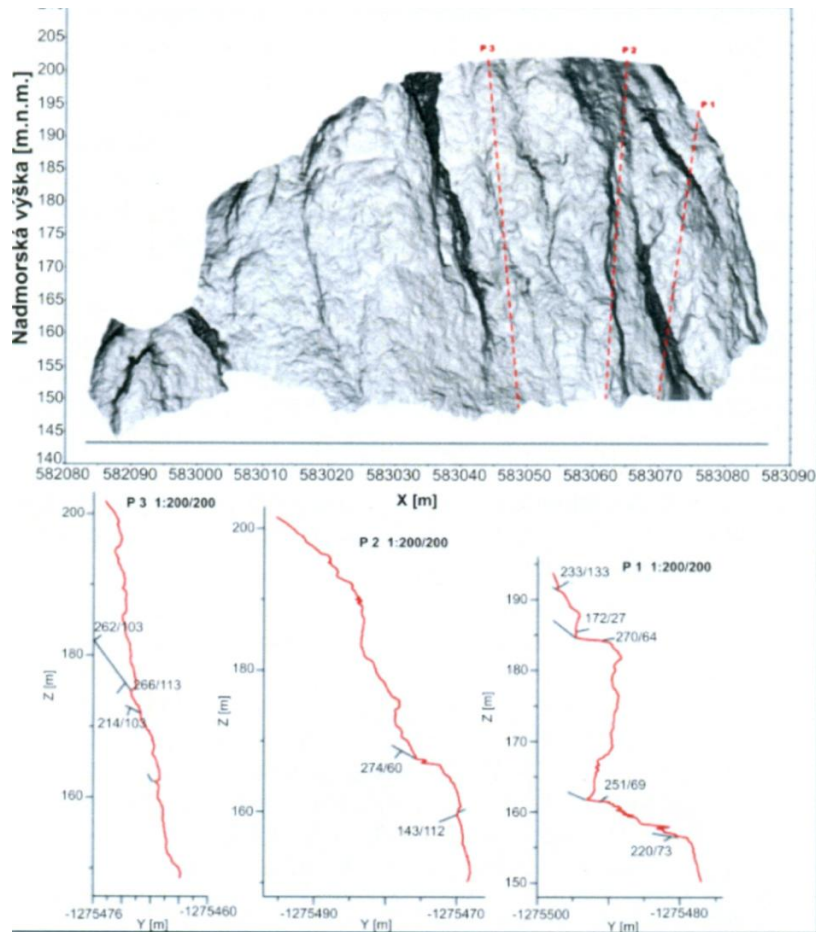
Dle způsobu vyhotovení měřičských snímků hovoříme o jednostanoviskové nebo dvojstanoviskové fotogrammetrii. V jednostanoviskové fotogrammetrii se zjišťuje například časový průběh deformace) (Kraus, 2007). Při dvojstanoviskové fotogrammetrii se snímky vyhotovují z dvou stanovisek, které mají určené geodetické souřadnice (Hanzl a Sukup, 2001).

### 3.1.2.4. Pozemní laserové skenování

Fotogrammetrický sběr dat a sběr dat laserovými skenery patří mezi nejmodernější a přesná měření prostorových údajů. Digitální fotogrammetrické snímkování a laserové skenování jsou v současnosti technologiemi, pomocí kterých je možné rychle, přesně a v 3D obrazu získat prostorové informace.

Princip skenování je založený na měření času přechodu laserového paprsku od přístroje k monitorovanému objektu a zpět. Zásadní rozdíl od klasických laserových dálkoměrů je v množství zaměřených bodů za relativně krátký čas. Všechna měření se vykonávají na snímcích v počítači, který nahradí čas strávený v terénu, jak uvádí společnost Geosystems AG (2012). Laserové skenování umožňuje vytvářet široké spektrum produktů - bezkontaktní zaměření, trojrozměrné modelování a vizualizaci složitých terénních tvarů. Laserovým skenováním je možné sestavit vertikální profily, např. skalní stěny na obrázku 9, barevné a černobílé ortofotomapy, základní bázi dat pro zpracování údajů v GIS apod. (Ondrášek et al., 2011).

Obrázek 9: Příklad využití laserového skeneru



Zdroj: převzato a upraveno z Ondrášek et al. (2011)

### 3.1.2.5. Inklinometrická měřidla

Inklinometrickými měřidly zjišťujeme změnu sklonu a rotaci měřeného objektu na povrchu, tedy je zde vazba na místa, kde dochází ke změnám v reliéfu. Nejčastější využití<sup>5</sup> pro naše účely je monitorování svahových deformací. Výhodou zařízení je včasné rozpoznání naklonění objektů v případech, kdy není možné polohové změny měřit geodeticky. Existuje celá řada přístrojů od jednoduchých mechanických až po stabilní elektronické s vlastní paměťovou jednotkou (Záruba a Mencl, 1974).

### 3.1.2.6. Deformometrická měřidla

Tato měřidla slouží k přímému měření posunů (deformací). Používají se výhradně na pozorování změn vzdálenosti minimálně dvou bodů umístěných na povrchu geologického tělesa situovaných oboustranně (nejčastěji kolmo) vzhledem na vybranou diskontinuitu (trhlinu, puklinu apod.), podél které se očekává pohyb (Aldorf a Mullerova, 1994).

<sup>5</sup> Využití v geotechnickém stavebnictví je podstatně širší.

Nejpoužívanější jsou extenzometrická pásma, posuvné mikrometry a mechanické dilatometry (Ondrášik et al., 2011). Jsou vhodné zejména na místech, kde je účelné okamžité zahájení měření a není čas na budování komplexnějších monitorovacích systémů, avšak nevýhodou je omezené využití v těžko přístupných místech. Využívají se zejména extenzometrická pásma. Pásmový extenzometr má udávanou přesnost okolo 0,05 mm. Dále i tzv. měřidlo posunů, kterým je možné zaznamenat posun bodů nejen v rovině, ale i v prostoru (Pašek a Matula, 1995). Na měření pohybů jsou dále vhodné i drátové (lankové) extenzometry, založené na mechanickém anebo elektrickém principu. Jejich princip spočívá v tom, že v nestabilní části horninového masivu se nainstaluje pozorovací bod, který se propojí ocelovým drátem s referenčním bodem umístěným na stabilním bloku horniny (masívu) (Ondrášik et al., 2011). Nejlepší je využití více metod monitorování svahových pohybů, a to proto, že měření jedním přístrojem nemusí vždy dát očekávanou odpověď na mechanismus a rychlost pohybu. Při kombinaci více monitorovacích metod je spolehlivost výsledků měření vždy vyšší.

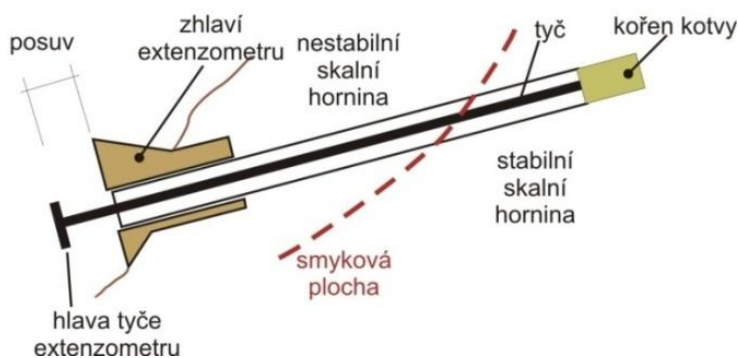
### 3.1.3. Měření deformací v hloubce horninového masivu

Posuny nebo deformace ve vnitřku horninového masivu můžeme měřit tyčovými nebo drátovými extenzometry trvale usazenými ve vrtu. Ve vrtech můžeme měřit například posuvným deformometrem nebo přesnějším posuvným mikrometrem. Dále jsou velmi vhodné inklinometry (Pašek et al., 1995).

#### 3.1.3.1. Tyčové extenzometry

Tyčové extenzometry představují zařízení na monitorování posunů horninového prostředí ve vrtu, a to ve směru jeho osy. Do jednoho vrtu můžeme umístit až osm tyčových extenzometrů s kořeny umístěnými v různé hloubce. Měření je založené na zjišťování změny polohy zhlaví vrtu k zakotvenému kořenu tyče. Tyčové extenzometry se využívají na monitorování deformací horninového masivu (Aldorf a Mullerova, 1994).

**Obrázek 10: Princip fungování tyčové extenzometru**



Zdroj: převzato a upraveno z Rozsypal (2001)

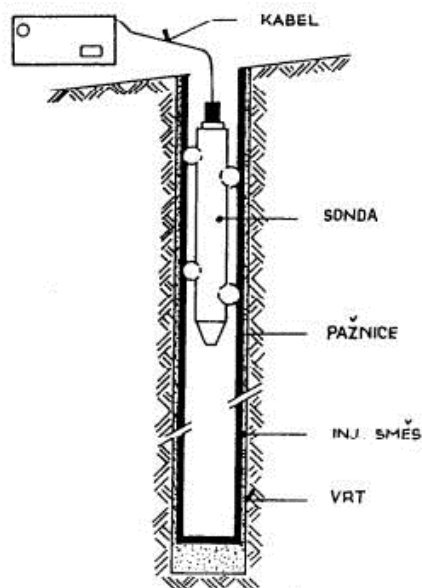
### 3.1.3.2. Křehké vodiče

Křehké vodiče patří k monitorovacím zařízením, pomocí kterých můžeme určit hloubku vznikající a rozvíjející se smykové plochy. Neumožňují však pozorovat časový průběh jejího vývoje. Metoda spočívá v přerušení elektrického obvodu vytvořeného křehkým vodičem smykovým posunem v určité hloubce vrtu. Pokud je v sesuvném tělese indikováno více smykových ploch, tímto způsobem zjistíme jen nejrychleji se rozvíjející smykovou plochu, ostatní zůstanou neidentifikované (Ondrášek et al., 2011).

### 3.1.3.3. Přesná inklinometrie

Na zjištění vodorovných přetváření jsou nevhodnější inklinometry umístěné v sondě, která je vybavená inklinometrickými (měřicími) pažnicemi se speciálními, ve dvou směrech na sebe kolmými drážkami, aby se zabezpečilo orientaci sondy v předurčeném směru, uvádí (Ondrášek et al., 2011). Sonda se pohybuje ve směru vrtu.

**Obrázek 11: Inklinometrie**



Zdroj: převzato a upraveno z Fakulty stavební - Vysoká škola báňská (2014)

## 3.2. Satelitní a letecké snímkování

V současnosti jsou na monitorování zemského povrchu k dispozici data z několika satelitů, jako jsou například Quick Bird, SPOT 5, Ikonos, ERS-1, ERS-2 až po satelit ENVISAT vypuštěný na oběžnou dráhu v roce 2002. Na palubě této družice je deset vysoko citlivých optických a radarových přístrojů a jeden z nich je speciálně zaměřený na monitoring svahových deformací (Gisat, 2014). Největším přístrojem družice je palubní radar SLAR, který využívá nekoherentní záření

a radar se syntetickou aparaturou ASAR (využívající koherentního záření), který je schopný zjistit výškové změny povrchu Země s přesností větší než 1 milimetr (Schott, 2007). Všechny uvedené systémy využívají radary pracující na bázi aktivního mikrovlnného systému a je možné je použít při každém počasí 24 hodin denně. Letecké snímkování je v podstatě založené na stejném principu jako snímkování satelitní.

Základem všech moderních technologií je sběr dat, který umožňuje vytvořit digitální model reliéfu nebo povrchu terénu, a to i v zalesněných oblastech. Zatímco v případě satelitů podstatnou úlohu sehrávají radary, v leteckém snímkování se na měření vzdálenosti z moderních technologií využívají především laserové paprsky, v praxi označované jako „lidary<sup>6</sup>“, zmiňuje Lillesand et al. (2007). Výhodou leteckého laserového skenování oproti klasické fotogrammetrické metodě při tvorbě digitálního modelu terénu je daleko větší hustota dat (více než 1 bod.m<sup>-2</sup>), což umožňuje spravovat daleko variabilnější grafické výstupy, které nacházejí poměrně široké využití při úlohách stejného typu jako při satelitním snímkování (svahové deformace, poklesy povrchu území atd.), uvádí Schott (2007).

---

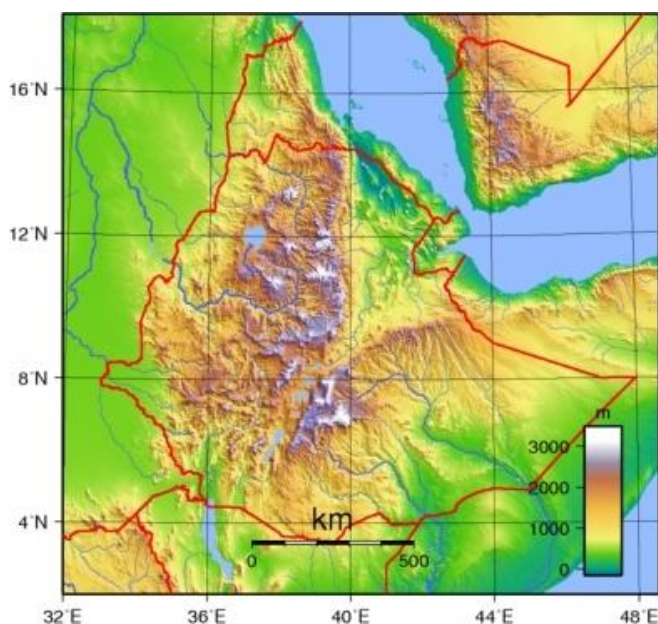
<sup>6</sup> Zkratka pochází z anglického názvu Light Detection And Ranging, uvádí ArcGis Help (2014).

## 4 ETIOPSKÁ VYSOČINA

Etiopská vysočina je rozsáhlý horský systém v Etiopii. Průměrná nadmořská výška náleží intervalu 2 000 – 2 400 m n.m., proto je Etiopská vysočina nazývána „střechou Afriky“ (viz obrázek 8). Nejvyšší vrchol je Ras Dašan 4 620 m n.m. (Garzanti et al., 2006) a nachází se v oblasti Simienských hor.

Horninový základ tvoří krystalinikum s mocnými vrstvami sedimentů, na které působily tektonické pochody a vulkanismus v období třetihor. Právě vulkanické působení vytvořilo zpravidla nejvyšší nadmořské polohy, kde bazaltové příkrovy překrývají krystalické horniny (Ayanew a Barbieri, 2005). Horský masiv je rozdělen Velkou příkopovou propadlinou na dva hlavní vyzdvižené bloky - východní a západní část - jak je vidět na obrázku 13. Tyto vyzdvižené bloky se nazývají Západní a Východní rovina (Western a Eastern plateau). Zvláště pozoruhodné dle Abebe et al. (2010) jsou vysoké příkré svahy mezi těmito rovinami.

**Obrázek 12: Topografická mapa Etiopské vysočiny**



Zdroj: převzato a upraveno z Mapsof (2014)

### 4.1. Svahové pohyby v Etiopské vysočině

Svahové pohyby v Etiopské vysočině jsou spojené především s výskytem několika predisponujících faktorů jako je členitý reliéf, vysoké nadmořské výšky a výškový rozdíl. Z obrázku 12 lze zpozorovat, že pro některé oblasti je výškový rozdíl i 2 000 – 3 000 m. Morfologii Etiopské vysočiny Abebe et al. (2010) popisuje jako území s velmi hlubokými údolími a roklemi a s vysokými strmými svahy. Aktivní zařezávání řek je velmi rozšířené a způsobuje nestabilitu svahu.

## 4.2. Geologie Etiopské vysočiny

### 4.2.1. Prekambrium

Nejstarší geologickou dobou Etiopie je prekambrium, kdy se vytvářelo krystalinikum (Tefera et al., 1996). Krystalinikum je utvořeno ze sekvence metamorfovaných pyroklastických a ryolitových láv. V období pozdního prekambria působily rozsáhlé denudační<sup>7</sup> procesy na prekambřícký reliéf. Právě prekambřícký reliéf dle Coltorti et al. (2007) zaujímá majoritní plochu povrchu v Etiopské vysočině.

### 4.2.2. Prvohory

Na prekambříckém reliéfu byly v období prvohor uloženy kontinentální pískovce a tility ordovického stáří (Tefera et al., 1996). Tyto sedimenty vychází<sup>8</sup> na povrch v údolí Modrého Nilu (Abebe et al., 2010).

### 4.2.3. Druhohory

Po dlouhotrvající mezeře v sedimentování byl uložen Adigratský pískovec vytvořený v triasu z křemenných pískovců. Další fázi Bosellini et al. (1997) zmiňuje uložení Antalo supersekvence, což je slínito-uhličitá marinní sukcese. Merla a Minucci (1938) dodává, že nižší část Antalo supersekvence zahrnují Antalo vápence a vrstevnaté vápencové jednotky s proměnlivým vložením slínito-břidlicových vrstev.

Amba Aradam formace je kontinentální sekvence pískovce křídového stáří (Tefera et al., 1996) a pokrývá území předešlých celků v údolí Modrého Nilu (Coltorti et al., 2007).

### 4.2.4. Třetihory a čtvrtohory

Amba Aradam formace jsou překryté téměř všude na světě lávovými proudy s mocností až 2 000 m. Umístění formace nastalo během oligocénu v prvních fázích vzniku Velké příkopové propadliny. Spodní vrstva je složena téměř výhradně z čediče, zatímco horní část obsahuje některé ryolity (Abebe et al., 2010). Některé sopky (čedičové, ryolitové a trachytové) explodovaly v průběhu pliocénu a čtvrtohor (Zanettin a Justin-Visentin, 1973). Abebe et al. (2010) dodává, že některé z nich jsou umístěny ve Velké příkopové propadlině a jsou stále aktivní.

---

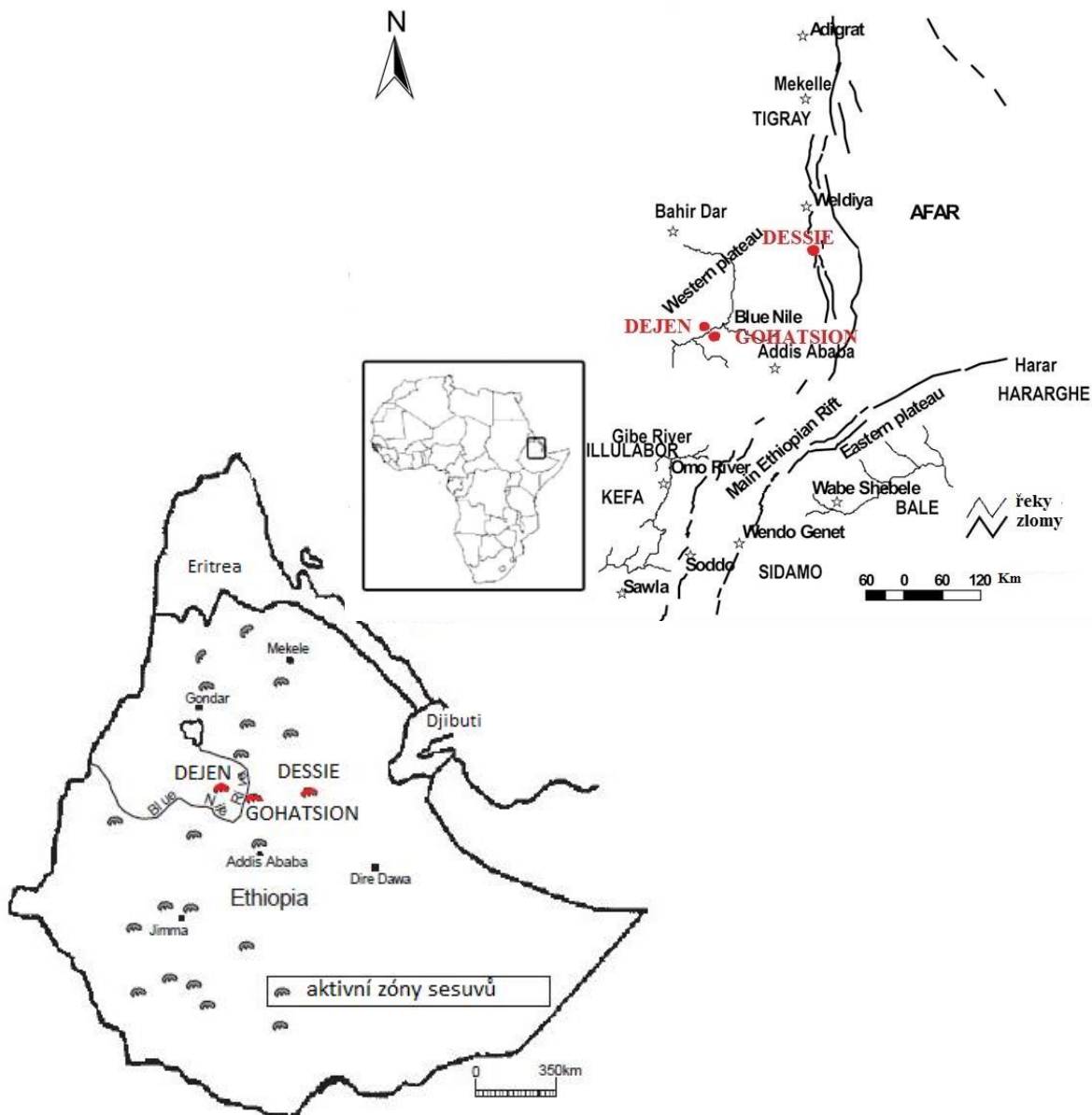
<sup>7</sup> Denudační procesy pak dále nastaly i v raných čtvrtohorách a opět přetvořily prekambřícký reliéf.

<sup>8</sup> Sedimenty vycházejí na povrch i v dalších regionech, nejsou však stěžejní pro účel této práce.

### 4.3. Oblasti zájmu v Etiopské vysočině

V této kapitole jsou uvedeny konkrétní oblasti zájmu v Etiopské vysočině, kterými je kotlina města Dessie a oblasti v údolí Modrého Nilu - Dejen a Gohatsion. Oblast Dessie je lokalizovaná na SSV od hlavního města Etiopie Addis Abeba, Dejen a Gohatsion na SZ. Tyto oblasti byly vybrány z důvodu predispozice k svahovým pohybům (viz obrázek 13).

Obrázek 13: Lokalizace zájmových oblastí



Poznámky: GPS souřadnice zájmových oblastí jsou následující: Dessie 11°7'34.10"S; 39°37'42.30"V;  
Gohatsion 10°0'28" S; 38°14'48"V; Dejen 10°10'22"S; 38°7'37" V.

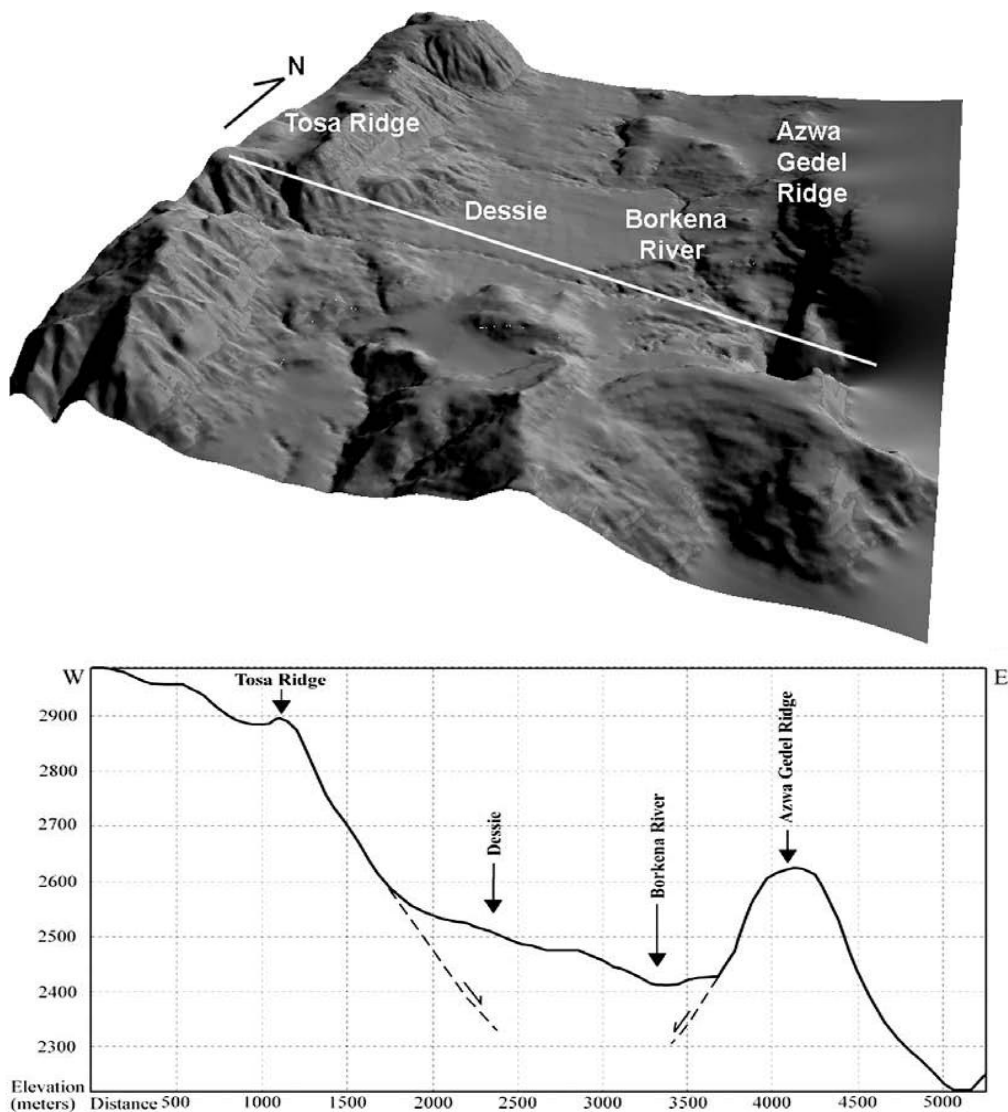
Zdroj: upraveno a převzato z Asfaw (2010); Abebe et al. (2010)



### 4.3.1. Oblast Dessie

Město Dessie je velikostně středně urbanizované sídlo s počtem obyvatel okolo 200 000 lokalizované v jedné z menších tektonických depresí na východním okraji Etiopské vysočiny, tedy umístěné na hraniční zóně s depresí Afar (viz obrázek 13). Oblast je charakterizovaná uzavřenou kotlinou s dvěma paralelními horskými hřebeny třetihorního stáří jdoucími SSV a SSZ směrem. Hřebeny byly vyzdviženy v období třetihor až čtvrtohor, a to až o 800 – 1 000 m, jak uvádí Ukstins (2002). Kotlina Dessie je hluboce zařízlá do řeky Borkena a tvoří desítky metrů hlubokou strž na JV straně Dessie (Almond, 1986). Zaznačené linie paralelních hřebenů Tosa a Azwa Gedel jsou vidět na obrázku 14.

Obrázek 14: 3D sekvence a profil Dessie



Vysvětlivky: 3D profil města Dessie se znázorněním V-Z sekvenčního profilu hřebenů Tosa a Azwa Gedel  
Zdroj: upraveno a převzato z Abebe et al. (2010)

#### 4.3.1.1. Geologické poměry v Dessie

Výchozy vrstev podloží se skládají ze sekvence třetihorních vulkanitů trapové série. Středně až vysoce zvětralé a hustě rozpukané bazaltové horniny souvisí s postupnými lávovými toky. Vulkanity jsou však na dně kotliny překryty vrstvou svahovin a naplavenin a ve východní části města pak bažino-jezerními sedimenty zahrnujícími jíly, prach a písky (Abebe et al., 2010). Bazaltové výchozy vrstev podél zlomů a na svazích jsou značně rozpukané, tvořené jak systematickým, tak nesystematickým uspořádáním puklin v hlavním tektonickém trendu směru S-J a V-Z (Ayenew a Barbieri, 2005). Grafické znázornění je v příloze 2.

#### 4.3.1.2. Svahové pohyby v Dessie

Na strmých svazích Tosa a Azwa Gedel se nachází tři skupiny svahových pohybů: řícení, sesouvání a stékání. Nacházejí se převážně v těchto svahových deformacích: skalní řícení, skalní sesuv a bahnitý proud. Ovlivňujícím faktorem je silně zvětralý plášť vulkanického podloží, kdy tyto vysoce zvětralé bazaltové horniny s nekonsolidovaným materiálem na příkrých svazích tvoří zónu svahové aktivity (Ayenew a Barbieri, 2005). Tito autoři Gouin (1979), Abebe et al. (2010), Ayenew a Barbieri (2005) se zabývali svahovými pohyby v městě Dessie a tvrdí, že poruchy na svazích se týkají hlavně nekonsolidovaných materiálů, které překrývají vrstvu trapových vulkanitů. Shrnutí výzkumu jednotlivých autorů v tabulce 5.

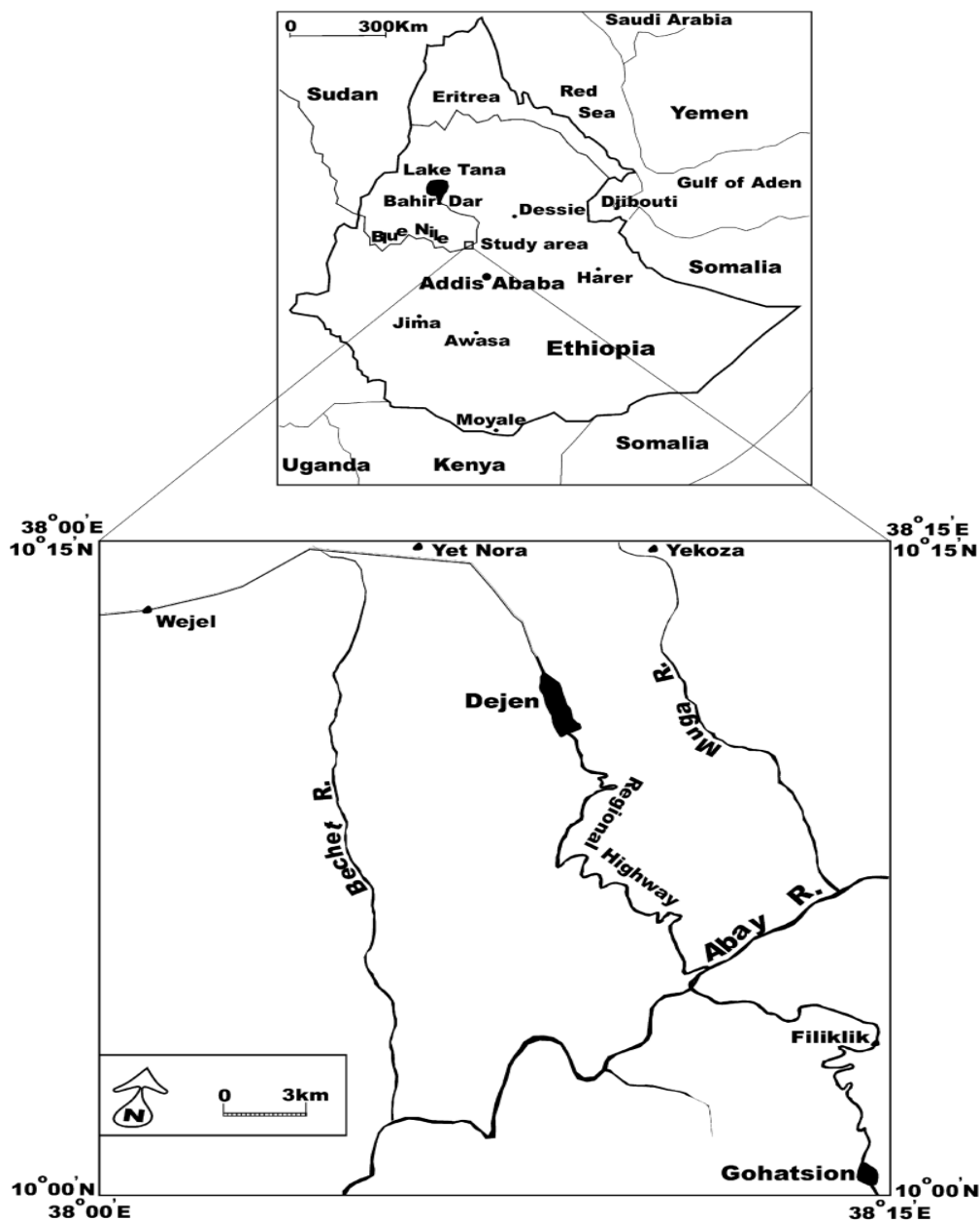
**Tabulka 5: Shrnutí závěrů výzkumu jednotlivých autorů pro Dessie**

SKUPINA SVAHOVÝCH POHYBŮ	svahová DEFORMACE	ZÁVĚR VÝZKUMU	AUTOR
SESOUVÁNÍ	sesuvy podél rotační smykové plochy	nachází se na naplaveninách, svahovinách a jezerních sedimentech	Abebe et al. (2010)
	translační sesuvy	pohyb se uskutečňuje na rozhraní mezi podložím a povrchovými sedimenty	Aynew a Barbieri (2005)
		pohyb po jílovité vrstvě sedimentů nebo podél této vrstvy a skalnatým podložím	Abebe et al. (2010)
ŘÍCENÍ	skalní řícení	příčinou a spouštěčovým faktorem je zemětřesení	Gouin (1979)
		pukliny paralelní ke svahu vytvořené bazaltovými horninami	Abebe et al. (2010)
STÉKÁNÍ	bahnitý proud	příčinou a spouštěčovým faktorem je zemětřesení	Gouin (1979)

### 4.3.2. Oblast Dejen - Gohatsion

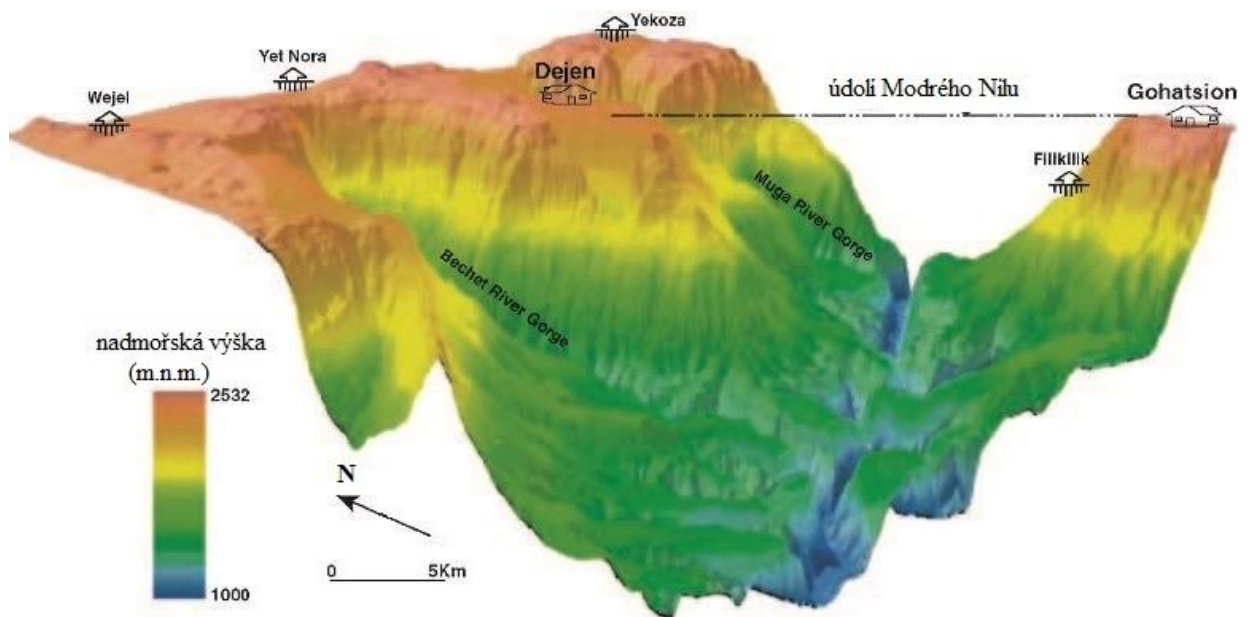
Oblast Dejen - Gohatsion patří do údolí Modrého Nilu a přesnou lokalizaci lze vidět na obrázku 15. Velmi členitý reliéf údolí Modrého Nilu, je výsledkem hlubokého zářezu Modrého Nilu po pliocénně – čtvrtohorním zdvihu (Almond, 1986). Ve studované oblasti jsou dvě další hluboká údolí, kterým odpovídají řeky Muga a Bechet (viz obrázek 16). Celkové převýšení Ayalew a Yamagishi (2004) uvádí přibližně 1 500 m s maximální výškou 2 532 m n.m. v blízkosti vesnic Yekoza a Yet Nora. Na obrázku 17 je oblast zpracovaná do 3D sekvence. Svahové pohyby v údolí Modrého Nilu mají opakovaně za následek poškození a přerušení jediné silnice z Addis Ababa do Bahir Dar u jezera Tana.

Obrázek 15: Soutěska Modrého Nilu a lokalizace měst Dejen a Gohatsion



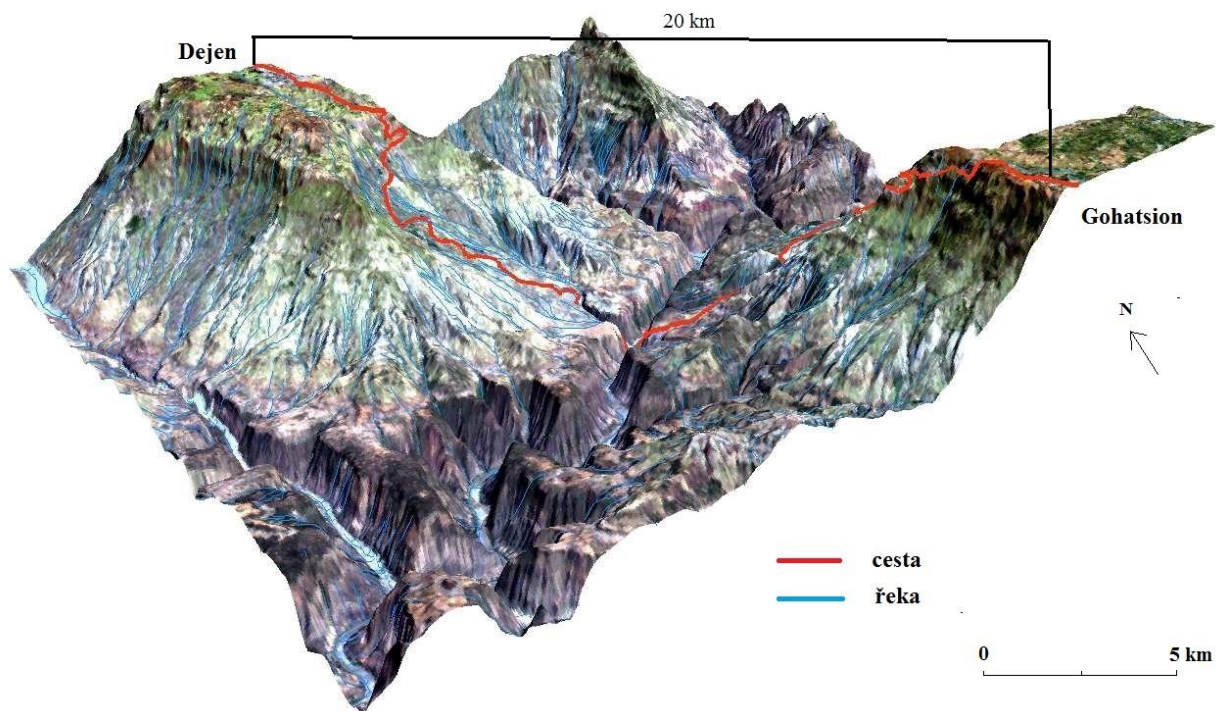
Zdroj: převzato a upraveno z Ayalew a Yamagishi (2004)

Obrázek 16: DEM Gohatsion a Dejen



Zdroj: upraveno a převzato od Asfaw (2010)

Obrázek 17: 3D pohled na Dejen a Gohatsion

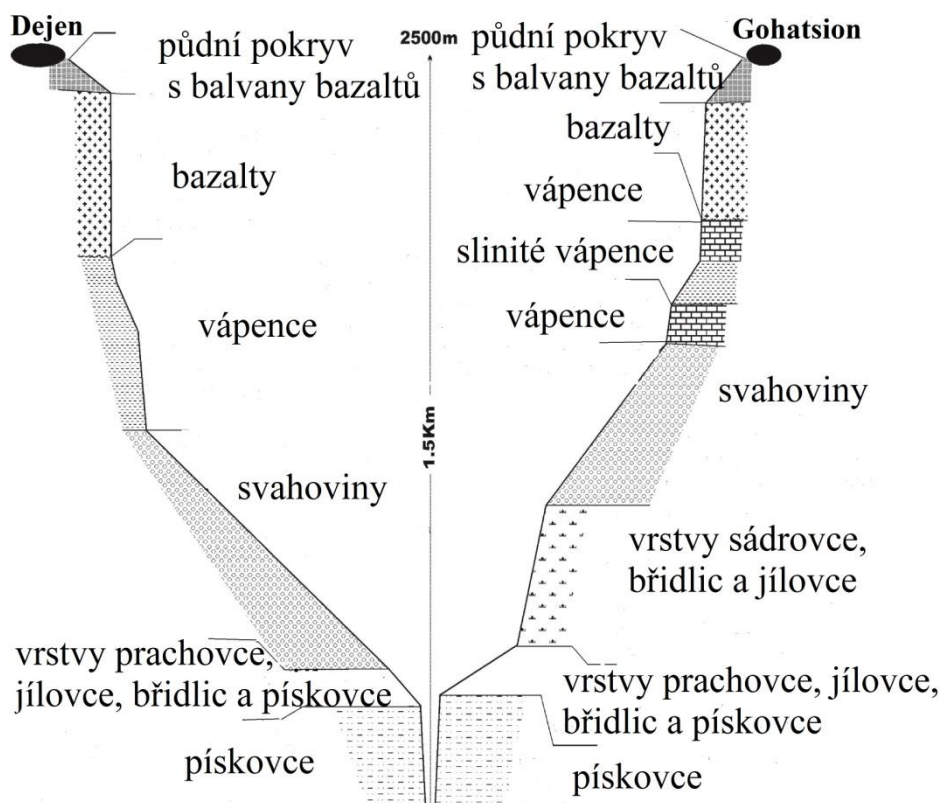


Zdroj: upraveno a převzato od Asfaw (2010)

### 4.3.2.1. Geologické poměry oblasti Dejen – Gohatsion

Oblasti Dejen – Gohatsion jsou tvořeny druhohorními sedimenty<sup>9</sup>, které jsou překryty terciérně - kvartérními vulkanickými horninami trapové série bazaltů, jak uvádí Gani et al. (2006). V oblasti se nachází i pískovce, vápence a sádrovce, v kterých je vložena relativně měkká jednotka jílovců, slínů a břidlic (Russo et al., 1994) (viz obrázek 18).

**Obrázek 18: Geologické sekce podél S – J profilu údolí Modrého Nilu**



Zdroj: převzato a upraveno z Ayalew a Yamagishi (2004)

## 4.4. Klimatické a meteorologické podmínky

### 4.4.1. V Etiopské vysočině

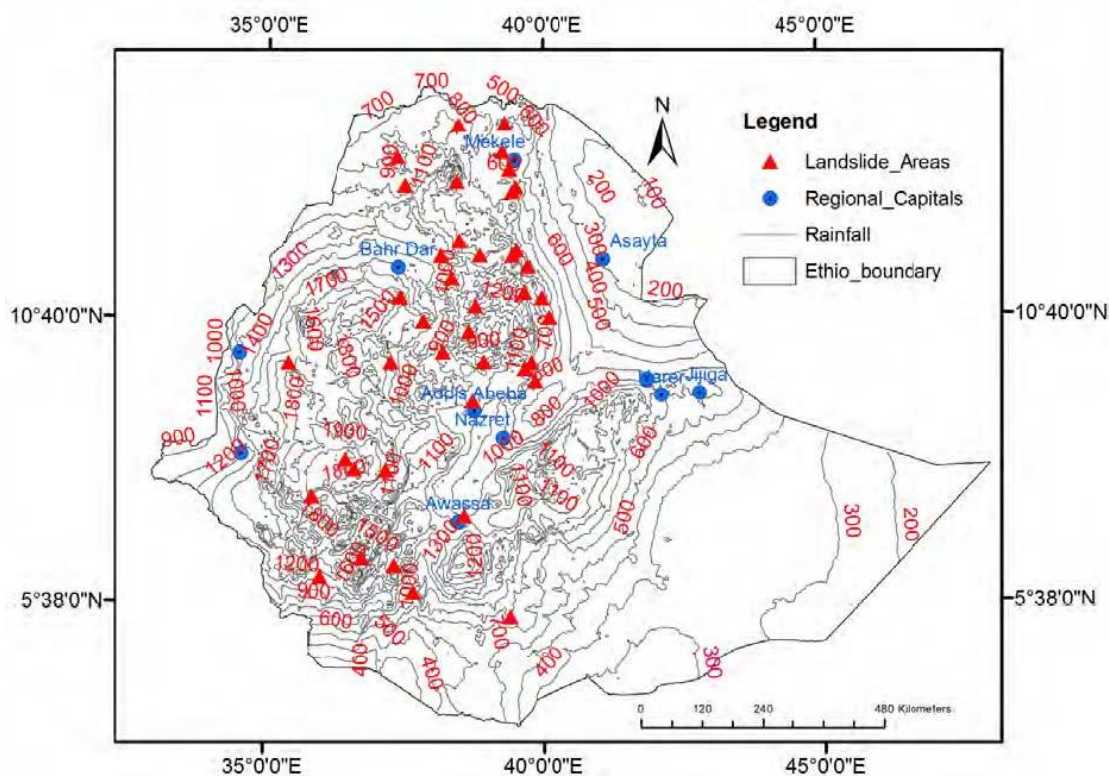
Etiopská vysočina se nachází v tropické oblasti a je charakterizovaná variabilními klimatickými podmínkami. Chernet (1993) uvádí, že kombinace velkého rozdílu nadmořské výšky a tlaku vzduchu určuje rozdíly v klimatu. Teplota vzduchu se mění v rozmezí od 30°C do – 5°C v období října až ledna. Úhrn ročních srážek se mění od 500 mm do 2 000 mm. Měsíce v období od června do září patří mezi měsíce s největším úhrnem srážek, minimální úhrn nastává od února do května dle Woldearegay (2013). Nízký úhrn srážek se stačí infiltrovat do země za zvýšení vlhkosti

<sup>9</sup> Druhohorní sedimenty jsou i 1 400 m mocné.

půdy, zatímco silné srážky se nestihnou infiltrovat do půdy a odtékají po povrchu. V červnu jsou srážky velmi dobře absorbovány suchou půdou a v srpnu je již půda nasycená a jakékoliv navýšení množství srážek způsobí nestabilitu svahu. Počet svahových událostí v říjnu je co do množství podobný počtu událostí v červnu, avšak rozdílem je množství úhrnu srážek, kdy v říjnu je úhrn srážek téměř zanedbatelný. Ayalew (1999) udává, že sesuvné pohyby v říjnu a listopadu jsou méně časté, avšak mají větší a silnější působení na devastaci krajiny.

Dále je v Etiopské vysočině značný rozdíl ve srážkové distribuci. Znamená to relativně nízký úhrn srážek v nížinách a více než 70 % ročních srážek náleží regionům ve vyšších nadmořských výškách. Na obrázku 19 lze vidět nízký úhrn srážek pro nížinné oblasti a vyšší úhrn srážek v Etiopské vysočině. Z hlediska klimatu se ve vysočině nachází semihumidní až středně humidní klima.

**Obrázek 19: Izolinie průměrného úhrnu ročních srážek**



Poznámky: průměrný roční úhrn srážek v mm

Zdroj: převzato a upraveno z Woldearegay (2013)

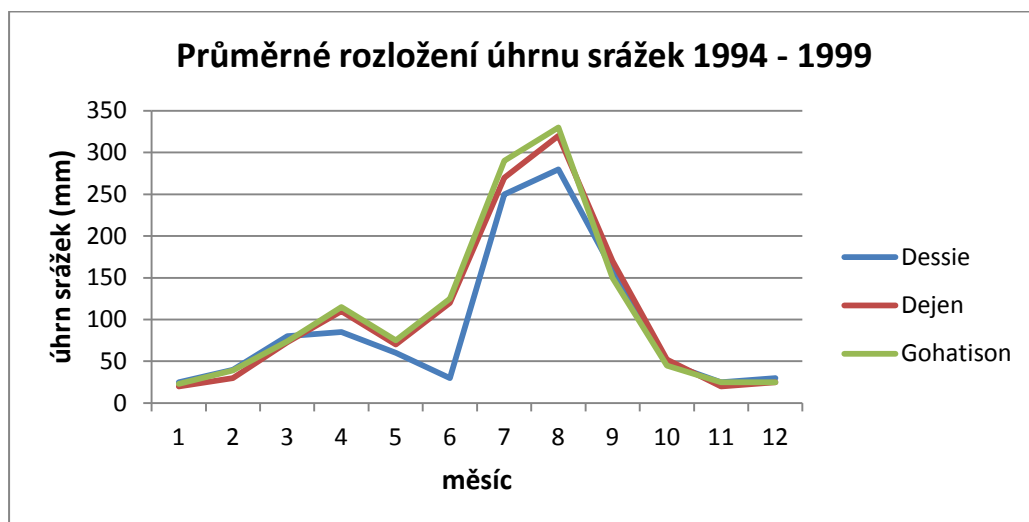
Do jaké míry je srážkový úhrn důležitý pro zahájení svahového pohybu nemusí být někdy jednoduché určit. Na některých lokalitách mohou být svahy stabilní bez ohledu na množství úhrnu srážek. Také horské řetězce s velkým úhlem sklonu svahu mohou být stabilní bez rozdílu množství úhrnu srážek. Zatímco v jiných oblastech, kde je nízká reliéfová členitost, se svahový pohyb může spustit i po malém množství úhrnu srážek.

#### 4.4.2. V zájmových oblastech

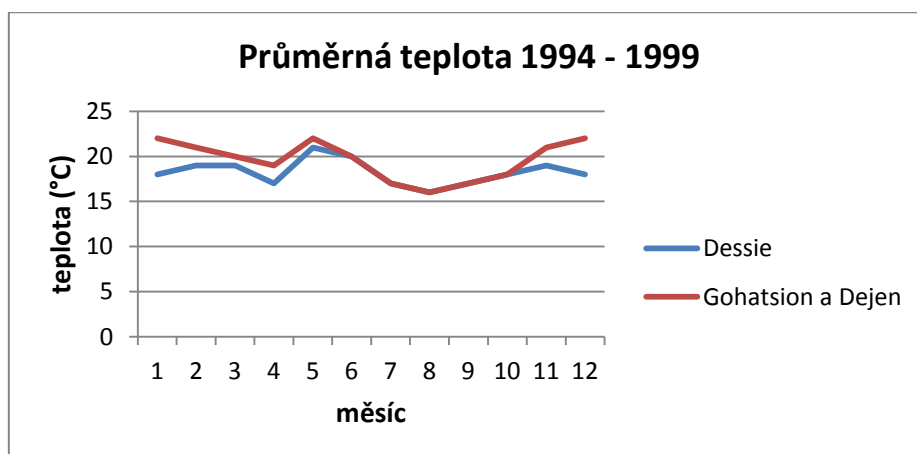
Stejně jako u většiny lokalit Etiopské vysočiny se klima Dessie vyznačuje obdobími sucha a mokra. Silné deště se vyskytují v průběhu měsíců července a srpna (viz graf 1). Kotlinou Dessie protéká řeka Borkena s jejími přítoky (viz obrázek 14). Oblast Dejen - Gohatsion náleží údolí Modrého Nilu a dále údolí řek Muga a Bechet, které mají S-J orientaci a jsou umístěny na severní straně Modrého Nilu (viz obrázek 16). Kromě těchto údolí však existuje mnoho malých říčních údolí, které se zdají být stále v mladé fázi vývoje (Ayalew a Yamagishi, 2004).

Vypočtená průměrná roční teplota pro Dessie je 18,3° C, pro zájmové oblasti Dejen - Gohatsion v údolí Modrého Nilu je to 19,6° C. V grafu 2 je znázorněno rozložení teplot během roku, kdy výkyvy teplot během roku jsou téměř minimální. Roční průměr úhrnu srážek je 1100 mm v oblasti Dessie, 1300 mm v oblasti Dejen - Gohatsion. Potenciál vegetačního krytu je zde velký v obou oblastech, avšak svahy jsou slabě zarostlé. Pravděpodobně z důvodu antropogenního odlesňování (Pankhurst, 1992).

Graf 1: Průměrné rozložení úhrnu srážek 1994 - 1999

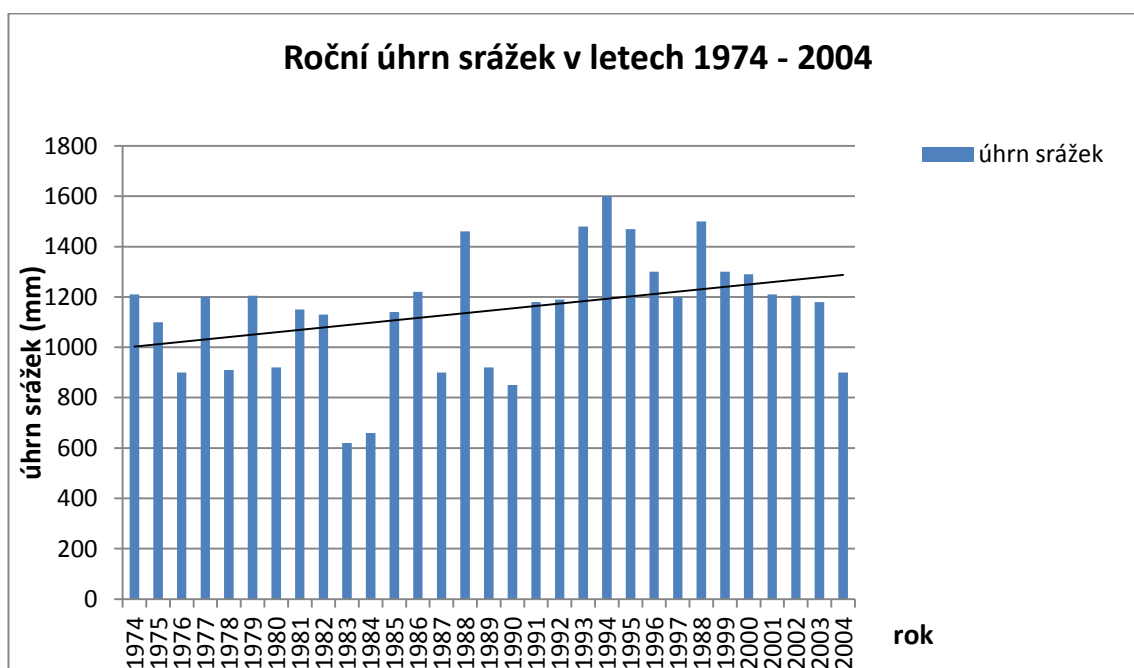


Graf 2: Průměrná teplota 1994 - 1999



Predikční modely pro regiony Etiopské vysočiny udávají zvýšení ročního úhrnu srážek, a to již pro rok 2050, jak uvádí Hulme et al. (2001). Do té doby se očekává, že nastane zvýšení srážkových anomálií a variability. Ayalew (1999) zaznamenal, že počet a velikost svahových poruch se zvyšuje se zvyšujícím se počtem deštivých dní a s úhrnem dešťových srážek. Graf 3 značí nárůst úhrnu srážek v Dessie během posledních 30 let proložením spojnice trendu<sup>10</sup> v grafu. Příčinu nárůstu frekvence svahových pohybů uvádí Ayalew a Vernier (1999) zvýšení ročního úhrnu srážek. Pravděpodobně tento fakt zahrnuje nárůst výskytu dešťů, zvýšení intenzity a náhlé zvýšení místních úrovně podzemní vody. V případě zvýšené meteorologické variability je také zahrnut výskyt sucha, který bude přispívat k zvyšování nebezpečí svahové aktivity.

**Graf 3: Roční úhrn srážek 1974 - 2004**

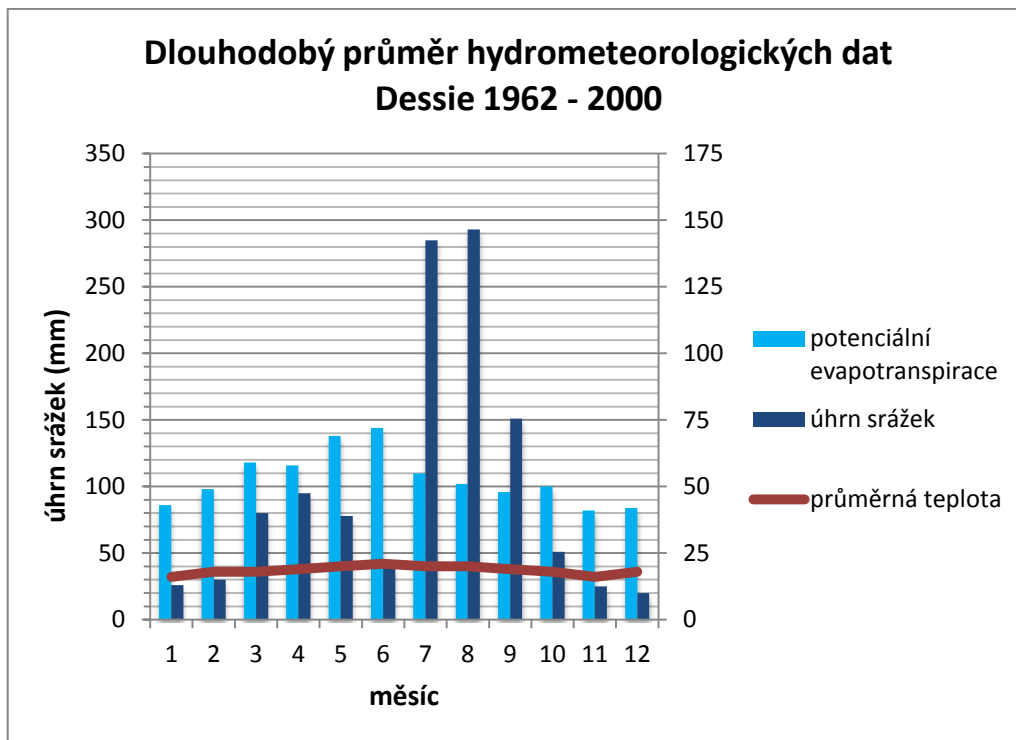


V Etiopské vysočině je průměrný roční úhrn srážek obecně vyšší než průměrná roční celková evapotranspirace. Ayalew (1999) uvádí, že evapotranspirace v Etiopské vysočině je maximální v říjnu a listopadu. Menší rozdíl mezi maximem a minimem v teplotě od června do září naznačuje poměrně nízkou evapotranspiraci.

<sup>10</sup> Spojnice trendů se používají ke grafickému zobrazení trendů dat a k analýze předpovědí. Pomocí regresních analýz můžete zobrazit trend protažením spojnice trendu za aktuální data a vytvořit předpovědi budoucích hodnot (Microsoft Office, 2014)

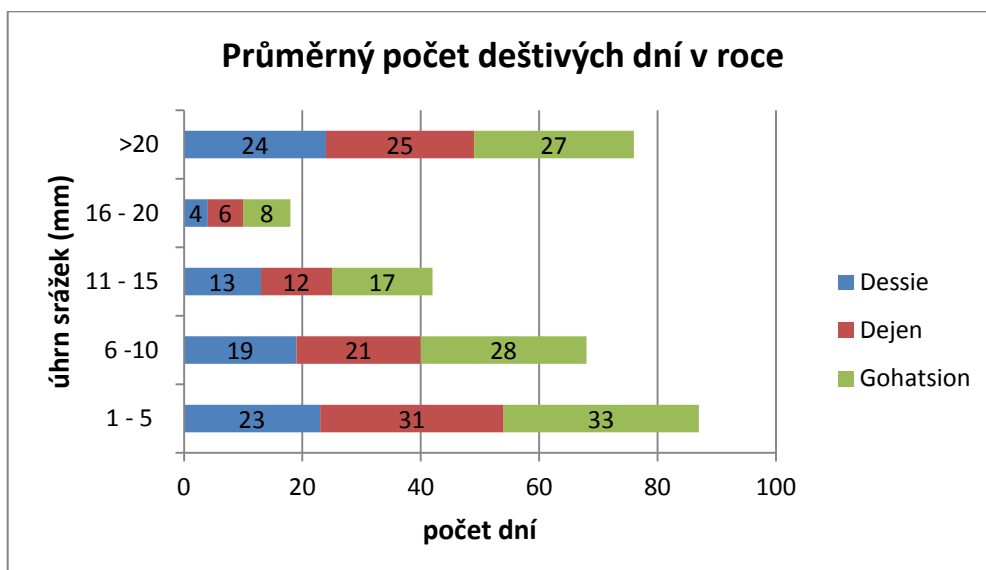


**Graf 4: Dlouhodobý průměr hydrometeorologických dat v Dessie 1962 - 2000**



Výsledky zkoumání úhrnu srážek po dobu deseti let (1988 – 1998) ukázaly kladnou korelaci množství srážek a frekvenci selhání svahů ( $r=0,85$ ). Tuto korelaci provedl Ayalew (1999), který studoval vliv dešťů na svahové pohyby. Na grafu 5 jsou uvedeny celkové počty deštivých dní a jsou rozděleny do kategorií dle množství úhrnu srážek za den. V tabulce 6 je rozdělení těchto deštivých dní od června do září a pro další zbylé měsíce roku. Ve všech třech lokalitách proběhla více než polovina deštivých dní během měsíců s největším úhrnem srážek.

**Graf 5: Průměrný počet deštivých dní v roce 1994-1999**



**Tabulka 6: Počet deštivých dní 1994 - 1999**

	PRŮMĚRNÝ POČET DEŠTIVÝCH DNÍ V ROCE	PRŮMĚRNÝ POČET DEŠTIVÝCH DNÍ OD ČERVNA DO ZÁŘÍ	NEJVYŠŠÍ ÚHRN SRÁŽEK ZA 24 HODIN (MM)
<b>Dessie</b>	83	51	83
<b>Dejen</b>	95	69	81
<b>Gohatsion</b>	113	77	97

Závěrečné studie autorů Ayanew a Barbieri (2005), Woldearegay (2013) ukázaly, že většina jejich zaznamenaných svahových pohybů vyvolaných srážkami nastala v pozdější periodě deštivého období (pozdní srpen až začátek září). To naznačuje, že tyto procesy souvisí se zvýšením úrovně podzemní vody po akumulaci většího množství srážek v období dešťů.

Woldearegay (2013) uvádí, že majoritní svahové pohyby spuštěné srážkami v Etiopské vysočině vznikly jako výsledek kombinace snížení smykové pevnosti v důsledku nasycení v horní části půdního profilu, a také kvůli vytvoření kladného pórového tlaku vody ve svahu.

#### 4.5. Půdní a vegetační podmínky

Vegetace ovlivňuje svahovou stabilitu působením na hydrologii a na mechanické vlastnosti půd svahových hmot, uvádí (Anderson a Richards 1987). Jak dále Anderson a Richards (1987) tvrdí, vegetační kryt s hlubšími a širšími kořeny pozitivně ovlivňuje jak zesílení kořenového systému, tak podporu pro základové podloží. Selby (1993) tvrdí, že vegetační změny mají zásadní vliv na stabilitu svahu v oblastech, kde lesy byly vymýceny ze svahu. Nejvíce sesuvů v Etiopii nastalo na svazích s žádnou vegetací nebo s vegetací řídkou s nehlubokými kořeny (Woldearegay, 2013).

Hlavní půdní typy nalezeny v Etiopské vysočině jsou nekonsolidované recentní sedimenty, které obsahují svahoviny, zbytkové půdy a naplaveniny. Ayalew (1999) prokázal přítomnost měkkých a málo propustných materiálů jílovitých břidlic v údolí Modrého Nilu. Analýzou zrnitosti půdy v Dessie autoři Ayanew a Barbieri (2005) indikují převážně prachovité jíly a jílovité naplavené zeminy.

#### 4.6. Zemětřesení

Jestliže dojde k náhlému uvolnění nashromážděné energie v zemském tělese, tak vzniká zemětřesení, které Brázdil et al. (1988, s. 137) definuje jako: „*Soubor krátkodobých pohybů reprezentující proces při změně napětového stavu hornin.*“

Kromě hodnocení intenzity a velikosti můžeme otřesy dělit podle původu vzniku a hloubky ohniska. Podle vzniku dělíme zemětřesení na říťivá, vulkanická a tektonická, dle Brázdila et al. (1988):

### ➤ **zemětřesení vulkanická**

Vulkanická zemětřesení jsou vázaná na přírodní dráhy vulkanického materiálu. Často doprovází nebo předchází sopečné erupci. Intenzita nebývá veliká a většinou mají pouze lokální dopad. Charakteristický je výskyt otřesů ve skupinách (tzv. zemětřesné roje).

### ➤ **zemětřesení tektonická**

Tektonická zemětřesení jsou nejčastějším a nejnebezpečnějším typem zemětřesení. Vznikem jsou vázaná na poruchy v litosféře (zlomy, subdukce), kde často dochází k náhlým a intenzivním procesům, které uvolňují velké množství nahromaděné energie.

Podle procentuálního vyjádření představují tektonická zemětřesení 90%, vulkanická 7% a říťivá asi 3% všech otřesů v zemském tělese (Environmentální hrozby a rizika, 2009).

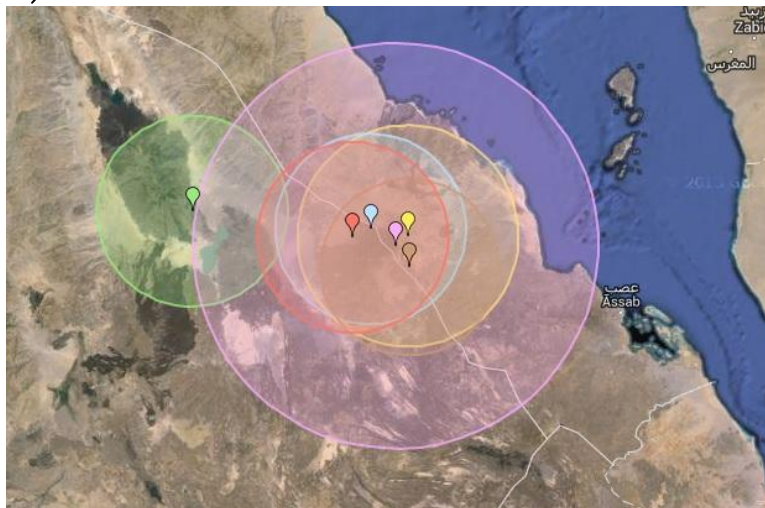
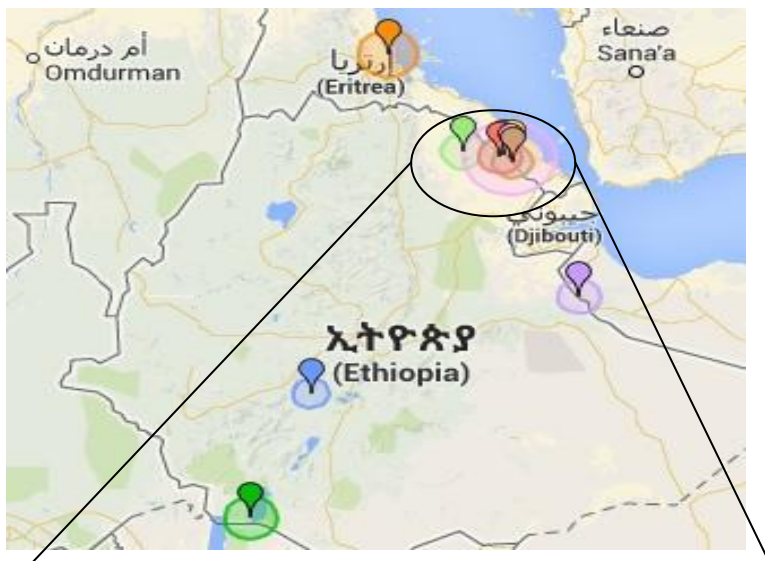
Autoři Ayele (1995), Ayele a Arvidsson (1998) tvrdí, že zemětřesení má opakovatelnou tendenci, zejména podél riftových zlomů, a magnitudo nabývá hodnot  $M > 5$ . Celá Velká příkopová propadlina je charakterizovaná seismickou aktivitou, obvykle v rozsahu  $M 5 - 5,5$ . Většina seismické aktivity je lokalizovaná uvnitř nebo kolem deprese Afar<sup>11</sup>.

Analyzovala jsem nejvyšší sílu zemětřesení v letech 1993 - 2013, kdy  $M 5,4$  byla nejvyšší hodnota pro tento časový úsek. Na obrázku 20 je znázornění zemětřesení s uvedením hodnot magnitudo v letech 2004 - 2013. Pro porovnání je na obrázku 21 znázorněná mapa zemětřesení s odlišným rozmístěním hypocenter v letech 1993 - 2013. Nejbližší epicentrum v tomto případě se nacházelo 150 km vzdušnou čarou od města Dessie. Zemětřesení jako spouštěče svahových pohybů jsou zaznamenána v Etiopii v menším množství podle Woldearegay (2013).

---

<sup>11</sup> Tento region je charakteristický zemětřeseními, která přesáhla  $M 6$ .

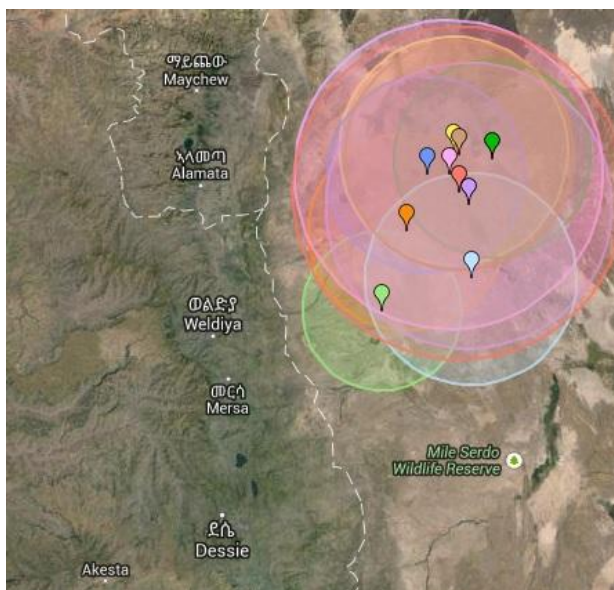
Obrázek 20: Mapa zemětřesení v Etiopii 2010-2013



- 10 months ago 5.0 magnitude, 9 km depth  
Ginda, Eritrea
- 2 years ago 4.8 magnitude, 10 km depth  
Edd, Eritrea
- 3 years ago 4.6 magnitude, 10 km depth  
Edd, Eritrea
- 3 years ago 4.9 magnitude, 10 km depth  
Jinka, Ethiopia
- 3 years ago 4.4 magnitude, 10 km depth  
Areka, Ethiopia
- 3 years ago 4.6 magnitude, 10 km depth  
Borama, Woqooyi Galbeed, Somalia
- 3 years ago 5.6 magnitude, 10 km depth  
Edd, Eritrea
- 3 years ago 4.6 magnitude, 2 km depth  
Edd, Eritrea
- 3 years ago 4.5 magnitude, 12 km depth  
Edd, Eritrea
- 3 years ago 4.6 magnitude, 13 km depth  
Edd, Eritrea

Zdroj: převzato a upraveno z Earthtrack (2014)

Obrázek 21: Mapa zemětřesení v Etiopské vysočině 2004-2013



- 9 years ago 4.5 magnitude, 10 km depth  
Dubti, Ethiopia
- 9 years ago 4.7 magnitude, 10 km depth  
Dubti, Ethiopia
- 9 years ago 4.2 magnitude, 10 km depth  
Bati, Ethiopia
- 9 years ago 4.5 magnitude, 10 km depth  
Dubti, Ethiopia
- 9 years ago 4.5 magnitude, 10 km depth  
Korem, Ethiopia
- 9 years ago 5.0 magnitude, 10 km depth  
Dubti, Ethiopia
- 9 years ago 5.1 magnitude, 10 km depth  
Dubti, Ethiopia
- 9 years ago 4.6 magnitude, 10 km depth  
Dubti, Ethiopia
- 9 years ago 4.7 magnitude, 10 km depth  
Dubti, Ethiopia
- 9 years ago 5.2 magnitude, 10 km depth  
Dubti, Ethiopia

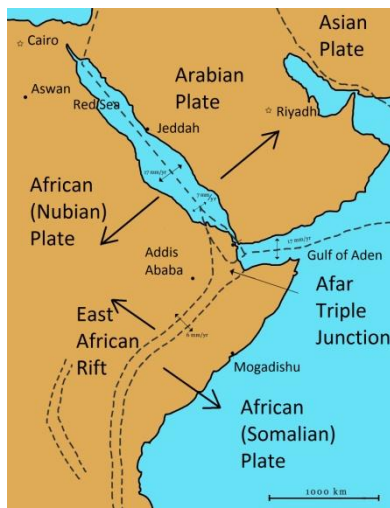
Zdroj: převzato a upraveno z Earthtrack (2014)

### 4.6.1. Tektonické podmínky

V Afarském trojúhelníku (Afar Triple Junction) přichází do vzájemného kontaktu tři tektonické desky: Nubijská, Somálská a Arabská. Tektoniku Etiopské vysočiny ovlivňuje přítomnost Afarské deprese a Velké příkopové propadliny (Pik et al., 2003).

Tektonická porucha vedla během geologické minulosti převážně na severozápadu Etiopské vysočiny, zahrnující údolí Modrého Nilu. To vše utvářelo dnešní strukturu (Ayalew a Yamagishi, 2004). Historicky seizmicky zahájený svahový pohyb nastal v Dessie v roce 1977 (Gouin, 1979). Velké svahové pohyby nastaly až v pozdních letech 1980 spuštěné jak přírodními, tak umělými faktory (Ayalew, 1999). Velké a staré sesuvné komplexy vykazují známky reaktivace podle Ayanew a Barbieri (2005). Znázornění zlomů ve Velké příkopové propadlině, v depresi Afar a v Etiopské vysočině je na obrázku 13 v kapitole 4.3.

**Obrázek 22.** Mapa tektonických desek

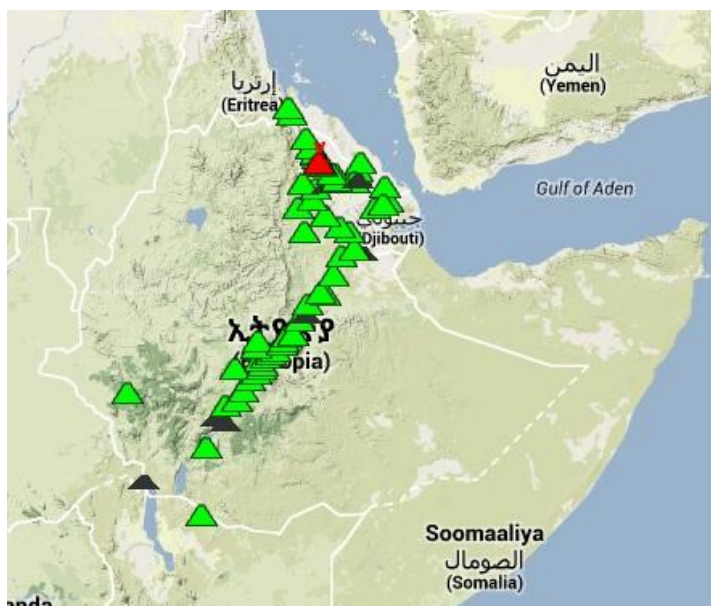


Zdroj: převzato a upraveno z Geoexplor (2013)

## 4.7. Vulkanické podmínky

Většina současných sopek je umístěna v Afarské depresi. Mezi aktivní a nejznámější sopky patří Erta Ale, což je nepřetržitě činná, nejaktivnější čedičová štítová sopka v severovýchodní Etiopii (Chorowicz et al., 1998). Současnou činností se vyznačuje i Dabbahu sopka. Dále pak dle Institutu geověd (2014) došlo v červnu 2011 k velké erupci na Nabro sopce na hranici Eritrie a Etiopie. V Etiopii je celkem 59 sopek a v blízké Eritrii celkem 7.

Obrázek 23: Zaznačení sopečné aktivity



Vysvětlivky: sopka Erta Ale znázorněná červenou značkou, dalších 58 sopek značeno zeleně

Zdroj: převzato a upraveno z Volcano (2014)

# PRAKTICKÁ ČÁST

## 5 SVAHOVÉ POHYBY V ZÁJMOVÝCH OBLASTECH

### 5.1. Data a použitá metodika

Podkladová data pro praktickou část byla následující:

- geologická mapa: Etiopské vysočiny v měřítku 1:2 000 000  
oblasti Dessie v měřítku 1:30 000  
oblasti Dejen-Gohatsion v měřítku 1:130 000
- data rozložení srážek během roku v zájmových oblastech a data úhrnu srážek Etiopské vysočiny
- topografická mapa Etiopské vysočiny v měřítku 1: 500 000
- letecké a družicové snímky

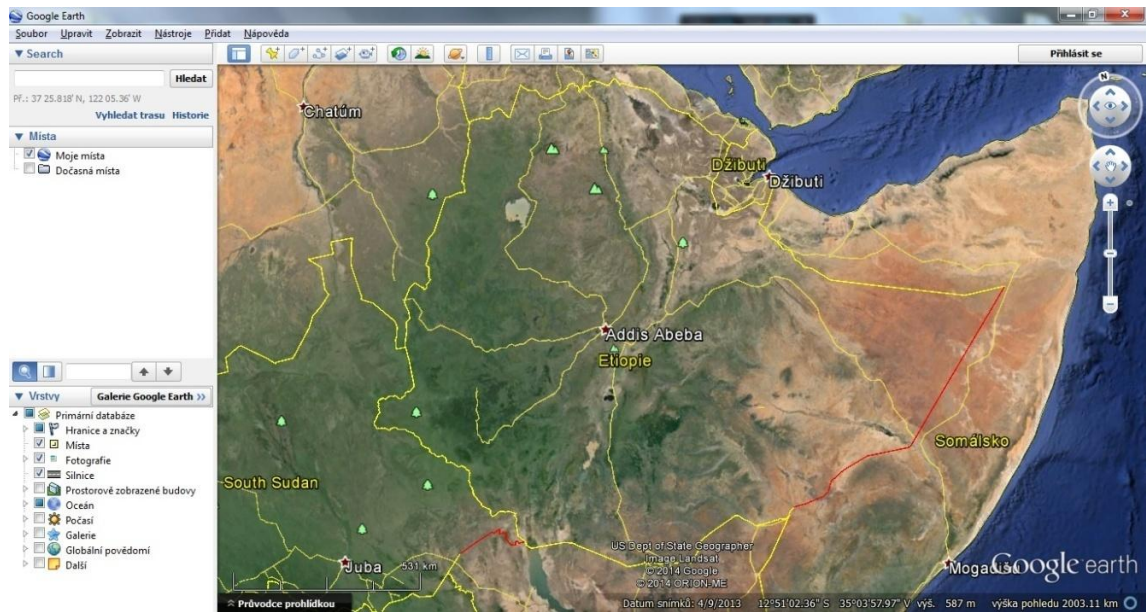
### 5.2. ASTER

V praktické části byly využity družicové snímky ze skeneru ASTER z družice Terra (viz příloha 3). Skener ASTER snímá ve 14 spektrálních pásmech a je unikátní v tom, že poskytuje data z termální části spektra. Data z ASTERU obsahují relativní spektrální odrazivost a emisivitu, vyzařování povrchu, teplotu, odrazivost a emisivitu, teplotu u senzoru a digitální výškové modely. Kombinace širokého spektrálního záběru a vysokého prostorového rozlišení předurčuje ASTER k řešení kvalitativních otázek o zemském povrchu (ArcData, 2014).

### 5.3. Google Earth

Přes program Google Earth lze volně procházet jednotlivá místa povrchu země. Google Earth poskytuje 3D obraz a zobrazení povrchu země ve všech úhlech, a to díky kombinaci satelitních snímků a leteckého snímkování. Program je volně stažitelná aplikace z internetu, která má v panelu nástrojů hned několik funkcí. Velmi vhodné je přepínání mezi jednotlivými snímky, pravítko pro měření vzdáleností v rozmezí centimetrů až kilometrů a zaznačení bodů přesné GPS souřadnice v sekundách. Zaznačené body se dají barevně i tvarově odlišit. V programu jsou nahrané vrstvy pro zobrazení silnic a data venkovní teploty. Vrstva galerie nabízí mnoho možností, a to zejména zobrazení sopek s informačním popisem v angličtině od Smithsonian Institutu globálního programu pro vulkanismus (viz obrázek 24).

**Obrázek 24: Google Earth program**



## 5.4. Analýza klasifikovaných svahových pohybů

S využitím družicových a leteckých snímků přes program Google Earth bylo klasifikováno 90 svahových pohybů v zájmových oblastech. Využití všech možností, které program Google Earth nabízí, umožnilo lepší identifikování svahových pohybů. Jedná se o sklon pohledu a přiblížení svahu ze všech světových stran. Při klasifikování svahových pohybů jsem čerpala z nabytých znalostí z kapitol 2.1 a 2.2. Pro identifikování svahových pohybů jsem čerpala i z teorie Petley et al. (2005), který uvádí, že porušení svahu svahovým pohybem zanechá rozeznatelné morfologické znaky, a tím lze svahové pohyby rozeznat, klasifikovat a zmapovat skrz dálkový průzkum. Příklad je uveden na obrázku 25, kde se jedná o svahových pohyb sesouvání, které nastalo mezi lety 2005 - 2009, protože v roce 2009 je již viditelná ztelná svahová deformace, kdežto v roce 2005 je svah plně pokryt vegetací.

**Obrázek 25: Změna ve vegetaci po spuštění svahového pohybu**

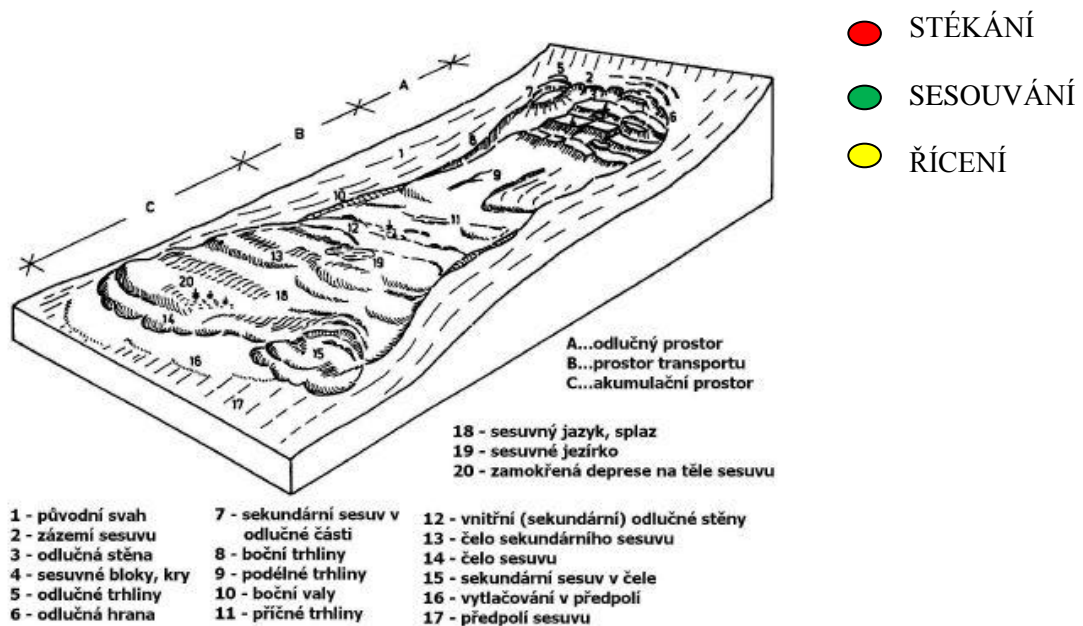




### 5.4.1. Klasifikace svahových pohybů dle mechanismu pohybu

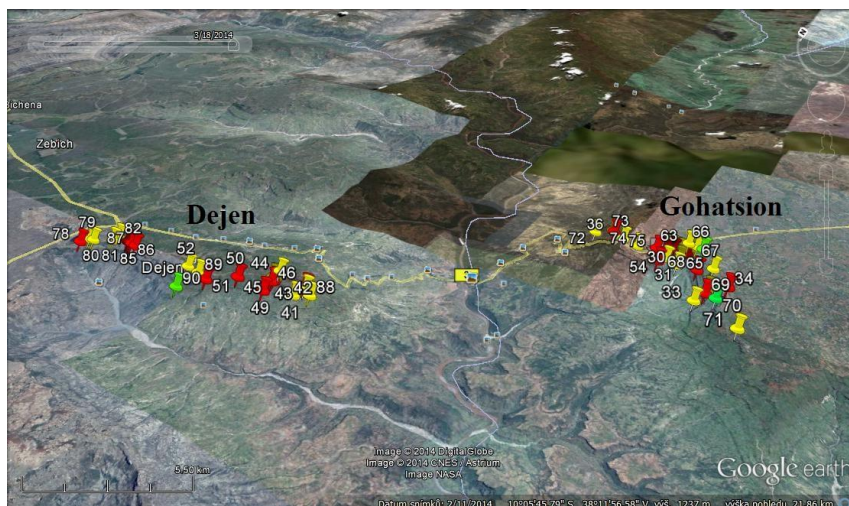
Svahové pohyby jsem klasifikovala na základě klasifikace dle mechanismu pohybu z Nemčok et al. (1974) (viz příloha 1 a příloha 7). Jednalo se o klasifikování těchto skupin svahových pohybů: ploužení, sesouvání, stékání a řícení. V zájmových oblastech však byly klasifikovány tři typy skupin svahových pohybů a těmi jsou stékání, sesouvání a řícení. Ploužení nebylo možné identifikovat. Lokalizace svahového pohybu dané skupiny svahových pohybů je zaznačená barevnými značkami, a to vždy na odlučné hraně. Červeně je značeno stékání, zeleně sesouvání a žlutě řícení (viz obrázek 26). Na obrázcích 27 a 28 je zaznačeno rozmístění svahových pohybů v zájmových oblastech.

**Obrázek 26: Popis svahu a barevné značky pro skupiny svahových pohybů**

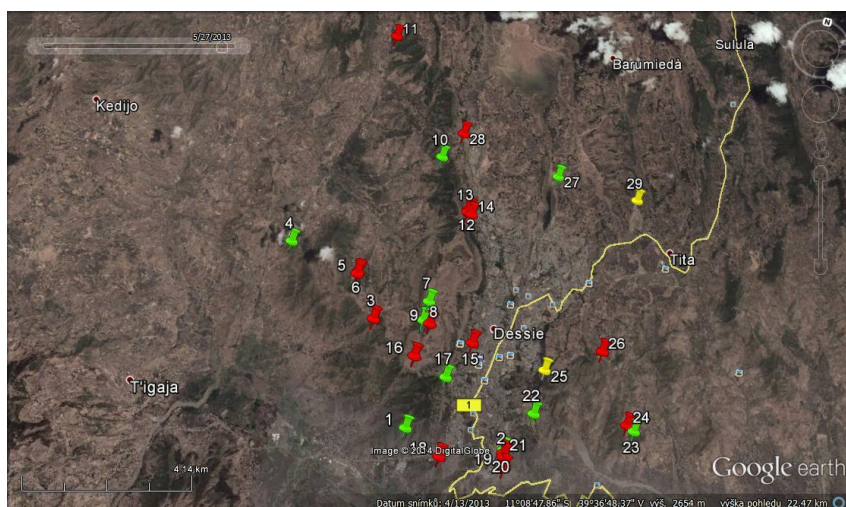


Zdroj: převzato a upraveno z Institutu geologického inženýrství (2014)

**Obrázek 27: Klasifikování svahové pohyby v údolí Modrého Nilu**



**Obrázek 28: Klasifikování svahových pohyby v Dessie**



### 5.4.2. Geologické poměry a skupiny svahových pohybů

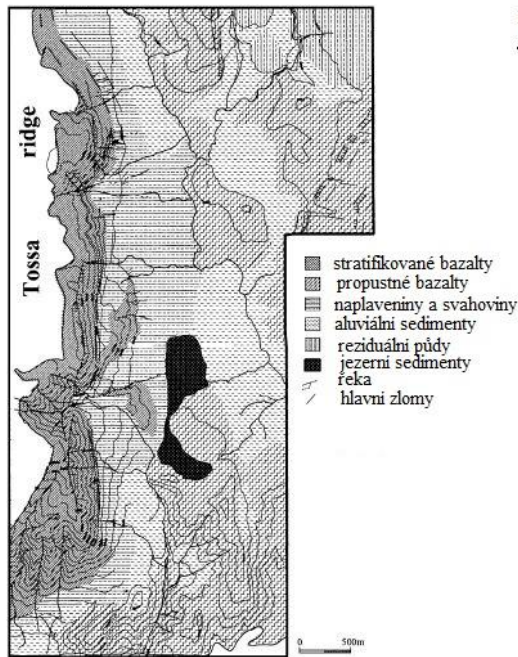
V zájmových oblastech byl identifikován tento počet svahových pohybů: Dessie 29, Dejen 25, Gohatsion 36. Jednotlivé skupiny svahových pohybů jsou shrnuty v tabulce 7. Největší svahová skupina co do počtu událostí je stékání, tedy necelá jedna polovina z celku všech svahových událostí. Minimálně v celkovém počtu svahových událostí nastalo stékání. V oblastech Gohatsion a Dejen, bylo identifikováno nejvíce řícení a stékání. V Dejen jsou si počtem tyto skupiny rovné, kdežto v Gohatsion je v počtu více řícení. Naopak v oblasti Dessie jsem klasifikovala 62 % případů svahových pohybů skupiny stékání. Řícení v této oblasti nastalo pouze v 7 % případů.

**Tabulka 7: Počet skupin svahových pohybů v zájmových oblastech**

	Dessie	Dejen	Gohatsion	celkem
stékání	18	12	12	42
sesouvání	9	1	4	14
řícení	2	12	20	34
celkem	29	25	36	90

Stanoveným cílem této práce je analýza výskytu jednotlivých svahových pohybů na základě geologických poměrů svahu. K dispozici jsou tři geologické mapy a každá je v jiném velikostním měřítku (viz 5.1). Na obrázku 29 je vidět geologická mapa Dessie, kde se nachází dva typy bazaltů, svahoviny a naplaveniny (jako jedna znázorněná skupina) a naplaveninové sedimenty. Pro účely práce není zapotřebí rozlišovat stratifikované a propustné bazalty a budou brány jako celková skupina bazaltů.

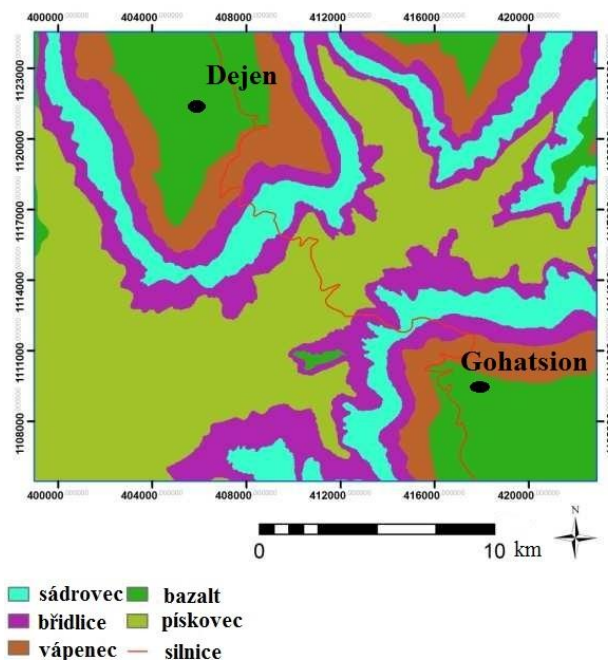
**Obrázek 29: Geologická mapa oblasti Dessie v měřítku mapy 1:30 000**



Zdroj: převzato a upraveno z Ayenew a Barbieri (2005)

Druhá geologická mapa pro oblast Dejen - Gohatsion zobrazuje rozmístění břidlic, bazaltů, sádrovce, vápence a pískovce (viz obrázek 30). V tabulce 8 si lze všimnout, že na pískovcích, sádrovcích a břidlicích nebyly žádné svahové pohyby identifikovány a pracovalo se zejména s bazalty a vápenci.

**Obrázek 30: Geologická mapa oblasti Gohatsion a Dejen v měřítku mapy 1:130 000**



Zdroj: převzato a upraveno z Asfaw (2010)

Po zpracování druhů hornin z geologických map a spojením s GPS souřadnicemi identifikovaných svahových pohybů v Google Earth mi vyšla vrstva, která je znázorněná v tabulce 8. V tabulce 8 je zapsaná četnost druhů hornin v jednotlivých skupinách svahových pohybů. Následně v tabulce 9 je uvedeno shrnutí celkového počtu pro všechny tři oblasti. Je tedy patrné, že v Dessie nastaly svahové pohyby výhradně na bazaltech a největší skupinou bylo stékání. V Gohatsion ze 78 % nastaly sesuvné pohyby též na bazaltech s převládající skupinou řícení. V Dejen je situace odlišná, protože 96 % pohybů nastalo na vápencích a pouhá 4 % na bazaltech. Jednalo se však o celkem rovnocennou četnost skupin stékání a řícení.

**Tabulka 8: Geologické poměry a skupiny svahových pohybů pro jednotlivé zájmové oblasti**

**DESSIE**

	bazalt	vápence	svahoviny a naplaveniny	celkem
stékání	16	0	2	18
sesouvání	9	0	0	9
řícení	2	0	0	2
celkem	27	0	2	29

**GOHATSION**

	bazalt	vápence	svahoviny a naplaveniny	celkem
stékání	10	2	0	12
sesouvání	3	1	0	4
řícení	15	5	0	20
Celkem	28	8	0	36

**DEJEN**

	bazalt	vápence	svahoviny a naplaveniny	celkem
stékání	0	12	0	12
sesouvání	0	1	0	1
řícení	1	11	0	12
celkem	1	24	0	25

**Tabulka 9: Geologické poměry a skupiny svahových pohybů - přehled**

	bazalt	vápence	svahoviny a naplaveniny	celkem
stékání	26	14	2	42
sesouvání	12	2	0	14
řícení	18	16	0	34
celkem	56	32	2	90

### 5.4.3. Velikost a orientace skupin svahových pohybů

V této kapitole jsem zpracovala data o šířce a délce svahových pohybů a statisticky uvedla jejich modus, medián, minimální a maximální hodnotu (viz tabulka 10). Délka byla měřena od odlučné hrany po čelo sesuvu. Modus a medián pro šířku a délku svahových skupin je v rozmezí desítek metrů, pouze délka stékání vyšla u mediánu v rámci jedné stovky metrů. Minimální hodnoty délky a šířky jsou v rozmezí od 5 - 20 m a maximální hodnoty jsou všechny ve stovkách metrů, šířka dosahuje 330 m u řícení a délka 400 m u sesouvání.

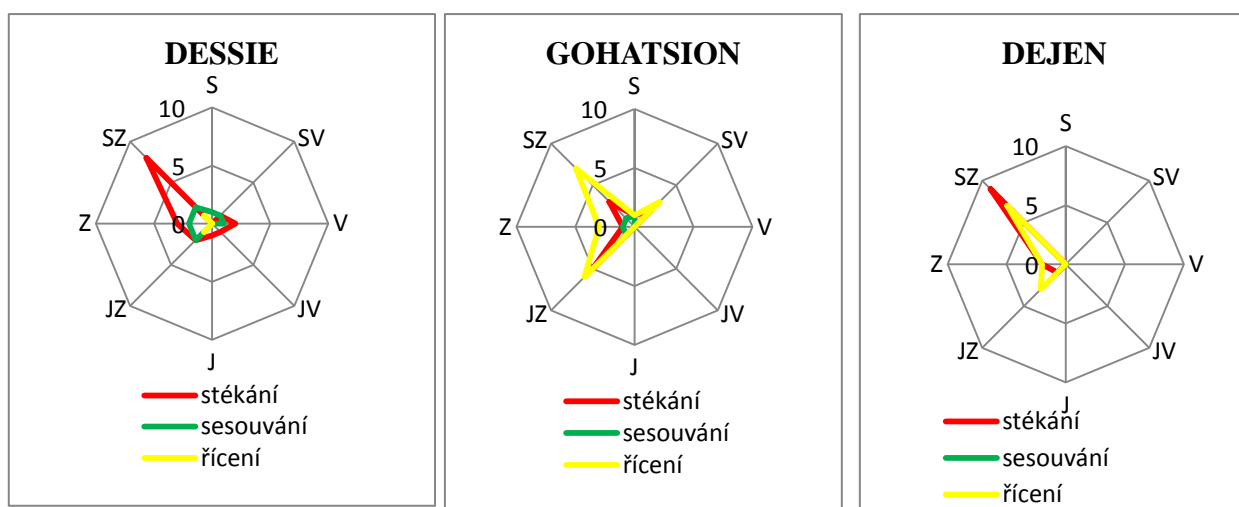
**Tabulka 10: Statistická tabulka o šířkách a délkách skupin svahových pohybů**

	<b>MODUS</b>	<b>MEDIÁN</b>	<b>MINIMUM</b>	<b>MAXIMUM</b>
<b>stékání (m) - šířka; délka</b>	30; 50	45; 120	10; 20	170; 400
<b>sesouvání (m) - šířka; délka</b>	50; 80	65; 80	20; 20	240; 380
<b>řícení (m) - šířka; délka</b>	40; 70	40; 95	10; 5	330; 370

### 5.4.1. Antropogenní poměry a skupiny svahových pohybů

Poslední analýzou je možný antropogenní vliv, jako jeden z faktorů příčin narušení stability svahů. Pro detailnější představu uvádím průměrné vzdálenosti k antropogennímu faktoru, kterým může být silnice nebo intenzivní pastva. Stabilita svahu může být narušena zpříkřením svahů při výstavbě silnice a následně může dojít ke svahovému pohybu, kdy odlučná hrana je umístěná v zářezu silnice. V některých případech k antropogennímu ovlivnění vůbec nedošlo, pak je tedy v tabulce 11 uvedeno lomítko. Z tabulky 11 vyplývá, že v oblasti Dejen bylo nejméně antropogenního vlivu působícího na nestabilitu svahů. V Dessie byla odlučná hrana lokalizována odlučná hrana na silničním zářezu až v pěti případech. V Gohatsion byly zaznamenány všechny tři klasifikované svahové pohyby ovlivněné silnicí. Orientace svahových pohybů ovlivněných antropogenními poměry je na obrázku 31. Trend orientace svahových pohybů v jenom směru je způsoben zejména tím, že se svahové pohyby vyskytovaly na svahu, přes který vedla přímá nebo mírně zvlněná silnice (viz obrázek 34).

**Obrázek 31: Paprskový graf orientace svahových pohybů ovlivněných antropogenními poměry**



**Tabulka 11: Průměrná vzdálenost antropogenního činitele a počet případů**

<b>DESSIE</b>					
<b>stékání</b>		<b>sesouvání</b>		<b>řícení</b>	
prům. vzdál. od pastvy (m)	440	prům. vzdál. od pastvy (m)	180	průměrná vzdál. od pastvy (m)	410
prům. vzdál. od silnice (m)	40	prům. vzdál. od silnice (m)	210	průměrná vzdál. od silnice (m)	/
odlučná hrana sesuvu v zářezu silnice (počet)	5	odlučná hrana sesuvu v zářezu silnice (počet)	2	odlučná hrana sesuvu v zářezu silnice (počet)	/
<b>GOHATSION</b>					
<b>stékání</b>		<b>sesouvání</b>		<b>řícení</b>	
prům. vzdál. od vesnice (m)	240	prům. vzdál. od vesnice (m)	/	prům. vzdál. od vesnice (m)	160
prům. vzdál. od silnice (m)	100	prům. vzdál. od silnice (m)	250	prům. vzdál. od silnice (m)	140
odlučná hrana sesuvu v zářezu silnice (počet)	1	odlučná hrana sesuvu v zářezu silnice (počet)	/	odlučná hrana sesuvu v zářezu silnice (počet)	/
<b>DEJEN</b>					
<b>stékání</b>		<b>sesouvání</b>		<b>řícení</b>	
prům. vzdál. od vesnice (m)	200	prům. vzdál. od vesnice (m)	130	prům. vzdál. od vesnice (m)	280
prům. vzdál. od silnice (m)	/	prům. vzdál. od silnice (m)	/	prům. vzdál. od silnice (m)	/
odlučná hrana sesuvu v zářezu silnice (počet)	/	odlučná hrana sesuvu v zářezu silnice (počet)	/	odlučná hrana sesuvu v zářezu silnice (počet)	/

**Obrázek 32: Pozemní komunikace na předpolí stékání**



**Obrázek 33: Sesouvání protínající vedlejší komunikaci**



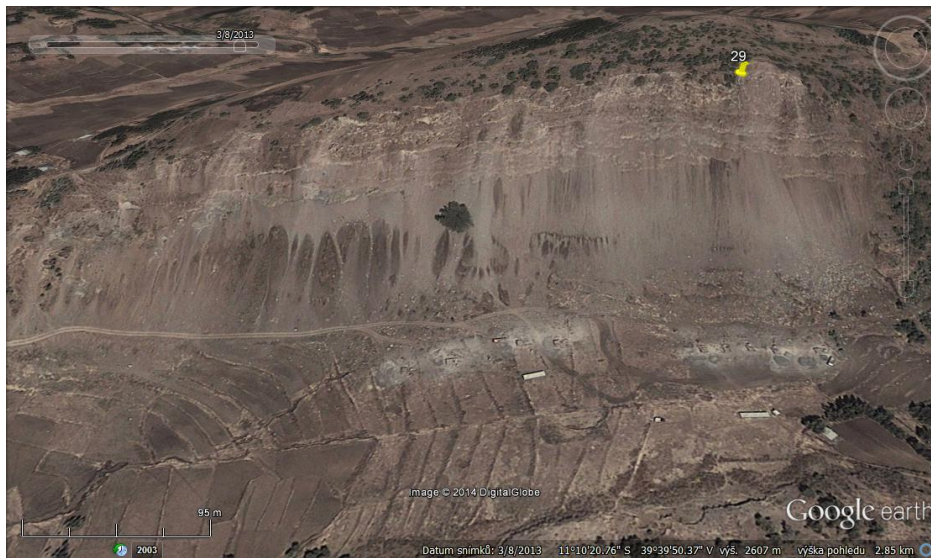
**Obrázek 34: Odlučná hrana sesouvání a stékání v zářezech silnice**



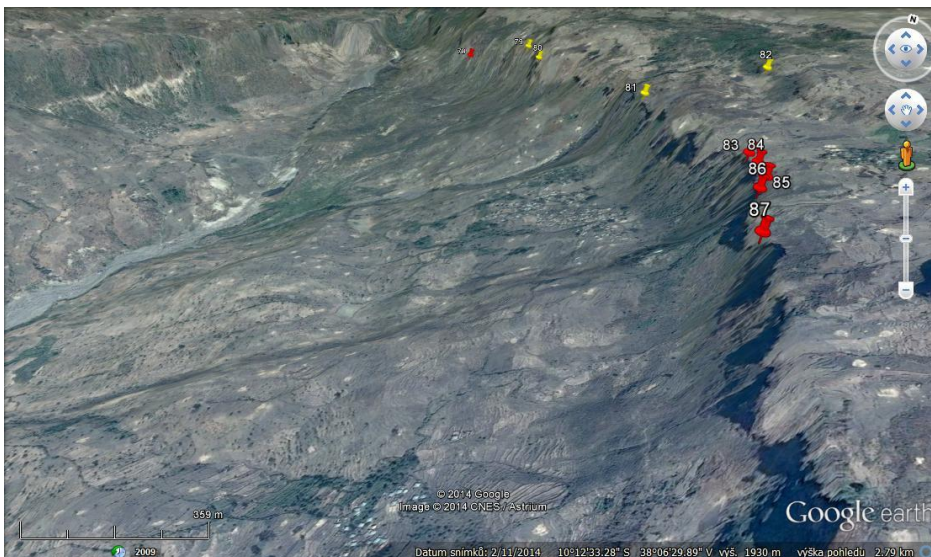
**Obrázek 35: Rozsáhlé sesouvání v Dessie v pohoří Azwa Gedel**



**Obrázek 36: Rozsáhlé skalní říční v Dessie**



**Obrázek 37: Orientace svahových pohybů v údolí řeky Bachet v Dejen**





## 6 DISKUZE

V této kapitole provádím diskuzi rešeršní i praktické části této práce a získané výsledky porovnávám s výzkumy zahraničních autorů zkoumajících svahovou aktivitu v Etiopské vysočině.

Cílem bakalářské práce je zjistit, jak výskyt skupin klasifikovaných svahových pohybů souvisí s jejich geologickými poměry, a uvést spoušťové faktory vedoucí k nestabilitě svahových pohybů.

### 6.1. Srovnávací analýza geologických poměrů a skupin svahových pohybů v zájmových oblastech

Srovnávací analýza vychází z dat, která byla nashromážděná z uveřejněných publikací. Jednotlivé výsledky autorů srovnám s výsledky vlastního výzkumu v počtu 90 klasifikovaných svahových pohybů ve třech lokalitách. Provádím zvláště diskuzi pro Dessie a pro oblasti v údolí Modrého Nilu.

**Tabulka12: Svahové pohyby s vazbou na geologické poměry v Etiopské vysočině**

TVRZENÍ	AUTOR
sesouvání na bazaltech	Moeyersons et al. (2008)
sesouvání na svahovinách a naplaveninách	Ayenew a Barbieri (2005)
sesouvání na svahovinách a naplaveninách	Canuti et al. (1986)
stékání na bazaltech	Moeyersons et al. (2008)
stékání na pískovcích a vápencích	Woldearegay (2013)
stékání na svahovinách a naplaveninách	Ayenew a Barbieri (2005)
řícení na bazaltech	Moeyersons et al. (2008)

#### 6.1.1. Dessie

Pro diskuzi vycházím z tabulky 12 a z autorů Ayenew a Barbieri (2005), Fubelli et al. (2008), kteří zkoumali výskyt svahových pohybů přímo v Dessie. Ayenew a Barbieri (2005) uvádí výskyt řícení na svahovinách na úpatí obou výše uvedených pohoří a především popisují častá sesouvání na svahovinách úpatí Tossa. Fubelli et al. (2008) uvádí, že sesouvání v Dessie nastávají na vysoce zvětralých bazaltech. Suyum (2011) uvádí, že pravděpodobnost výskytu sesouvání v Dessie klesá se vzdáleností od říčního proudu, avšak v identifikovaných svahových pohybech nebyl tento trend prokazatelný.

➤ *s Ayenew a Barbieri (2005) nelze porovnat výsledky ve výskytu řícení na svahovinách úpatí pohoří*

Autoři Ayenew a Barbieri (2005) uvádí výskyt suťových kuželů na úpatí pohoří, jako výsledné svahové deformace řícení. Na snímcích Google Earth nebyla zřetelná akumulace suťových kuželů, a proto jsem neidentifikovala na úpatí pohoří žádná řícení. Z tohoto důvodu nelze výsledky porovnat.

➤ *s Moeyersons et al. (2008) shledávám shodné výsledky ve výskytu řícení na bazaltech*

Všechna identifikovaná řícení nastala pouze na bazaltech. Tato skupina svahových pohybů se však vyskytla v oblasti jen minimálně.

➤ *s Ayenew a Barbieri (2005) neshledávám shodné výsledky ve výskytu sesouvání na svahovinách úpatí pohoří*

Identifikovaná sesouvání se nevyskytovala na úpatí pohoří, tedy z tohoto důvodu nelze výsledky porovnat.

➤ *s Fubelli et al. (2008) a Moeyersons et al. (2008) shledávám shodné výsledky ve výskytu sesouvání na bazaltech*

Shledávám shodné výsledky s oběma autory, protože se všechna sesouvání vyskytla na bazaltech.

➤ *s Moeyersons et al. (2008) shledávám shodné výsledky ve výskytu stékání na bazaltech*

Shledávám shodné výsledky, protože bez dvou případů se všechna sesouvání vyskytla na bazaltech.

### **6.1.2. Dejen**

V oblasti jsem identifikovala stékání a řícení na vápencích. Skupina řícení nastala pouze v jednom případě na bazaltech. Identifikované svahové pohyby se nacházely na odkrytých vápencích pod lávovými příkrovy. Shodné výsledky o výskytu stékání na vápencích shledávám s Woldearegay (2013).

### **6.1.3. Gohatsion**

V Gohatsion bylo zaznačeno nejvíce skupin stékání a řícení, a to zejména na bazaltech. Stejně jako v oblasti Dejen některé případy stékání a řícení nastaly na vápencích, a to na odkrytých vápencích pod bazaltovou vrstvou. Souhlasné výsledky shledávám s výzkumem Moeyersons et al. (2008), který uvádí stékání a řícení na bazaltech.

V oblasti Gohatsion se vyskytlo řízení na obou horninách – na vápencích a na bazaltech. Do skupiny řízení jsem klasifikovala všechny svahové deformace náležející této skupině. Pukliny na bazaltech byly paralelní ke svahu, a tím dochází k selhání skalních stěn. Skalní řízení jsou nejčastější svahovou deformací právě na okrajích lávových proudů. K destabilizaci dochází odvětráním podložní vrstvy tufu a následně skalní výchozy ztrácí stabilitu. Svahové deformace osypy nastaly na odkrytých vápencích pod lávovými příkrovy.

## **6.2. Spoušťové faktory vedoucí k zahájení svahových pohybů**

Za hlavní podmínky vedoucí k nestabilitě svahů v Etiopské vysočině považují intenzivní srážky od července do srpna, protože v těchto zmíněných měsících nastalo v průměru 58 % úhrnu srážek z celkového ročního úhrnu srážek. Výsledky dále ukazují, že ve všech třech zájmových oblastech nastala více než polovina deštivých dní během měsíců s největším úhrnem srážek. Autoři Abebe et al. (2010), Ayenew a Barbieri (2005) a Woldearegay et al. (2013) udávají, že skupiny svahových pohybů sesouvání, stékání a řízení jsou spuštěné silnými srážkami. Dalším spoušťovým faktorem jsou zemětřesení. Gouin (1979) uvádí zemětřesení jako spoušťový faktor pro skupiny svahových pohybů řízení a stékání. Dále však Ayalew (1999) zkoumal, že ačkoliv jsou skalní řízení běžná v Etiopské vysočině, nejsou asociačně spjata se srážkami, ale se zemětřesením. Pro detailnější výzkum zemětřesení jako spoušťového faktoru by bylo zapotřebí znát přesné datum jednotlivých selhání svahových pohybů. Dále snímky, které jsem měla k dispozici přes Google Earth, byly aktualizované s periodou zhruba po třech letech a nebylo možné blíže určit, kdy svahový pohyb nastal. Pokud budeme znát tyto informace, bylo by možné blíže zkoumat souvislost otřesů způsobených zemětřesením se selháním svahů. Antropogenní vliv způsobil nestabilitu svahu při výstavbě silnic, kdy došlo k zpříkření svahů a svahové pohyby byly spuštěny na zářezech silnice.

## **6.3. Vlivy způsobující zkreslení výsledků**

Faktor, který zkreslil výsledné hodnoty geologických poměrů, je podrobnost použitých geologických map. Nepřesnost nastala zejména v případě svahovin v oblastech Dejen a Gohatsion. Pod skalními výchozy by měly být zaznačeny právě svahoviny, avšak v geologické mapě, ke které jsem měla přístup, zaznačení svahovin nebylo znázorněno (viz obrázek 30). Pokud by geologická mapa byla velkého měřítko, byly by i geologické poměry podrobnější a pro výzkum přínosnější.

Výsledky ovlivňuje i identifikace svahových pohybů. V Google Earth se dá přepínat mezi jednotlivými snímky přibližně od roku 2003 do současnosti. Identifikování svahových pohybů ve třech lokalitách udává variabilitu samotného výběru svahových pohybů pro klasifikování. V mnoha

případech se stalo, že akumulace svahových pohybů nebyly zřetelné a je nutné přepínat mezi jednotlivými snímky z jiných let snímání. Výběr svahových pohybů je tedy náhodný výběr ze souboru a volí se ze základního souboru náhodně. Samotný výběr ovlivní počet jednotlivých skupin svahových pohybů v souboru, se kterým se dále pracuje pro analytické a statistické zpracování.

# 7 ZÁVĚR

## 7.1. Rešeršní část

Svahové pohyby vznikají při narušení stability svahu působením zemské tíže a následný pohyb hmoty se uskutečňuje a směřuje po svahu dolů. Vznik a vývoj svahových pohybů je podmíněn místními přírodními poměry a případně lidskou činností. Cílem rešeršní části o svahových pohybech bylo uvést klasifikace svahových pohybů a charakteristiky jednotlivých skupin svahových pohybů.

Za hlavní klasifikaci je brána klasifikace dle mechanismu svahových pohybů. Svahové pohyby se dle Nemčok et al. (1974) dělí na ploužení, stékání, sesouvání a řízení. Další hojně využívanou klasifikací je dělení dle rychlosti svahových pohybů, kam náleží pohyby velmi pomalé a pomalé, rychlé a katastroficky rychlé. Jednotlivým skupinám svahových pohybů náleží i je jejich charakteristika. Ploužení je dlouhodobý zpravidla nezrychlující se pohyb horninových hmot v rychlosti milimetrů za rok. Sesouvání je relativně rychlý a krátkodobě klouzavý pohyb horninových hmot na svahu podél jedné nebo více průběžných smykových ploch v rychlostech centimetrů až metrů za den. Stékání je rychlý a krátkodobý pohyb viskózního stavu v rychlosti kilometrů za hodinu. Typický rychlý krátkodobý pohyb hmot na strmých svazích je řízení. Při pohybu se uplatňuje volný pád.

V rešeršní části bylo dalším cílem uvést metody výzkumu svahových pohybů. Tyto metody jsem rozdělila na dvě skupiny, a tím jsou práce v terénu a DPZ. Pro práci v terénu jsou vhodné zejména geodetické metody, pozemní fotogrammetrie, pozemní laserové skenování, inklinometrická a deformometrická měření. V praktické části této bakalářské práce se využívají metody DPZ.

Fyzickogeografické a geologické poměry jsou příznivé pro svahovou aktivitu v Etiopské vysočině a kvůli výskytu svahových pohybů dochází k destrukci pozemních komunikací, lidských sídel a zavlažovacích zařízení. Terefe (2001) uvádí, že obecní vláda řeší problémy stavěním příčných otevřených odvodňovacích systémů, kde je odtok směřován od úpatí svahů. Dále staví opěrné zdi, vysazují stromy nebo přesídlují obyvatele v oblastech citlivých pro svahovou aktivitu.

Podmínky vedoucí k nestabilitě svahových pohybů v Etiopské vysočině jsem shrnula a rozdělila na podmínky vnitřní a vnější vlivy. Vnitřní podmínky jsou pak rozděleny na relativně konstantní podmínky, což jsou podmínky stálejšího charakteru a většinou neměnné. Proměnlivé podmínky se mění na základě působení vnějších vlivů.

### VNITŘNÍ PODMÍNKY

#### A) relativně konstantní podmínky

##### a) *geologické poměry*

- horninami v zájmových oblastech jsou bazalty, které jsou velmi zvětralé, dále vápence, pískovce a nesoudržné sedimenty naplavenin a svahovin

**b) tektonika**

- v oblasti Dessie vedou hlavní paralelní zlomy S-J směrem, místně se vyskytují zlomy i V-Z směru a oblast Dejen – Gohatsion leží v tektonické kotlině

**B) proměnlivé podmínky**

**c) hydrologické a hydrogeologické poměry**

- hydrogeologické poměry náleží mezi proměnlivé podmínky zejména kvůli kolísání úrovně podzemní vody
- hydrologické poměry se týkají zvyšování hladiny povrchových vod při silných srážkách a plošného odtoku

**d) morfologické poměry**

- z morfologických poměrů se jedná o příkré zlomové svahy, které jsou příčinou velkého odtoku po svahu s následnou destabilizací svahu v zařízých erozních rýhách

**e) půdní pokryv**

- v zájmových oblastech je nedostatek přírodní vegetace se silným kořenovým systémem, a tedy se sníží koheze materiálu na svahu a usnadní se plošná vodní eroze při přívalových srážkách

## **VNĚJŠÍ VLIVY**

**a) srážky**

- z hlediska rozložení úhrnu srážek se jedná o bimodální režim horského charakteru se silnými dešti od července do srpna

**b) seismická aktivita**

- oblast Dessie je umístěná v tektonicky aktivní zóně blízko Východoafrického riftového systému s častými zemětřeseními

**c) antropogenní vlivy**

- antropogenním ovlivněním jsou zejména změny přírodních podmínek a vodního režimu díky městské infrastruktuře, silničním konstrukcím, zavlažovacím systémům, zemědělské aktivitě a odlesňování

Z hlediska klimatických a meteorologických poměrů je příčinou svahové aktivity rozložení úhrnu srážek, teplota a evapotranspirace. Výsledky tabulky 6 ukazují, že ve všech zájmových oblastech nastala více než polovina deštivých dní během měsíců s největším úhrnem srážek. V červnu

jsou srážky velmi dobře absorbované suchou půdou a v srpnu je již půda nasycená a jakékoliv navýšení úhrnu srážek způsobí nestabilitu svahu. Silné srážky se nestačí infiltrovat do půdy a odtékají po povrchu. Jediná skupina svahových pohybů - řícení - nastává v obou sezonách - suché i vlhké, protože jsou spuštěna většinou zemětřesením. Z výsledků kapitoly zemětřesení v Etiopské vysočině vyplývá, že nejvyšší síla zemětřesení byla M 5,4 za období posledních 20 let, tedy v letech 1994 – 2014. Svahové pohyby jsou zahájeny díky otřesům a vibracím, které vytváří kmity různé frekvence. Dochází k dočasným změnám napětí, které mohou porušit rovnováhu svahu.

## 7.2. Praktická část

Na základě nabytých informací z rešeršní části byly klasifikovány svahové pohyby v zájmových oblastech Etiopské vysočiny. Cílem praktické části bylo zpracování dat klasifikovaných svahových pohybů v Etiopské vysočině. Výsledky příčin zahájení svahových pohybů v zájmových oblastech jsou následující:

### ➤ *řícení*

- jsou ovlivněna příčinou erozního vývoje údolí na okrajích lávových příkrovů
- pukliny skalních stěn silněji zvětrávají a dochází k destabilizaci skalních stěn, tyto pukliny jsou paralelní ke svahu a jsou vytvořené bazaltovými horninami

### ➤ *sesouvání*

- sesouvání nastávají v místech výskytu nízké vegetace bez silného kořenového systému, kdy v půdním krytu dochází rychleji k nasycení svahu vodou a k zvýšení úrovně podzemní vody při intenzivních srážkách
- zvýšení hladin vodních toků způsobuje erozi na úpatí svahů při intenzivních srážkách
- pokud je odlučná hrana sesouvání umístěná na zářezu silnice, tak příčinou je antropogenní vliv, kdy konstrukce silnice zpříkřila svah
- sesouvání mohou být spuštěna zemětřesením

### ➤ *stékání*

- příčinou jsou intenzivní srážky, které uvedou do pohybu materiál zvětralých bazaltů, vápenců a svahovin
- intenzivní pastva způsobí, že v degradovaném půdním krytu dochází k absorpci většího množství srážek, a to zmobilizuje půdu nebo horniny na strmých svazích
- vyšlapané cesty pastvy, které vedou zejména po spádnici, iniciují k tomu, že při silných deštích voda proudí v erozních rýhách a zmobilizuje svahové sedimenty lokalizované na pevném podloží

Hlavním cílem bylo určit souvislost mezi klasifikovanými svahovými pohyby a geologickými poměry a uvést majoritní svahové pohyby v zájmových oblastech. Celkem bylo klasifikováno 90 svahových pohybů, v Dessie to bylo 29 případů, v Dejen 25 v Gohatsion 36. V Dessie nastaly svahové pohyby výhradně na bazaltech a největší skupinou bylo stékání. V Gohatsion ze 78 % nastaly svahové pohyby též na bazaltech s převládající skupinou řícení. V Dejen je situace odlišná, protože 96 % pohybů nastalo na vápencích a pouhá 4 % na bazaltech. Jednalo se však o celkem rovnocennou četnost skupin stékání a řícení. V Dejen se nachází řícení na vápencích a v Gohatsion řícení nastala na bazaltech. V součtu klasifikovaných svahových pohybů mi pak vyšly tyto výsledky:

- **stékání** v 62 % na bazaltech, 33 % na vápencích, 5 % na svahovinách
- **sesouvání** v 86 % na bazaltech, 14 % na vápencích, 0 % na svahovinách
- **řícení** v 53 % na bazaltech, 47 % na vápencích, 0 % na svahovinách

Dále jsem provedla statistiku hodnot délek a šířek jednotlivých svahových pohybů. Maximální délky pro všechny skupiny svahových pohybů byly v rozmezí 370 - 400 m a jejich maximální šířky od 170 - 330 m. Minimální délky náležely v rozmezí od 5-20 m a minimální šířky od 10 - 20 m. Stékání mělo nejmenší modus šířky i délky svahového pohybu, avšak nejvyšší hodnotu mediánu délky. Modus šířek skupin svahových pohybů je 30 - 50 m a délky náležejí intervalu 50 - 80 m. Medián šířek skupin svahových pohybů nabývá podobných hodnot v rozmezí 40-65 m a délky 80-120 m.

Orientace svahových pohybů ovlivněných antropogenním faktorem je zpracovaná do paprskového grafu, z kterého vyšla orientace stékání a řícení na SZ. Převaha jednoho směru orientace svahového pohybu je způsobená rozdílnými faktory. V Dessie je daná převážná o orientace na SZ, a to kvůli vedení silnice, na které bylo identifikováno nejvíce svahových pohybů ovlivněných stavbou komunikace. Silnice je téměř přímá komunikace a při stavbě došlo k zpříkření svahů. Následná destabilizace vedla k tomu, že svahové pohyby nastaly v zářezech silnice (viz obrázek 34). Orientace svahových pohybů na SZ v oblastech Dejen a Gohatsion je však dána erozí úpatí svahů řeky tekoucí ze směru JZ na SV (viz obrázek 37).

V oblasti Dejen bylo nejméně antropogenního vlivu působícího na nestabilitu svahu. V Gohatsion byly zaznamenány všechny tři klasifikované svahové pohyby ovlivněné silnicí. Zřejmě se tento fakt dá vysvětlit tím, že skrz celé údolí Modrého Nilu, a tedy přes obě zájmové oblasti, prochází jediná silnice spojující hlavní město Addis Ababa s městem Bahir Dar u jezera Tana, která je velmi frekventovaná, a tím vyvíjí zvýšený tlak a hmotnost na svah. Antropogenními vlivy je zejména intenzivní pastva a zpříkření svahů při stavbě silnice.

Co se týče dalšího výzkumu v Etiopské vysočině, tak by byl přínosný výzkum zabývající se například cílem stanovení vztahu mezi svahovými pohyby a podzemní vodou a zhodnocení interakce půdních vlastností s úhrnem srážek. Zodpovězení těchto otázek by bylo přínosem pro zmapování oblastí citlivých k svahovým nestabilitám.



# POUŽITÁ LITERATURA A ZDROJE

## Použitá literatura

- ABEBE, B., DRAMIS, F., FUBELLI, G., UMER, M., ASRAT, A. (2010): Landslides in the Ethiopian highlands and the Rift margins. *Journal of African Earth Sciences*, 56, č. 4-5, s. 131-138.
- ALDORF, J., MULLEROVA, M. (1994): *Inženýrská geologie část I. Vysoká škola báňská v Ostravě, Ostrava, 275 s.*
- ALMOND, D.C. (1986): Geological evolution of the Afro-Arabian dome. *Tectonophysics*, č. 131, s. 301–332.
- AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY, (1980): *Manual of Photogrammetry. American Society of Photogrammetry, s. 1549-1682.*
- ANDERSON, M.G., RICHARDS, K.S. (1987): *Slope stability-geotechnical engineering and geomorphology. Wiley, Chichester, 648 s.*
- ASFAW, Y. E. *Landslide Assessment in Blue Nile Gorge, Central Ethiopia. Brusel, 2010. 82 s. Diplomová práce. Univerzita Gent Vrije Brussel, Belgie. Vedoucí práce Prof. F. De Smedt.*
- AYALEW, L. (1999): The effect of seasonal rainfall on landslides in the highlands of Ethiopia. *Bulletin of Engineering Geology and Environment*, č. 58, s. 9–19.
- AYALEW, L., VERNIER, A. (1999): Causes and mechanisms of slope instability in Dessie town, Ethiopia. *International symposium on slope stability engineering: geotechnical and geo-environmental aspects, A.A. Balkema, Rotterdam/Brookfield, s. 1181–1186.*
- AYALEW, L., YAMAGISHI, H. (2002): Landsliding and landscape development, the case in northern Ethiopia. *Proceedings of the International Congress “Intrapraevent 2002”, Matsumoto, Japan, s. 595-606.*  
[online] URL<[http://www.interpraevent.at/palmcms/upload\\_files/Publikationen/Tagungsbeitraege/2002\\_2\\_595.pdf](http://www.interpraevent.at/palmcms/upload_files/Publikationen/Tagungsbeitraege/2002_2_595.pdf)> (cit. 5. 5. 2014).
- AYALEW, L., YAMAGISHI, H. (2004): Slope failure in the Blue Nile basin, as seen from landscape evolution perspective. *Geomorphology*, 57, s. 95–116.

- AYELE, A. (1995): Earthquake Catalogue of the Horn of Africa for the Period 1960 – 1993. Seismology Department, Uppsala University, Report 3–95, 32 s.
- AYELE, A., ARVIDSSON, R. (1998): Fault mechanism and tectonic implication of the 1985 – 1987 earthquake sequence in south western Ethiopia. *Journal of Seismology*, 1, s. 383–394.
- AYENEW, T., BARBIERI, G. (2005): Inventory of landslides and susceptibility mapping in the Dessie area, northern Ethiopia. *Engineering Geology*, 77, č. 1-2, s. 1-15.
- BOSELLINI, A., RUSSO, A., FANTOZZI, P.L., GETANEH, A., TADESSE, S. (1997): The Mesozoic succession of the Mekele Outlier (Tigre province, Ethiopia). *Memorie di Scienze Geologiche*, 49, s. 95–116.
- BRÁZDIL, R. (1988): Úvod do studia planety Země. SPN, Praha, 365 s.
- BRUNSDEN, D., THORNES, J.B. (1979): Landscape Sensitivity and Change. *Transactions of the Institute of British Geographers*, č. 4, s. 463 – 484.
- CANUTI, P.; RODOLFI, G.; SCHIEPATTI, M. (1986): Swelling soils in the Addis Abeba (Ethiopia) metropolitan area and their pedological and engineering geological properties. *IAEG Congress, Buenos Aires*, s. 20-25.
- COLTORTI, M., PIERUCCINI, P., BERAKHI, O., DRAMIS, F., ASRAT, A. (2009): The geomorphological map of Mt Amba Aradam southern slope (Tigray, Ethiopia). *Journal of Maps*, s. 56–65.
- CRUDEN, D.M. (1991): A simple definition of a landslide. *IAEG Bull.*, č. 43, s. 27-29.
- DEMEK, J. (1988): *Obecná geomorfologie*. ČSAV, Praha, 476 s.
- DIKAU, T., EUROPEAN COMMISSION (1996): *Landslide recognition: identification, movement, and causes*. Wiley, Chichester, New York, 251 s.
- FUBELLI, G., ABEBE B., DRAMIS F., VINCI S. (2008): Geomorphological evolution and present-day processes in the Dessie Graben (Wollo, Ethiopia). *Catena*, 75, 1, s. 28-37.

- GOUIN, P. (1979): Earthquake history of Ethiopia and the Horn of Africa. Ottawa, Ont., IDRC, 259 s.
- GANI, N.D., ABDELSALAM, M.G. (2006): Remote sensing analysis of the Gorge of the Nile, Ethiopia with special emphasis on Dejen–Gohtsion region. *Journal of African Earth Sciences*, č. 44, s. 135–150.
- HANZL, V., SUKUP, K. (2001): Fotogrammetrie. VUT, Brno, 94 s.
- HORNÍK, S., BUZEK, L. et al. (1986): Fyzická geografie II. SPN, Praha, 320 s.
- HULME, M., et al. (2001): African climate change: 1900–2100. *Climate Res.*, č. 17, s. 145-168.  
[online] URL<<http://isites.harvard.edu/fs/docs/icb.topic1210733.files/c017p145.pdf>> (cit. 3. 6. 2014)
- CHERNET, T. (1993): Hydrogeology of Ethiopia and water resources development. Ethiopian Institute of Geological Surveys, Addis Ababa, 222 s.
- CHOROWICZ, J., COLLET, B., BONAVIA, F.F., MOHR, P., PARROT, J.F., KORNE, T. (1998): The Tana basin, Ethiopia: Intra-plateau uplift, rifting and subsidence. *Tectonophysics*, č. 295, s. 351–367.
- KRAUS, K. (2007): Photogrammetry. Walter de Gruyter, 459 s.
- LILLESAND, T., KIEFER, R.W., CHIPMAN J. (2007): Remote Sensing and Image Interpretation. Wiley, 804 s.
- MERLA, G., MINUCCI, E. (1938): Missione geologica nel Tigray. 1 – La serie dei terreni. *Rendiconti Reale Accademia d’Italia. Centro Studi per l’Africa Orientale Italiana*, Roma, 362 s.
- MOEYERSONS, J., VAN DEN EECKHAUT, M., NYSSSEN, J., TESFAMICHAEL, G., VAN DE WAUW, J., HOFMEISTER, J., POESEN, J., DECKERS, J., MITIKU, H. (2008): Mass movement mapping for geomorphological understanding and sustainable development: Tigray, Ethiopia. *Catena*, s. 7545–7554.
- NEMČOK, A. (1982): Zosuvy v slovenských Karpatoch. Veda, Bratislava, 306 s.

- NEMČOK, A., PAŠEK, J., RYBÁŘ, J. (1974): Dělení svahových pohybů. Sbor. geol. věd, Praha, č. 11, s. 77-97.
- NYSSSEN J., POESEN, J., MOYERSONS, J., DECKERS J., HAILE, M. (2002): Impact of road building on gully erosion risk: a case study from the northern Ethiopian highlands. *Earth Surface Processes and Landforms*, 27, č. 12, s. 1267 – 1283.
- NYSSSEN J., POESEN, J., MOYERSONS, J., DECKERS J., HAILE, M., LANG, A. (2003): Human-impact on the environment in the Ethiopian and Eritrean highlands – a state of the art. *Earth-science reviews*, 64, č. 3, s. 273 – 284.
- ONDRÁŠIK, R., RYBÁŘ, J. (1991): Dynamická inžinierska geológia. SPN, Bratislava, 269 s.
- ONDRÁŠIK R., VLČKO, J., FENDEKOVÁ, M. (2011): Geologické hazardy a ich prevencia. Univerzita Komenského Bratislava, Bratislava, 286 s.
- PANKHURST, A. (1992): Resettlement and Famine in Ethiopia: The Villagers' Experience. Manchester University Press, 290 s.
- PAŠEK, J. (1974): Sesuvy středního Poohří. Sbor. geol. věd, č. 11, s. 53–76.
- PAŠEK, J., MATULA, M. et al. (1995): Inženýrská geologie I, II. SNTL, Praha, 610 s.
- PETLEY, D.N., MANTOVANI, F., BULMER, N.H., ZANNONI, A. (2005): The use of surface monitoring data for the interpretation of landslide movement patterns. *Geomorphology*, č. 66, s. 133-147
- PIK, R., MARTY, B., CARIGNAN, J., LAVE, J. (2003): Stability of Upper Nile drainage network (Ethiopia) deduces from (U–Th)/He thermochronometry: Implication of uplift and erosion of the Afar plume dome: *Earth and Planetary Science Letters*, č. 215, s. 73–88.
- ROZSYPAL, A. (2001): Kontrolní sledování a rizika v geotechnice. Jaga, 198 s.
- RUSSO, A., ASSEFA G., ATNAFU, B. (1994): Sedimentary evolution of the Abby River (Blue Nile) Basin, Ethiopia. *Neues Jahrbuch fur Geologie und Palaeontologie Monatshefte*, č. 5, s. 291–308.

- ŘEZNÍČEK, T., PAŠEK, J., ZEMAN, M. (1980): *Geologie v územním plánování*. Academia, Praha, 226 s.
- SELBY, J.M. (1993): *Hillslope Materials and Processes*. Oxford University Press, 451 s.
- SCHOTT, J.R. (2007): *Remote Sensing: The Image Chain Approach*. Oxford University Press, New York, 688 s.
- SKEMPTON, A. W., HUTCHINSON, J. N. (1969): *Stability of natural slopes and embankment foundations*. State of the Art Rep., 7th ICASME, Mexico, s. 291–340.
- SUYUM, G.M. *Landslide Mapping Assessment using GIS Techniques in Dessia area, Northern Ethiopia*. 2011. 110 s. Dizertační práce. Univerzita Gent Vrije Brussel, Belgie. Vedoucí práce Prof. Dr. M. Kervyn.  
[online]URL<<http://phylares.vub.ac.be/Thesissen/2011%20Gebreslassie%20Mebrahtu%20Suyumf.pdf>> (cit. 6. 5. 2014)
- TEREFE, K. *Engineering geological mapping and landslide assessment of Dessie town*. Addis Ababa, 2001. 173 s. Dizertační práce. Univerzita Addis Ababa, Katedra geologie a geofyziky.
- TERZAGHI, K. (1925): *Erdbaumechanik auf bodenphysikalischer grundlage*. Franz Deuticke, Wien, 399 s.
- TEFERA, M., CHERNET, T., HARO, W. (1996): *Explanation of the Geological Map of Ethiopia*. Ethiopian Institute of Geological Surveys, Addis Ababa, s. 79.
- TORGE, W. (2001): *Geodesy*. Walter de Gruyter, 416 s.
- UKSTINS, I.A., RENNE, P.R., WOLFENDEN, E., BAKER, J., AYALEW, D., MENZIES, M. (2002): *Matching conjugate rifted margins:  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  chrono-stratigraphy of pre- and syn-rift bimodal flood volcanism in Ethiopia and Yemen*. *Earth and Planetary Science Letters*, č. 198, s. 289–306.
- VARNES, D. J. (1958): *Landslide Types and Processes*. In Eckel, E. B. (1958): *Landslides and Engineering Practise*. Highway Research Board, Spec. Rep. 29, Washigton, s. 20–47.

VARNES, D. J. (1978): Slope Movement Types and Processes. Special report 176: Landslides: Analysis and Control (R. L. Schuster and R. J. Krizek, eds.), TRB, National Research Council, Washington, D.C., s. 12–33.

WOLDEAREGAY, K. (2013): Review of the occurrences and influencing factors of landslides in the highlands of Ethiopia: With implications for infrastructural development Momona Ethiopian Journal of Science, 5, č. 1, s. 1–29.  
[online] URL <<http://www.ajol.info/index.php/mejs/article/view/85329>> (cit. 1. 6. 2014)

ZANETTIN, B., JUSTIN-VISENTIN, E. (1973): Serie di vulcanite etiopiche. 1 – La serie dell’altipiano etiopico centro-orientale. Bollettino della Società Geologica Italiana, 92, s. 313–327.

ZÁRUBA, Q., MENCL, V. (1974): Inženýrská geologie. Academia, Praha, 511 s.

ZÁRUBA, Q., MENCL, V. (1987): Sesuvy a zabezpečování svahů. Academia, Praha, 338 s.

## Online zdroje

Americká geologická společnost (2014): Staženo z:  
<http://pubs.usgs.gov/gip/volc/fig37.html> (cit. 10. 6. 2014).

Arcdata (2014): Staženo z:  
<http://www.arcdata.cz> (cit. 5. 6. 2014).

ArcGis Help(2014): Staženo z:  
<http://resources.arcgis.com> (cit. 4. 6. 2014).

Earthtrack (2014): Staženo z:  
<http://earthquaketrack.com/p/ethiopia/recent> (cit. 16. 6. 2014).

Environmentální hrozby a rizika (2009): Staženo z:  
<https://sites.google.com/site/zemetreseni01/klasifikace> (cit. 18. 5. 2014).

Fakulta stavební - Vysoká škola báňská (2014): Monitoring smykových ploch. Staženo z:  
<http://fast10.vsb.cz/hrubesova/mon8.htm> (cit. 31. 5. 2014).

Geoexpro (2013): Staženo z:

<http://geoexpro.com/articles/2010/01/why-so-much-oil-in-the-middle-east> (cit. 16. 6. 2014).

Geografický ústav - Masarykova univerzita (2006). Staženo z:

<http://oldgeogr.muni.cz/ucebnice/> (cit. 15. 6. 2014).

Geosystems AG (2012): Staženo z:

[http://www.leica-geosystems.com/en/Lasers\\_103371.htm](http://www.leica-geosystems.com/en/Lasers_103371.htm) (cit. 1. 7. 2014).

Gisat (2014): DPZ a družice. Staženo z:

<http://www.gisat.cz/content/cz/dpz>

Institut geologického inženýrství (2014): Vývoj a popis svahové deformace. Staženo z:

<http://geologie.vsb.cz/krapol/zprava/10%20kapitola.htm> (cit. 1. 6. 2014).

Instituto di Geoscienze (2014): The Ethiopian Rift Valley. Staženo z:

<http://www.ethiopianrift.igg.cnr.it/rift%20valley%20seismicity.html> (cit. 30. 5. 2014)

Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie - Univerzita Karlova (2014): Staženo z:

<https://www.natur.cuni.cz/geografie/geoinformatika-kartografie/ke-stazeni/vyuka/gps/skriptum-uvod-do-gps/> (cit. 5. 6. 2014).

Katedra metamatiky - Západočeská univerzita (2014): Přednáškové texty z geodézie. Staženo z:

<http://gis.zcu.cz/studium/gen1/html/index.html> (cit. 3. 7. 2014).

Mapsof (2014): Ethiopia topography. Staženo z:

<http://mapsof.net/map/ethiopia-topography#.U9m7gv15P9M> (cit. 2. 7. 2014).

Microsoft Office help (2014): Microsoft. Staženo z:

<http://office.microsoft.com/en-us/support/?CTT=97> (cit. 1. 7. 2014).

Slovník cizích slov (2014): Slovník a vysvětlivky. Staženo z:

<http://www.slovník-cizich-slov.cz/>

Univerzita Princeton (2014): Staženo z:

<https://www.princeton.edu/~alaink/Orf467F07/GNSS.pdf> (cit. 30. 5. 2014).

Ústav geotechniky VUT (2014): Mechanika hornin. Staženo z:

[http://geotech.fce.vutbr.cz/studium/mech\\_hornin/mhig\\_8.pdf](http://geotech.fce.vutbr.cz/studium/mech_hornin/mhig_8.pdf) (cit. 15. 7. 2014)

Volcano (2014): Volcano discovery. Staženo z:

<http://www.volcanodiscovery.com/ethiopia.html> (cit. 31. 5. 2014)

## **Zdroje dat**

European DigitalArchive of Soil Maps – geologická a hydrogeologická mapa Etiopie. Staženo z:

[http://eussoils.jrc.ec.europa.eu/esdb\\_archive/eudasm/africa/lists/cet.htm](http://eussoils.jrc.ec.europa.eu/esdb_archive/eudasm/africa/lists/cet.htm) (10. 5. 2014)

Earth Science Data Interface - Global Land Cover Facility - půdní pokryv. Staženo z:

<http://glcfapp.glcf.umd.edu:8080/esdi/index.jsp> (5. 5. 2014)

ASTER GDEM. Staženo z:

<http://gdem.ersdac.jspacesystems.or.jp/search.jsp> (17. 5. 2014)

<http://www.nasa.gov/> (6. 5. 2014)

<http://www.earthexplorer.usgs.gov/> (6. 5. 2014)



## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Dělení svahových pohybů podle půdorysového tvaru .....	16
Obrázek 2: Znázornění základních typů svahových pohybů .....	17
Obrázek 3: Jednotlivé příklady a ukázky ploužení .....	18
Obrázek 4: Jednotlivé příklady a ukázky sesouvání .....	19
Obrázek 5: Jednotlivé příklady a ukázky stékání .....	19
Obrázek 6: Jednotlivé příklady a ukázky říčení .....	20
Obrázek 7: Faktory podílející se na vzniku svahových pohybů .....	21
Obrázek 8: Určení polohových změn stabilizovaných bodů trigonometrického měření .....	24
Obrázek 9: Příklad využití laserového skeneru .....	26
Obrázek 10: Princip fungování tyčové extenzometru .....	27
Obrázek 11: Inklinometrie .....	28
Obrázek 12: Topografická mapa Etiopské vysočiny .....	30
Obrázek 13: Lokalizace zájmových oblastí .....	32
Obrázek 14: 3D sekvence a profil Dessie .....	33
Obrázek 15: Soutěska Modrého Nilu a lokalizace měst Dejen a Gohatsion .....	35
Obrázek 16: DEM Gohatsion a Dejen .....	36
Obrázek 17: 3D pohled na Dejen a Gohatsion .....	36
Obrázek 18: Geologické sekce podél S – J profilu údolí Modrého Nilu .....	37
Obrázek 19: Izolinie průměrného úhrnu ročních srážek .....	38
Obrázek 20: Mapa zemětřesení v Etiopii 2010-2013 .....	44
Obrázek 21: Mapa zemětřesení v Etiopské vysočině 2004-2013 .....	44
Obrázek 22: Mapa tektonických desek .....	45
Obrázek 23: Zaznačení sopečné aktivity .....	46
Obrázek 24: Google Earth program .....	48
Obrázek 25: Změna ve vegetaci po spuštění svahového pohybu .....	48
Obrázek 26: Popis svahu a barevné značky pro skupiny svahových pohybů .....	49
Obrázek 27: Klasifikování svahové pohyby v údolí Modrého Nilu .....	49
Obrázek 28: Klasifikování svahových pohyby v Dessie .....	50
Obrázek 29: Geologická mapa oblasti Dessie v měřítku mapy 1:30 000 .....	51
Obrázek 30: Geologická mapa oblasti Gohatsion a Dejen v měřítku mapy 1:130 000 .....	51
Obrázek 31: Paprskový graf orientace svahových pohybů ovlivněných .....	54
Obrázek 32: Pozemní komunikace na předpolí stékání .....	55
Obrázek 33: Sesouvání protínající vedlejší komunikaci .....	55
Obrázek 34: Odlučná hrana sesouvání a stékání v zářezech silnice .....	55
Obrázek 35: Rozsáhlé sesouvání v Dessie v pohoří Azwa Gedel .....	56
Obrázek 36: Rozsáhlé skalní říčení v Dessie .....	56
Obrázek 37: Orientace svahových pohybů v údolí řeky Bachet v Dejen .....	56

## SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Definice svahových pohybů dle jednotlivých autorů .....	12
Tabulka 2: Klasifikace dle mechanismu svahových pohybů .....	13
Tabulka 3: Typy svahových pohybů .....	14
Tabulka 4: Klasifikace svahových pohybů podle rychlosti pohybů .....	14
Tabulka 5: Shrnutí závěrů výzkumu jednotlivých autorů pro Dessie.....	34
Tabulka 6: Počet deštivých dní 1994 - 1999 .....	42
Tabulka 7: Počet skupin svahových pohybů v zájmových oblastech.....	50
Tabulka 8: Geologické poměry a skupiny svahových pohybů pro jednotlivé zájmové oblasti .....	52
Tabulka 9: Geologické poměry a skupiny svahových pohybů - přehled.....	52
Tabulka 10: Statistická tabulka o šířkách a délkách skupin svahových pohybů .....	53

## SEZNAM GRAFŮ

Graf 1: Průměrné rozložení úhrnu srážek 1994 - 1999.....	39
Graf 2: Průměrná teplota 1994 - 1999 .....	39
Graf 3: Roční úhrn srážek 1974 - 2004 .....	40
Graf 4: Dlouhodobý průměr hydrometeorologických dat v Dessie 1962 - 2000 .....	41
Graf 5: Průměrný počet deštivých dní v roce 1994-1999 .....	41

## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Klasifikace dle Nemčok et al. (1974).....	75
Příloha 2: Linie zlomů podél pohoří Tossa a Azwa Gedel v oblasti Dessie.....	76
Příloha 3: Zobrazení zájmových oblastí pomocí snímků z ASTER skeneru.....	77
Příloha 4: Výřez z geologické mapy Etiopie v měřítku 1: 2 000 000.....	78
Příloha 5: Recentní sopky v Etiopii .....	79
Příloha 6: Zemětřesení v Etiopii .....	80
Příloha 7: Data z klasifikace svahových pohybů .....	81

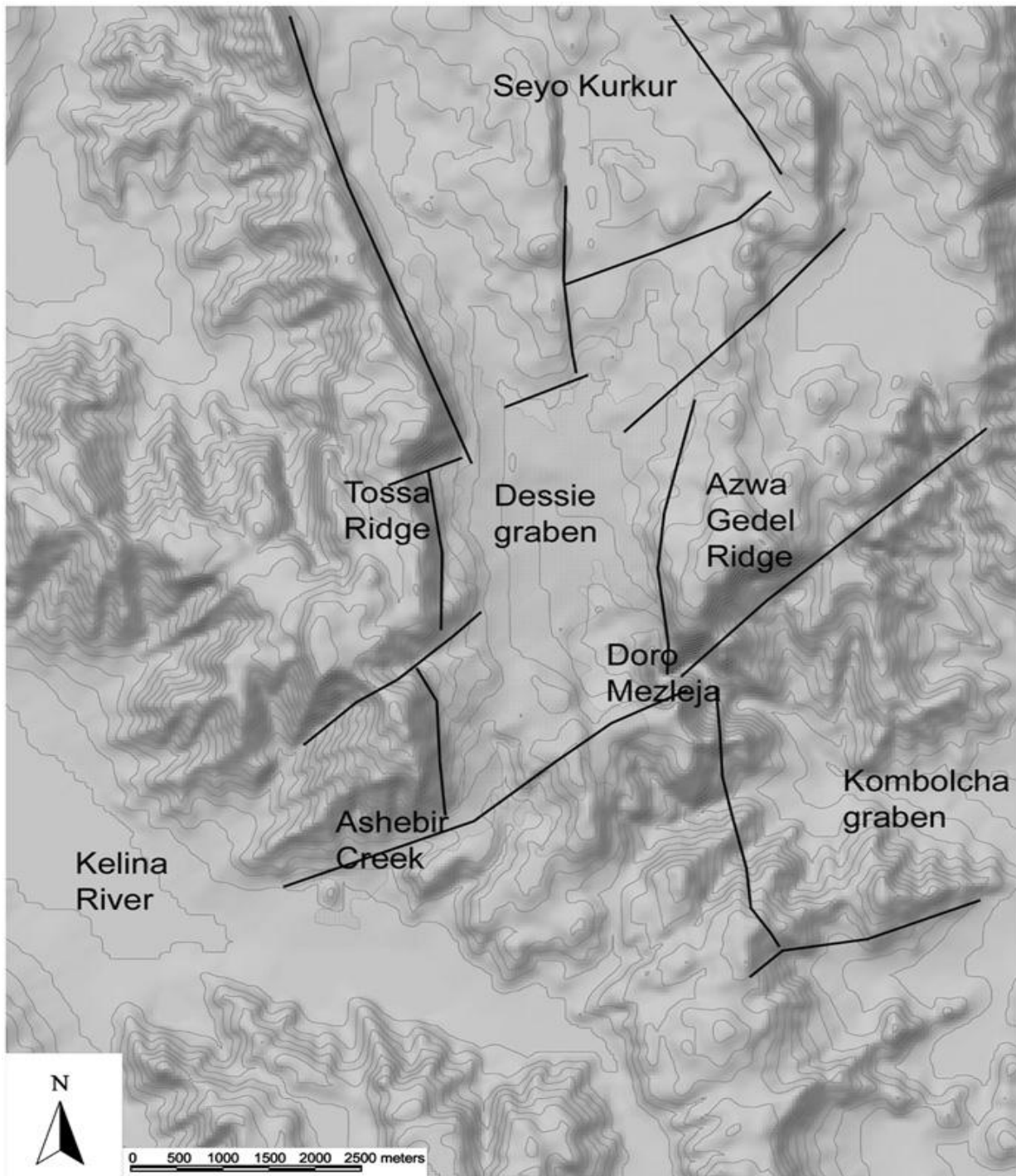
# PŘÍLOHY

Príloha 1: Klasifikace dle Nemčok et al. (1974)

Skup. svahov. pohybů	Základní typy svahových pohybů	Příklady nejrozšířenějších typů a jejich charakteristika	Rychlost svahových pohybů	Používané názvy výsledných svahových deformací	Převládající mechanismus	
Plouzení	rozvolňování svahů	rozvolňování skalního svahu vznikem puklin lemujících tvar svahu a dna erozního údolí	0 - 1 mm.rok <sup>-1</sup> až 10 <sup>4</sup> mm.den <sup>-1</sup>	rozvolňování svahu	uvolňování napětí	
		rozvolňování svahu rozvířením tahových trhlin v jeho horní části		otevírání tahových trhlin		
	gravitační vrásnění	deformace vysokých horských svahů doprovázené roztrháním horských hřbetů a stupňovitými poklesy svahů		roztrhání horských masivů	rozpad horského hřebenu „Sackung“ německy shrnutí	plouzení
		shrnování vrstev podél okraje pánví		zdvojené hřbety	hlubinné ohybání vrstev	
		vytačování měkkých hornin ze dna údolí		gravitační vrásy	gravitační vrásy	
		blokové pohyby podél předurčené plochy		- gravitační vrásy - shrnutí - údolní antiklinály - bulging - vytačování vrstev pod dnem údolí	- bloková pole - cambering - rozsedliny - bloková pole - posuny	
blokové pohyby	blokové pohyby po plastickém podloží					
	povrchové dlouhodobé pohyby					
Sesouvání	sesouvání podél rotační smykové plochy		až v m.h <sup>-1</sup>	- rotační sesuvy - sesuvy po rotační smykové ploše	klouzavý pohyb	
	sesouvání po rovinné smykové ploše	sesouvání zemin po rovinné smykové ploše		- planární sesuvy - sesuvy po rovinné smykové ploše - sesuvy po předurčené smyk. ploše		
		sesouvání skalních hornin po rovinné smykové ploše	až v km.h <sup>-1</sup>	- planární sesuvy ve skalních horninách - klouzání po předurčené ploše - skalní klouzání - klouzání		

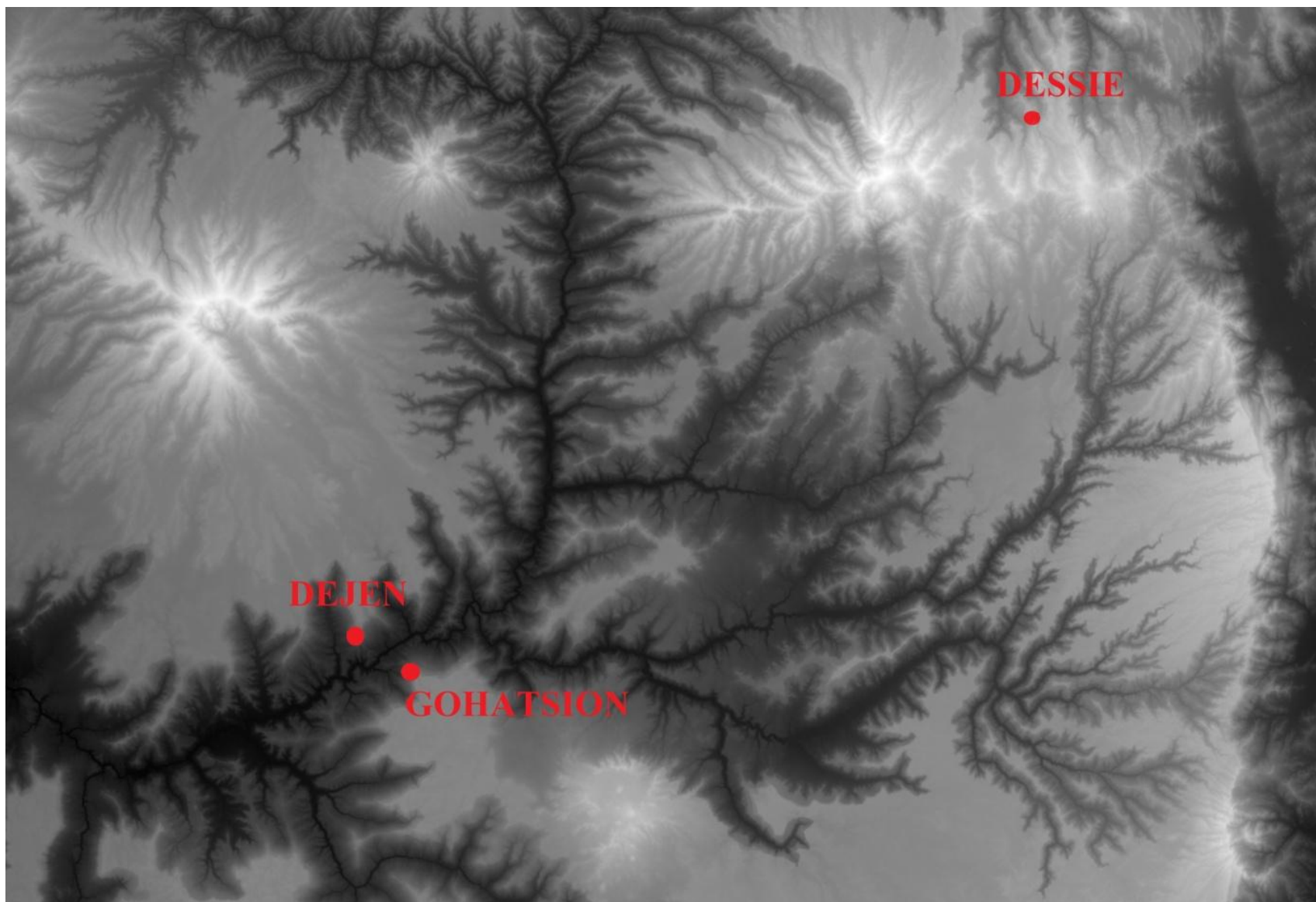
Skup. svahov. pohybů	Základní typy svahových pohybů	Příklady nejrozšířenějších typů a jejich charakteristika	Rychlost svahových pohybů	Používané názvy výsledných svahových deformací	Převládající mechanismus
Sesouvání	sesouvání po složené smykové ploše	sesouvání po složené, zakřivené a rovinné smykové ploše	až v m.h <sup>-1</sup>	- rotační planární sesuvy - sesuvy po složené smykové ploše	tečení
		sesouvání po horizontální nebo mírně ukloněné smykové ploše		- laterální sesuvy - translační sesuvy	
Stékání	stékání svahových uložení	stékání jílovitých a hlinitopísčících zemin	až v km.den <sup>-1</sup>	- zemní proudy - bahňité proudy - zemní proudy v citlivých jílech - soliflukční proudy	tečení
		stékání hlinitých a úlomkovitých zemin působením přívalem vod	až v 10 km.h <sup>-1</sup>	- kamenité (balvanité) přívalem proudy - hlinitokamenité přívalem proudy - hlinitobahňité přívalem proudy - mury	
	stékání povrchových částí pokrývaných útvary v období tání sněhu nebo po nadměrných srážkách	až v m.h <sup>-1</sup>	- strže ("flowage" anglicky)		
Řícení	sesypávání	přemísťování drobných úlomků poloskalních hornin až zemin kutálením a valením po svahu	až v km.h <sup>-1</sup>	- drobení - osypy	volný pád
		náhlé přemístění úlomků skalních hornin volným pádem, valením a posouváním po svahu		- opadové kužele - sutinové kužele - haldy - osypy - kamenná moře - padání kamenů	
	odvalové řícení	náhlé přemístění skalních stěn převážně volným pádem	až v 100 km.h <sup>-1</sup>	- skalní řícení - odvalové řícení - odvaly	
		náhlé přemístění skalních stěn, přičemž se kombinuje klouzavý pohyb po předurčené ploše s volným pádem		- sesunutí - planární skalní řícení - skalní řícení kombinované s klouzáním	

**Příloha 2: Linie zlomů podél pohoří Tossa a Azwa Gedel v oblasti Dessie**

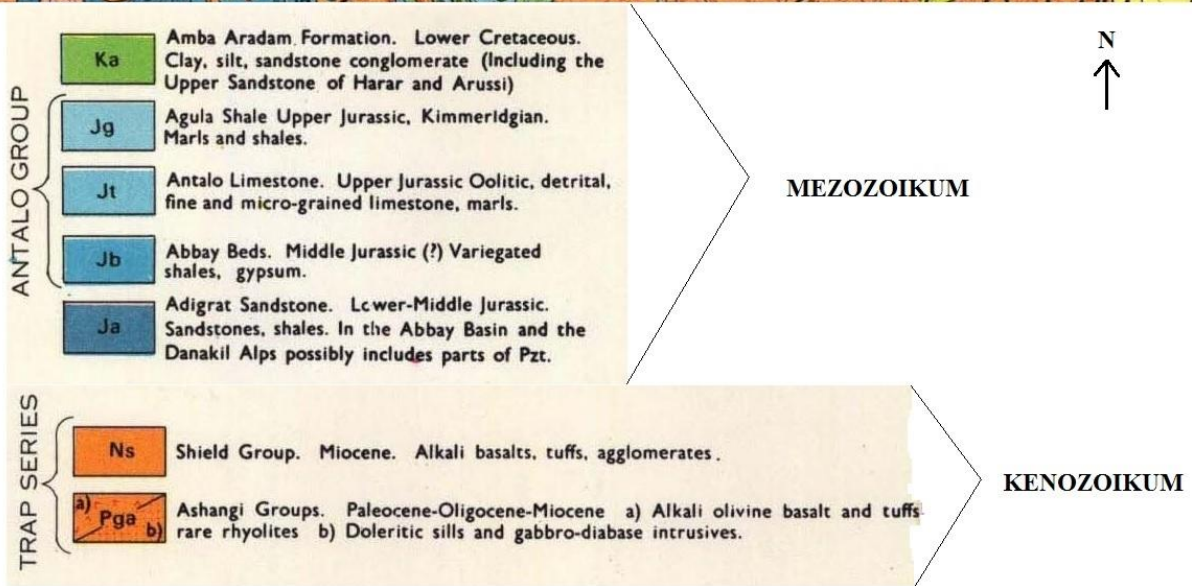
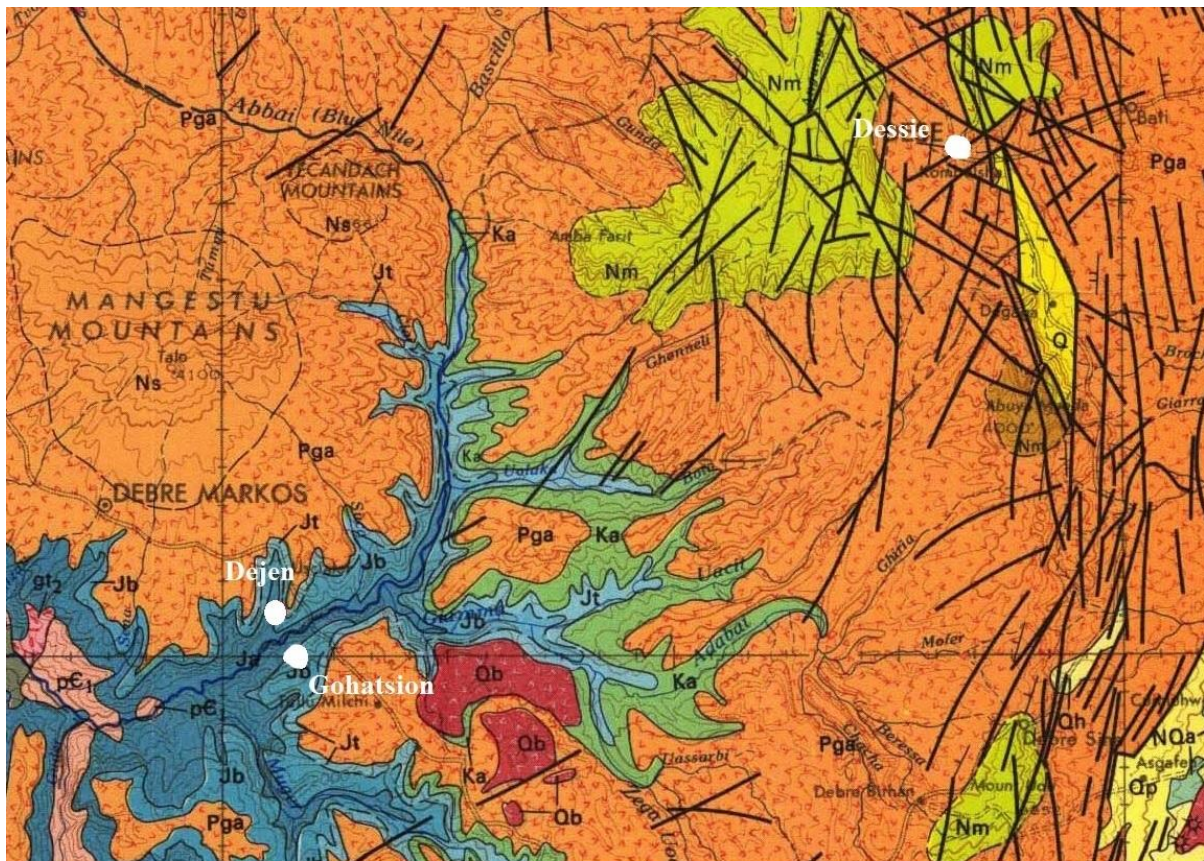


Zdroj: převzato a upraveno z Fubelli et al. (2008)

**Příloha 3: Zobrazení zájmových oblastí pomocí snímků z ASTER skeneru**

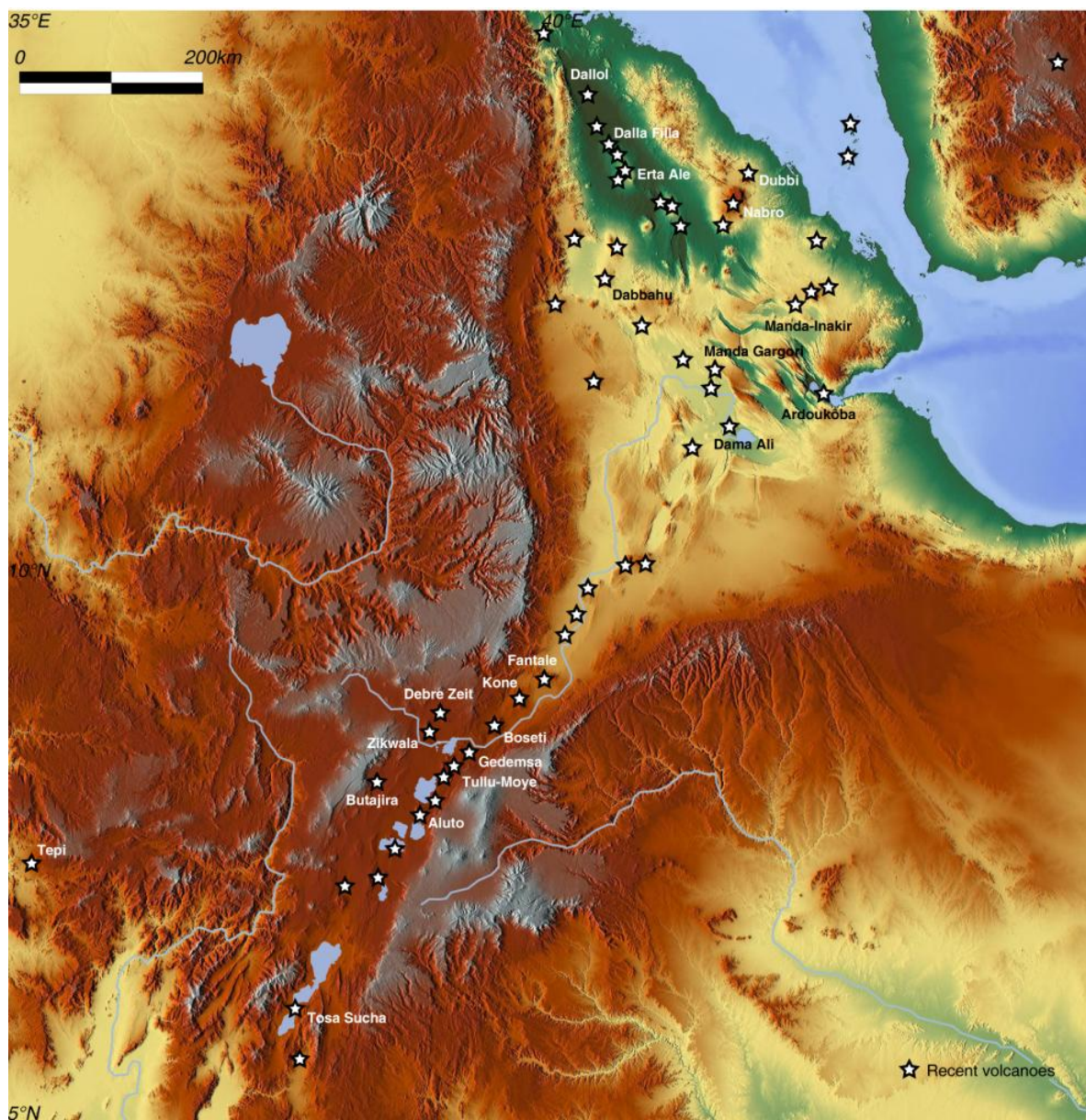


**Příloha 4: Výřez z geologické mapy Etiopie v měřítku 1: 2 000 000**



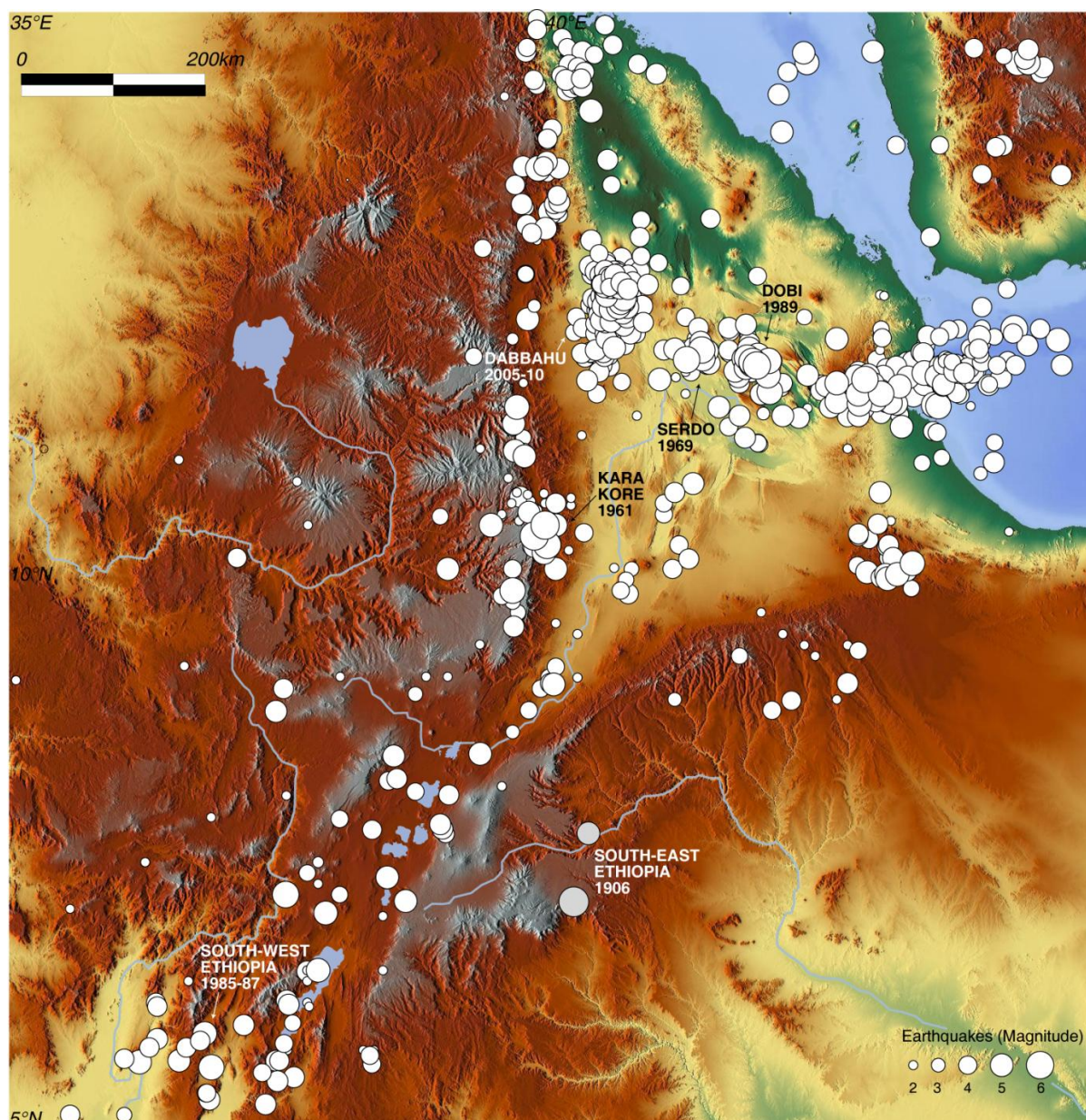
Zdroj: převzato a upraveno z European DigitalArchive of Soil Maps (2014)

## Příloha 5: Recentní sopky v Etiopii



Zdroj: převzato a upraveno z Instituto di Geoscienze (2014)

## Příloha 6: Zemětřesení v Etiopii



Zdroj: převzato a upraveno z Instituto di Geoscienze (2014)



Příloha 7: Data z klasifikace svahových pohybů

číslo	orientace	oblast	skupina	geologie	šířka (m)	délka (m)	antropog. vzdál. (m)	silnice/pastva	GPS zem. šířka	GPS zem. délka
1	JZ	DE	SE	B	50	50	520	pastva	11°6'9.63"S	39°37'2.12"V
2	SZ	DE	ST	B	80	90	odlučná hrana sesuvu	silnice	11°6'6.09"S	39°38'31.37"V
3	J	DE	ST	B	110	220	540	pastva	11°7'33.05"S	39°36'10.97"V
4	JV	DE	ST	B	30	110	350	pastva	11°8'23.63"S	39°34'39.97"V
5	JZ	DE	ST	B	100	150	1100	pastva	11°8'9.20"S	39°35'45.86"V
6	JZ	DE	ST	B	90	150	920	pastva	11°8'11.11"S	39°35'46.50"V
7	JZ	DE	SE	B	70	100	60	pastva	11°7'59.38"S	39°36'55.60"V
8	SV	DE	SE	B	50	140	20	silnice	11°7'41.70"S	39°36'54.20"V
9	V	DE	ST	B	30	60	/	/	11°7'40.24"S	39°37'0.83"V
10	V	DE	SE	B	80	380	400	silnice	11°10'18.35"S	39°36'34.34"V
11	Z	DE	ST	B	30	110	250	pastva	11°12'14.84"S	39°35'19.48"V
12	SZ	DE	ST	B	50	230	50	silnice	11°9'33.93"S	39°37'10.83"V
13	SZ	DE	ST	B	40	230	40	silnice	11°9'31.09"S	39°37'10.43"V
14	SZ	DE	ST	B	40	70	210	pastva	11°9'30.40"S	39°37'14.65"V
15	Z	DE	ST	S;N	30	140	140	pastva	11°7'34.10"S	39°37'42.30"V
16	SZ	DE	ST	B	80	210	40	silnice	11°7'9.96"S	39°36'54.37"V
17	Z	DE	SE	B	190	90	140	pastva	11°6'59.05"S	39°37'25.93"V
18	SZ	DE	ST	B	70	190	90	pastva	11°5'53.51"S	39°37'36.41"V
19	SZ	DE	ST	B	50	120	odlučná hrana sesuvu	silnice	11°5'57.85"S	39°38'33.42"V
20	SZ	DE	SE	B	100	170	odlučná hrana sesuvu	silnice	11°6'12.15"S	39°38'31.41"V
21	SZ	DE	ST	B	30	70	odlučná hrana sesuvu	silnice	11°6'8.79"S	39°38'30.38"V
22	S	DE	SE	B	240	210	10	pastva	11°6'48.39"S	39°38'50.69"V
23	SZ	DE	SE	B	20	20	odlučná hrana sesuvu	silnice	11°6'56.06"S	39°40'25.19"V
24	SV	DE	ST	B	30	50	odlučná hrana sesuvu	silnice	11°6'59.62"S	39°40'17.76"V
25	JZ	DE	Ř	B	40	30	250	pastva	11°7'27.36"S	39°38'52.06"V
26	Z	DE	ST	B	40	100	340	pastva	11°7'56.34"S	39°39'40.43"V
27	Z	DE	SE	B	150	30	/	silnice	11°10'30.84"S	39°38'28.46"V

28	V	G	ST	S;N	30	100	odlučná hrana sesuvu	silnice	11°10'49.37"S	39°36'49.22"V
29	SZ	G	Ř	B	140	160	160	pastva	11°10'27.16"S	39°39'48.36"V
30	SV	G	Ř	B	130	70	/	/	9°59'35.72"S	38°14'10.22"V
31	SV	G	Ř	B	180	210	100	/	9°59'55.55"S	38°14'18.24"V
32	SV	G	Ř	V	140	100	/	/	9°58'32.72"S	38°13'15.03"V
33	S	G	Ř	V	60	90	/	/	9°58'43.41"S	38°12'39.12"V
34	S	G	ST	V	40	360	100	silnice	9°58'8.34"S	38°13'29.64"V
35	Z	G	Ř	B	40	120	/	silnice	10°1'35.99"S	38°14'41.55"V
36	SZ	G	ST	B	20	50	/	silnice	10°1'32.90"S	38°14'39.09"V
37	JZ	G	SE	B	190	80	/	silnice	10°2'25.83"S	38°14'7.53"V
38	SV	G	ST	B	20	100	odlučná hrana sesuvu	silnice	10°2'25.99"S	38°14'54.49"V
39	SZ	G	SE	B	30	70	/	silnice	10°2'28.47"S	38°14'26.71"V
40	Z	G	ST	B	20	100	/	silnice	10°2'21.10"S	38°14'34.47"V
41	SZ	D	Ř	V	180	140	/	/	10°7'15.42"S	38°7'32.71"V
42	Z	D	Ř	V	70	70	/	/	10°7'8.88"S	38°7'53.17"V
43	Z	D	ST	V	20	160	/	/	10°7'12.52"S	38°7'55.88"V
44	Z	D	Ř	B	330	70	/	/	10°8'7.83"S	38°8'2.28"V
45	SZ	D	ST	V	80	90	/	/	10°8'2.08"S	38°7'40.64"V
46	SZ	D	ST	V	50	150	/	/	10°8'3.99"S	38°7'38.13"V
47	SZ	D	Ř	V	30	60	/	/	10°8'3.54"S	38°7'47.67"V
48	SZ	D	Ř	V				/	10°8'7.81"S	38°7'45.49"V
49	SZ	D	ST	V	50	230	/	/	10°8'2.39"S	38°7'16.31"V
50	JZ	D	ST	V	30	400	/	/	10°8'53.99"S	38°7'16.55"V
51	Z	D	ST	V	50	300	/	/	10°9'34.64"S	38°6'47.33"V
52	JZ	D	Ř	V			/	/	10°10'22.11"S	38°6'55.55"V
53	JZ	G	Ř	B	250	140	/	/	9°59'36.52"S	38°14'25.26"V
54	JZ	G	ST	B	120	20	/	/	10°0'5.70"S	38°14'8.53"V
55	JZ	G	ST	B	30	80	/	/	10°0'2.79"S	38°14'34.32"V
56	JZ	G	ST	B	130	30	/	/	9°59'59.76"S	38°14'35.72"V

57	JZ	G	ST	B	80	50	/	/	9°59'52.59"S	38°14'39.99"V
58	JZ	G	Ř	B	220	70	120	pastva	9°59'57.55"S	38°14'46.46"V
59	JZ	G	Ř	B	80	120	170	pastva	9°59'58.14"S	38°14'43.22"V
60	JZ	G	Ř	B	40	50	/	/	9°59'40.52"S	38°14'43.06"V
61	JZ	G	Ř	B	40	90	/	/	9°59'44.40"S	38°14'42.83"V
62	JZ	G	ST	B	40	120	/	/	9°59'30.13"S	38°14'41.98"V
63	JZ	G	Ř	B	100	30	5	silnice	9°59'35.21"S	38°15'7.37"V
64	SZ	G	Ř	B	90	90	420	silnice	9°59'28.78"S	38°14'54.21"V
65	Z	G	Ř	B	190	180	170	silnice	9°59'19.89"S	38°15'2.95"V
66	Z	G	SE	B	40	80	140	silnice	9°59'9.70"S	38°15'0.20"V
67	SZ	G	Ř	B	90	160	160	silnice	9°58'41.66"S	38°14'19.29"V
68	SZ	G	ST	B	30	180	280	pastva	9°59'4.23"S	38°14'11.73"V
69	SV	G	ST	V	170	40	/	/	9°58'34.27"S	38°13'4.38"V
70	S	G	SE	V	60	70	360	silnice	9°58'16.32"S	38°12'53.07"V
71	Z	G	Ř	V	50	130	60	silnice	9°57'31.16"S	38°11'51.37"V
72	SZ	G	Ř	B	120	120	120	silnice	10°2'1.78"S	38°14'30.15"V
73	SZ	G	Ř	B	300	160	360	silnice	10°1'12.78"S	38°14'28.78"V
74	SZ	G	Ř	B	110	110	180	pastva	10°0'46.95"S	38°14'27.03"V
75	SZ	G	ST	B	10	50	190	pastva	10°0'16.94"S	38°14'33.75"V
76	SZ	G	Ř	V	30	5	5	silnice	10°3'42.49"S	38°13'33.06"V
77	SZ	G	Ř	V	20	10	10	silnice	10°3'46.08"S	38°13'32.32"V
78	SZ	D	ST	V	120	280	/	/	10°13'52.57"S	38°6'9.95"V
79	SZ	D	Ř	V	160	370	/	/	10°13'43.19"S	38°6'21.80"V
80	SZ	D	Ř	V	150	300	/	/	10°13'36.79"S	38°6'24.56"V
81	SZ	D	Ř	V	150	240	280	pastva	10°13'8.41"S	38°6'41.60"V
82	SZ	D	Ř	V	100	30	/	/	10°13'9.78"S	38°6'54.86"V
83	SZ	D	ST	V	50	170	200	pastva	10°12'43.13"S	38°6'51.48"V
84	SZ	D	ST	V	60	200	170	pastva	10°12'40.03"S	38°6'51.97"V
85	SZ	D	ST	V	80	200	180	pastva	10°12'35.96"S	38°6'52.25"V

86	SZ	D	ST	V	20	200	240	pastva	10°12'33.26"S	38°6'51.58"V
87	SZ	D	ST	V	50	50	/	/	10°12'23.69"S	38°6'50.99"V
88	JZ	D	Ř	V	10	70	/	silnice	10°6'52.68"S	38°7'43.85"V
89	JZ	D	Ř	V	15	60	/	/	10°9'56.07"S	38°6'52.56"V
90	JZ	D	SE	V	20	80	130	pastva	10°10'7.88"S	38°6'15.79"V

**SEZNAM ZKRATEK: DE = Dessie, G = Gohatsion, D = Dejen**

**ST= stékání, SE= sesouvání, Ř= řízení**

**B=bazalty, V=vápence, S=svahoviny, N=naplaveniny**