GEOtest, a.s. tel.: **548 125 111**
Šmahova 1244/112, 627 00 Brno fax: **545 217 979**
IČ: **46344942** DIČ: **CZ46344942** e-mail: **info@geotest.cz**
Geologické a sanační práce pro ochranu životního prostředí, geotechnický a hydrogeologický průzkum

Číslo a název zakázky**:** **16 0327 Etiopie – holistický management Arba Minch**
Objednatel: Česká rozvojová agentura, Nerudova 3, 118 50 Praha 1
Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 1665/1, 613 00 Brno

Aktivita 1.2
Studie stavu degradace půdy a stavu vodních zdrojů jejich zmapování a kategorizace

Odpovědný řešitel: **Mgr. Jan Oprchal**, projektový manažer, geoinformatik

Zpracoval: **Mgr. Jan Bartoň**, hydrogeolog, oborový manažer

Ing. Terézia Durdiaková, krajinný inženýr

Ing. Anna Höllová, vodohospodář

Mgr. Jiří Hladík, geoinformatik

Cristina Medina Solano, geoinformatik

Prověřil: **Ing. Jaromír Novák**, projektový manažer

RNDr. Lubomír Klímek, MBA

člen představenstva

Brno, leden 2017

OBSAH

1. Úvod a základní charakteristika oblasti 5
2. Klima 7
3. Teplota 8
4. Srážky 10
5. Geomorfologické podmínky zájmového území 12
6. Geologická charakteristika zájmového území 12
7. Hydrogeologická charakteristika zájmového území 14
7.1 Morfohydrogeometrická analýza 16
7.2 Charakteristika povodí řek Kurpayo, Hare a Baso 17
8. Rešerše studie zaměřené na změny Land Use 21
9. Studie erozních rizik – RUSLE MODEL 22
9.1 Faktor erozní účinnosti deště (R). 23
9.2 Faktor erodovatelnosti půdy (K) 25
9.3 Faktor délky a sklonu svahu (LS). 26
9.4 Faktor vegetačního krytu a osevního postupu (C) 27
9.5 Výsledky 29
10. Multitemporální vegetační analýza 35
11. Změny land use mezi lety 1985–2015 40
12. Voda v krajině 43
13. Návrhy opatření pro zadržení vody v krajině 44
14. Příklady vhodných opatření 46
15. Použité zdroje 49

SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Průměrná maximální teplota vzduchu na dvou blízkých meteorologických stanicích .. 8
Tab. 2: Průměrná měsíční teplota [°C] v blízkých lokalitách. Zdroj: climate-data.org..... 9
Tab. 3: Roční úhrn srážek v mm na vybraných klimatických stanicích 10
Tab. 4: Průměrný měsíční úhrn stážek v mm na klimatických stanicích, rok 2015 10
Tab. 5: Průměrný počet srážkový dní v Arba Minch..... 10
Tab. 6: Půdní pokryv v jednotlivých okresech v oblasti Gamo Gofa (v hektarech)..... 21
Tab. 7: Roční úhrny srážek (2015) na konkrétních klimatických stanicích 24
Tab. 8: Klasifikace typických hodnot celkového R..... 24
Tab. 9: Klasifikace K-hodnot na základě barevnosti půdy 25
Tab. 10: Typické hodnoty pro vybrané kategorie land cover..... 27
Tab. 11: Statistika rozdělení půdní eroze..... 31
Tab. 12: Označení a datum pořízení použitých LANDSAT snímků..... 35
Tab. 13: Shrnutí získaných dat o povrchu s jejich procentuálním podílem 37
Tab. 14: Změny krajinného pokryvu 40

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Oblast zájmu s hranicí řešené oblasti zvýrazněnou červenou barvou 5
Obr. 2: Studovaná oblast (hranice červeně) na satelitním snímku Landsat 8 TM (2015)..... 6
Obr. 3: Topografická a administrativní mapa oblasti 7
Obr. 4: Výskyt Mezitropického sbíhavého pásma během roku. Zdroj: PennState, 2011 7
Obr. 5: Meteorologické stanice v blízkém okolí..... 8
Obr. 6: Průměrná měsíční teplota ve čtyřech blízkých lokalitách. Zdroj: climate-data.org 9
Obr. 7: Grafy srážek na čtyřech nejbližších stanicích 10
Obr. 8: Suché a deštivé dny v Arba Minch. Zdroj: Climate Arba Minch Airport, 2016..... 11
Obr. 9: Průměrná denní relativní vlhkost vzduchu v Arba Minch. Zdroj: MyWeather2.com . 11
Obr. 10: Výřez geologické mapy s legendou..... 13
Obr. 11: Výřez hydrogeologické mapy s legendou 15
Obr. 12: Morfohydrogeometrická analýza..... 16
Obr. 13: Povodí řek Hare, Baso a Kurpayo 17
Obr. 14: Řeka Kurpayo s vyznačením bodů, kde byl měřen průtok..... 18
Obr. 15: Umělý kanál napájený z řeky Hare 18
Obr. 16: point 1 [2.5 l/s] Obr. 17: point 2 [4.0 l/s] Obr. 18: point 3 [4.5 l/s]..... 19
Obr. 19: point 4 [4.5 l/s] Obr. 20: point 5 [0.0 l/s] Obr. 21: point 6 [2.5 l/s]..... 19
Obr. 22: point 7 [1.5 l/s] Obr. 23: point 8 [1.3 l/s] Obr. 24: point 9 [1.2 l/s]..... 20
Obr. 25: point 10 [1.2 l/s] Obr. 26: point 11 [1.1 l/s] Obr. 27: point 12 [0.0 l/s]..... 20
Obr. 28: Grafy s vyjádřením změn v období mezi lety 2005 a 2012..... 21
Obr. 29: Konceptuální pracovní schéma pro RUSLE model v prostředí ArcGIS..... 23
Obr. 30: Faktor erozní účinnosti deště (R) [Mj mm h^{-1} rok^{-1}] 24
Obr. 31: Faktor erodovatelnosti půdy (K) [t ha-1 Mj-1 mm-1]..... 25
Obr. 32: Faktor délky a sklonu svahu (LS) [bezrozměrný]..... 27
Obr. 33: Land cover, C-faktor 28

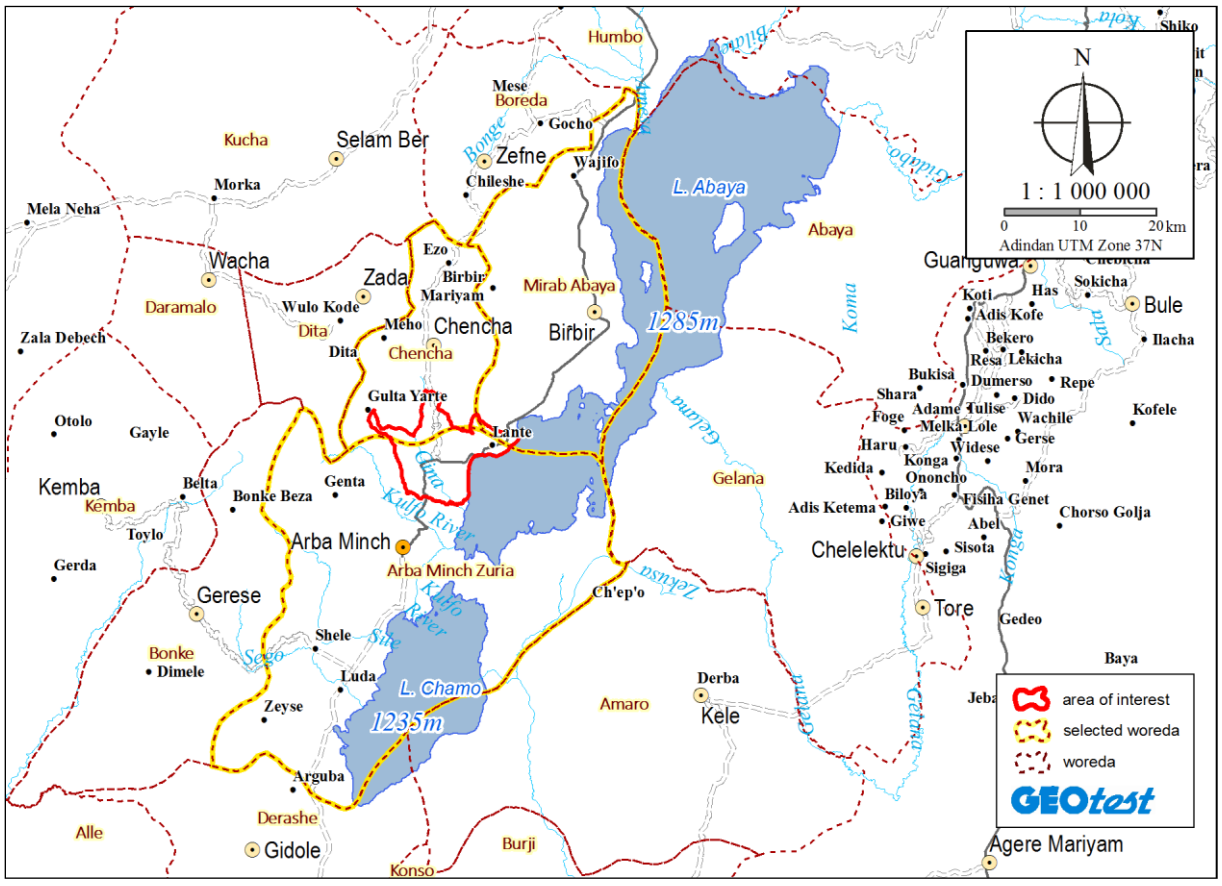
Obr. 34: Cover management (C) faktor *29*
Obr. 35: Potenciální erozní riziko [t ha^{-1} rok^{-1}] *30*
Obr. 36: Mapa erozních rizik, zahrnující všechny RUSLE faktory [t ha^{-1} rok^{-1}] *30*
Obr. 37. Rozložení kategorií stupňů půdní eroze [%] *31*
Obr. 38: Nadlimitní eroze *32*
Obr. 40: Vedení umělého kanálu na podkladu RUSELE mapy se stanovením erozního rizika *33*
Obr. 41: Soubor fotografií z terénního průzkumu *35*
Obr. 42: LANDSAT 5 snímky a), b) a c) v 432 a LANDSAT 8 snímek *36*
Obr. 43. Klasifikace vegetace pro roky 1985,1995,2010 a 2015 ..... *37*
Obr. 44: Vyznačené lokality, kde se v roce 1985 nacházely mokřadní ekosystémy *38*
Obr. 45: Vzhled sítě závlahových kanálů na různých příkladech, ... *39*
Obr. 46: Změny ve využívání krajiny *41*
Obr. 47: Odlišení povrchu, kde mezi lety 1985 a 2015 došlo ke změně land use *42*
Obr. 48: Přírodní krajina, typický pohled na výše položenou lokalitu *42*
Obr. 49: Kulturní krajina, typický vzhled níže položených oblastí *43*
Obr. 50: Kulturní krajina, typický vzhled níže položených oblastí. *43*
Obr. 51: Projektová oblast v blízkosti toku Kurpayo s definovaným typem opatření *45*
Obr. 52: Vsak přes půdní profil *46*
Obr. 53: Vsakovací průleh, vsakovací nádrž *47*
Obr. 54: Retenční nádrž, umělý mokřad *48*

1. Úvod a základní charakteristika oblasti

Degradace půd zaviněná vodní erozí je jedním z největších problémů Etiopie. V řešené projektové oblasti Arba Minch Zuria Woreda a Chencha Woreda vede půdní eroze k obnažení svahů, které bez vegetačního pokryvu nejsou schopny pojmout dešťovou vodu. Následný povrchový odtok poškozuje zavlažovací systémy a degraduje půdu v níže položené zemědělské oblasti.

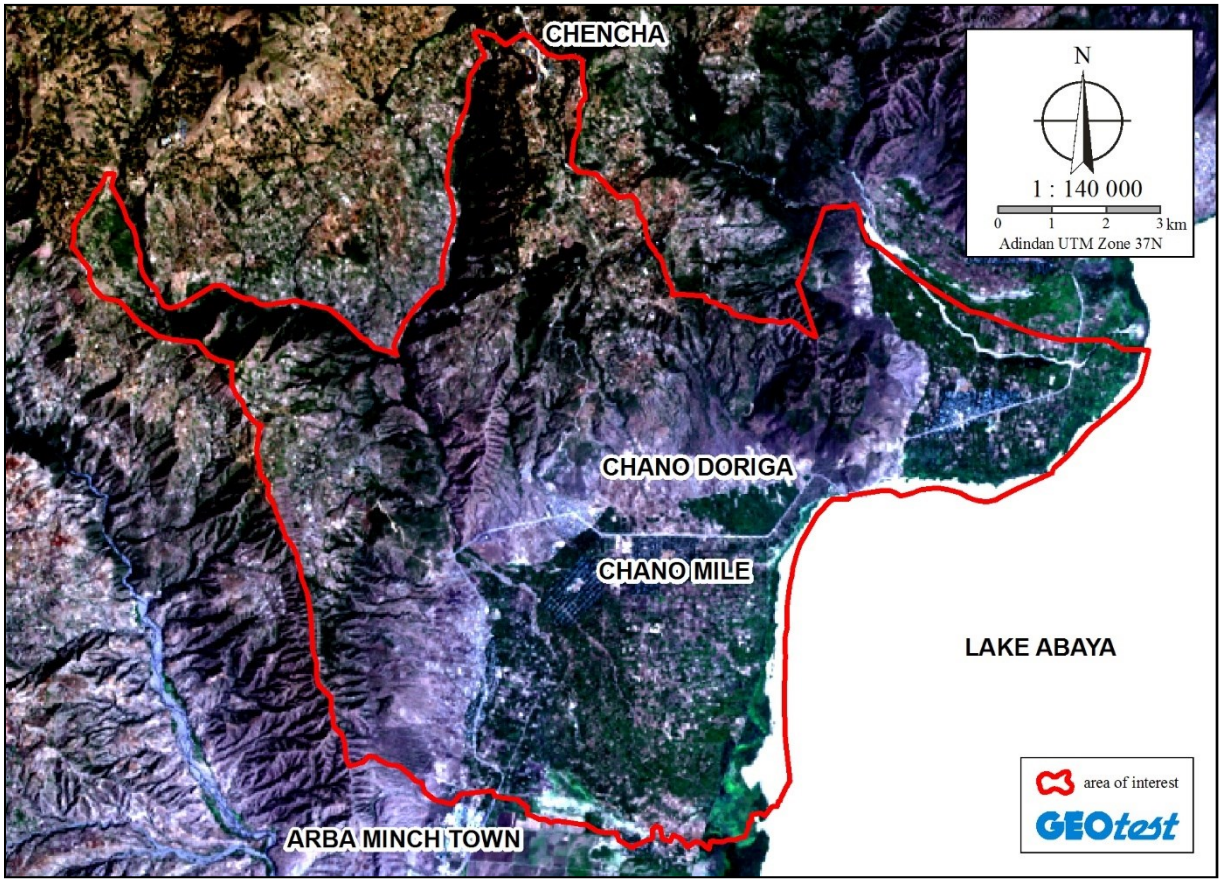
Studie stavu degradace půdy a stavu vodních zdrojů má za cíl zmapovat celé území povodí řeky Kurpayo a část povodí řeky Baso a Hare pro získání relevantních podkladů pro komplexní multioborové posouzení stávajícího stavu krajiny a způsobu využívání přírodních zdrojů místními komunitami. Do studie byli zapojeni metodou multioborového posouzení experti s odborným zaměřením na zemědělství, lesnictví, stravování, krajinné inženýrství, geologie, hydrogeology, vodní hospodářství, zavlažování, geografické informační systémy, dálkový průzkum Země a etiopští odborníci se zemědělským a lesnickým vzděláním se zkušenostmi s „climate smart agriculture“ management v Etiopii. Do studie byla zapojena také partnerská univerzita v Arba Minch.

Oblast zájmu je patrná z přiložené mapy (*Obr. 1*). Souřadnice středu řešené oblasti v systému WGS84 UTM Zone 37N jsou N6.1255°; E37.584°. Celková plocha činí 125 km^2. Nejnižším bodem je hladina jezera Abaya s nadmořskou výškou 1 268 m n. m., nejvyšším bodem je bezejmenný vrch nad pramenem řeky Kurpayo u vesnice Chencha s nadmořskou výškou 2 544 m n. m. Nachází se zde tři významné vodní toky, řeka Baso, Kurpayo a Hare. Všechny tři ústí do bezodtokého jezera Abaya Lake.



Obr. 1: Oblast zájmu s hranicí řešené oblasti zvýrazněnou červenou barvou

Nejbližší město Arba Minch leží 13 km jižně od projektové oblasti. V roce 2015 mělo 96 000 obyvatel. Jedná se o město sídelního charakteru, v okolí se nachází menší osady a usedlosti, vše je obklopeno zemědělskou půdou. Na blízkých plantážích, které leží v nejníže položených polohách řešené oblasti se pěstují především banány, dále mango, avokádo, papája, kukuřice, čirok a maniok. Plantáže se rozkládají v blízkosti vesnic Chano Mile a Chano Doriga (*Obr. 2*).

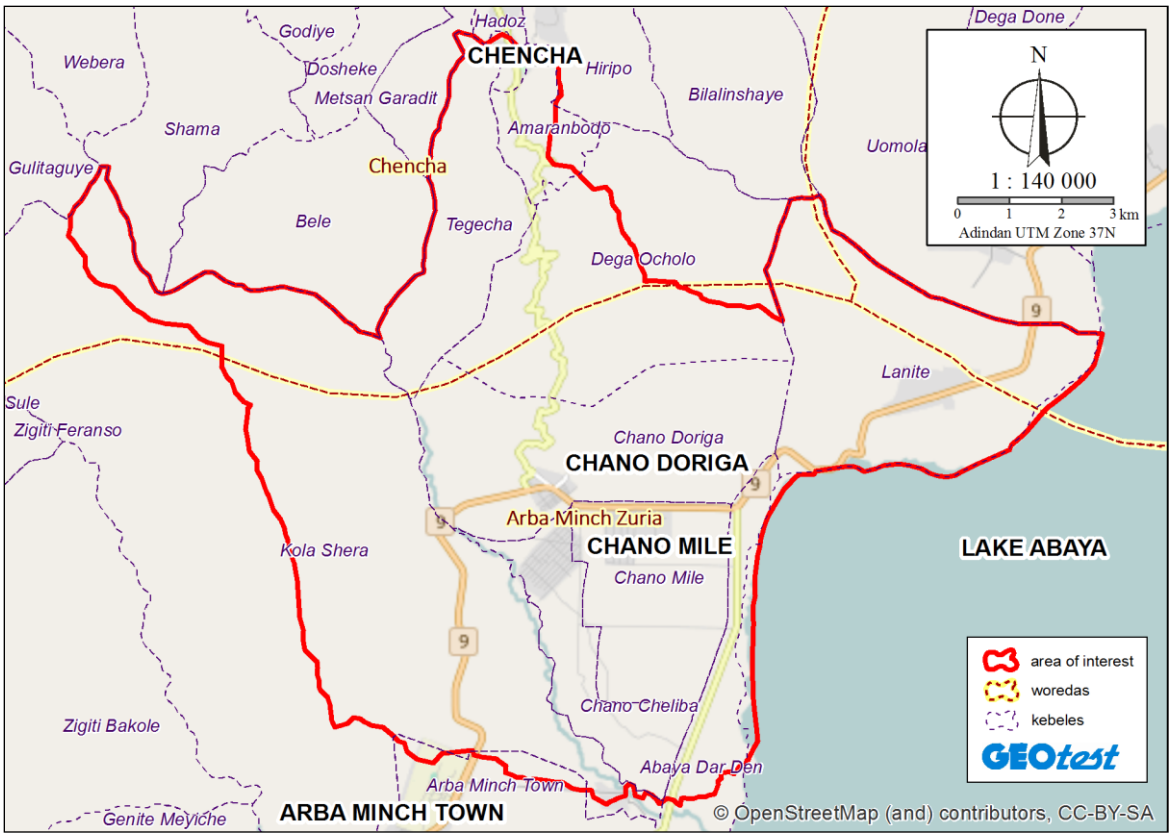


Obr. 2: Studovaná oblast (hranice červeně) na satelitním snímku Landsat 8 TM (2015)

Oblast zájmu zasahuje administrativně do tří wored: Chencha, Mirab Abaya a Arba Minch Zuria Woreda (*Obr. 3*). Spadá do vyššího územně správního celku s názvem Gamo Gofa Zone. Přibližná hustota obyvatel zóny je 144 ob. /km2, přičemž přibližně 10 % obyvatel tvoří obyvatelé měst. V jedné domácnosti žije průměrně 4,7 osob (Debebe, 2013). Populace roste rychlostí 2,5 % za rok (The World Bank, 2016). Dochází ke stále většímu tlaku a větším nárokům na ornou půdu, což má za následky zrychlené odlesňování a znehodnocování půdy v regionu. Mizí především lesy, křovinné porosty a mokřady na úkor extenzivně obdělávané zemědělské půdy a pastvin.

Pouze ve woredě Arba Minch Zuria Woreda bylo v roce 2007 ve vesnicích 164 529 obyvatel a 74 879 obyvatel ve městě Arba Minch (Central Statistical Agency, 2013). V samotném regionu Arba Minch tak žije ve městech nadprůměrných 31,2 % populace.

Vegetace v projektové oblasti je velice pestrá, především díky rozdílu téměř 1 300 metrů mezi nejníže nejvýše položeným místem. Nalezneme zde na malé ploše příbřežní mokřady, plantáže s tropickým ovocem i vysokohorské lesy tvořené cedry a jalovci.



Obr. 3: Topografická a administrativní mapa oblasti

2. Klima

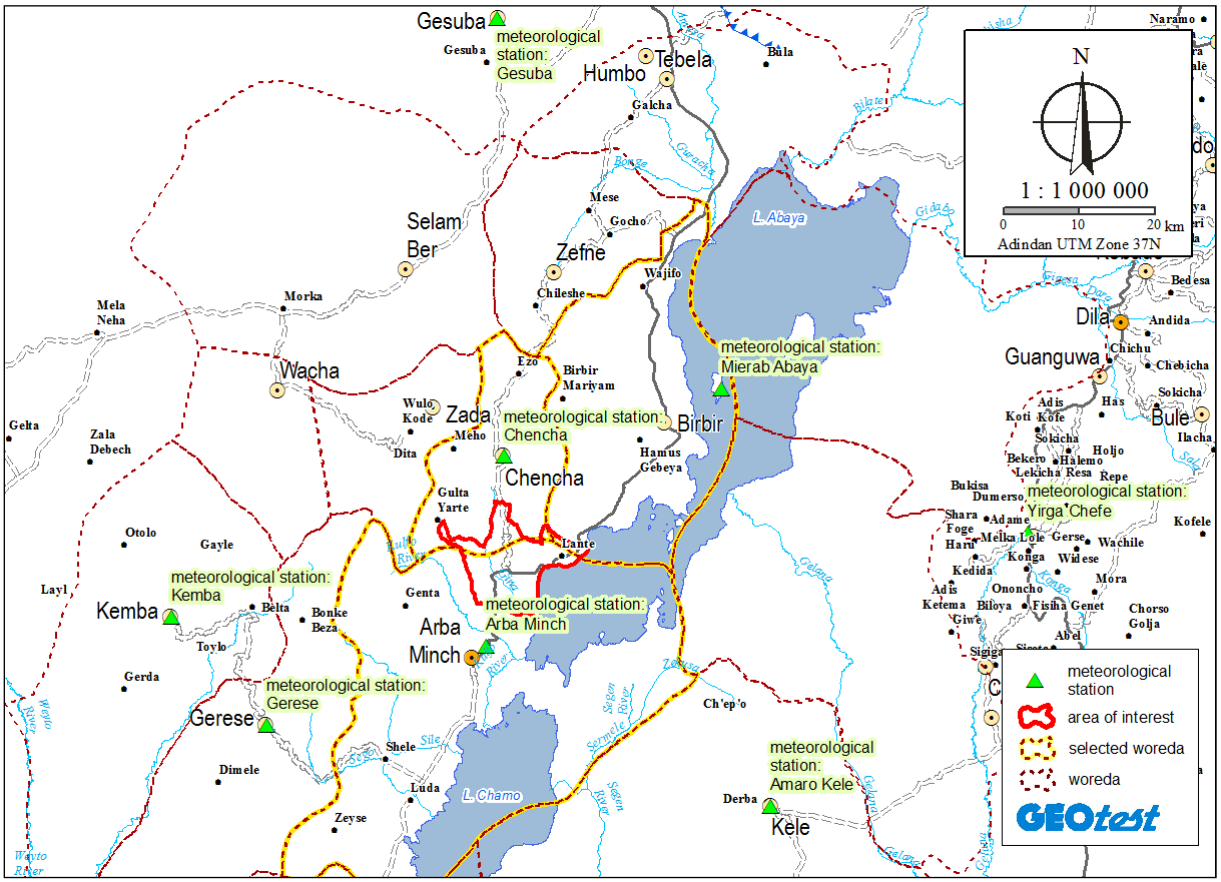
Klima v Etiopii je ovlivněno Mezitropickým sbíhavým pásmem (ITCZ – Intertropical Convergence Zone), které se během roku pohybuje blíže či dále k rovníku, čímž přináší vyšší srážky v místě výskytu. Zóna se pohybuje severním směrem v první polovině roku (typicky se v červnu vyskytuje nejseverněji), a jižním směrem v druhé polovině (typicky nejjižněji v lednu), viz *Obr. 4*. V případě Etiopie (celé východní části rovníkové Afriky) tak lze očekávat dvě období s vyššími srážkami (jaro a podzim, kdy ITCZ územím prochází) a dvě sušší období, z nichž silnější bude během zimy, kdy se ICTZ na východě Afriky nachází mnohem dál jižněji.

Obr. 4: Výskyt Mezitropického sbíhavého pásma během roku. Zdroj: PennState, 2011

3. Teplota

Teplota v oblasti se celoročně pohybuje zhruba mezi 15° - 30 °C (průměrná denní mezi 20° a 23°C), ve vyšších nadmořských výškách (severně od zkoumané oblasti) mezi 10° a 25°C, průměrná denní teplota mezi 12° a 17 °C. Nejteplejšími měsíci jsou únor a březen (přibližně 23 °C v nižších výškách a 15° - 17 °C ve vyšších), naopak nejchladněji je zde během července a srpna, kdy se teplota pohybuje průměrně okolo 20° C, resp. 12° - 14 °C. Rozdíl aktuální teploty vzduchu mezi nejsevernějším místem našeho zájmového území a jeho nejjižnějším místem, který odpovídá rozdílu průměrných teplot v Dorze1 a Arba Minch dle tabulky (*Tab. 1*) činí obvykle 5° - 7 °C.

Dle Köppenovy klasifikace klimatu (Rubel a Kottek, 2010) spadá zkomané území do oblasti označené kódem Aw – savanové podnebí. Následuje mapa se zanesenými klimatickými a meteorologickými stanicemi (*Obr. 5*).



Obr. 5: Meteorologické stanice v blízkém okolí

Tab. 1: Průměrná maximální teplota vzduchu na dvou blízkých meteorologických stanicích

Rok	Arba Minch	Mirab Abaya
1987	30,9	31,4
1988	29,8	30,7
1989	29,5	31,1
1990	30,2	29,9
1991	30,5	31,1

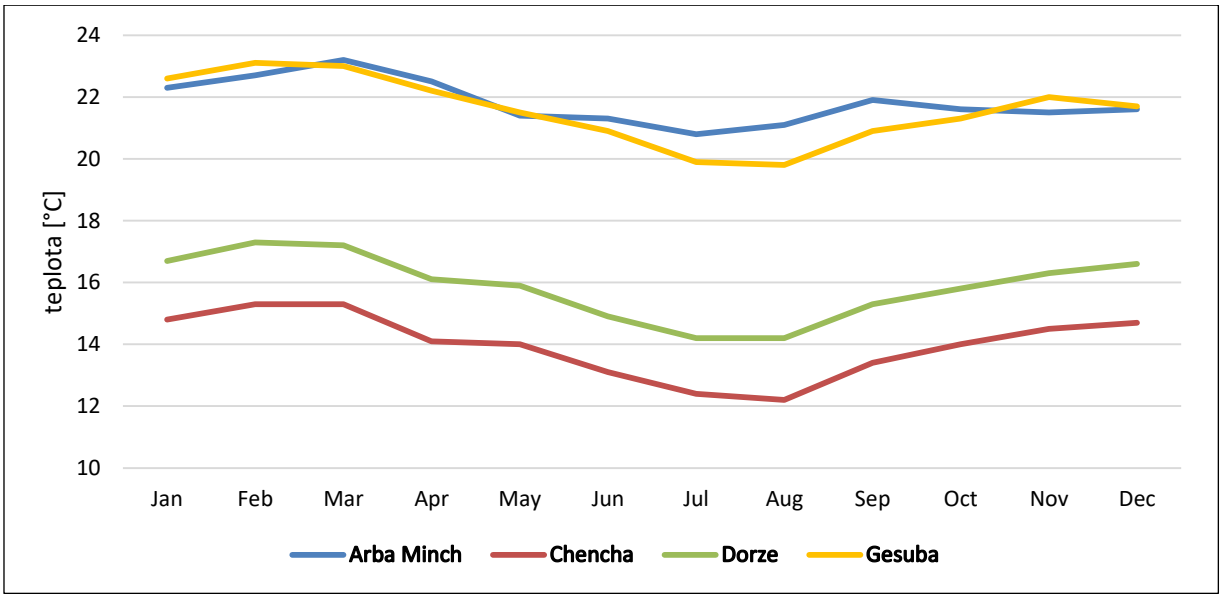
[1] Dorze je kmenová vesnice nacházející se v blízkosti města Chencha směrem k Arba Minch.

1992	30,4	31,5
1993	29,8	31,5
1994	30,7	31,1
1995	30,4	30,6
1996	30,1	30,3
1997	30,6	30,0
1998	30,4	29,5
1999	30,9	30,5
2000	30,6	30,5
2001	30,0	30,3
2002	31,1	31,0
2003	30,5	30,9
2004	30,7	30,5
2005	30,3	30,6
2006	30,2	30,6
2007	30,0	30,3
2008	31,0	31,0
2009	31,7	31,6
2010	30,0	30,0
2011	30,8	30,9

Zdroj: Debebe, 2013

Tab. 2: Průměrná měsíční teplota [°C] v blízkých lokalitách. Zdroj: climate-data.org

Station	**I**	**II**	**III**	**IV**	**V**	**VI**	**VII**	**VIII**	**IX**	**X**	**XI**	**XII**
Arba Minch	22,3	22,7	23,2	22,5	21,4	21,3	20,8	21,1	21,9	21,6	21,5	21,6
Chencha	14,8	15,3	15,3	14,1	14,0	13,1	12,4	12,2	13,4	14,0	14,5	14,7
Dorze	16,7	17,3	17,2	16,1	15,9	14,9	14,2	14,2	15,3	15,8	16,3	16,6
Gesuba	22,6	23,1	23,0	22,2	21,5	20,9	19,9	19,8	20,9	21,3	22,0	21,7



Obr. 6: Průměrná měsíční teplota ve čtyřech blízkých lokalitách. Zdroj: climate-data.org

4. Srážky

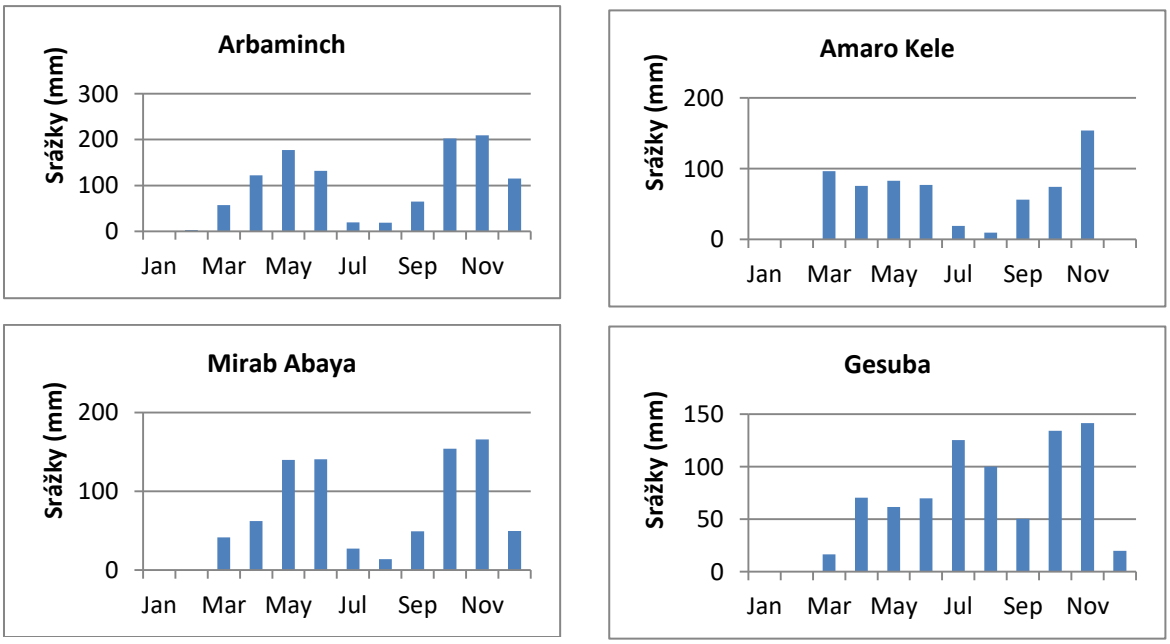
Studovaná oblast je situována v klimatické zóně Kolla, která je charakteristická nadmořskými výškami mezi 500 - 1500 m n. m., průměrnými ročními teplotami mezi 20° - 30° C a srážkami 900 - 1400 mm. Nejbližší klimatické stanice jsou Arba Minch (5 km J), Amaro Kele (50 km JV) a Mirab Abaya (40 km SV).

Tab. 3: Roční úhrn srážek v mm na vybraných klimatických stanicích

Stanice:	srážky [mm] rok 2010	srážky [mm] rok 2015
Arba Minch	1068,7	1121,3
Amaro Kele	1115,5	646,1
Mirab Abaya	1105,5	845

Tab. 4: Průměrný měsíční úhrn stážek v mm na klimatických stanicích, rok 2015

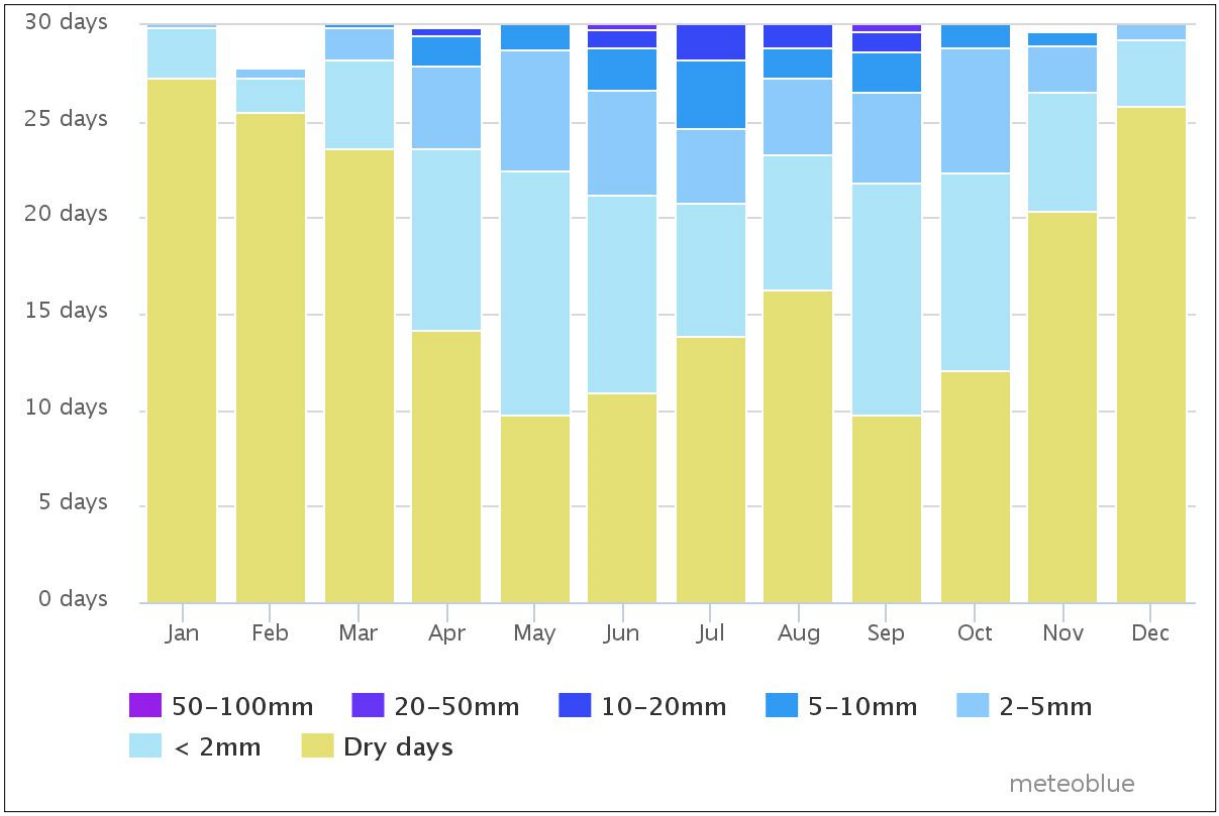
Stanice / měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Arba Minch	0,0	2,7	57,1	122,4	177,5	131,7	19,4	18,8	64,6	202,4	209,4	115,3
Amaro Kele	0,0	0,0	96,5	75,8	83,0	76,9	19,2	9,7	56,3	74,5	154,2	0,0
Mirab Abaya	0,0	0,0	41,7	62,5	140,1	140,8	27,2	13,9	49,2	154,0	166,1	49,5
Gesuba	0,0	0,0	16,4	70,5	61,8	69,8	125,4	100,0	50,4	134,2	141,6	19,8



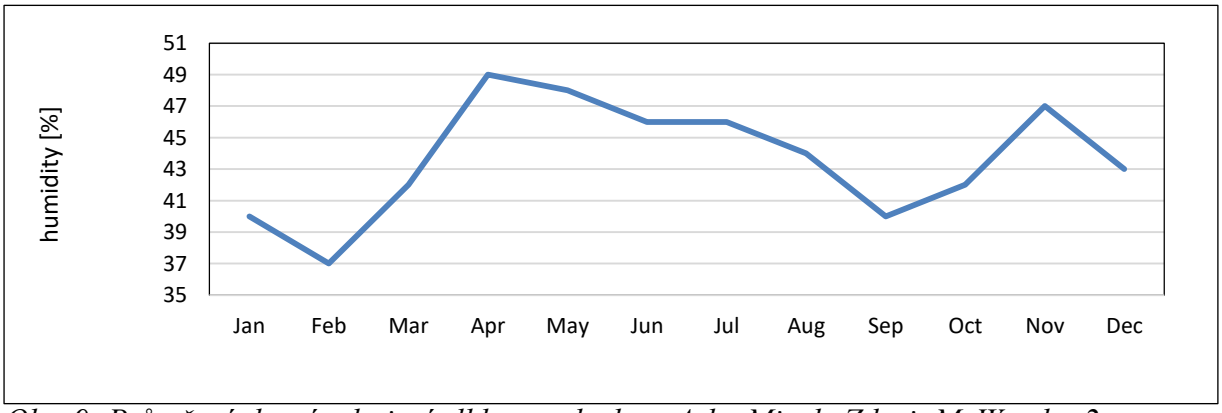
Obr. 7: Grafy srážek na čtyřech nejbližších stanicích

Tab. 5: Průměrný počet srážkový dní v Arba Minch

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Suché dny	27,3	25,5	23,6	14,2	9,8	10,9	13,8	16,3	9,8	12,1	20,4	25,8
Srážkové dny	3,7	2,75	7,4	15,8	21,2	19,1	17,2	14,7	20,2	18,9	9,6	5,2



Obr. 8: Suché a deštivé dny v Arba Minch. Zdroj: Climate Arba Minch Airport, 2016



Obr. 9: Průměrná denní relativní vlhkost vzduchu v Arba Minch. Zdroj: MyWeather2.com

Z tabulek (*Tab. 3, 4, 5*) je viditelné, že srážkově nejvýraznější období jsou jaro a podzim, s jistými srážkami i během letních měsíců. Nejméně srážek pozorujeme během zimy, v roce 2015 dokonce téměř dva měsíce (leden – únor) v uvedeném regionu nebyl zaznamenán ani milimetr srážek.

Z výše uvedených důvodů je podstatné zaměřit pozornost především na situaci v měsících duben a květen, případně ještě září a říjen, kdy je v krajině vody nejvíce. Toho je třeba správně využít pro efektivní zemědělství a udržení vody v krajině do sušších období. Z hlediska vysokých teplot a sucha se zdá nejkritičtějším měsíc únor. V tomto měsíci je v lokalitě také jasně nejnižší relativní vlhkost vzduchu (37 %).

5. Geomorfologické podmínky zájmového území

Zájmové území se nachází v riftovém údolí, které je součástí východní a západní Etiopské náhorní plošiny, jež je rozčleněna říčními údolími.

Geomorfologické podmínky jsou ve studované oblasti vysoce variabilní a jsou zpravidla důsledkem opakovaných vulkanických a tektonických událostí souvisejících s erozí vulkanických hornin a následné redepozice. Hlavním znakem riftového údolí je skutečnost, že horninové bloky byly v rámci geologické struktury vertikálně přemístěny dolů do údolí. Přičemž tektonická aktivita a litologická diverzifikace zájmového území mají primární vliv na odvodňování území. Většina koryt vodních toků sleduje mladé lineamenty a odvodňují tak zájmovou oblast ke spodní části riftu.

Zájmové území patřící k riftovému údolí má plochu kolem 7 865 km^2. Sedimentární formace je soustředěna podél řek (vlivem vodní eroze) a dominantních vulkanických struktur. Oblast v blízkosti jezera Abaya je téměř plochá, v údolí se nachází několik kopců na západě a vulkanických těles. Kopce jsou zpravidla kuželovitého tvaru, případně ve tvaru semikónických hřebenů, jež jsou důkazem dávné vulkanické činnosti. (Agezew T. & Regassa T. 2014)

6. Geologická charakteristika zájmového území

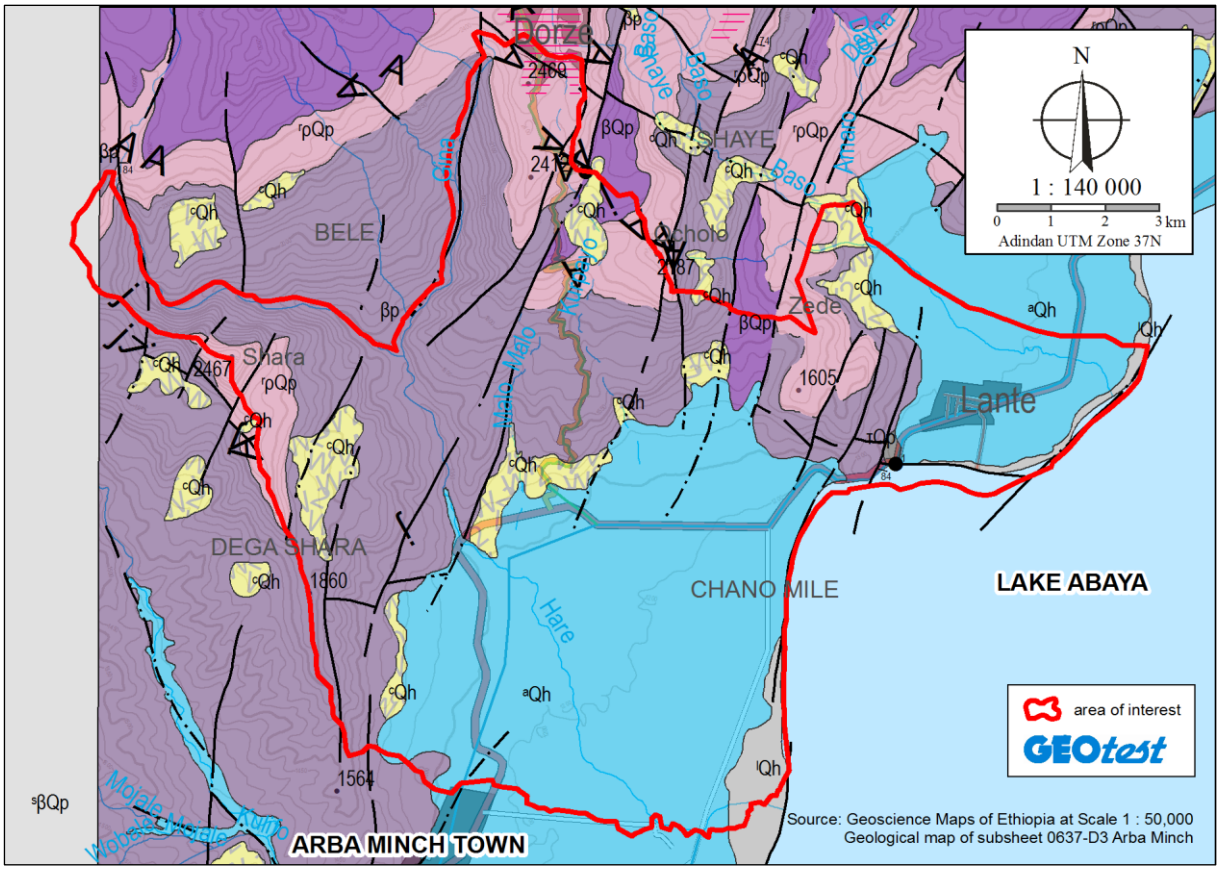
Zájmové území (viz *Obr. 10*) leží v jižní části Hlavního Etiopského riftu. Dominantní částí je riftové patro, zejména v okolí jezer Abaya a Chamo, jež je pokryto vulkano-sedimentárními materiály pleistocénu až holocénu.

Převažujícími horninami jsou horniny vulkano-sedimentárního komplexu reprezentované polygenetickými výplněmi, sedimenty (jezerními, říčními i eluviálními) a vulkano-sedimentárními horninami – vše holocenního a pleistocenního stáří.

Třetihorní a pleistocenní horniny jsou reprezenntovány alkalickými bazalty, trychyty a peralkalickýmu ryolitickými ignimrity (TV4), které se nacházejí v západné části zájmového území.

Ve svrchních částech hor na západě území směrem do nižších kopců na východě je přítomen přechodně slabě alkalický až subalkalický čedič a ryolit (Try). Tyto jsou v místech zlomů a poruch zpravidla silně zvětralé. V případě odkrytí mají tyto čediče tendenci vytvářet útesy, případně jsou překryty ryolity.

Kvartérní uloženiny jsou tvořeny aluviálními naplaveninami (QA) a polygenetickou výpní (Q1). Aluviální naplaveniny jsou tvořeny štěrky, písky a silty a nachází ze zejména v místech ústí řek do jezera Abaya. Velká údolní niva se nachází na severu Arba Minch. Polygenetické výplně jsou tvořeny resedimenty (pemzy a tufy), pyroklastiky, jezerními sedimenty, jíly, diatomity a jsou rozšířeny v rámci celého riftového patra. (Agezew T. & Regassa T. 2014)



HOLOCENE

NON-VOLCANIC DEPOSITS

1 Aluvial sediments
2 Lacustrine sediments
3 Colluvial sediments

MIDDLE PLEISTOCENE–HOLOCENE

NON-VOLCANIC DEPOSITS

4 Aluvial sediments

VOLCANIC DEPOSITS

5 Basalt and basaltic scoria
6 Residual soils - laterites
7 Upper basalt: massive basalt lava
8 Rhyolite lava and rhyolite breccia
9 Welded to unwelded rhyolitic ignibrite locally fall and flow pyroclastic deposits
10 Trachyte
11 Lower basalt: amygdaloidal basalt lava, pyroclastic deposits
12 Lithological boundary observed
13 Lithological boundary inferred
14 Normal fault observed
15 Normal fault observed with dip and slickensides
16 Normal fault inferred
17 Normal fault obscured
18 Landslide
19 Main landslide scarp
20 Crater
21 Significant unconformity (only in lithostratigraphic scheme)
22 Wendo Koshe pumice fall: isograde of thickness in meters
23 Geological locality
24 Bedding
25 Flow-foliation
26 Fumarole
27 Quarry
28 Sand pit (abandoned)
29 Cross section line

Obr. 10: Výřez geologické mapy s legendou, červeně jsou vyznačeny hranice zájmového území

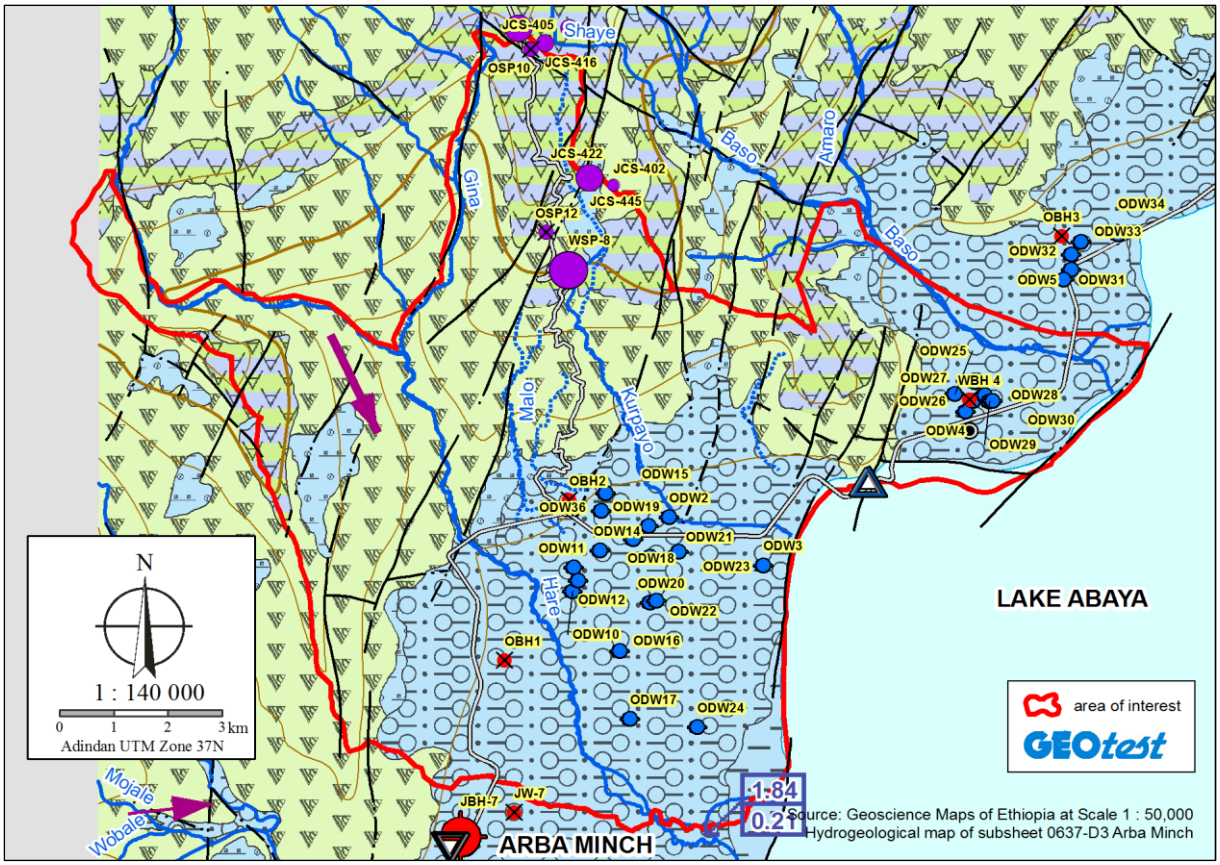
7. Hydrogeologická charakteristika zájmového území

Hydrogeologický profil zájmového území (*Obr. 11*) je charakterizován dvěma typy zvodní.

Ve svrchních částech se nachází průlinový kolektor, vázaný na produkty zvětrávání, jezerní a říční sedimenty. Podzemní voda je akumulována v porézních, nekonsolidovaných či částečně konsolidovaných strukturách. Průlinový kolektor je reprezentován zejména jezerními sedimenty, částečně aluviálními, koluviálními a eluviálními sedimenty, vyvinutých v jezerních depresích a/nebo podél údolí bývalých či současných jezer.

Ve spodních částech se nachází puklinový kolektor – tento je přítomen zejména v centrální části směrem na severozápad a zahrnuje všechny vyšší kopce, které jsou součástí zájmového území. Podzemní voda je akumulována v puklinách zvětralých sopečných hornin. Propustnost může být vysoká, ale většinou je závislá na kombinaci primárních a sekundárních struktur. Pyroklastické horniny mezi lávovými proudy jsou obvykle méně propustné. Terciérní a kvartérní sopečné útvary (čedič, ryolit, ignimbrit) tvoří zpravidla kolektor s dobrou puklinovou propustností, avšak nízkým potenciálem. Hloubka puklin ve zvětralých horninách je zpravidla 50 až 70 m, hlouběji jsou trhliny spíše uzavřeny. Podle dostupných údajů (Šíma 2014) má puklinový kolektor vydatnost cca 0,5 až 5 l/s.

Ve vyšších polohách (náhorní oblasti) v severní a západní části zájmového území se nachází směs průlinových a puklinových kolektorů.



GROUNDWATER AND ROCKS

1 Extensive and moderately productive or locally developed and highly productive porous aquifers (T = 1.1–10 m²/d, q = 0.011–0.1 l/s.m, with spring and well yield Q = 0.51–5 l/s). The aquifers consist of Quaternary lacustrine and fluvial sediments.

2 Extensive and moderately productive fissured aquifer (T = 1.1–10 m²/d, q = 0.011–0.1 l/s.m, with spring and well yield Q = 0.51–5 l/s). The aquifers consist of ignimbrite – Hawasa rhyolite ignimbrite and Hawasa basalt, tuff and scoria cones.

3 Extensive and moderately or locally developed and highly productive mixed porous and fissured aquifers (T = 1.1–10 m²/d, q = 0.011–0.1 l/s.m, with spring and well yield Q = 0.51–5 l/s). The aquifers consist of sequences of sedimentary, coherent volcanic rocks, pyroclastic rocks of post-caldera Central volcanic complexes, and pumiceous pyroclastics related to Corbetti ignimbrites.

4 Shallow groundwater flow direction

5 Deep groundwater flow direction

SURFACE WATER AND HYDROGRAPHY

6 Climatic station

7 Lake staff gauge

8 Sub-basin surface water divide 2nd order

9 Watercourse

10 Indefinite stream

11 Flow gauging station (50 / 10 — mean runoff in m³/s / basin area in km²)

MANMADE HYDROGEOLOGICAL FEATURES

12 Borehole with yield greater than 5 l/s

13 Borehole not tested / yield not known

14 Dug well

LITHOLOGY

20 Colluvial sediment

21 Alluvial sediment

22 Lacustrine sediment

23 Basaltic volcanic rock

24 Ignimbrite

25 Rhyolite

26 Trachyte, trachy-basalt

GEOLOGICAL INFORMATION

27 Normal fault evident

28 Normal fault obscured

29 Normal fault supposed

30 Supposed boundary

31 Verified boundary

SPRINGS

15 Spring with yield 0.005 - 0.05 l/s

16 Spring with yield 0.05 - 0.5 l/s

17 Spring with yield 0.5 - 5 l/s

18 Spring with yield >5 l/s

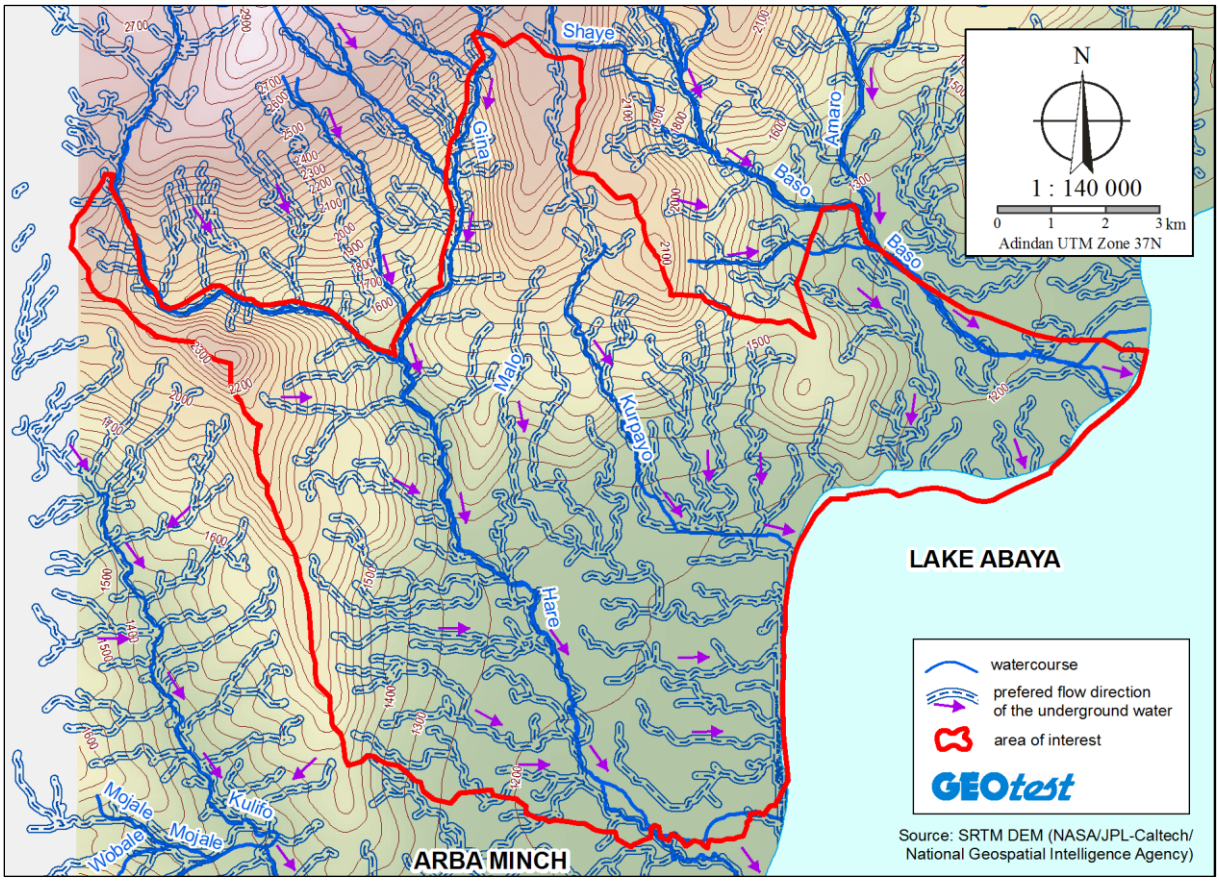
19 Yield not known

Obr. 11: Výřez hydrogeologické mapy s legendou, červeně jsou vyznačeny hranice zájmového území

7.1 Morfohydrogeometrická analýza

Morfohydrogeometrická analýza (*Obr. 12*) identifikuje nehomogenity horninového prostředí s přednostním pohybem podzemní vody v širším okolí zájmového území. Bývá využívána k zjištění privilegovaných cest proudění podzemní vody, tedy míst s nejvyšší rychlostí proudění podzemní vody a zároveň jejím největším přesouvaným objemem. Výška hladiny podzemní vody v místech privilegovaných cest koresponduje s výškou hladiny podzemní vody ve svém okolí. V těchto místech má voda pouze litologicky nebo tektonicky podmíněnou možnost pohybovat se rychleji a tedy ve větším objemu. Tato místa tvoří nejvýznamnější složku podzemního odtoku vody z povodí. Nacházejí se ve vzájemně provázaných depresích, ze kterých přednostně odvádí vodu ze svého okolí. Jedná se především o místa poklesů, zářezů, úpadů, prohlubní či údolí. Prvním viditelným projevem geofiltračních proudů na povrchu jsou prameny, dále pak koryta vodních toků v jejich přirozené poloze či jejich reliktní překryté polohy.

Tato metoda umožní určit velmi přesně směry odtoku srážkových vod a přibližně stanovit předpokládané privilegované směry proudění podzemních vod. Metoda posloužila ke stanovení linií s přednostním pohybem podzemní vody, tedy míst s největším přesouvaným objemem a nejvyšší rychlostí pohybu podzemní vody. Hlavní směr proudění podzemní vody odpovídá směru jihovýchodnímu. Tektonické poruchy odvádí místy podzemní vodu také ve směru východním. Podzemní voda je vždy drénována do jezera Abaya lake. Zmapované řečiště podzemní vody a především místa na horních částech dílčích větví jsou velice vhodná k situování zasakovacích objektů. Vrstva dále poslouží jako jedna z klíčových vstupních pro aktivitu 1.3. a pro situování návrhů opatření na zadržení vody v krajině v rámci aktivity 1.4.

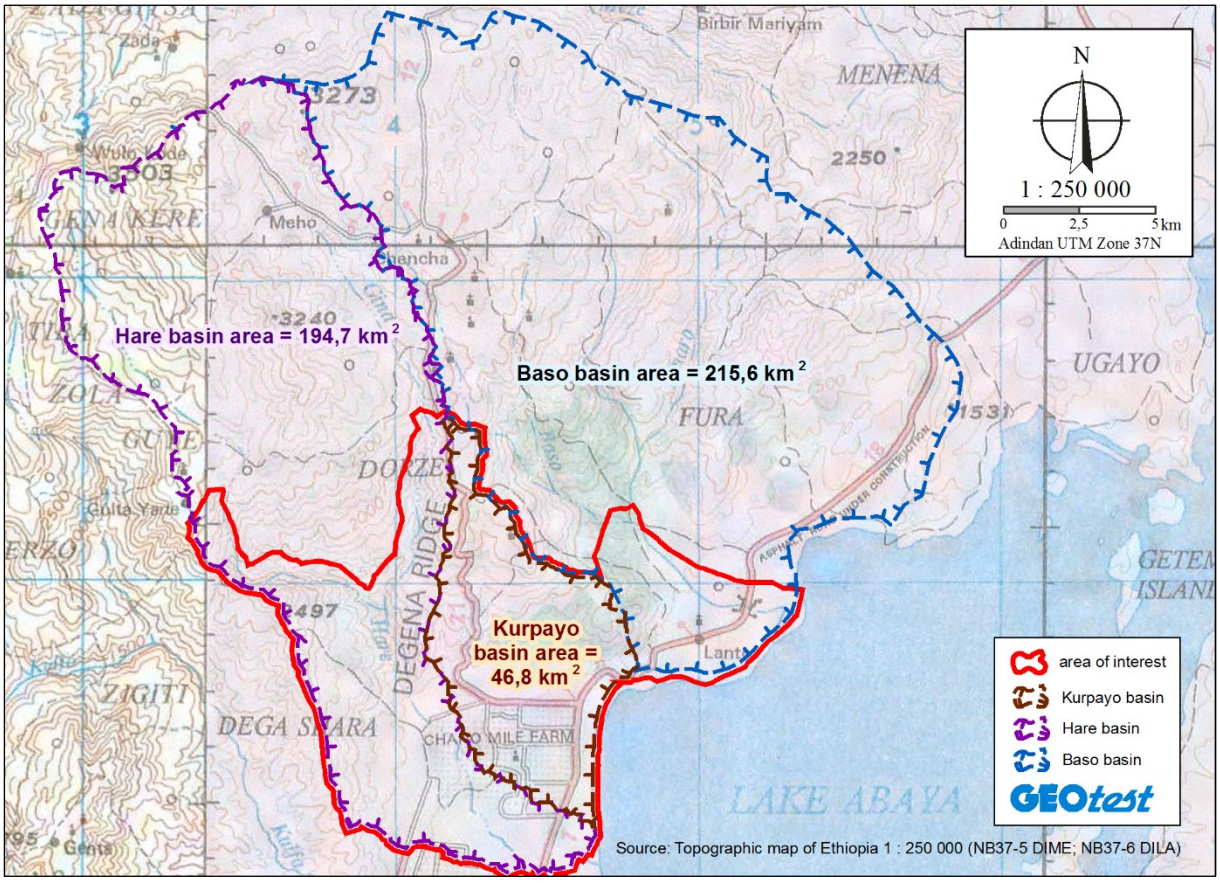


Obr. 12: Morfohydrogeometrická analýza – stanovení privilegovaných cest směrů proudění podzemní vody

7.2 Charakteristika povodí řek Kurpayo, Hare a Baso

Zájmové území se nachází v jihozápadní části širšího povodí Abaya, kam ústí předmětné řeky. Plocha povodí řeky Hare je 94,7 km^2, řeky Kurpayo 46,8 km^2 a řeky Baso 215,6 km^2. Síť těchto třech řek proudí v horách na severozápadě území., odsud odtékají jihovýchodním směrem přes nižší kopce až do jezera Abaya, které je jejich erozní bází. Jezero Abaya je rezervoárem vody po celý rok. Množství vody v řekách je závislé na ročním období. V případě řek Hare a Baso se jedná o celoroční, trvalé proudy. Řekou Hare má průměrný roční průtok 1,84 m^3/s (na základě dat z měřicí stanice). Na řece Baso se nenachází měřící stanice, avšak očekáváme obdobné průtočné množství. Obě řeky mají obdobné povodí a morfologické podmínky.

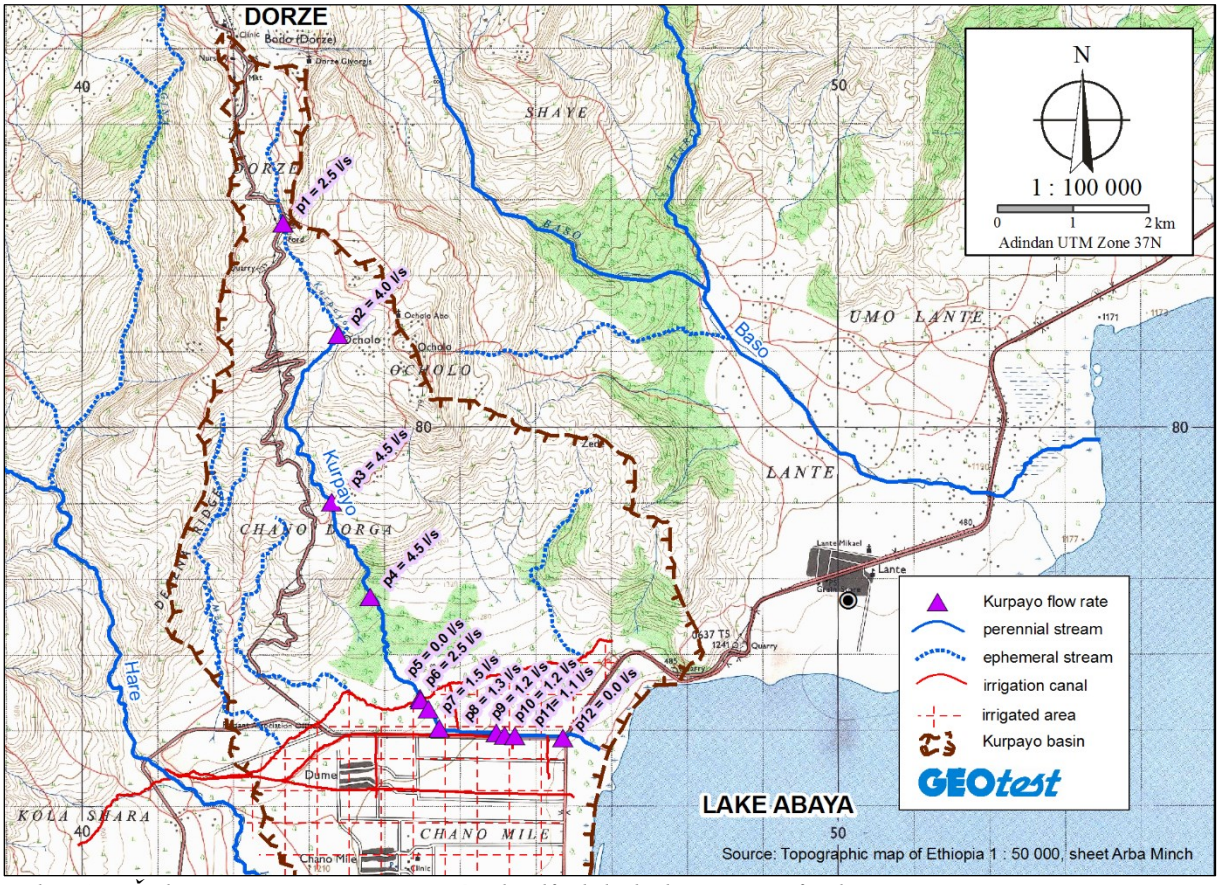
Naproti tomu, řeka Kurpayo není stálým tokem a voda v teče pouze během období dešťů, po delších, vydatných deštích. V říjnu 2016 (období dešťů) zde nebyla zjištěna voda, poté co se rozlévala do zploštělé kulturní krajiny ve spodní části povodí. Koryto řeky Kurpayo bylo suché v sedimentech na úpatích svahu z důvodu pedologických a geologických změn (viz *Obr. 13*). Koryto pokračuje přes rozsáhlé plochy využívané zemědělské půdy, až nakonec dosáhne k prostoru plantáží.



Obr. 13: Povodí řek Hare, Baso a Kurpayo

Plantáže jsou protkány sítí kanálů a jsou bezodtoké. Voda ze všech tří řek je používána k zavlažování. Nedostatek vody v řece Kurpayo po většinu roku je nahrazen vybudovaným umělým kanálem, který je napájen z řeky Hare (*Obr. 15*). Tato voda je využívána k závlahovým účelům a je součástí široké sítě vykopaných kanálů pro zavlažování polí. Odhadnuté množství vody v umělém kanálu zobrazené červenou barvou na obrázku níže (*Obr. 13*) byl na průsečíku kanálu a řeky Kurpayo v bodě 6 cca 30 l/s.

Studium je zaměřeno především na řeku Kurpayo (*Obr. 14*) a její povodí, jež je zobrazeno v hnědém polygonu v uvedeném obrázku. Celkově má rozlohu 46,8 km^2, což je 4 680 ha. Množství vody na vybraných místech je následující (viz *Obr. 16–27*).



Obr. 14: Řeka Kurpayo s vyznačením bodů, kde byl měřen průtok

Obr. 15: Umělý kanál napájený z řeky Hare s průtokem cca 30 l/s v místě křížení s korytem řeky Kurpayo (bod p6)

Obr. 16: point 1 [2.5 l/s]

Obr. 17: point 2 [4.0 l/s]

Obr. 18: point 3 [4.5 l/s]

Tok řeky Kurpao začíná malým potokem, který pramení v blízkosti vesnice Dorze. jedná se o strmý potok obklopený hlubokými roklemi. Množství proudící vody narůstá zpočátku velmi rychle, což má za následek rychlý transport sediment (obzvláště po vydatných deštích).

Obr. 19: point 4 [4.5 l/s]

Obr. 20: point 5 [0.0 l/s]

Obr. 21: point 6 [2.5 l/s]

Jakmile se na úpatích kopců svahy zplošťují (*Obr. 20*), rychlost tekoucí vody zpomaluje a ztrácí svou schopnost transportovat větší balvany (viz rozdíl mezi *Obr. 19 a 20*), kde jsou patrné významné změny geologických a geomorfologických podmínek. Voda zde proniká do hlubokých koluviálních sedimentů, které po několika stech metrech tvoří kopce. *Obrázek 21*

znázorňuje antropogenní zásah – ze zavlažovacího kanálu přetéká cca 2,5 l/s do suchého koryta řeky Kurpayo.

Obr. 22: point 7 [1.5 l/s]

Obr. 23: point 8 [1.3 l/s]

Obr. 24: point 9 [1.2 l/s]

Koryto je částečně napájeno vodou z řeky Hare, resp. ze zavlažovacího kanálu. Voda zde pomalu proniká do eluviálních hornin (*Obr. 22 a 23*), odkud proudí korytem směrem k nově vybudované asfaltové komunikaci (*Obr. 24*)

Obr. 25: point 10 [1.2 l/s]

Obr. 26: point 11 [1.1 l/s]

Obr. 27: point 12 [0.0 l/s]

Po několika stech metrech infiltruje voda opět do sediment v korytě (*Obr. 26*). Na dalším dokumentačním bodu (*Obr. 27*) je uměle vykopané koryto, které je suché až bahnité – jedná se o nejnižší bod koryta řeky Kurpayo, v blízkosti jezera Abaya.

8. Rešerše studie zaměřené na změny Land Use

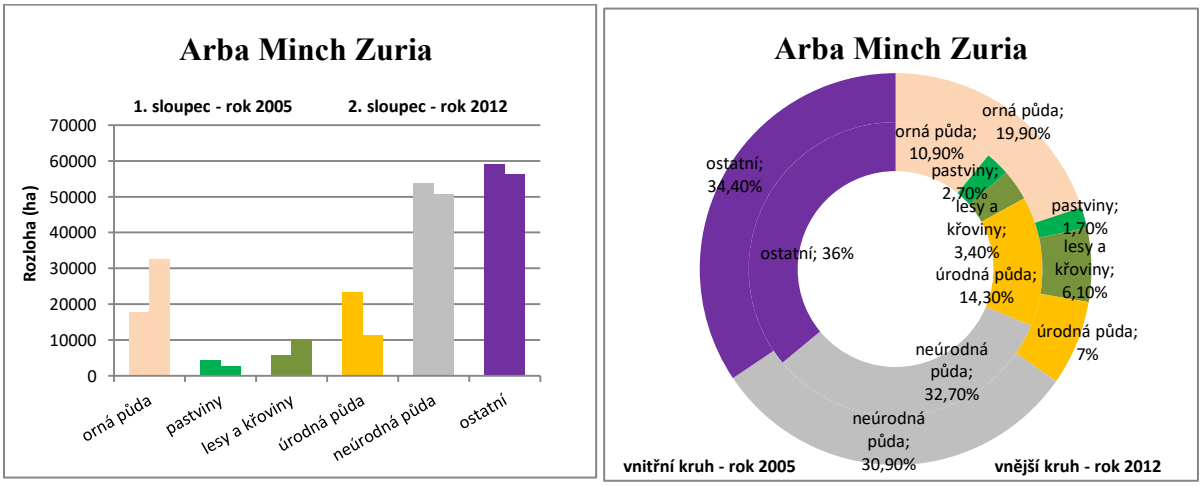
V roce 2013 byl na univerzitě v Arba Minch proveden průzkum mapující změny ve využívání půdy a výzkum hodnotící změny ve využívání krajiny spojené s jevem klimatických změn v regionu jižní Etiopie. Článek byl publikován v International Journal of Scientific Research and Reviews (IJSRR) pod názvem „Land Use Patterns and its Implication for Climate Change: The Case of Gamo Gofa, Southern Ethiopia“.

Průzkum hodnotí změny v sedmiletém intervalu (v letech 2005 a 2012). Výběr okresů Chencha, Arba Minch Zuria a Mirab Abaya spadajících do naší projektové oblasti zde:

Tab. 6: Půdní pokryv v jednotlivých okresech v oblasti Gamo Gofa (v hektarech)

plocha / rok / region	orná půda		pastviny		lesy & křoviny		úrodná půda		neúrodná půda		ostatní	
	2005	2012	2005	2012	2005	2012	2005	2012	2005	2012	2005	2012
Chencha	20 648	21 818	3 158	2 578	3 585	4 166	2 203	2 404	6 609	6 052	1 157	324
Arba Minch Zuria	17 824	32 567	4 433	2 713	5 603	10 058	23 319	11 421	53 668	50 668	58 983	56 403
Mirab Abaya	49 672	51 437	25 955	30 142	5 718	4 247	13 908	9 944	3 375	2 452	22 522	22 928

Zdroj: Debebe, 2013



Obr. 28: Grafy s vyjádřením změn v období mezi lety 2005 a 2012, Arba Minch Zuria Woreda

Největší podíl na ploše zkoumané oblasti má woreda Arba Minch Zuria. Půdní pokryv je zde tvořen především neúrodnou půdou a ostatními plochami (městská zástavba). V oblasti mezi lety 2005 a 2012 významně narostl podíl orné půdy na téměř dvojnásobek. Prakticky totožné množství úrodné půdy během stejného období v okrese ubylo. Je zde vidět nárůst půdy potřebné pro zemědělskou činnost, na úkor lesů, křovin a úrodné půdy.

Vzhledem k nevhodně nastaveným pěstebním postupům, odlesňování, vysychání a erozi nastává pokles výnosnosti půdy o 2-40 % (Debebe, 2013). Zemědělci pod tlakem nárůstu populace často využívají ekologicky zranitelné plochy, čímž zhoršují problém eroze a

degradace. V případě dalšího vyčerpávání živin dochází k nevratné degradaci půdy. V momentě, kdy nebude v oblasti dostatek úrodné půdy, pro zisk další půdy bude dále docházet k odlesňování. Všechny tyto faktory mají zásadní environmentální vliv na krajinu a nepřímo i na klimatické poměry v oblasti.

9. Studie erozních rizik – RUSLE MODEL

Půdní eroze je jeden z hlavních problémů způsobených odtokem a dále zhoršovaný faktory jako deforestace, špatný způsob rostlinné produkce či nadměrná pastva, který způsobuje nevratnou degradaci půdy. Eroze půdy může nastávat i přirozeně díky geomorfologickým procesům, ale v posledních desetiletích byla eroze a následná ztráta úrodné půdy způsobována především lidskými aktivitami. V posledních letech sledujeme nárůst eroze ve všech rozvojových zemích včetně Etiopie. Rychlé změny v land use z důvodu půdu vyčerpávajících zemědělských postupů v prostoru celé Etiopské vysočiny ústí v další zintenzivňování erozních procesů (Aster, 2004; Zemenu, 2014).

Kromě současných špatných zemědělských postupů je půdní eroze ovlivňována i dalšími faktory, jako jsou typ půdy, množství dešťových srážek, sklon a strmost terénu a land use. Cílem této studie je odhadnout a zmapovat průměrný úhrn ztráty půdy a vytvořit mapu erozních rizik v oblasti za pomocí GIS nástrojů a družicových snímků povrchu. Účelem tohoto je detekovat nejrizikovější místa a implementovat úpravy určené pro účinné zabránění vodní eroze nebo alespoň jejímu významnému snížení.

Zdroje dat použité v rámci studie:

- Aster DEM (30 m velikost pixelu) - digitální výškový model získaný z USGS
- Půdní mapa získaná z celosvětových dat od SoilGrids
- Klimatická data od etiopského ministerstva zemědělství
- Topografická mapa ze zdrojů ESRI
- Digital Globe satelitní snímek z roku 2016
- LANDSAT satelitní snímky získané z USGS (NASA), roky 1985 - 2015
- Software ArcGis 10.3
- Software Envi 5.3

Informace o erozi půdy jsou nezbytné k naplánování a prioritizaci aktivit v povodí a pochopení procesu eroze a jejich vzájemné interakce s land use / land cover. Vyhodnocení půdních ztrát a zmapování zranitelných míst také pomáhá k pochopení procesu ochrany půdy a mechanismům managementu ekosystému v povodí (Gelagay & Minale, 2015).

Množství půdní eroze je odhadnuto pomocí „Revidované univerzální rovnice ztráty půdy“ (modelu RUSLE - Revised Universal Soil Loss Equation), která je vyjádřena empiricky jako:

$$A\ (t\ ha^{-1}\ rok^{-1}) = R*K*LS*C*P \qquad \textbf{Rov. 1}$$

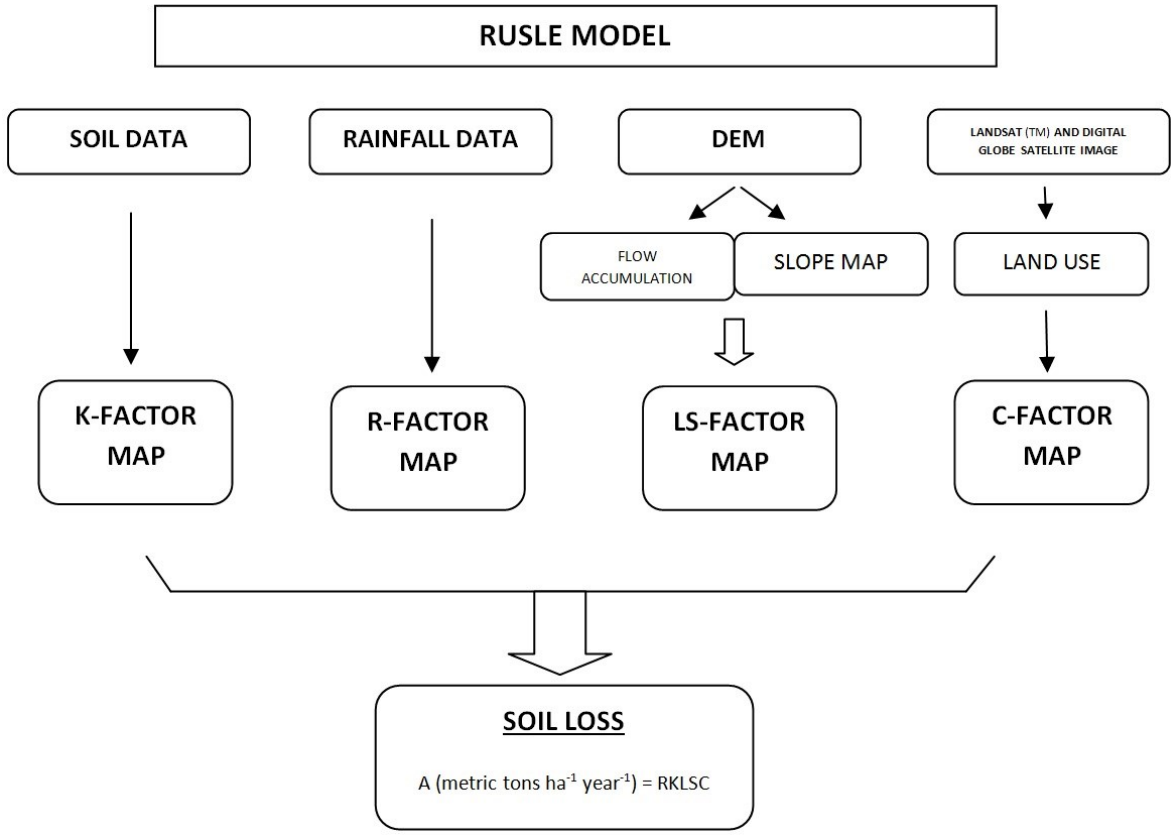
Kde:

- A je průměrná roční ztráta půdy ($t\ ha^{-1}\ rok^{-1}$)
- R je faktor erozní účinnosti deště ($Mj\ mm\ h^{-1}\ rok^{-1}$)
- K je faktor erodovatelnosti půdy ($t\ ha^{-1}\ Mj^{-1}\ mm^{-1}$)
- LS je faktor délky a sklonu svahu (bezrozměrný)
- C je faktor vegetačního krytu a osevního postupu (bezrozměrný, v rozsah 0 - 1)
- P je faktor protierozního opatření

K rozpoznání prostorové struktury potenciální ztráty půdy ve studované oblasti byly zjištěny a vypočítány veškeré erozní faktory (R, K, LS a C) na základě Hurniho (1985) na míru, v rámci etiopského kontextu. V tomto případě nebude do modelu zahrnut P-faktor, neboť momentálně nebyla v oblasti zaznamenána žádná protierozní opatření.

Podle Mesen (2009), výsledek prvních 4 faktorů (R, K, L a S) je základní erozivní potenciál na daném místě, určuje ztrátu půdy, která by nastala při absenci jakéhokoliv vegetačního pokryvu (C) a protierozních opatření (P). Poslední dva jmenované faktory potenciální ztrátu půdy snižují, a kompenzují vlivy land use, managementu a dalších zvláštních postupů.

Pro odhad a zmapování eroze půdy bylo použito všech pět parametrů a jejich hodnoty znásobeny pro každý pixel pomocí *Rov. 1* a nástrojů pro rastrovou algebru v prostředí ArcGIS 10.3. Na obrázku *Obr. 29* je zobrazeno pracovní schéma, použité pro tuto studii.



Obr. 29: Konceptuální pracovní schéma pro RUSLE model v prostředí ArcGIS

9.1 Faktor erozní účinnosti deště (R).

Faktor R kvantifikuje vliv dešťů spojený s množstvím srážek s dopadem na studovanou oblast. Faktor erozivity byl vypočítán pomocí rovnice, kterou použil Hurni (1985) pro podmínky v Etiopii na základě dat průměrných úhrnů srážek (P) (*Tab.7*):

$$R=-8{,}12 + (0{,}562 \times P) \qquad \textbf{Rov. 2}$$

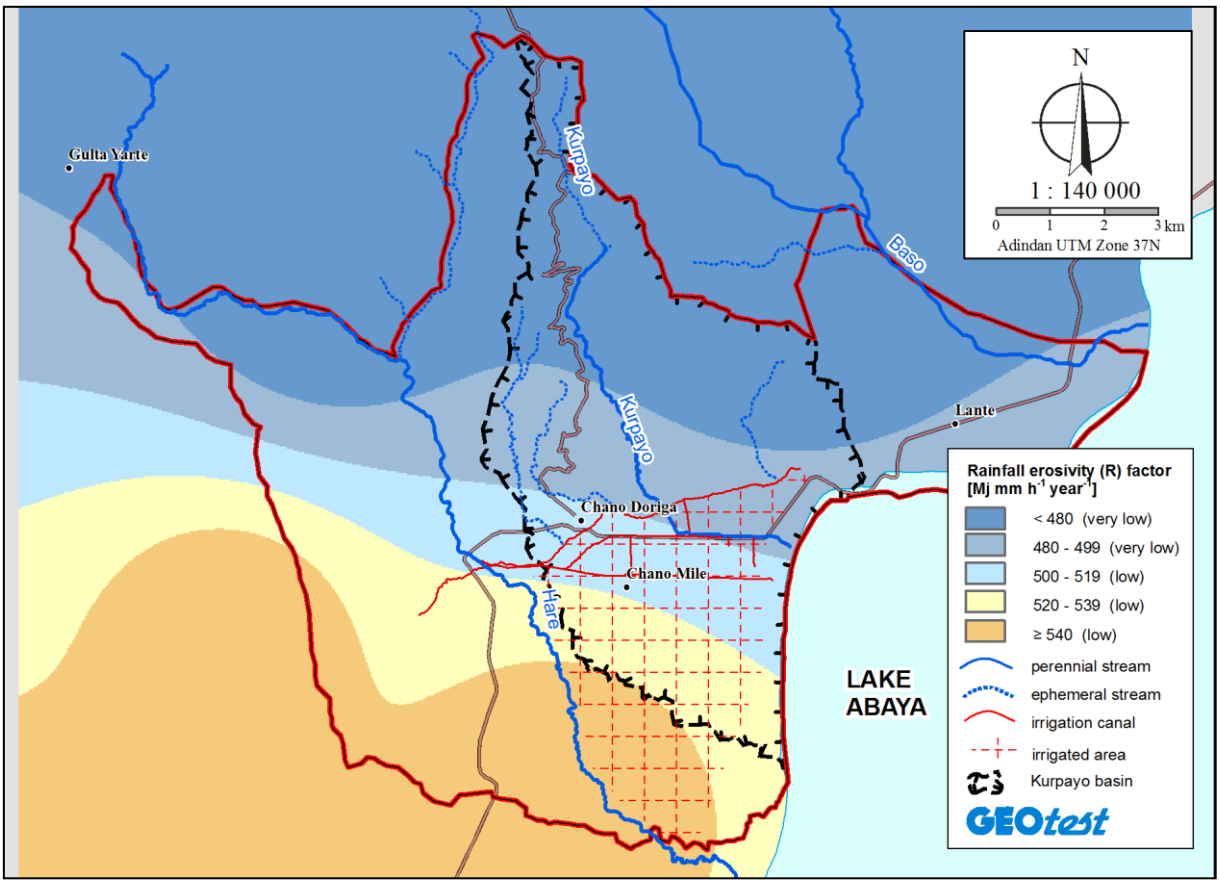
Tab. 7: Roční úhrny srážek (2015) na konkrétních klimatických stanicích

Č. stanice	Název	Lokalita		Průměrné roční srážky (mm)
		Zem. šířka (y)	Zem. délka (x)	
1	Gesuba	6,35	37,38	789,9
2	Amaro Kele	6,09	37,54	646,1
3	Arba Minch	6,05	37,55	1121,3
4	Mirab Abaya	6,28	37,77	845

Nejprve byl vytvořen bodový shapefile obsahující srážková data všech klimatických stanic ve správných zeměpisných souřadnicích. Data byla následně interpolována metodou IDW (Inverse distance weighted), čímž byl vygenerován rastrový soubor se spojitými srážkovými daty pro každou buňku plochy rastru. Po získání rastrového souboru se spojitými srážkovými daty ve všech buňkách byla pomocí *Rov. 2* spočítána R-hodnota pomocí nástroje pro rastrovou reklasifikaci. Výsledný soubor je rastrový soubor udávající R-hodnotu pro každou jeho buňku (*Obr. 30*), jehož hodnoty mohou být klasifikovány pomocí *Tab.8*.

Tab. 8: Klasifikace typických hodnot celkového R

Třída	R (MJ/ha*mm/hr)
Velmi nízký	<500
Nízký	500-1000
Střední	1000-3000
Vysoký	3000-6000
Velmi vysoký	>6000



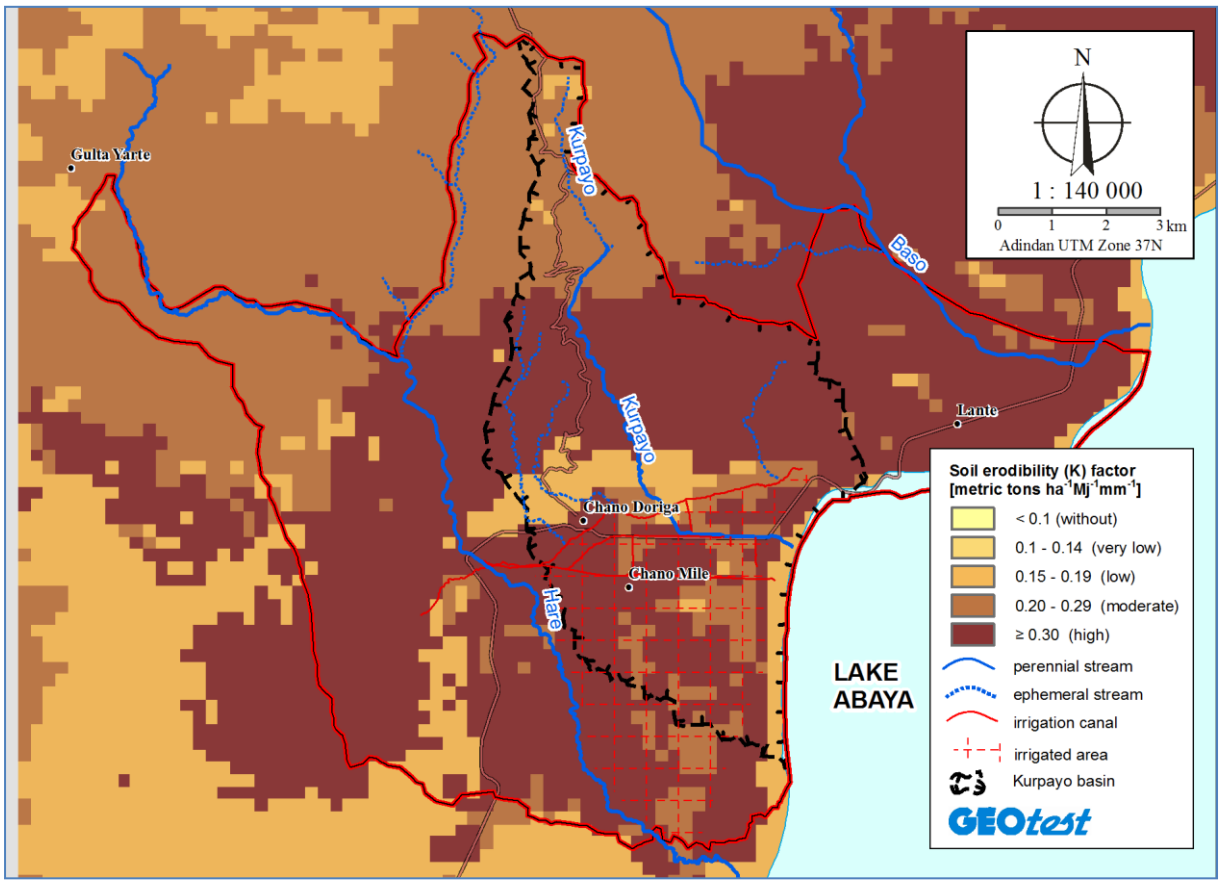
Obr. 30: Faktor erozní účinnosti deště (R) [Mj mm h^{-1} rok^{-1}]

9.2 Faktor erodovatelnosti půdy (K)

K-faktor vyjadřuje odolnost půdních částic vůči dělící a transportní síle deště (Wischmeier & Smith, 1978). Hodnoty K-faktoru jsou empiricky definovány pro jednotlivé typy půdy a reflektují fyzikální a chemické vlastnosti půd, které přispívají k jeho potenciální erodovatelnosti (Animka, 2013), jsou to textura, struktura, soudržnost půdy a povrchová kamenitost. Čím vyšší je hodnota soudržnosti půdy, tím spíše bude půda schopna udržet pórovitou strukturu i přes erozivní sílu srážek a kapacita přenosu a zadržení vody bude stabilní. Hurni (1985) a Helden (1987) doporučují klasifikovat K-hodnotu na základě jejích sledovatelných charakteristik, například barvou. Proto jsou půdní typy v této studii reklasifikovány na základě tříd barevnosti půdy od Hurniho (1985) a Heldena (1987), čímž je vytvořen shapefile obsahující půdní data a vypočítanou K-hodnotu, která byla převedena na rastrový soubor (*Tab. 9*). Výsledný rastrový soubor s vypočítanou K-hodnotou je zobrazen na *Obr.31.*

Tab. 9: Klasifikace K-hodnot na základě barevnosti půdy

Barva půdy	**Název a třída hlavních prezentovaných typů půd**	**Definovaná K-hodnota (t ha^{-1} Mj^{-1} mm^{-1})**
Černá	Andosoly, Vertisoly atd.	0,15
Hnědá	Kambisoly, Regosoly, Luvisoly, Phaeozemě atd.	0,20
Červená	Lixisoly, Nitosoly, Alisoly atd.	0,25
Žlutá	Fluvisoly, Xerosoly atd.	0,3



Obr. 31: Faktor erodovatelnosti půdy (K) [t ha-1 Mj-1 mm-1]

9.3 Faktor délky a sklonu svahu (LS).

Tento faktor kombinuje dva různé parametry: délka svahu (L) a jeho úhel sklonu (S). LS reprezentuje vztah ztráty půdy, která je očekávaná na jednotce plochy s vymezeným svahem, vůči příslušné ztrátě při 9% sklonu a 22.13 m délce. Tento faktor je jedním z nejobtížnějších k výpočtu v momentě, kdy USLE není použito v dostatečně podrobném měřítku. Může se stát, že terén je rovnoměrný jak ve sklonu svahu, tak v délce toku (A.G. Barrios 2000).

L-faktor: λ je délka svahu, M je exponent délky svahu a β je úhel svahu. Délka svahu je definována jako horizontální vzdálenost od místa počátku povrchového odtoku k místu, kde začíná depozice nebo kde se odtok vlévá do definovaného kanálu (Foster et al., 1977). (*Rov. 1*)

LS-faktor je vypočítán z DEM (Digital Elevation Model – digitální výškový model) oblasti za pomocí nástrojů pro hydrologii, sklonitosti a mapové algebry. Pro výpočet L-faktoru je nezbytné nejdříve vypočítat M-faktor. M-faktor je konstanta, která závisí na sklonu svahu (*Rov. 2*), pro jeho výpočet je použita *Rov. 3*, F-faktor, který pracuje se sklonem v úhlových stupních.

$$L = \left(\frac{\lambda}{22{,}13}\right)^{m} \qquad m = \frac{F}{(1+F)} \qquad F = \frac{\sin\beta/0{,}0896}{3(\sin\beta)^{0{,}8}+0{,}56}$$

Rov. 1 **Rov. 2** **Rov. 3**

Po zisku těchto faktorů je L-faktor vypočítán pomocí vzorce pro L (*Rov. 4*), který obsahuje plochu přispívající k drenáži (Desmet & Govers, 1996) adaptovanou pro GIS systémy

$$L_{(i,j)} = \frac{\left(A_{(i,j)}+D^2\right)^{m+1}-A_{(i,j)}^{\,m+1}}{x^m \cdot D^{m+2} \cdot (22{,}13)^m}$$

Rov. 4

kde $A_{(i,\,j)}$[m] je jednotná přispívající plocha v jednom vstupním pixelu (buňce), D je velikost pixelu a x je korekční faktor tvaru.

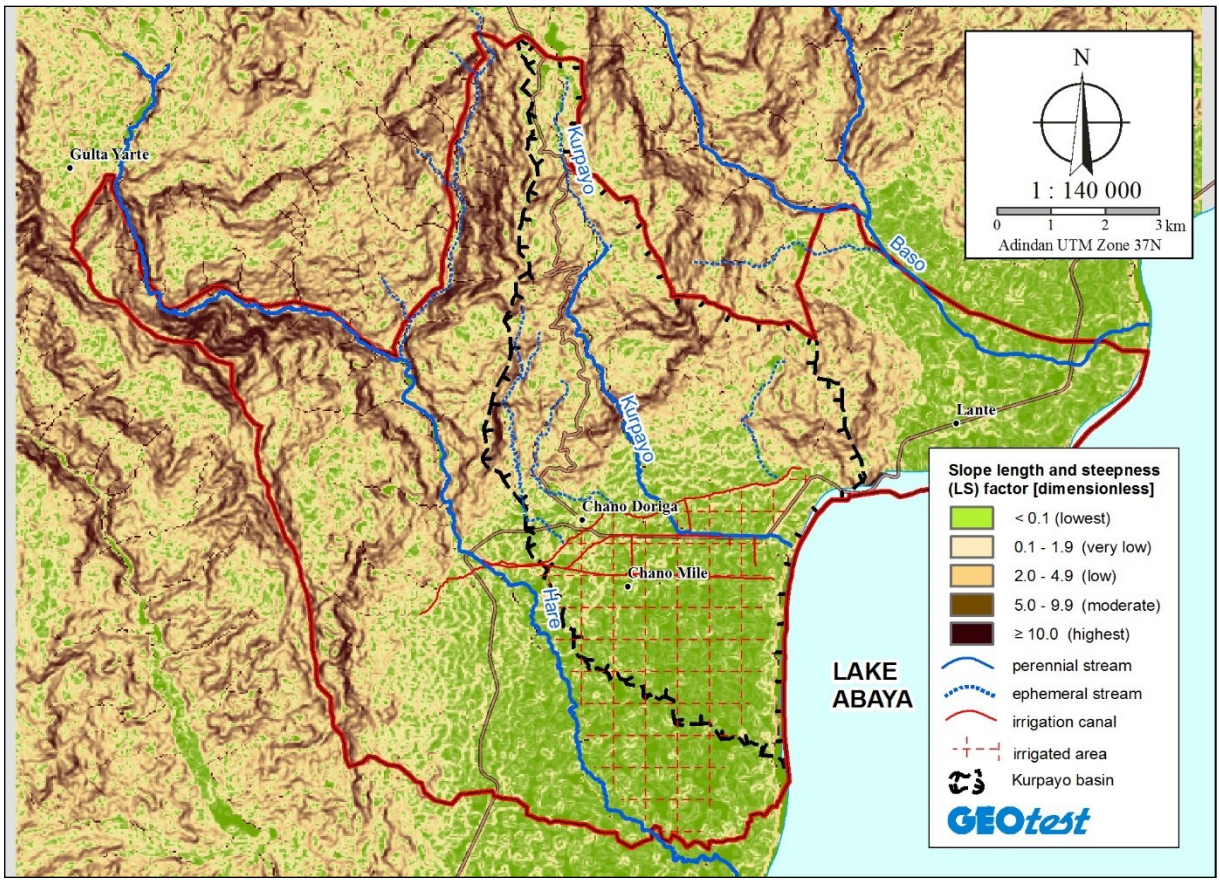
S-faktor: Ten je vypočítán pomocí vzorce pro S (*Rov. 5*), který potřebuje vypočítanou hodnotu referenčního úhlu (β). Úhel β je získán jako střední úhel ve všech podbuňkách ve směru vzhůru po svahu (McCOOL et al., 1987, 1989). Existují dva různé vzorce pro S-faktor závisející na hodnotě tangenty úhlu β.

$$S_{(i,j)} = \begin{cases} 10{,}8\sin\beta_{(i,j)} + 0{,}03 & \tan\beta_{(i,j)} < 0{,}09 \\ 16{,}8\sin\beta_{(i,j)} - 0{,}5 & \tan\beta_{(i,j)} \geq 0{,}09 \end{cases}$$

Rov. 5

Hodnoty úhlů je nutné transformovat na radiány (1 úhlový stupeň = 0,01745 radiánů), abychom hodnotu mohli použít s ostatními komponenty ve vzorci pro RUSLE.

Po vypočítání předchozích vzorců je vygenerován rastrový soubor s hodnotami LS-faktoru (*Obr. 32*).



Obr. 32: Faktor délky a sklonu svahu (LS) [bezrozměrný]

9.4 Faktor vegetačního krytu a osevního postupu (C)

Faktor reprezentuje definované množství ztráty půdy, které závisí na specifické vegetaci situované v oblasti. Jde o faktor, který se může nejsnáze měnit, nicméně z tohoto důvodu je tento faktor nejčastěji využíván k vyvíjení efektivního zadržovacího plánu. C-faktor je bezrozměrný.

K výpočtu C-faktoru je nejprve nezbytné získat mapu land-use, ve které jsou viditelné různé typy vegetace. Následně je každé využití půdy reklasifikováno podle C-hodnoty dané několika studiemi (*Tab.10*).

Tab. 10: Typické hodnoty pro vybrané kategorie land cover

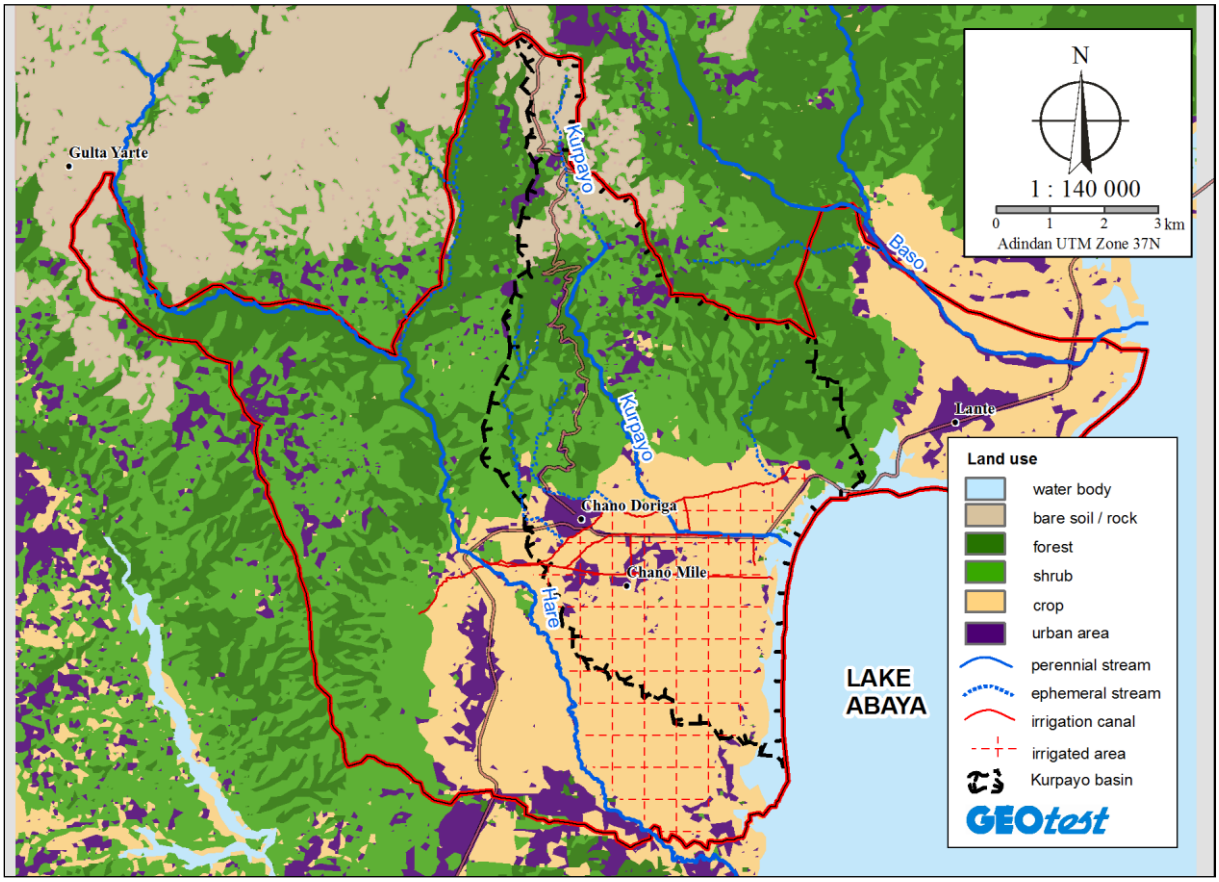
Land use/Land Cover	C-faktor	Zdroje
Vodní plocha	0	Erdogan et al (2006)
Obdělávané	0,1	Hurni (1985)
Les	0,01	Hurni (1985)
Křoviny	0,014	Wischmeier & Smith (1978)
Pastviny	0,05	Hurni (1985), Yihenew (2013)

K získání mapy land use oblasti byla provedena řízená klasifikace satelitního snímku Landsat 8 z roku 2015 za pomocí prostředí softwaru ENVI a za ověřování pomocí DigitalGlobe satelitního snímku z roku 2016. Výsledkem je rastrový soubor s C-hodnotou každé třídy land use ve studované oblasti.

Proces vegetační klasifikace sestává ze dvou fází. V první jsou za pomocí prostředí ArcGIS vygenerovány plochy s rozdílnými polygony pro každou vegetační třídu, kterým se říká „trénovací“; ve druhé fázi dochází k ověřování „trénovací“ fáze a generování dalších ploch pojmenovaný jako „ověřovací“, které obsahují mnohem více vzorků polygonů z každé třídy. Následně je za pomoci ENVI prostředí celá oblast na satelitním snímku klasifikována na základě „ověřovacích“ ploch.

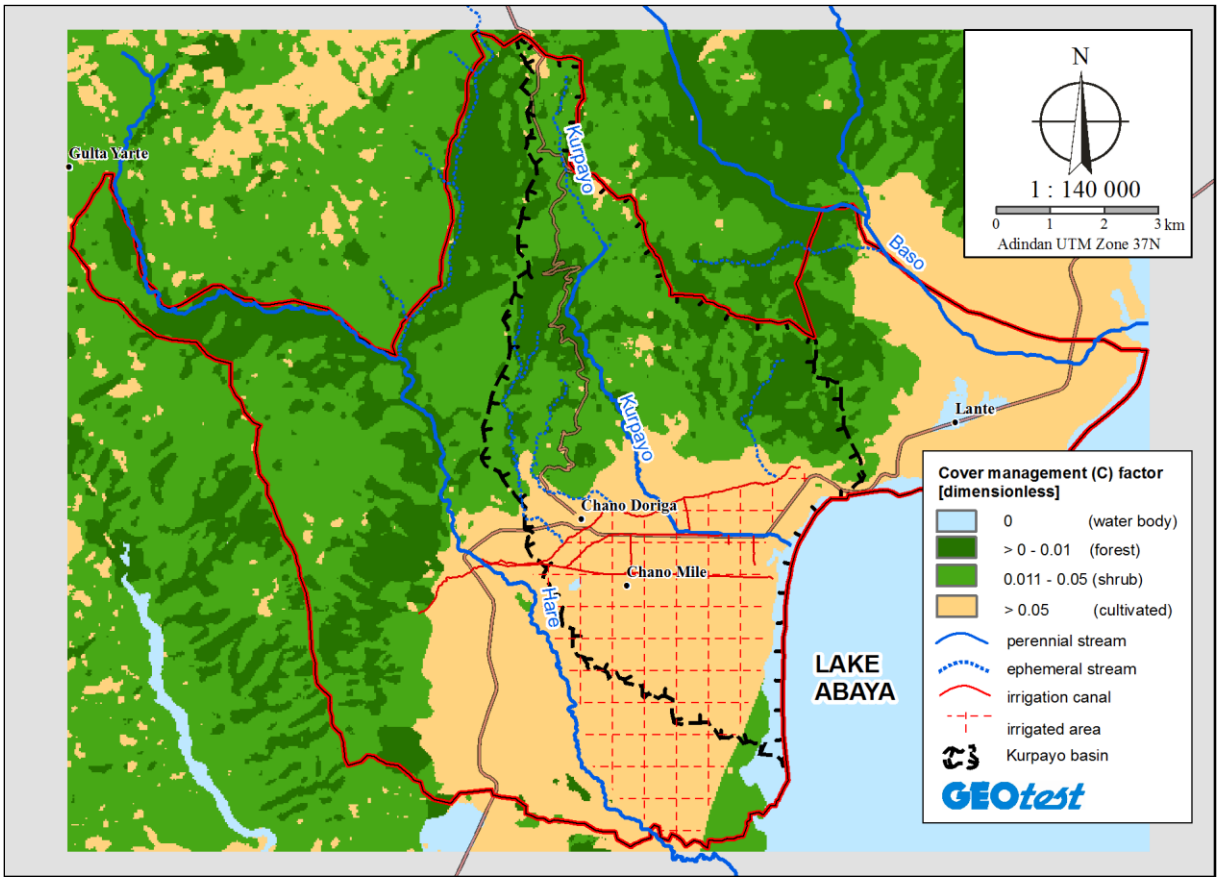
Před provedením klasifikace je provedena analýza spektrální separability pro zanalyzování stupně separability bezi různými třídami land use. Tato analýza je provedena metodou spektrální vzdálenosti pojmenovanou jako Jeffries-Matisuta (JM), která udává korektní výsledky, když data vykazují normální rozdělení. JM počítá rozdíl znaků mezi dvěma třídami dosahující výsledků mezi 0 a 2 (Richards, 1993). Tyto výsledky s hodnotami blížící se 2 indikují vysokou úroveň separability, zatímco hodnoty blížící se 0 indikují velice nízkou separabilitu.

Ke klasifikaci snímku Landsat 8 byla použita „Maximum likelihood“ klasifikace z důvodu jejích kalkulačních vlastností a nízkých výpočetních nákladech. Vznikla chybová matice s výslednou celkovou chybou 86,25 % a 0,78 koeficientu Kappa. V tomto případě byla nutná manuální rektifikace z důvodu složitosti rozlišení některých pixelů. Pro zlepšení přesnosti klasifikace byl aplikován filtr 5 x 5, který redukuje hodnoty šumu „sůl a pepř“. V tento moment byla konečně vytvořena výsledná mapa land cover (*Obr. 33*).



Obr. 33: Land cover, C-faktor

Mapa land use byla reklasifikována na základě C-hodnoty dané z několika zdrojů výše uvedených a byla vytvořena výsledná mapa Cover managementu C-faktor (*Obr.34*).



Obr. 34: Cover management (C) faktor

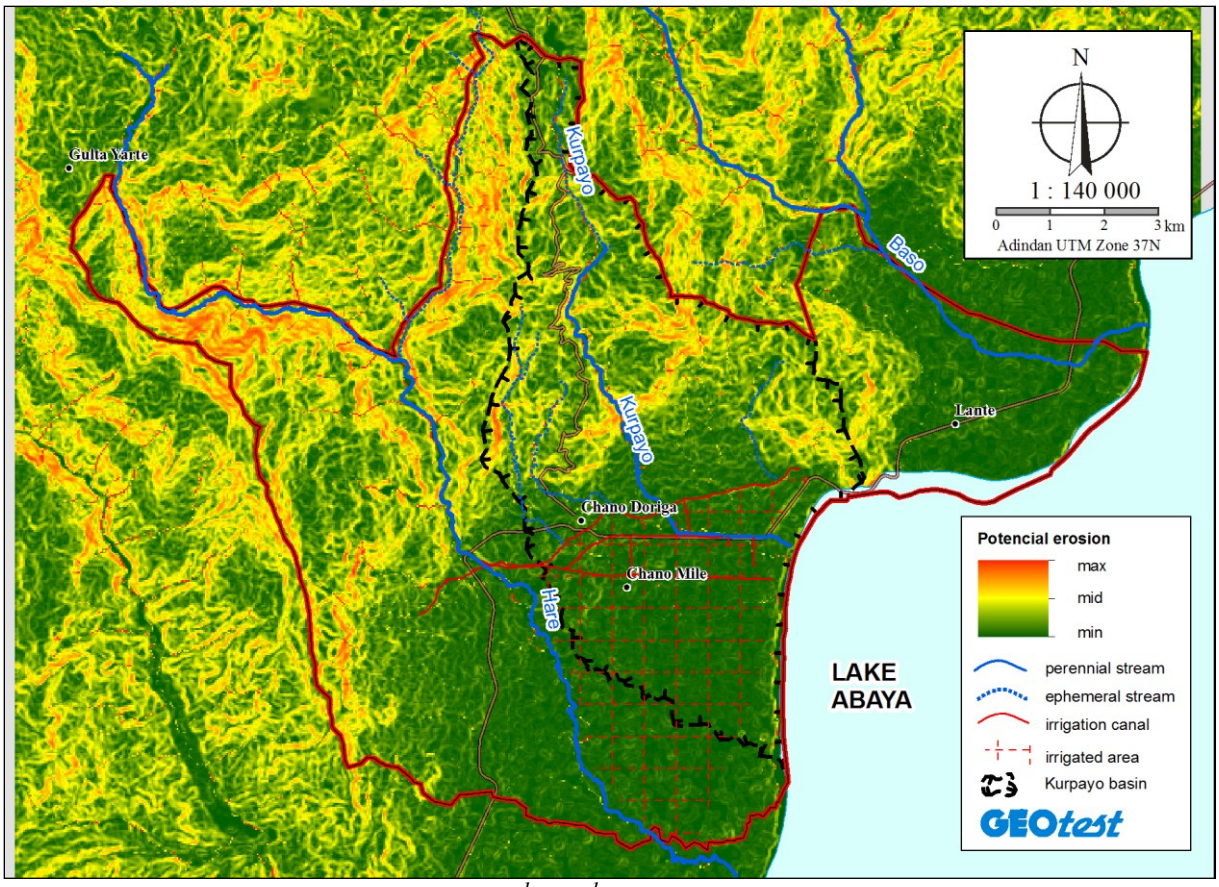
9.5 Výsledky

V momentě, kdy jsou rastrové soubory pro každý faktor hotovy, je možné dokončit výpočet RUSLE. Výsledná hodnota byla získána pomocí nástroje pro rastrovou algebru v extenzi Spatial Analyst (v prostředí ArcGIS), přičemž vstupními hodnotami jsou všechny tyto faktory.

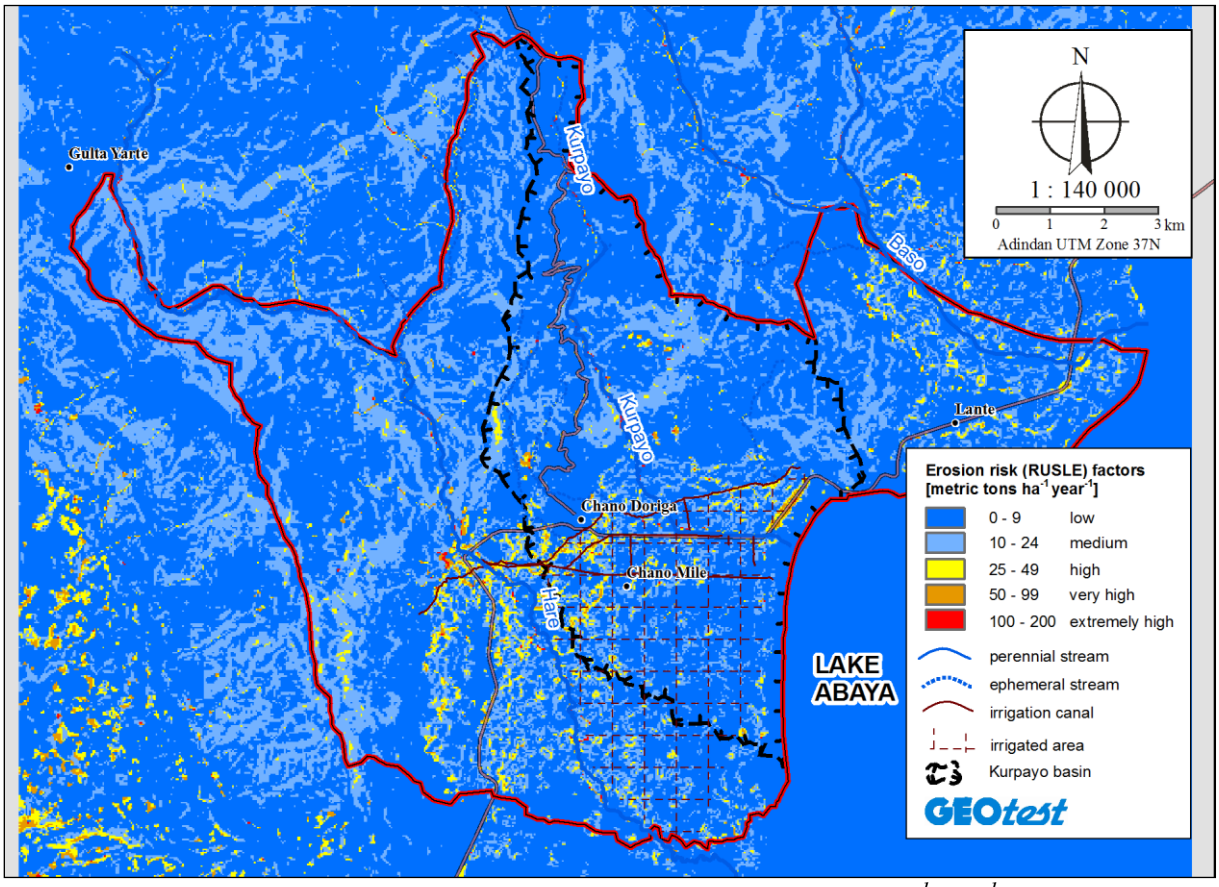
Co se týče předchozích faktorů a procesů, všechna data byla zkompilována nejprve k vytvoření mapy erozivního potenciálu, ve kterém nebyl brán v potaz C-faktor (*Obr. 35*).

Následující mapa zobrazuje plochy s červenou barvou, ve kterých je vyšší eroze s absencí vegetace, získané na základě jejich charakteristik uvedených v K, L, S a R faktorech.

K získání reálné predikované hodnoty půdní eroze je přidán C-faktor do rovnice vypočítané z mapy Land cover a Cover management (C) faktoru. Zahrnutím všech faktorů vzorce pro RUSLE získáme mapu erozních rizik (ztráty půdy). Hodnoty jsou v t ha^{-1} rok^{-1} (*Obr. 36*).



Obr. 35: Potenciální erozní riziko [t ha^{-1} rok^{-1}]



Obr. 36: Mapa erozních rizik, zahrnující všechny RUSLE faktory [t ha^{-1} rok^{-1}]

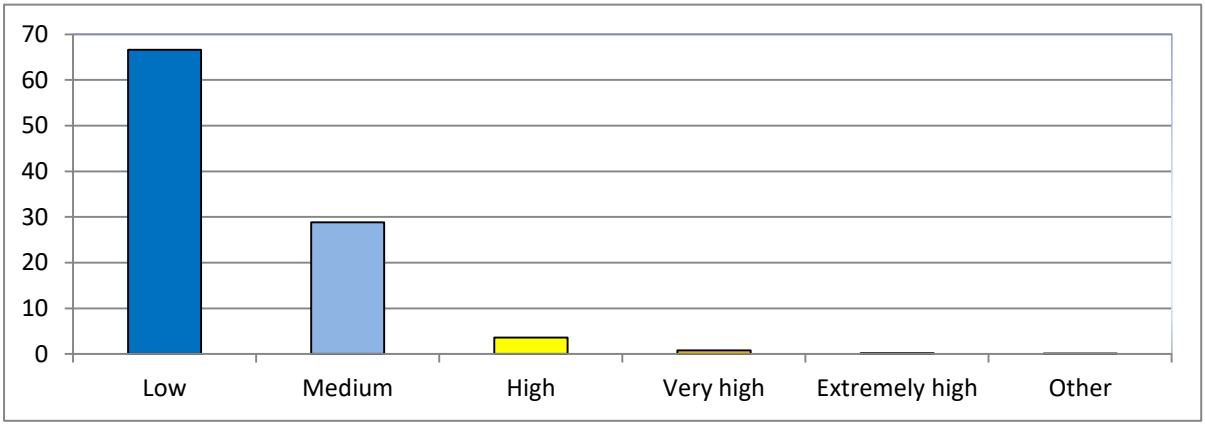
Jak může být vidět na mapě, teplejší barvy indikují vysokou úroveň ztráty půdy (eroze) a chladnější barvy naopak nízkou úroveň eroze. Hodnoty půdní eroze jsou rozděleny na následující intervaly v t ha^{-1} rok^{-1}:

- **0-10**: plochy s nízkými erozními hladinami a ztráta půdy, akceptovatelné
- **10-25**: plochy s drobnými erozními procesy, existují erozní rizika
- **25-50**: plochy s výraznými erozními procesy, reálné riziko eroze
- **50-100**: plochy s vážnými erozními procesy znatelnými na první pohled
- **>200**: plochy, kde je erozní vliv enormní a je snadno rozpoznatelný

Jak uvádějí Morgan (1995) a Wishmeier & Smith (1978), limitní tolerovaná hodnota eroze půdy je 10 t ha^{-1} rok^{-1}, kromě toho je tato hodnota definovaná jako přechod mezi nízkými a středními kategoriemi.

Při 10 t ha^{-1} rok^{-1} ztráty půdy je vypočítáno, že každý rok dojde ke ztenčení půdy o okolo 1 mm za rok (Departamento Medioambiente, Gobierno Vasco, 2011).

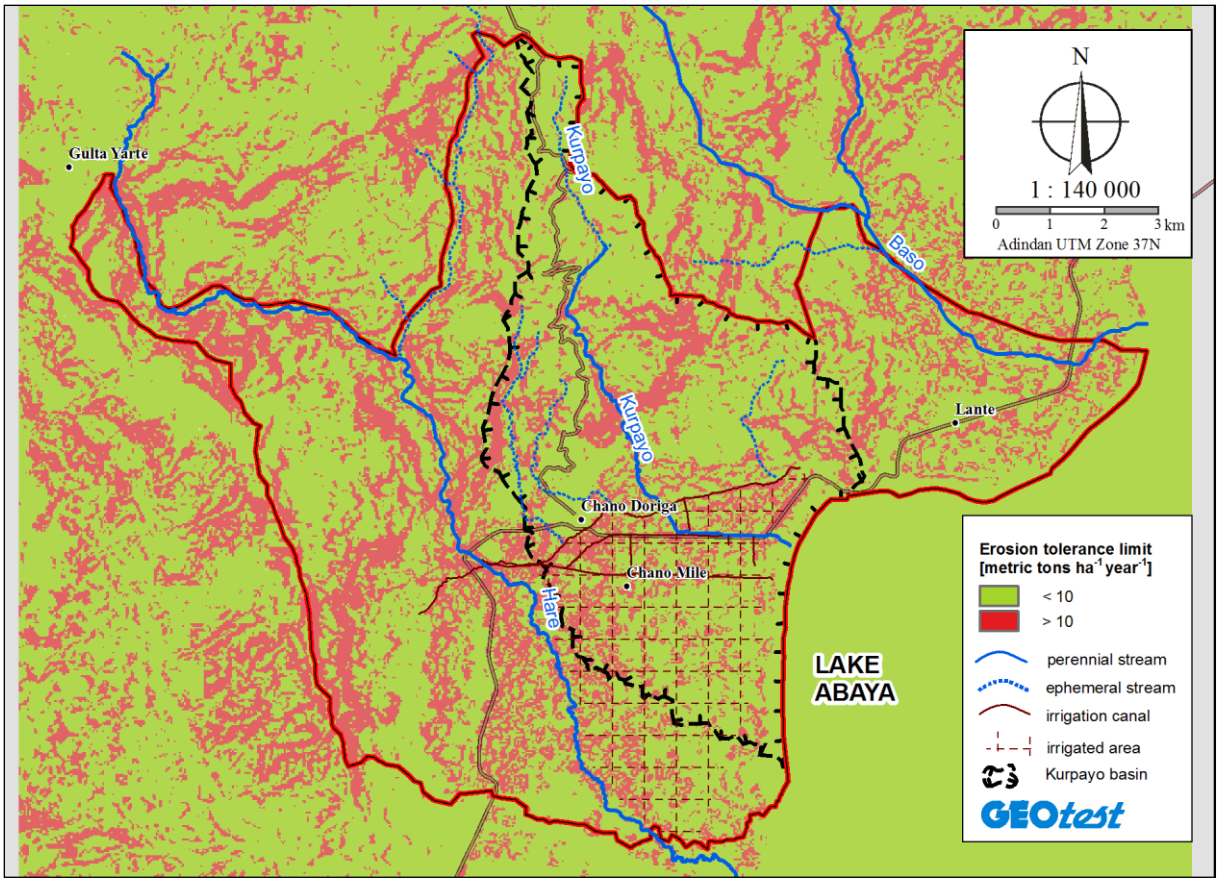
Na základě pozorování z *Obr. 37* a *Tab. 11* můžeme k rozložení erozního stupně říci, že 66,6 % plochy používané pro tuto studii je ohroženo nízkou erozí mezi 0-10 t ha^{-1} rok^{-1}, ale zbylých 33,4 % plochy tvoří erozní hodnoty přes 10 t ha^{-1} rok^{-1}, což je považováno za limitní tolerovanou hodnotu. K tomu byla vytvořena mapa nadlimitní eroze (*Obr. 38*), na které lze snadno odlišit, které plochy vykazují významnou erozi (hodnoty přes 10 t ha^{-1} rok^{-1}) od těch s nízkým erozním stupněm (hodnoty do 10 t ha^{-1} rok^{-1}). Tyto plochy s nadlimitní erozí vyžadují vyšší množství pozornosti pro budoucí plánování a management tak, aby se předcházelo nárůstu eroze a následné ztrátě půdy.



Obr. 37. Rozložení kategorií stupňů půdní eroze [%]

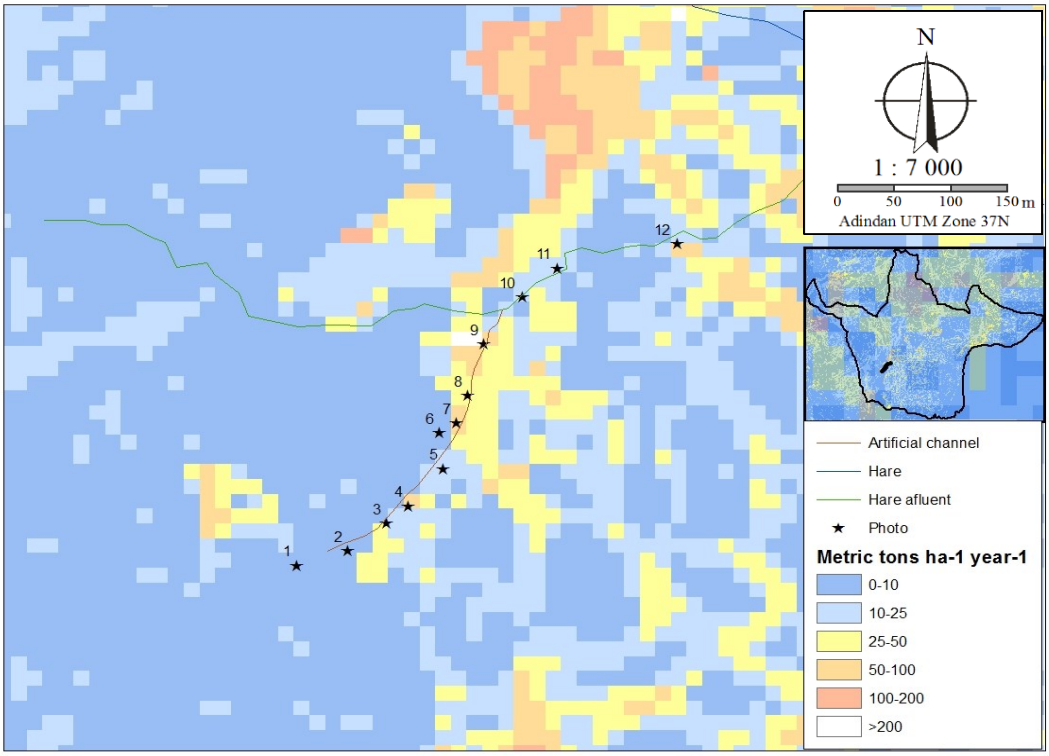
Tab. 11: Statistika rozdělení půdní eroze

	Nízká	**Střední**	**Vysoká**	**Velmi vysoká**	**Extrémně vysoká**	**Ostatní**
Interval [t ha^{-1} rok^{-1}]	0-10	10-25	25-50	50-100	100-200	>200
Plocha (Ha)	16990	7357,5	919,5	195	40,5	12,5
Plocha (%)	66,6	28,8	3,6	0,76	0,16	0,05



Obr. 38: Nadlimitní eroze

Následující fotografie (číslovány od 1 do 12 a kompletně obsaženy na *Obr. 40 39*) tvoří výběr z těch, které byly pořízeny během terénního průzkumu. Na *Obr. 39* je zobrazeno, kde byly fotografie pořízeny a jejich souvislost se stavem erozního rizika. Prapůvodem pro ohromnou a a místy více než 7 metrů hlubokou erozní rýhu bylo vytvoření mělkého umělého vodního kanálu vedoucího podél svahu za účelem odvodnění plochy pole o délce cca 1500 m.



Obr. 40: Vedení umělého kanálu na podkladu RUSELE mapy se stanovením erozního rizika

4

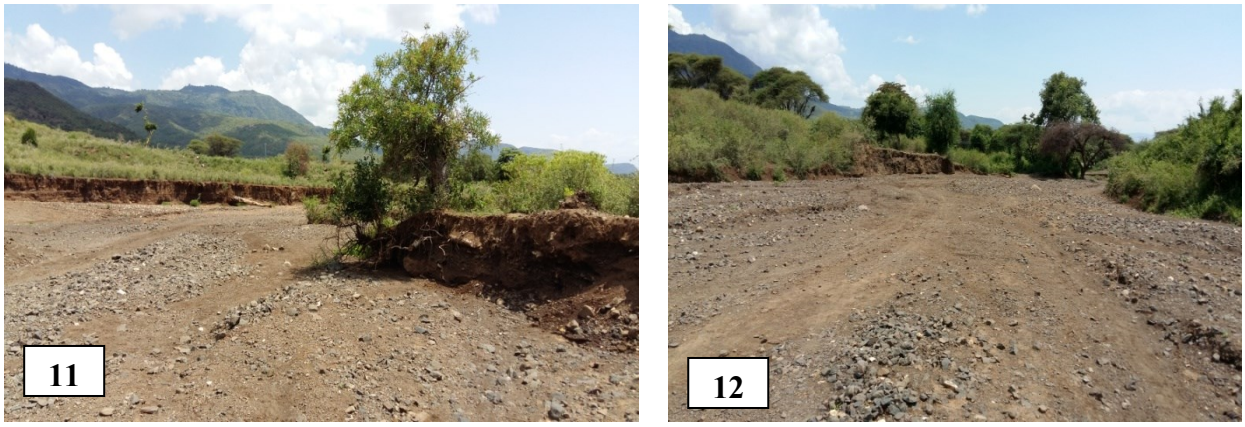
6

7

8

9

10



Obr. 41: Soubor fotografií z terénního průzkumu

10. Multitemporální vegetační analýza

Kapitola zodpovídá otázku, jaká je situace v rámci delšího časového období v zájmové oblasti. Zabývá se především úbytkem kategorie lesa a jeho příčinami a důsledky.

Multitemporální analýza umožňuje detekovat změny mezi různými referenčními daty, z nichž lze odečíst vývoj přírodního prostředí nebo vliv lidských aktivit v tomto prostředí (Chuvieco, 1996). Proto multitemporální analýza land use v daném místě může být velice užitečná k nalezení nejnáchylnějších bodů a těch, které vyžadují největší pozornost. Dále ke změření rozsahu změn proběhlých v daném území a daném čase.Obecně studování změn v krajině slouží k poznání vývoje krajinného pokryvu v rámci daného časového úseku, zde v rozsahu let 1985 – 2015. Zaměřili jsme se na kategorii lesa. Prudké zmenšování rozlohy kategorie lesní půdy ukazuje na rychlost odlesňování a určuje jeho geografické rozměry a pomáhá k pochopení jejich sociálních a ekonomických příčin v globálním, regionálním i lokálním měřítku (Skole et al. 1994).

Multitemporální analýza spočívá ve studování změn v čase a změn, které jsou na území vidět v tomto případě za posledních v 30 let (od 1985 do 2015). Cílem je získat hodnotu dopadu odlesňování prostřednictvím změny zkoumané kategorie lesního pokryvu. Bude vypočtena také míra odlesňování. Nejvýraznějším negativním jevem v oblasti je značně nevhodné obhospodařování půdy, eroze půdy a úbytek druhové biodiversity.

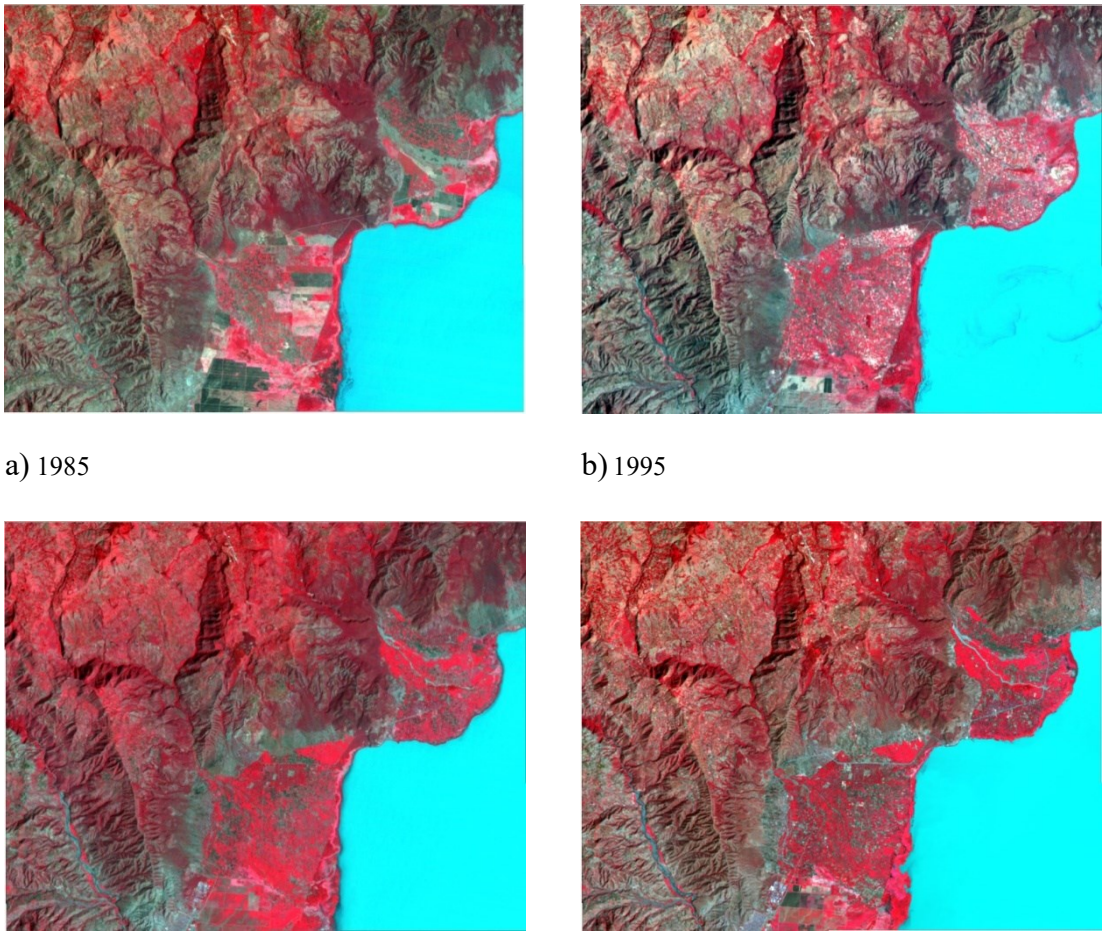
Datové zdroje použité v této studii:

- 4 LANDSAT snímky pořízené v různých datech, získané z USGS (viz *Tab.12*).
- Digital Globe satelitní snímek WorldView-3
- Arcgis 10.3 prostředí
- Envi 5.3 prostředí

Tab. 12: Označení a datum pořízení použitých LANDSAT snímků

Landsat	Datum
TM 5	15/3/1985
TM 5	6/2/1995
TM 5	30/1/2010
TM 8	28/1/2015

Na O*br. 42* jsou zobrazeny čtyři LANDSAT snímky použité pro tuto studii ve 4,3,2-pásmové kombinaci pro Landsat 5 snímky a 5,4,3 pro Landsat 8, v obou případech infračervená kombinace, která je velice citlivá ke zvýraznění vegetace. V těchto barevných syntézách je infračervené pásmo přiřazeno k červené barvě, červené k zelené, a nakonec zelené pásmo k modré barvě. V tom případě se vegetace ukazuje v červených a hnědých tónech, zatímco vodní tělesa se zobrazují modře. Tmavší odstíny červené korespondují s hustším lesem a světlejší červená k plantážím a křovinám. Nejzdravější vegetace je zobrazena ve světlejších červených odstínech. Díky tomu mohou být časové změny mezi čtyřmi snímky vizuálně rozpoznatelné.



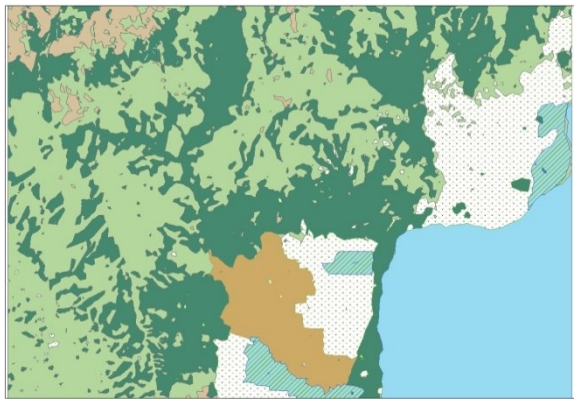
a) 1985 b) 1995

c) 2010 d) 2015

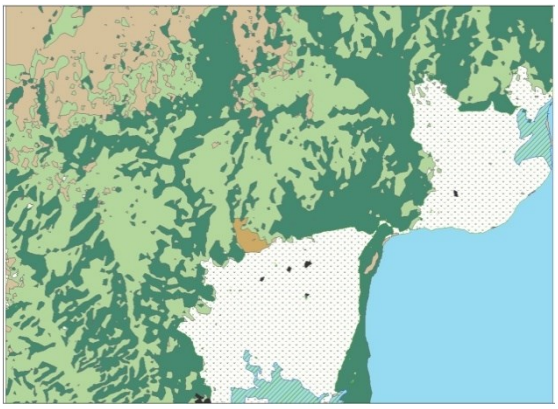
Obr. 42: LANDSAT 5 snímky a), b) a c) v 432 a LANDSAT 8 snímek d) v 543 pásmové syntéze

Pro tento úkol byla vytvořena mapa klasifikace vegetace (*Obr. 43*). Byla vytvořena pomocí stejných postupů, které byly detailně popsány v předchozí analýze erozních rizik. Byl použit DigitalGlobe WorldView-3 satelitní snímek jako základ k vygenerování vegetačních ploch (prostřednictvím ArcGIS 10.3) a následně aplikován na různé LANDSAT snímky skrze prostředí ENVI 5.3.

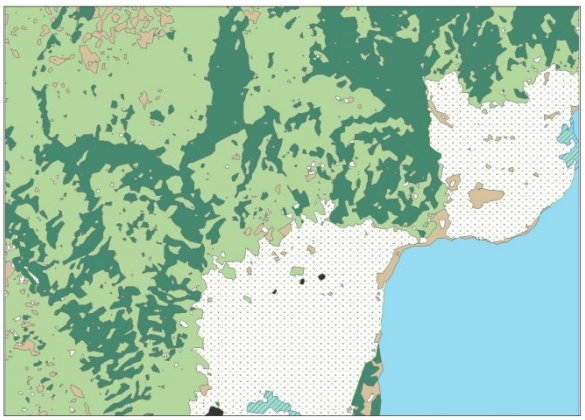
Tím byly získány celkové plochy v ha pro každý typ land use, z čehož mohlo být provedeno časové srovnání (*Tab. 13).* Třídy typů land use byly rozděleny takto: vodní tělesa, les, plantáž, křoviny, drobné křoviny, transformovaná půda, mokřady a zástavba. Tímto způsobem je možné sledovat časovou změnu povrchu, který spadá do každého z typů land use.



A- 1985



B- 1995



C- 2010

D-2015

Obr. 43. Klasifikace vegetace pro roky 1985,1995,2010 a 2015 ve stejném vegetačním období

Tab. 13: Shrnutí získaných dat o povrchu s jejich procentuálním podílem

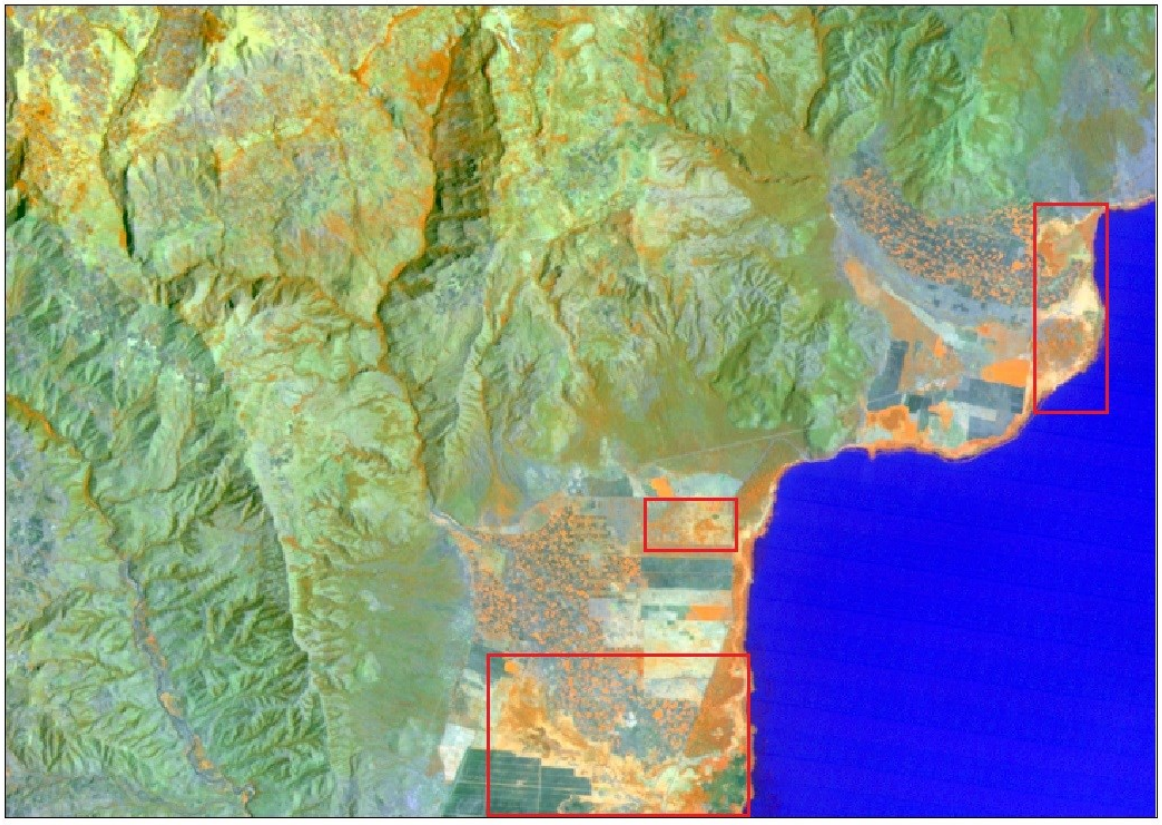
Typ	1985		1995		2010		2015	
	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%
Voda	4710,6	15,5	4665	15,3	4813,3	15,8	5211,9	17,1
Les	8829,9	29	8632,6	28,3	6818,9	22,4	5972,8	19,6
Pole	3489,5	11,5	4991,6	16,4	6295,2	20,7	6286	20,6
Křoviny	10285,	33,8	8725,7	28,6	11453,	37,6	11671,	38,3
Drobné křoviny	970,5	3,2	2786,3	9,1	864	2,8	1153,7	3,8
Transformovaný	1303,9	4,3	82,9	0,29	---	---	---	---
Mokřady	842,7	2,7	497,2	1,64	141,9	0,5	---	---
Zástavba	---	---	53,7	0,2	47,8	0,2	138,9	0,46

Na základě získaných dat lze obecně konstatovat, že u vody, polí, umělých ploch, křovin a drobných křovin pozorujeme nárůst, zatímco u lesů, přechodných půd a mokřad pozorujeme jejich plošný úbytek.

Vodní plochy přibylo díky zvýšení vodní hladiny v jezeře, které zatopilo malou část jeho pobřeží. Kolísání ploch křovin je způsobeno z důvodu odlesňování, a snímky také ukazují, že i z toho důvodu, že po odlesnění lesního povrchu je tento povrch nejprve přeměněn na křoviny a až později na plantáž.

Přítomnost mokřadů byla pozorována na LANDSAT snímcích od r. 1985 do 2010. Mokřady jsou tvořeny rozvětvenými útvary typicky se vyskytujících v oblastech, které bývají často zaplaveny tak, že je tok vody zpomalen natolik, že zde voda zde zůstane stát a utvoří jezero. Bývají také na místech vysoké, k povrchu zarovnané hladiny podzemní vody. Akumulace vody je patrná na snímcích mimo jiné díky celoročnímu výskytu dostupné vody patrné např. pomocí vegetačních indexů, viz kapitola v Aktivitě 1.3.

V roce 1985 byla plocha mokřadů téměř 843 ha, přičemž v roce 2015 již byla kompletně přeměněna na zemědělskou plochu. Vlastnosti oblasti naznačují, že před přeměnou na plantáže byla celá oblast v nižší části povodí u jezera zapojeným souborem dílčích mokřadů složených z drobných vodních ploch. Na *Obr. 44* lze pozorovat výskyt mokřadů v roce 1985, který je zaznačen pomocí červených obdélníků. Nejvíce je to na snímcích z LANDSATu patrné v pásmové kombinaci 453. Mokřady se zde zobrazují ve světle oranžových odstínech, které ukazují to, že je v oblasti přítomen trvale podmáčený typ vegetace.



Obr. 44: Vyznačené lokality, kde se v roce 1985 nacházely mokřadní ekosystémy

V současné době je většina zemědělsky využívaných ploch v nejnižších částech projektové oblasti protkána sítí závlahových kanálů (*Obr. 45*). Na zavlažovaných místech se dříve nacházely mokřady. Je zde vysoce položená hladina podzemní vody a jsou zde stále patrny některé trvale podmáčené plochy. Mokřady byly drénovány a přeměněny na plantáže.

Obr. 45: Vzhled sítě závlahových kanálů na různých příkladech, od betonových koryt po prosté rýhy v zemi

11. Změny land use mezi lety 1985–2015.

Jako vstupní data posloužily satelitní snímky LANDSAT 5 z roku 1985 a LANDSAT 8 z roku 2015 z totožného vegetačního období. Oba snímky byly klasifikovány a zpracovány v softwaru ENVI a ArcGIS 10.3. Klasifikací obou satelitních snímků jsme dostali různé kategorie krajinného pokryvu.

Změny ve využití krajiny (land use) mezi lety 1985 až 2015 byly řešeny za účelem identifikace změn v prostoru a za účelem přehledného zobrazení změn v rámci řešených kategorií. Bylo třeba zodpovědět otázku kde, z jakého typu na který se v daném místě využití krajiny za období posledních 30 let změnilo. Postup tvorby mapy je rozebrán níže na následujících stranách.

Jak je uvedeno v tabulce *Tab. 14* byly identifikovány různé třídy land use a jejich změny v rámci třicetiletého analyzovaného období mezi roky 1985 a 2015. Lesy zmenšily svoji plochu stejně jako mokřady a přechodné plochy (křoviny/ lesy/ pastviny) na úkor polí, křovin, odkrytých ploch a zástavby. Zajímavý je nárůst podílu vodních ploch, ale jak bylo předesláno výše, jedná se o důsledek zvýšení hladiny vody v jezeře Abaya.

Tab. 14: Změny krajinného pokryvu

	1985		**2015**	
krajinný pokryv	**Ha**	**%**	**Ha**	**%**
voda	4710,6	15,5	5211,9	17,1
lesy	8829,9	29	5987,9	19,7
pole	3489,5	11,5	6252,1	20,6
křoviny	10285,9	33,8	11690,6	38,4
odkrytá půda	970,5	3,2	1153,7	3,8
přechodné plochy	1303,9	4,3	---	---
mokřady	842,7	2,7	---	---
zástavba	---	---	138,9	0,46

Z kategorie lesy byla vypočítána míra odlesnění pomocí metodiky a rovnice navržené FAO:

$$t = 1 - (S_2 \ / \ S_1)^{\frac{1}{n}}$$

Kde:

T= míra odlesnění (%).
S_1= plocha lesů na snímku 1.
S_2= plocha lesů na snímku 2.
n = počet let

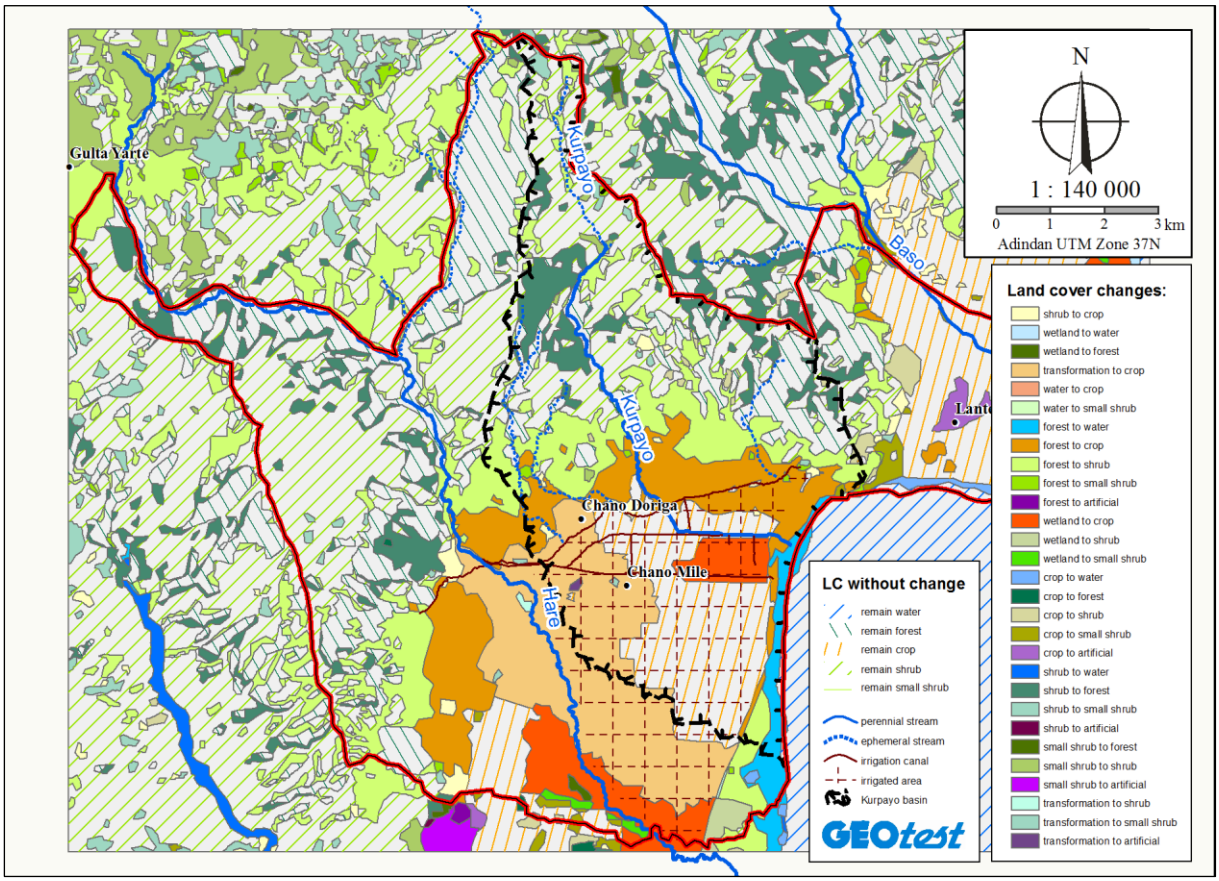
Do rovnice byly zadány údaje o ploše lesních porostů v roce 1985 (8829.9 Ha) a roce 2015 (5972.2 ha) a dále třicetiletý rozsah. Získali jsme roční míru odlesnění, jež činí 1,013 %.

Srovnáním ploch lesa mezi lety 1985 a 2015 s koeficientem míry odlesnění můžeme spočítat, že v průběhu let 1985 až 2015 ubylo průměrně v projektové lokalitě 95,25 ha lesa ročně.

Od roku 1985 do roku 2015 zmizelo tedy celkově 2857 ha lesa, což znamená 32,35 % z jeho původního rozsahu. Na úkor lesních porostů se zvyšovala adekvátně plocha polí, v menší míře

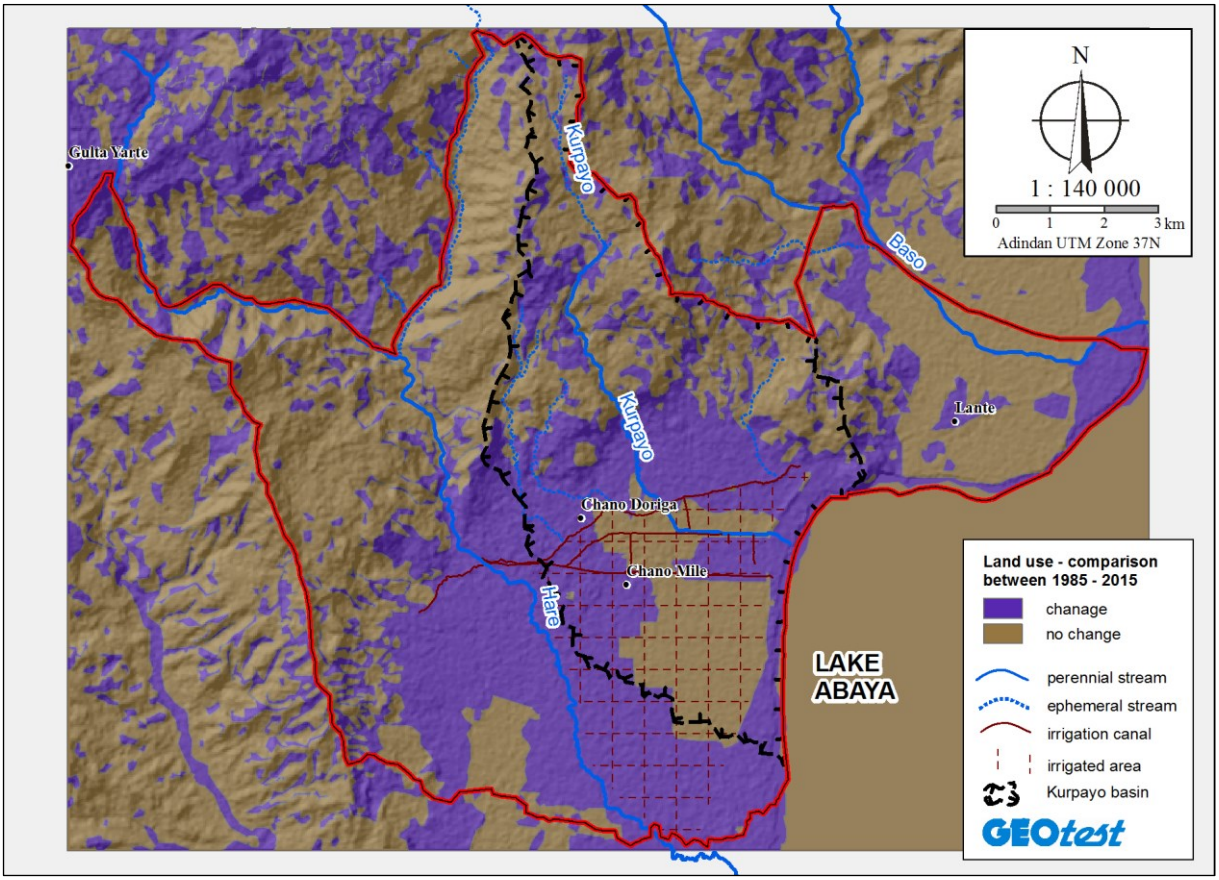
křovin, pastvin, holého povrchu a rozšiřovaly se také sídla. Odlesňování je v této oblasti nejsnadnější možnost pro rozšíření plochy polí.

Mapa s grafickým znázorněním změn je na obrázku *Obr. 46*. Vstupem byly mapy využití krajiny pro oba roky. Pomocí rastrové algebry byly generovány plochy, v rámci kterých došlo v předmětném třicetiletém období ke změně a z jakého povrchu na jaký. Byly nalezeny také takové plochy, v rámci kterých v předmětném období ke změnám využití vůbec nedošlo.



Obr. 46: Změny ve využívání krajiny

Pro snadnější orientaci v rámci identifikace ploch, kde došlo ke změně ve využívání krajiny byla vygenerována mapa (*Obr. 46*) zobrazující pouze kategorii povrchu, kde ke změně v rámci projektové lokality došlo (34,45 %) a kategorie , kde k žádné změně nedošlo (65,54 %).



Obr. 47: Odlišení povrchu, kde mezi lety 1985 a 2015 došlo ke změně land use

Na obrázku *Obr. 47* jsou zobrazeny dvě odlišné oblasti a zvýrazněny hnědě a fialově. První z nich (hnědá) odpovídá oblastem se zachovaným statusem, beze změn. Fialově jsou zobrazeny plochy se změnou využití krajiny, zde způsobené antropogenní zásahy, především rozšiřováním zemědělsky obhospodařovaných ploch v průběhu let 1985 až 2015.

Obr. 48: Přírodní krajina, typický pohled na výše položenou lokalitu

Obr. 49: Kulturní krajina, typický vzhled níže položených oblastí

Krajina obhospodařovaná člověkem (*Obr. 49*, *Obr. 50*) v níže položených částech projektové lokality. Typický vzhled plochy znázorněné v předchozí mapě (*Obr. 47*) pod fialovou barvou. Původní lesy (*Obr. 48*) zde byly nahrazeny zemědělstvím a pastevectvím (*Obr. 50*) v různé míře intenzity využívání.

Obr. 50: Kulturní krajina, typický vzhled níže položených oblastí. Pastevectví, v pozadí pole

12. Voda v krajině

Zdrojem vody v krajině jsou srážky. Srážková voda se po dopadu může částečně odpařit, částečně je spotřebována vegetací, odteče a zbytek se vsákne do půdy a podloží. Rychlost odtoku srážkové vody z krajiny je dána jednak přírodními poměry lokality, především

charakterem horninového prostředí a morfologií terénu a dále pak antropogenně podmíněnými poměry, především krajinným pokryvem.

Na oběhu vody se podílí ta část srážkové vody, která se nevypaří. Podíl srážek, které tvoří odtok, je významně rozdílný v období dešťů, tedy vrcholu vegetačního období roku (duben – říjen) a suchém teplém mimovegetačním období roku (listopad – březen). Doba, po kterou se daná srážka podílí na koloběhu vody na daném území, závisí na tom, zda se srážka transformuje na povrchovou vodu nebo na vodu podzemní. U povrchové vody jde o dny až týdny, u podzemní vody o měsíce až desítky let. Tvoří nám tedy potřebnou zásobu pro období sucha!

Zdrojem povrchové vody jsou srážky tvořící povrchový odtok, dále srážky tvořící hypodermický odtok a v bezsrážkovém období pak podzemní voda. Přirozenými vodními útvary povrchové vody jsou vodní toky a jezera, umělými vodními útvary jsou rybníky a přehradní nádrže.

Podzemní voda vzniká infiltrací srážek, jde o vodu, která se pohybuje v horninovém prostředí vlivem gravitace. Podzemní voda je v dlouhodobě bezsrážkovém období zdrojem povrchové vody. Podzemní voda po delším či kratším zdržení v horninovém prostředí vystupuje na povrch terénu v oblasti erozní báze. Přirozenou drenáž podzemní vody představují prameny nebo skryté přítoky do povrchových vodních útvarů – vodních toků, jezer i rybníků a přehradních nádrží. Uměle se podzemní voda odebírá z hydrogeologických vrtů nebo studní.

13. Návrhy opatření pro zadržení vody v krajině

Byla vybrána ukázková oblast (*Obr. 50*), v rámci které budou provedeny různé metody rehabilitačních prací sloužící jako protierozní opatření a opatření k zadržení vody v krajině. Na této ploše, reprezentující tři základní tvary povrchu tj, prudké svahy, úpatí kopců s mírnými svahy a roviny budou formou kurzů, školení a seminářů seznámeni místní farmáři, úředníci a pověřené osoby s principy trvale udržitelného hospodaření a dobrými příklady praxe. Úspěšnou realizací dojde k návratu degradovaných odlesněných ploch formou přírodě blízkých opatření k harmonické kulturní krajině s mozaikou ekosystémů. Obecné rozdělení ukázkové oblasti na tři zóny:

SVAHY
Vhodná opatření se skládají ze zpomalování povrchového stoku na prudkých svazích a zvyšování odolnosti svahů vůči projevům eroze.

Návrh prací: kopání mělkých podélných kanálů či jiných svodných prvků s doprovodnou výsadbou křovin a rychle rostoucích druhově původních dřevin za účelem zpevnění, zástinu a následné evapotranspirace zachycené vody. Eliminace stávajících erozních rýh přehrazením, budování kaskád hrázek, rozliv zpomalené vody do podélných kanálů. Příklad opatření je v řezu a půdoryse naznačen na *Obr. 51 Vsak přes půdní profil* a *Obr. 52* ve variantě *Vsakovací průleh*.

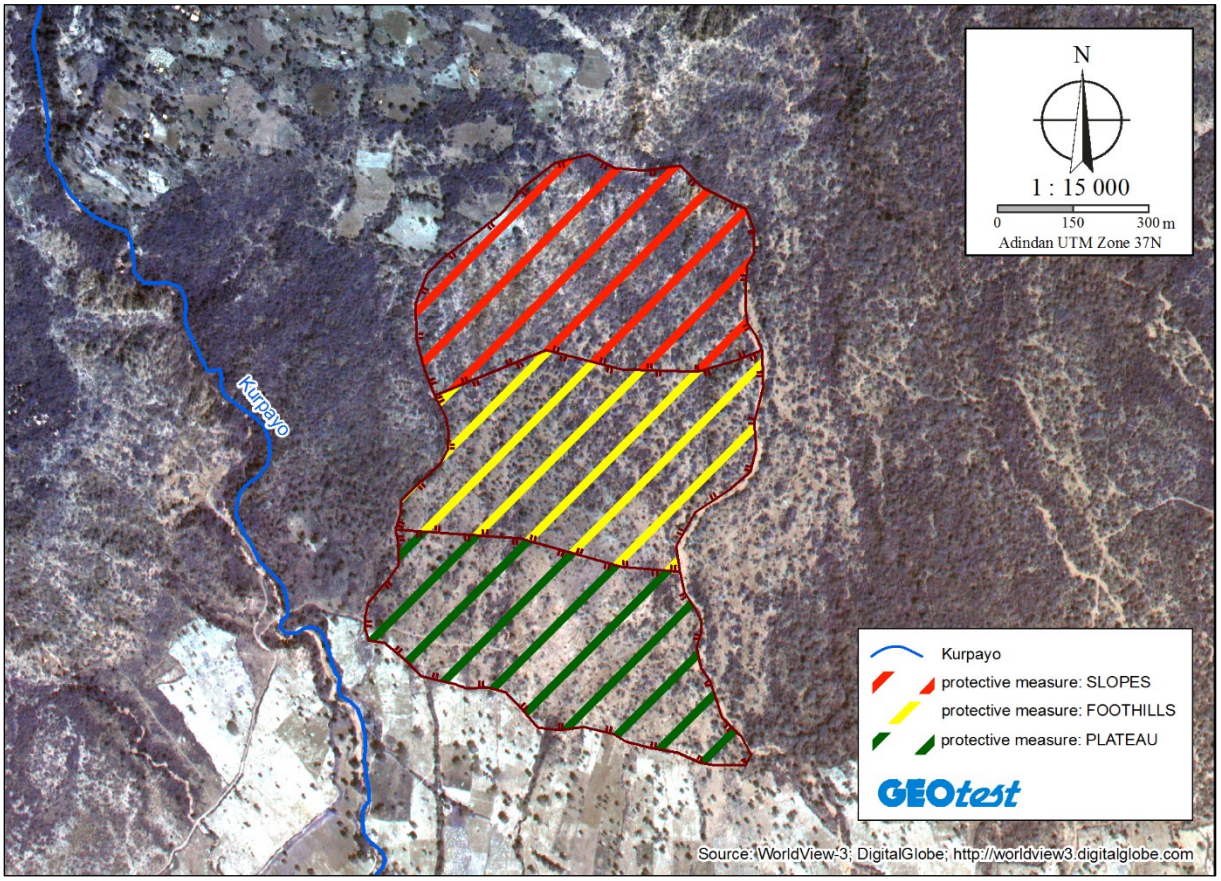
ÚPATÍ KOPCŮ
Vhodná opatření se skládají ze zpomalování povrchového stoku na mírných svazích pomocí terasování a fragmentace. Zasakování povrchové vody na vhodných místech s případným zadržováním unášeného materiálu.

Návrh prací: Fragmentace současné degradované a odlesněné krajiny, výsadba křovin a vhodných původních dřevin. Doprovodná výsadba produkčních ovocných stromů. Umožnění udržitelné pastvy, například v místech zátopy periodicky plněných suchých poldrů a zasakovacích rybníčků. Umožnění zemědělské produkce na terasách v zástinu stromového patra vegetace. Včelařství. Příklad vhodných opatření je v řezu a půdoryse naznačen na *Obr. 51* Vsak přes půdní profil a *Obr. 52* ve variantě *Suchá nádrž (polder).*

ROVINATÝ TERÉN

Vhodná opatření se skládají z bezpečného odtoku nezadržené povrchové vody do vodotečí. Zasakování možné, avšak v omezené míře vzhledem k předpokladu výše položené hladiny podzemní vody. Rybníkářství.

Návrh prací: V převážně zemědělsky využívané krajině vybudovat systém remízků a větrolamů, fragmentovat pole na menší celky. Stávající vodoteče zpevnit a zabezpečit, dosadit doprovodnou výsadbou dřevin. Vybudování systému nádrží s trvalou hladinou vody. Chov ryb. Řízená pastva dobytka spojená s návratem živin do půdy. Příklad vhodného opatření je v řezu a půdoryse naznačen na *Obr. 53* ve variantě *Retenční nádrž* i ve variantě *Umělý mokřad.*

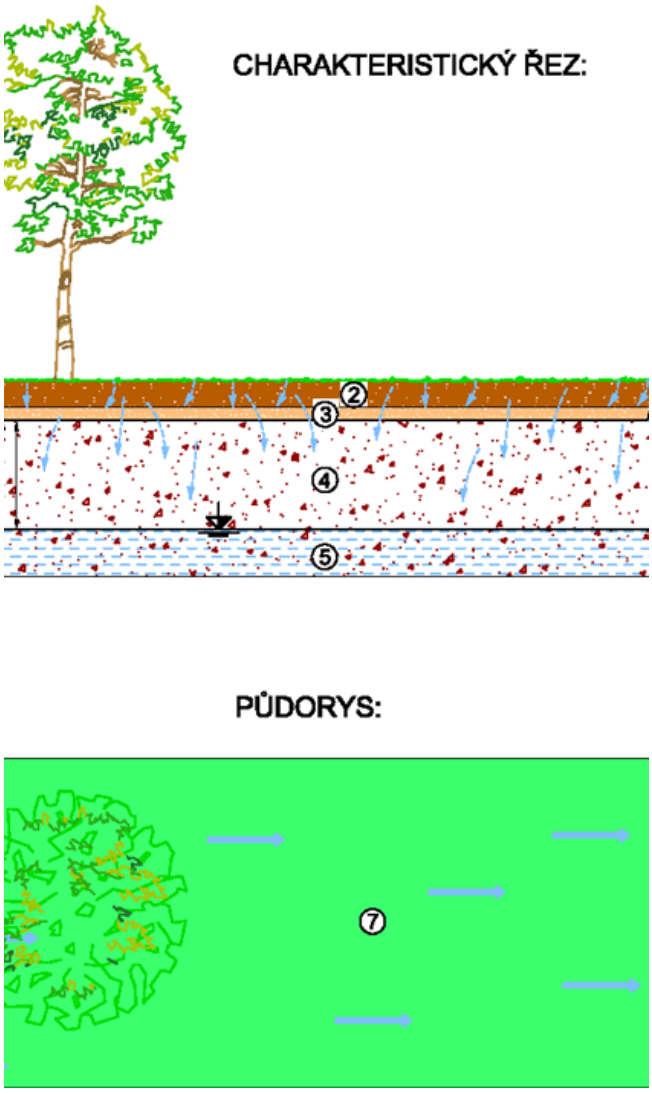


Obr. 51: Projektová oblast v blízkosti toku Kurpayo s definovaným typem opatření

14. Příklady vhodných opatření

VSAK PŘES PŮDNÍ PROFIL

Principem povrchového vsakování přes půdní profil (*Obr. 52*) je snaha podpořit vsak vody přes půdní vrstvy do nesaturované zóny horninového prostředí, tedy do nezvodněných vrstev nad hladinu podzemní vody. Pro vsakování prostřednictvím budování přírodě blízkých vsakovacích prvků může být půdní vrstva eliminována a vlastní vsak se poté děje intenzivněji a hlouběji do horninového prostředí.



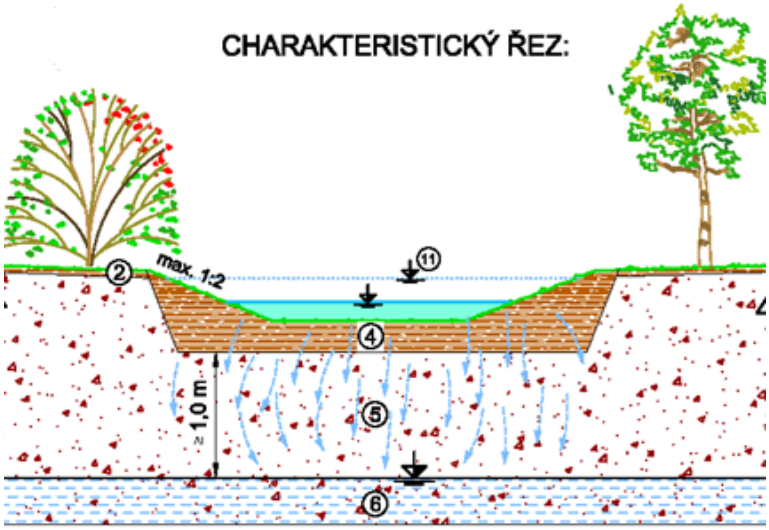
Obr. 52: Vsak přes půdní profil

2 - zatravněná humusová vrstva
3 - podložní zemina
4 - propustné půdní a horninové prostředí
5 - max. hladina podzemní vody
7 - plocha pro vsakování

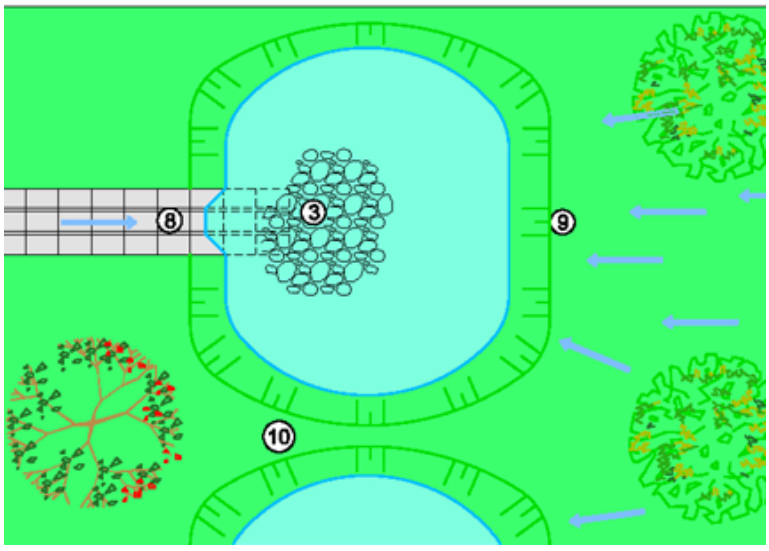
VSAKOVACÍ PRŮLEH, VSAKOVACÍ SUCHÁ NÁDRŽ (POLDER)

Jedná se o snížení terénu (suchou nádrž), do kterého je odváděna srážková voda (*Obr. 53*). Možný je přívod kanálem i plošný přívod splachem. Oproti vsakovacím nádržím převažuje u vsakovacích průlehů délkový rozměr nad šířkou. Provádí se jako zatravněná plocha, může být ale využito i jiného vegetačního doprovodu, například okrasných nebo vlhkomilných rostlin. Snížení terénu v průlehu (hloubka), pokud jsou na pozemku k dispozici dostatečně velké travnaté plochy, lze doporučit maximálně do 300 mm. Průleh ani nádrž nemá mít příliš velké sklony svahů z důvodu jejich dostatečné stability Ve svažitém terénu nutno systém průlehů oddělovat zemními hrázkami.

Výhodou tohoto typu opatření je, že neodvodňuje okolní území, ale naopak pomáhá zadržet vodu ve svrchních vrstvách horninového prostředí. Nevýhodou tohoto typu opatření je nezbytná větší souvislá plocha. Oba typy zasakování se velmi dobře dají začlenit do zemědělsky využívané krajiny.



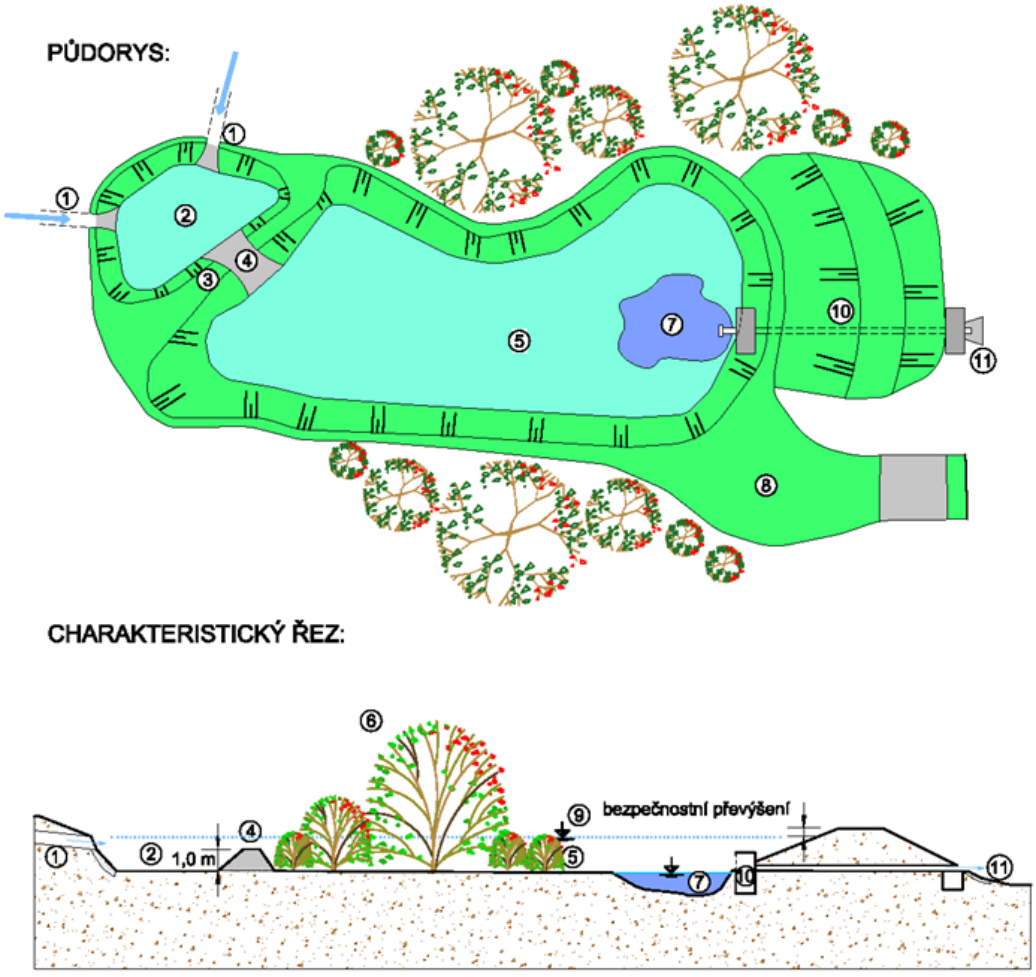
2 - ohumusování a osetí
3 - kamenný zához
4 - zatravněná humusová vrstva průlehu
5 - propustné půdní a horninové prostředí
6 - max. hladina podzemní vody
8 - soustředěný přítok po zpevněném terénu
9 - plošný přítok po zatravněném terénu
11 – max. retenční hladina



Obr. 53: Vsakovací průleh, vsakovací nádrž

RETENČNÍ NÁDRŽ, UMĚLÝ MOKŘAD

Retenční nádrže (*Obr. 54*) nejsou zpravidla konstruovány jako zasakovací zařízeni. Jejich primární účel je především zachytit objem povodně způsobené srážkou a snížit maximální průtoky takto vzniklé povodně. V případě zcela suchých nádrží dochází po naplnění k zasakováním vody do dna a břehů nádrže čímž dochází k pozitivnímu ovlivnění hydrogeologických podmínek a dotaci vody do okolního horninového prostředí. V případě zadržení vody po povodni dochází k pozitivnímu zadržení vody v krajině a ovlivnění vláhových poměrů v blízkosti nádrže, vzniká tímto způsobem také zajímavý biotop pro některé živočichy a obojživelníky (periodicky zaplavované území). Je nutno však počítat s postupným úbytkem vody (zasakování do podloží, výpar) a to až do dalšího deště. Díky zvýšenému odpařovaní vody v okolí dochází k pozitivnímu ovlivňování klimatických poměrů v okolí nádrže.



Obr. 54: Retenční nádrž, umělý mokřad

1 - vtokový objekt
2 - zachycení sediment
3 - hrázka
4 - přeronová hrázka
5 - hlavní retenční prostor
6 - ozelenění
7 - periodicky zaplavované území, mokřad
8 - bezpečnostní přeliv
9 - maximální retenční hladina
10 - regulovaná spodní výpusť
11 - výtokový objekt s opevněním

15. Použité zdroje

Agezew T, Regassa T. Simi J.:"Hydrogeological and hydrochemical maps" of Dila NB 37-6. Explanatory notes. 2014

A.G. Barrios. (2000). Distribucion especial del factor LS (RUSLE) usando procedimientos SIG compatibles con IDRISI aplicación en una microcuenca andina.

Animka, S., Tirkey, P., Nathawat, S. (2013). Use of satellite data, GIS and RUSLE for estimation of average annual soil loss in Daltonganj watershed of Jharkhand (India), Journal of Remote Sensing Technology 1:1.

Aster, D. (2004). Use of geospatial technologies for environmental protection in Ethiopia Environmental Protection Authority. United Nations/European Space Agency/Sudan. In *Proceedings of Remote Sensing Workshop on the Use of Space Technology for Natural Resources Management Environmental Monitoring and Disaster Management*. April 4-8, 2004 Sudan, Khartoum.

BOHOVIC, Roman. Časopriestorová dynamika fenológie v Strednej Ázii s využitím metód diaľkového preiskumu Zeme [online]. Brno, 2016 [cit. 2016-11-22]. Disertační práce. Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce Petr Dobrovolný Dostupné z: <http://is.muni.cz/th/150478/prif_d/>.

Central Statistical Agency of Ethiopia [online]. 2013. Available at: http://www.csa.gov.et/

Chuvieco, E. 1996. Fundamentos de Teledetección. 3ª edición revisada. Ediciones RIALP, Madrid. España

Climate Arba Minch Airport. 2016. *Meteoblue* [online]. Available at: https://www.meteoblue.com/en/weather/forecast/modelclimate/arba-minch_ethiopia_6297259

Climate-data.org [online]. Available at: https://en.climate-data.org/

DEBEBE, Defaru and Tuma AYELE. 2013. Land Use Patterns and its Implication for Climate Change: The Case of Gamo Gofa, Southern Ethiopia. *International Journal of Scientific Research and Reviews*. IJSRR, **2**(3), 155-173.

Dobrovolný, P. 1998. Dálkový průzkum Země. Digitální zpracování obrazu. Brno: Masarykova univerzita. ISBN 8021018127

FAO 1996. Forest resources assessment 1990. Survey of tropical forest cover and study of change processes. Number 130, Roma Italia.

Foster, G.R., L.D. MEYER, and C.A. ONSTAND. 1977. A runoff erosivity factor and variable slope length exponents for soil loss estimates. Transactions of ASAE 20:683-687.

GAJA, Pavel. Analýza půdní vlhkosti a charakteristik sucha prostředky DPZ [online]. Brno, 2013 [cit. 2016-11-22]. Diplomová práce. Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce Petr Dobrovolný. Dostupné z: <http://is.muni.cz/th/270543/prif_m/>.

Gashaw, T., Teferi, B. & Mebrat, W., 2015. Vegetation Stress Detection Using GIS Techniques in East of Lake Tana, Ethiopia. *International Journal of Research in Agriculture and Forestry*, 2(1), pp.8-10. Available at: http://www.ijraf.org/pdf/v2-i1/2.pdf.

Gelagay, H.S., & Minale A.S. (2016). Soil loss estimation using GIS and Remote sensing techniques: A case of Koga watershed, Northwestern Ethiopia.

Helden, U. (1987). An assessment of woody biomass, community forests, and use and soil erosion in Ethiopia. Lund: Lund University Press.

HONKOVÁ, Monika. Mapování vegetace s využitím spektrálních indexů [online]. Brno, 2008 [cit. 2016-11-28]. Diplomová práce. Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce Petr Dobrovolný. Dostupné z: <http://is.muni.cz/th/106116/prif_m/>.

Hurni, H. (1985). Soil conservation manual for Ethiopia. Addis Ababa: Ministry of Agriculture.

Kabelková,N., Lubas, M., Novotná, J. : Možnosti řešení vsaku dešťových vod v urbanizovaných územích v ČR, GEOtest, a.s., Sweco Hydroporjekt, a.s., Brno, 2015, 55 p.

Kiage, L., Liu, K., Walker, N., Lam, N. and Huh, O. 2007. Recent land-cover/use change associated with land degradation in the Lake Baringo catchment, Kenya, East Africa: evidence from Landsat TM and ETM^{+}. International Journal of Remote Sensing, 28(19): 4285-4309

McCool, D.K., L.C. Brown, and G.R. Foster (1987) Revised slope steepness factor for the Universal Soil Loss Equation. Transactions of the ASAE, vol. 30, pp. 1387-1396.

McCool, D.K., G.R. Foster, C.K. Mutchler, and L.D. Meyer (1989) Revised slope length factor for the Universal Soil Loss Equation. Transactions of the ASAE, vol. 32, pp. 1571-1576.

Mesén L., Roger. (2009). "Implementación del modelo de erosión RUSLE como herramienta de planificación regional en algunas cuencas de la Fila Costeña." Informe de proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciado en Ingeniería Civil.

MyWeather2.com 2017. Climate History for Arba Minch'. Available at: http://www.myweather2.com/City-Town/Ethiopia/Arba-Minch/climate-profile.aspx

Morgan R P C (1995). Soil Erosion and Conservation. 2nd ed. Essex: Longman Group, UK Ltd, London, 1–191

PennState. 2011. EARTH 105: Environments of Africa: Precipitation and the Inter Tropical Convergence Zone [online]. Pennsylvania. Available at: https://courseware.e-education.psu.edu/courses/earth105new/content/lesson07/03.html

P.J.J. Desmet & G. Govest. A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units.

Richards, J.A. 1993. Remote Sensing Digital Image Analysis-An Introduction, 2nd Edition. Springer-Verlag, Berlin.

Rubel, F., and M. Kottek, 2010: Observed and projected climate shifts 1901-2100 depicted by world maps of the Köppen-Geiger climate classification. *Meteorol. Z.*, **19**, 135-141. DOI: 10.1127/0941-2948/2010/0430.

Skole, D., Chomentowski, W., Salas, W., Nobre A. 1994. Physical and Human Dimensions of Deforestation in Amazonia. Bioscience 44 (5):314-322

SOROMESSA, Teshome, Demel TEKETAY and Sebsebe DEMISSEW. 2004. Ecological study of the vegetation in Gamo Gofa zone, Southern Ethiopia. *Tropical Ecology*. **45**(2), 209-221.

The World Bank [online] (2016). Population growth - Ethiopia. The World Bank Group. Available at: http://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.GROW?locations=ET

Wieschmeier, W.H. & Smith, D.D. (1978). Predicting rainfall erosion losses – a guide to conservation planning.

Zemenu, D., & Minale, A.S. (2014). Adoption of soil conservation practises in North Achefer District, Northwest Ethiopia, Chinese, Journal of Population Resources and Environment, 12.