

Procjena rizika od obalne erozije u Liberiji

Oršanić, Bruno

Master's thesis / Diplomski rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:169:467206>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-19**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET
Diplomski studij geološkog inženjerstva

PROCJENA RIZIKA OD OBALNE EROZIJE U LIBERIJI
Diplomski rad

Bruno Oršanić
GI 334

Zagreb, 2020.

Sveučilište u Zagrebu
Diplomski rad
Rudarsko-geološko-naftni fakultet

PROCJENA RIZIKA OD OBALNE EROZIJE U LIBERIJI

BRUNO ORŠANIĆ

Diplomski rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo
Pierottijeva 6, 10002 Zagreb

Sažetak

Cilj istraživanja provesti prostornu analizu procjene rizika od obalne erozije za državu Liberiju u mjerilu 1:1.500.000 na temelju svih dosadašnjih istraživanja i dostupnih podataka u državnim i ostalim internacionalnim arhivama. Analizirano je pet glavnih preduvjeta za eroziju: godišnja stopa erozije i akrecije, inundacija morske vode, gustoća naseljenosti, kulturna baština te pokrov i namjena zemljišta. Metoda primijenjena u istraživanju je korištena ranije u istraživanju Trumbić (2018) za procjenu ranjivosti obale u Orrishi (Indija). Metodologija se bazira na heurističkim procjenama koje se oslanjaju na iskustveno znanje stručnjaka koji definira faktorske karte, klase i težinske vrijednosti pojedinih klasa faktorskih karata koje će se koristiti pri procjeni. Tako pripremljene karte težinskih faktora zbrojene su i označavaju područja podijeljena prema stupnjevima relativnog rizika. Izvedeno je ukupno sedam klasifikacija od kojih je pet automatski generirano iz programa ArcGIS, dok su dvije provedene s obzirom na iskustvenu procjenu stručnjaka. Pokazalo se da iskustvena metoda *Klasifikacije 2* daje najoptimalnije rezultate te je 53,40% istraživanog područja klasificirano kao područje relativno niskog rizika, 31,78% kao područje relativno srednjeg rizika, 9,83% kao područje relativno visokog rizika te 4,99% kao područje relativno vrlo visokog rizika. S obzirom na trenutno stanje, nužno je poduzeti mjere prevencije od obalne erozije počevši na sjeverozapadnom dijele Liberije gdje je obala izloženija procesu obalne erozije.

Ključne riječi: erozija, ranjivost, hazard, faktor, rizik, klasifikacija, Liberija

Diplomski rad sadrži: 65 stranica, 15 tablica, 45 slika, 14 priloga i 32 reference

Jezik izvornika: hrvatski

Diplomski rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta
Pierottijeva 6, Zagreb

Mentorica: prof. dr. sc. Snježana Mihalić Arbanas, redovita profesorica
Komentorica: dr. sc. Sanja Bernat Gazibara, poslijedoktorandica

Ocjenjivači: Prof. dr. sc. Snježana Mihalić Arbanas, redovita profesorica, RGN fakultet Sveučilišta u Zagrebu
Doc. dr.sc. Martin Krkač, docent, RGN fakultet Sveučilišta u Zagrebu
Prof. dr.sc. Željko Arbanas, redoviti profesor, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci

Datum obrane: 17. srpnja 2020.

COASTAL EROSION RISK ASSESSMENT IN LIBERIA

BRUNO ORŠANIĆ

Thesis completed in : University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering
Department of Geology and Geological Engineering
Pierottijeva 6, 10002 Zagreb

Abstract

The goal of the research was to make an erosion risk assesment map for the coast of Liberia in regional scale of 1:1.500.000 based on all conducted research on similar topics and available data in the state or other international archives. Five main erosion factors were analysed: yearly rate of erosion and accretion , sea water inundation, population density, cultural heritage and land use land cover data. The method used in this thesis was used in the research conducted by Ivica Trumbić regarding land vulnerability mapping for the state od Orrisha in India in the year 2018. Methodology is based on heuristic assesments which rely on experiential knowledge of the expert who decides which factors have to be factored into the analysis. These factors are then processed and later on added up showing the areas divided according to the degrees of relative risk. The factors went through 7 different classification types. Five of those were generated by the software ArcGIS while the other two were manually specified by according to the researchers' experiential assessment. Analysis showed that the experiential classification Klasifikacija 2 is the most accurate. It showed that 53,40% of the researched area is classified as the area with low degree of relative risk, 31,78% as the area with medium degree of relative risk, 9,83% as area with high degree of relative risk and 4,99% as area with very high degree of relative risk. With regards to the current conditions, it is necessary to take coastal erosion prevention measures starting with northwest part of Liberia where the coast is exposed to the coastal erosion process the most.

Keywords: erosion, vulnerability, hazard, factor, risk, classification, Liberia

Thesis contains: 65 pages, 15 tables, 45 pictures, 14 enclosures i 32 references

Original in: Croatian

Thesis deposited in: Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering
Pierottijeva 6, Zagreb

Supervisor: Prof. Snježana Mihalić Arbanas, Full professor

Technical support and assistance: Dr. Sanja Bernat Gazibara, Postdoctoral researcher

Reviewers: Prof. Dr.Snježana Mihalić Arbanas, Full Professor, UNIZG-RGNF
Assist. Prof. Dr.Martin Krkač, Assistant Professor, UNIZG-RGNF
Prof. Dr.Željko Arbanas, Full Professor, UNIRI-GF

Date of defense: 17 July 2020.

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. PRIRODNE ZNAČAJKE	3
2.1. Geografske značajke	3
2.2. Geološke značajke	7
2.3. Klima	8
3. METODOLOGIJA	11
3.1. Procjena obalne ranjivosti otoka Cape Hatteras na povišenje razine mora, 2004....	11
3.2. Procjena obalne ranjivosti Sjevernog Meksičkog zaljeva na povišenje razine mora, 2010.	14
3.3. Evaluacija obalne ranjivosti saveznog teritorija Indije, Puducherry, 2012.	16
3.4. Evaluacija obalne ranjivosti države Orissa, 2010.....	18
3.5. Procjena rizika od obalne erozije Liberije	20
3.6. Klasifikacija rizika od obalne erozije	26
4. ULAZNI PODACI	27
4.1. Stopa erozije/akrecije	27
4.2. Razina mora	29
4.3. Namjena i pokrov zemljišta	30
4.4. Gustoća naseljenosti	32
4.5. Kulturna baština.....	33
5. FAKTORSKE KARTE	35
5.1. Karta hazarda erozije i akrecije	36
5.2. Karta inundacije morske vode	37
5.3. Karta ranjivosti namjene i pokrova zemljišta	39
5.4. Karta ranjivosti stanovništva	41
5.5. Karta ranjivosti kulturne baštine.....	43
6. REZULTATI.....	45
6.1. Karta hazarda	45
6.2. Karta ranjivosti	46
6.3. Rizik.....	47
6.3.1. Metoda kvantila	48
6.3.2. Metoda prirodnih granica.....	49
6.3.3. Metoda geometrijskih intervala	51
6.3.4. Metoda standardne devijacije	52
6.3.5. Klasifikacija 1	54
6.3.6. Klasifikacija 2	56
6.3.7 Sažetak rezultata klasifikacijskih metoda	59

7. DISKUSIJA.....	60
8. ZAKLJUČAK	62
9. LITERATURA.....	63

POPIS SLIKA

Slika 2.1 Geografski smještaj Liberije.	3
Slika 2.2 Prikaz Liberije s osnovnim geografskim obilježjima.	4
Slika 2.3 Digitalni visinski model Liberije (JAXA, 2018).	5
Slika 2.4 Administrativne jedinice Liberije uz obuhvat istraživanog područja.	6
Slika 2.5 Primjer prosječne kuće u priobalnom pojasu Liberije (UNDP, 2018).	7
Slika 2.6 Pojednostavljena geološka karta Liberije (Liberian Geological Survey, 1974). ...	8
Slika 2.7 Karta klimatskih zona Afrike prema Köppen-Geiger klasifikaciji (ESDAC,2013).	9
Slika 2.8 Prosječna godišnja temperatura Afrike (ESDAC,2013).	9
Slika 2.9 Raspodjela srednjih godišnjih oborina Afrike (ESDAC,2013).	10
Slika 3.1 Karta ranjivosti obale otoka Cape Hatteras (Pendleton et al., 2004).	12
Slika 3.2 Geografski smještaj Sjevernog Meksičkog zaljeva.	15
Slika 3.3 Rezultati analize obalne ranjivosti saveznog teritorija Puducherry (Mani Murali et al., 2013).	17
Slika 3.4 Geografski smještaj države Orrisa.	19
Slika 3.5 Grafički prikaz korištene metodologije (Trumbić, 2018).	21
Slika 4.1 Područje istraživanja stope erozije i akrecije (Awange, 2018).	28
Slika 4.2 Podjela istraživanja stope erozije i akrecije podijeljeno u 3 zone (Awange, 2018).	28
Slika 4.3 Dnevna promjena razine mora u Liberiji (Awange et al., 2018).	30
Slika 4.4 Pokrov i namjena zemljišta u Liberiji (USGS, 2013).	31
Slika 4.5 Procjenjena gustoća naseljenosti u Liberiji (USAID, 2016).	33
Slika 5.1 Podjela istraživanog područja.	35
Slika 5.2 Udio površine erozije i akrecije u istraživanom području.	36
Slika 5.3 Karta hazarda erozije i akrecije (isječak iz priloga 1).	37
Slika 5.4 Površinska raspodjela SHI na istraživanom području.	38
Slika 5.5 Karta hazarda inundacije morske vode (isječak iz priloga 2).	39
Slika 5.6 Površinska raspodjela LVI u istraživanom području.	40
Slika 5.7 Karta ranjivosti namjene i pokrova zemljišta (isječak iz priloga 3).	41
Slika 5.8 Površinska raspodjela PVI u istraživanom području.	42
Slika 5.9 Karta ranjivosti populacije (isječak iz priloga 4).	42
Slika 5.10 Površinska raspodjela HVI u istraživanom području.	43

Slika 5.11 Karta ranjivosti kulturne baštine (isječak iz priloga 5).	44
Slika 6.1 Karta relativnog hazarda u istraživanom području (isječak iz priloga 6).	46
Slika 6.2 Karta relativne ranjivosti u istraživanom području (isječak iz priloga 7).	47
Slika 6.3 Karta relativnog rizika u istraživanom području (isječak iz priloga 8).	48
Slika 6.4 Površinski udio stupnja rizika u istraživanom području prema metodi kvantila.	49
Slika 6.5 Karta relativnog rizika izrađena metodom kvantila (isječak iz priloga 9).	49
Slika 6.6 Površinski udio klasa rizika na istraživanom području prema metodi prirodnih granica.	50
Slika 6.7 Karta relativnog rizika izrađena uz pomoć Natural breaks klasifikacije (isječak iz priloga 10).	51
Slika 6.8 Površinski udio stupnja rizika u istraživanom području prema metodi geometrijskih intervala.	52
Slika 6.9 Karta relativnog rizika izrađena prema metodi geometrijskih intervala (isječak iz priloga 11).	52
Slika 6.10 Površinski udio stupnja rizika u istraživanom području prema metodi standardne devijacije.	53
Slika 6.11 Karta relativnog rizika izrađena prema metodi standardne devijacije (isječak iz priloga 12).	54
Slika 6.12 Površinski udio stupnja rizika u istraživanom području prema Klasifikacija 1 klasifikaciji.	55
Slika 6.13 Karta relativnog rizika izrađena uz pomoć „Klasifikacija 1“ klasifikacije (isječak iz priloga 13).	56
Slika 6.14 Površinski udio stupnja rizika u istraživanom području prema Klasifikacija 2 klasifikaciji.	57
Slika 6.15 Karta relativnog rizika izrađena uz pomoć „Klasifikacija 4“ klasifikacije (isječak iz priloga 14).	58

POPIS TABLICA

Tablica 3.1 Klasifikacija faktora za analizu CVI (Pendleton et al., 2004).....	13
Tablica 3.2 Težinske vrijednosti klasa faktorskih karata korištenih prilikom procjene rizika od obalne erozije (Pendleton et al., 2004).....	14
Tablica 3.3 Stupnjevanje faktora osjetljivosti (Pendleton et al. 2010).....	16
Tablica 3.4 Klasifikacija faktora za analizu CVI faktora (Mani Murali et al., 2013).	18
Tablica 3.5 Stupnjevanje faktora osjetljivosti (Kumar et al., 2010).	19
Tablica 3.6 Težinske vrijednosti hazarda akrecije i erozije.	22
Tablica 3.7 Težinske vrijednosti hazarda inundacije morske vode.....	23
Tablica 3.8 Težinske vrijednosti ranjivosti i pokrova zemljišta.....	24
Tablica 3.9 Težinske vrijednosti ranjivosti stanovništva.	25
Tablica 3.10 Težinske vrijednosti ranjivosti kulturne baštine.....	25
Tablica 3.11 Vrste klasifikacija u Arc GIS programu.....	26
Tablica 4.1 Prosječna promjena obalne linije u metrima i njihova godišnja stopa promjene (Awange et al., 2018).	29
Tablica 4.2 Kategorizacija pokrova i namjene zemljišta (Trumbić, 2018).	32
Tablica 4.3 Kategorizacija kulturne baštine Liberije (Protected Panet, 2020).....	34
Tablica 6.1 Usporedba rezultata procjene rizika uz različite klasifikacije.....	59

POPIS PRILOGA

Prilog 1	Karta hazarda erozije i akrecije mjerila M1:1.500.000
Prilog 2	Karta hazarda inundacije morske vode mjerila M1:1.500.000
Prilog 3	Karta ranjivosti namjene i pokrova zemljišta mjerila M1:1.500.000
Prilog 4	Karta ranjivosti stanovništva mjerila M1:1.500.000
Prilog 5	Karta ranjivosti kulturne baštine mjerila M1:1.500.000
Prilog 6	Karta relativnog hazarda mjerila M1:1.500.000
Prilog 7	Karta relativne ranjivosti mjerila M1:1.500.000
Prilog 8	Karta relativnog rizika (<i>engl. Symbology stretched</i>) mjerila M1:1.500.000
Prilog 9	Karta relativnog rizika (<i>engl. Quantile</i>) mjerila M1:1.500.000
Prilog 10	Karta relativnog rizika (<i>engl. Natural breaks</i>) mjerila M1:1.500.000
Prilog 11	Karta relativnog rizika (<i>engl. Geometric interval</i>) mjerila M1:1.500.000
Prilog 12	Karta relativnog rizika (<i>engl. Standard deviation</i>) mjerila M1:1.500.000
Prilog 13	Karta relativnog rizika (Klasifikacija 1) mjerila M1:1.500.000
Prilog 14	Karta relativnog rizika (Klasifikacija 2) mjerila M1:1.500.000

1. UVOD

Erozija je egzodinamički proces koji obuhvaća odvajanje, pokretanje i transport čestica različitim agensima, a to su vjetar, voda ili led (Benac, 2013). Procesi erozije rezultiraju različitim geomorfološkim oblicima (npr. brazdama, jarugama itd.) a također stvaraju i preduvjete za druge aktivne geomorfološke procese, kao što su klizanja, odronjavanja, tečenja i dr. Erozija predstavlja prirodnu opasnost ili geohazard, jer može uzrokovati materijalne štete i ugrožavati ljude. Obalna erozija se može klasificirati kao strukturna erozija i dinska erozija (Coastalwiki, 2020). Strukturna erozija je najčešća, a manifestira se kao povlačenje obalne linije prema obali. Obalna linija se povlači prema obali zbog toga što je akumulacija obalnih naslaga u deficitu, odnosno prinos sedimenta nije dovoljno velik da neutralizira proces erozije. Dinska erozija se događa kada se valovi podignu visoko iznad obalne linije. Visoki valovi tada erodiraju obalnu dinu i potkopavaju obalu. Zbog toga su obale na kojima se odvija dinska erozija često strme.

Postoji više faktora koji utječu na obalnu eroziju (Nehra, 2016). Jedan o glavnih faktora je geološka građa, pod čime se podrazumijeva vrsta stijena i tala od kojih je obala izgrađena, kao i geološke strukture koje utječu na strukturu i teksturu stijena. Na primjer, ako su slojevi paralelni s obalom, utjecaj erozije je manji. Podaci od 1984. do 2016. godine pokazuju da je 33% površine svjetskih obala izgrađeno od pijeska (Sjeverna Amerika 33%, Južna Amerika 27%, Europa 23%, Azija 35%, Australija 32% i Afrika 67%). Za navedeno razdoblje je također zaključeno da se 24% svjetskih obala erodira brzinom 0,5 m/godišnje, te da je 28% obala pod utjecajem akrecije od preko 0,5 m/godišnje dok je 48% obala stabilno (izmjena erozije i akrecije između -0,5 do 0,5 m/godišnje). Dva kontinenta s najvećom erozijom su Australija i Afrika gdje erozija varira između 0,2 i 0,07 m/godišnje. Veliki problem predstavlja i to što erodira većina pješčanih obala u marinskim zaštićenim područjima (Luijendijk et al., 2018).

Istraživanja utjecaja erozije na stanovništvo i okoliš provode se zbog razvoja mjera zaštite od hazarda i rizika erozije. Iako se ne može predvidjeti kada će se određeni geohazard dogoditi, provode se procjene rizika od strane državnih i privatnih institucija. Državne uprave koriste informacije o riziku kako bi poduzele mjere sanacije geohazarda i mjere zaštite stanovništva (npr. evakuacijski planovi).

U sklopu preventivnih mjera upravljanja rizicima od erozije, izrađuju se karte rizika koje grafički prikazuju zone vjerojatnosti i jačine nepovoljnih učinaka na stanovnike, materijalna

dobra i infrastrukturu i/ili na okoliš. Rizik se obično definira kao umnožak indeksa hazarda i indeksa ranjivosti. Hazard je vjerojatnost pojavljivanja potencijalno štetnih prirodnih pojava (Varnes, 1984), dok je ranjivost stupanj gubitka pojedinog elementa (čovjek, elementi pod rizikom i sl.) na području zahvaćenom erozijom.

Obala Liberije je izrazito podložna utjecaju erozije zbog prirodnih uvjeta, kao i zbog klimatskih promjena, (UNDP, 2015). Izrada i redovito osvježavanje podataka utjecaja erozije je od strateške važnosti za državu (Poornima & Chinthaparthi, 2014). Budući da ekonomija države prolazi kroz teško razdoblje (unutarnji politički sukobi, epidemije virusa, povećani broj poplava i loš raspored naseljenosti stanovništva), ne postoje potrebna sredstva i resursi za pravilno praćenje i analizu utjecaja erozije na obalu Liberije.

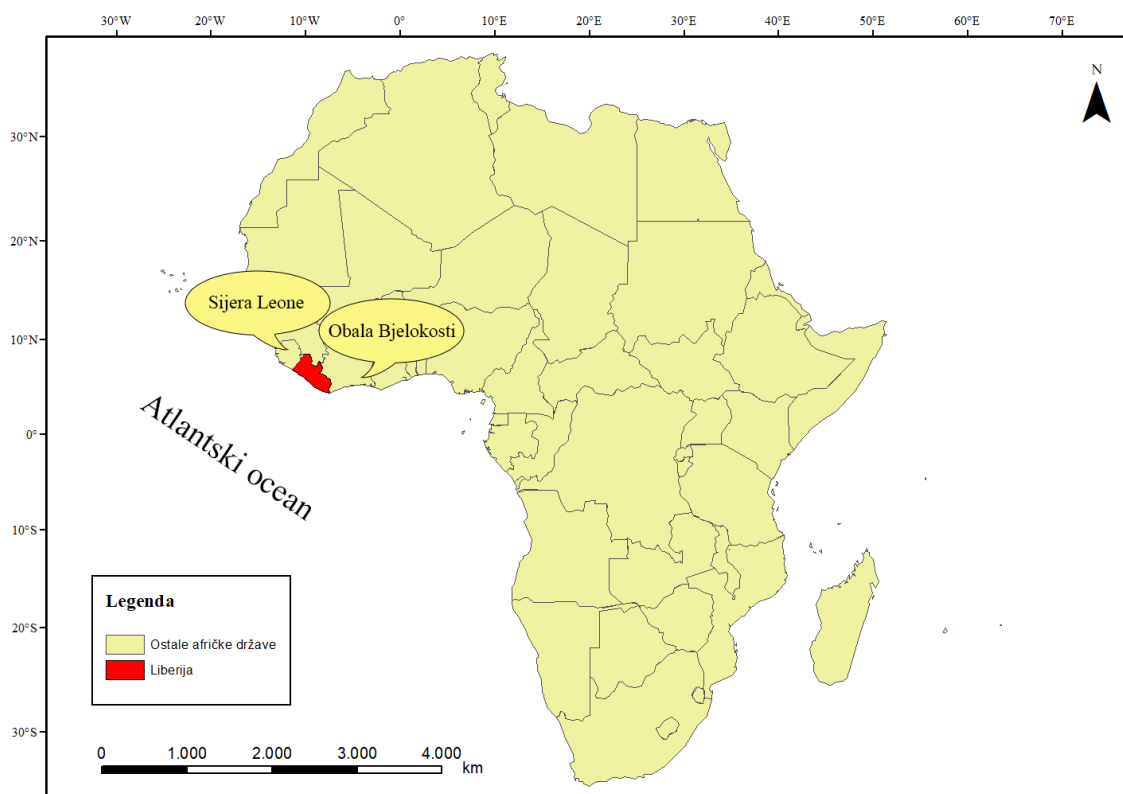
U ovome radu je prikazana metodologija izrade karte rizika od erozije za afričku državu Liberiju. Za procjenu hazarda i rizika primijenjen je heuristički pristup u kojemu se koriste iskustveni kriteriji u svim fazama analize, od odabira faktora za analize hazarda i rizika, do ocjene njihovog utjecaja na analizirani hazard ili rizik. Heuristička metoda je detaljnije objašnjena u poglavlju 3. Prostorna analiza procjene rizika od erozije obale u Liberiji provedena je u GIS-u. Metodologija rada preuzeta je iz procjene rizika prema Trumbić (2018) koja je provedena u državi Orissa u Indiji s ciljem zaštite i prevencije opasnih utjecaja erozije. Ulazni podaci za analize hazarda, ranjivosti i rizika provedene u ovom radu preuzeti su iz nacionalnih ili međunarodnih baza podataka ili iz postojeće dokumentacije o prethodnim istraživanjima na području Liberije. Svrha istraživanja bilo je zoniranje rizika obalnog područja Liberije temeljem prikupljenih podataka o stanju erozije i akrecije, inundaciji morske vode, namjeni i pokrovu zemljišta, gustoći naseljenosti te kulturnoj baštini. Karta rizika od erozije izrađena je samo za područje širine 15 kilometara od obale prema unutrašnjosti (prilog 1) zbog toga što svi navedeni podaci ne postoje za cijelo područje Liberije.

2. PRIRODNE ZNAČAJKE

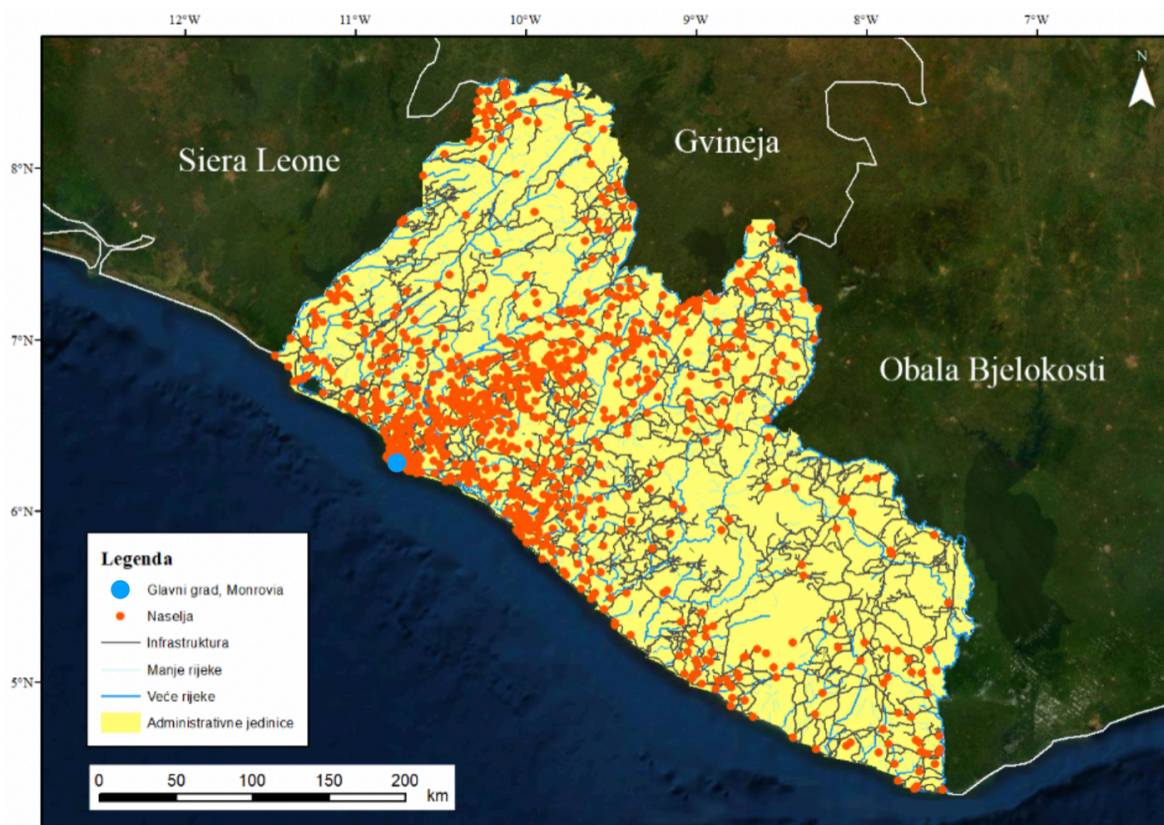
U ovom poglavlju predstavljene su prirodne značajke Liberije kako bi se bolje razumio utjecaj različitih geohazarda na okoliš. U prirodne značajke nabrojane su geografske, geološke te klimatske značajke. Općenito se može reći kako su preduvjeti erozije vlažna klima s obilnom kišom i razvijenom hidrologijom, suho i rahlo tlo te povišenje razine mora s većim razlikama između plime i oseke.

2.1. Geografske značajke

Liberija nalazi se u Sub-Saharsko području, odnosno u zapadnom dijelu Afrike, te jugoistočno od Sjera Leone, zapadno od Obala Bjelokosti, a sa zapadne strane državu okružuje Atlantski ocean (slika 2.1). Na slici 2.2 označena je pozicija glavnog grada Monrovia u odnosu na ostala naselja u Liberiji, te se može zaključiti kako se gustoća naselja povećava približavanjem obalnom pojasu. Duljina kopnene granice iznosi 1.587 km. Važni resursi koje Liberija posjeduje su željezo, dijamanti, zlato i hidroenergija.

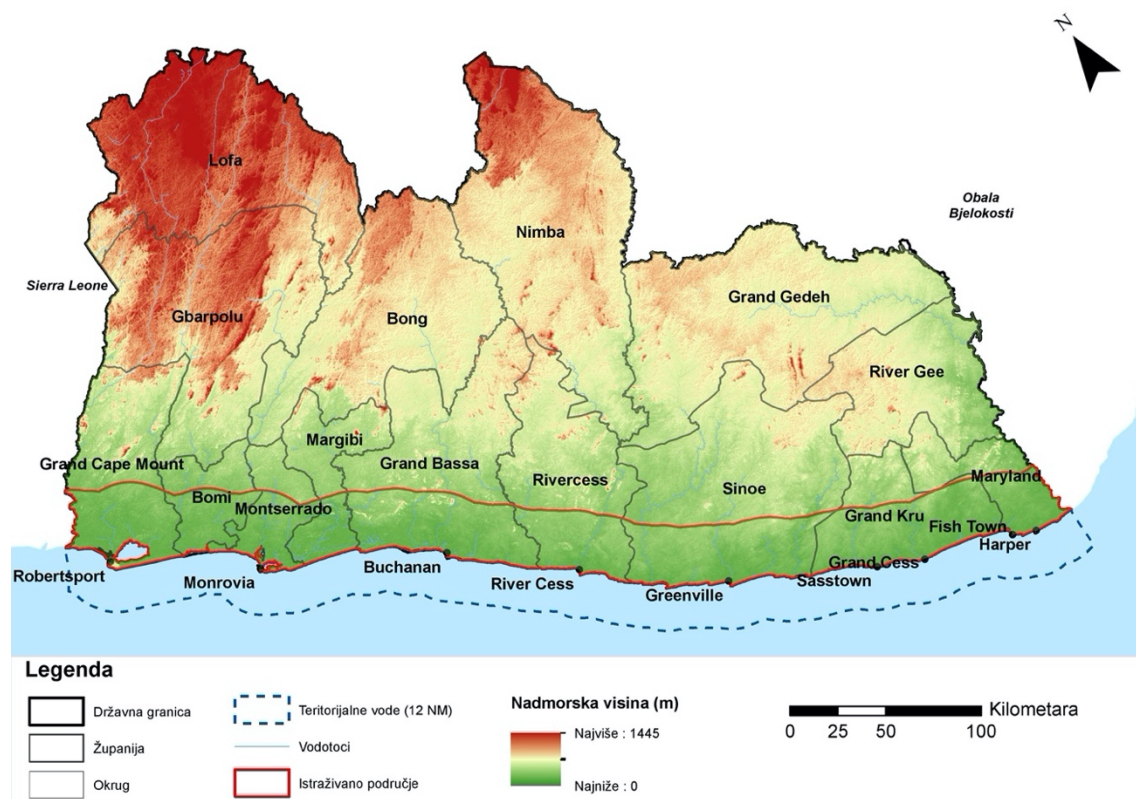


Slika 2.1 Geografski smještaj Liberije.



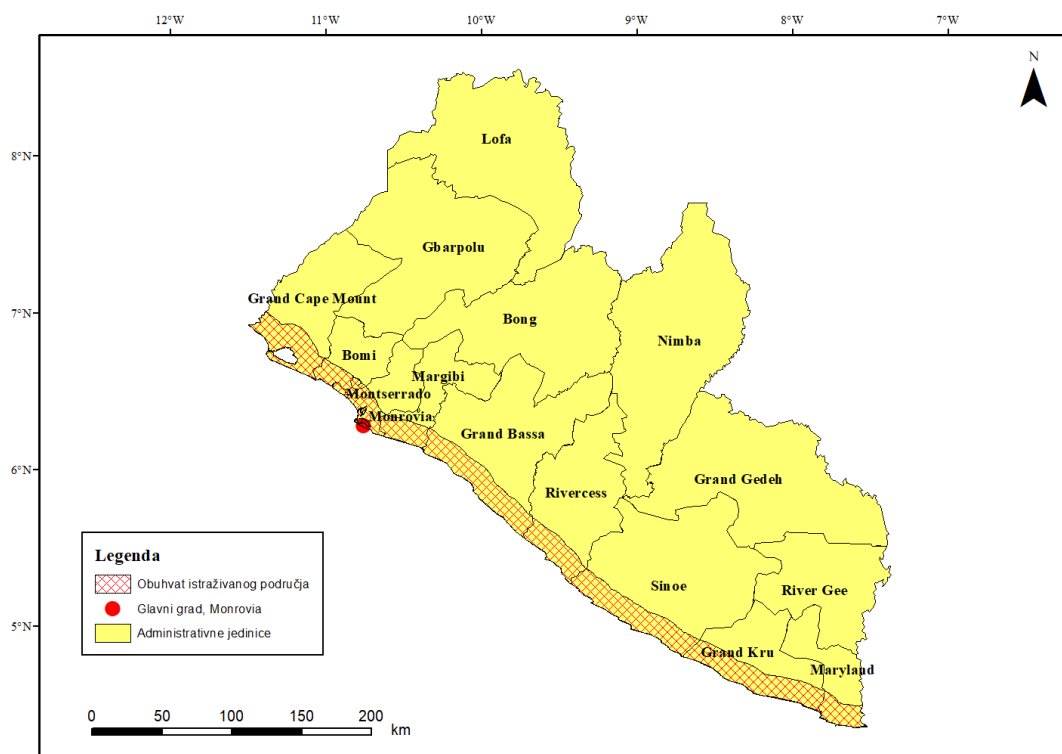
Slika 2.2 Prikaz Liberije s osnovnim geografskim obilježjima.

Prema digitalnom modelu reljefa (slika 2.3) (engl. *Digital Elevation Model*, u daljnjem tekstu „DEM“), preuzetom od JAXA-e (engl. Japan Aerospace Exploration Agency) je vidljivo kako je najniža točka Liberije 0 m n. m., a najviše 1.445 m n. m. Rezolucija DEM-a je 32 m, a posljednji puta su ažurirane u travnju 2018. godine. Nadmorska visina istraživanog područja je u rasponu od 0 – 165 m n. m. No većina površine je u gotovo istoj razini kao i nadmorska visina mora zbog čega je posebno ranjivo na prirodne procese.



Slika 2.3 Digitalni visinski model Liberije (JAXA, 2018).

Prema posljednjim procjenama stanovništva provedenog 2019. godine, Liberija broji 4.937.00 stanovnika na površini od 111.369 km² (UN, 2019). Liberija je podijeljena na 15 upravnih jedinica. Glavni grad Monrovia, nalazi se u upravnoj jedinici Montserado, ujedno i najnaseljenijoj jedinici Liberije koja broji 1.118.241 stanovnika prema zadnjem službenom popisu stanovništva 2008. Monrovia je u prošlosti služila kao odredište za robove iz Amerike i sudjelovala je u brojnim civilnim sukobima. Zbog toga je povijesno od važne uloge i centralno tržište u Liberiji. Od granice na sjeverozapadu do granice na jugoistoku, istraživano područje obuhvaća priobalne dijelove 9 upravnih jedinica: Grand Cape Mount, Bomi, Montserrado, Margibi, Grand Bassa, Rivercess, Sinoe, Grand Kru i Maryland (slika 2.4).



Slika 2.4 Administrativne jedinice Liberije uz obuhvat istraživanog područja.

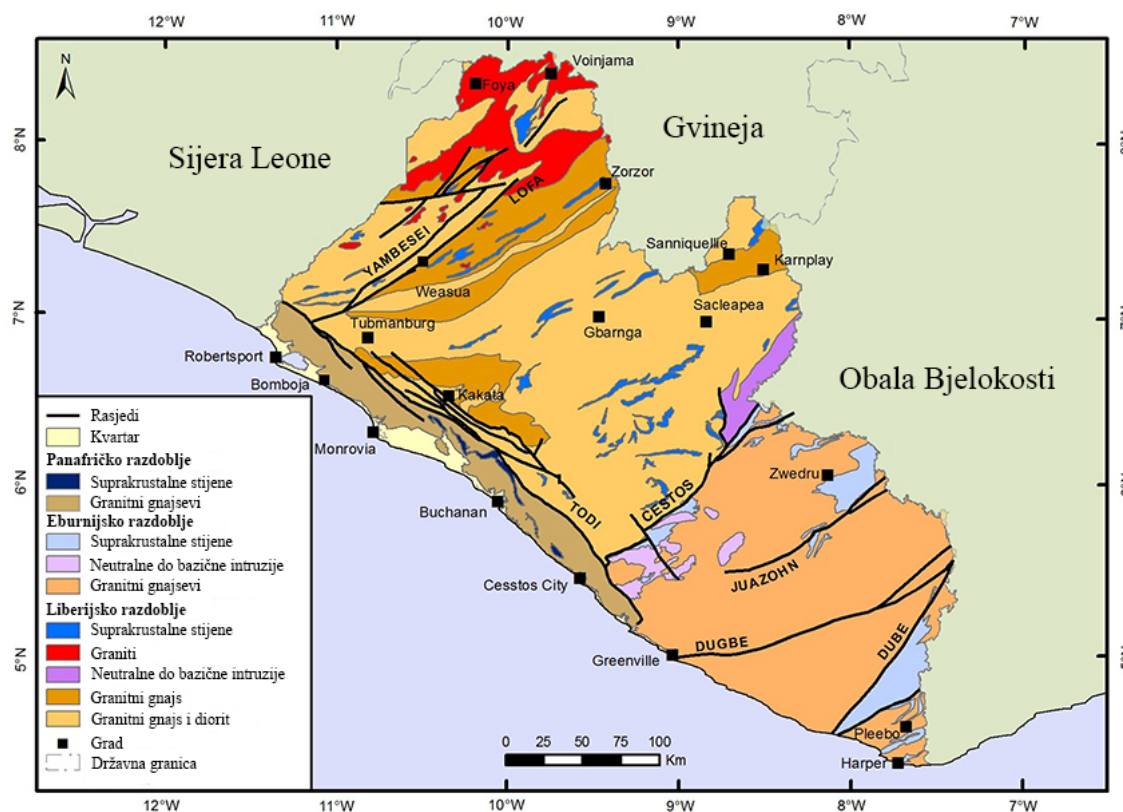
Najgušće naseljeni dijelovi Liberije su u obalnom pojasu, dok je unutrašnjost vrlo rijetko naseljena s gustoćom stanovnika do 20 st./km² (ESRI, 2016). Razlog tomu je veća ekonomska razvijenost i prilike koje pruža priobalno područje. Blizina oceanu i niska nadmorska visina su preduvjet za brži razvoj i nesmetanu komunikaciju sa svjetskim tržištem. Duljina priobalnog pojasa Liberije iznosi 559 km gdje se nalazi približno 58% populacije (Nicholls & Cazenave, 2010), od kojih većina živi u niskim i nestabilnim kućama u blizini plaže (UN DESA, 2015). Obala na zapadu je većinom niska i pješčana, a u centralnom dijelu i na istoku je pješčana i stjenovita (slika 2.5).



Slika 2.5 Primjer prosječne kuće u priobalnom pojasu Liberije (UNDP, 2018).

2.2. Geološke značajke

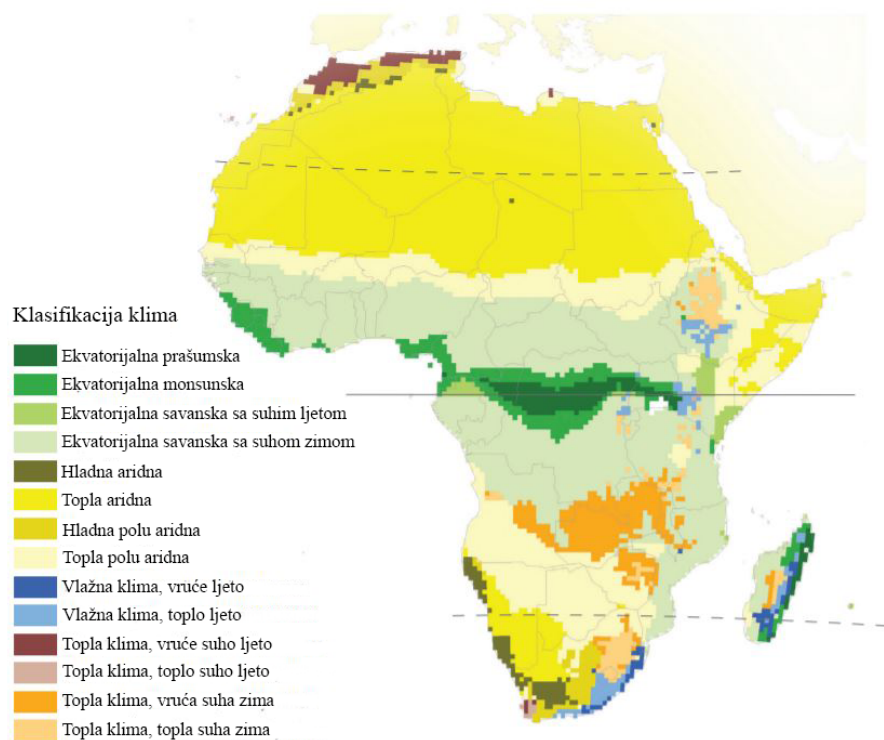
Prema kartama koje su izradili Britanskom geološkom institutu (*engl. British Geological Survey*) i Liberijskom geološkom institutu (*engl. Liberian geological survey*), Liberija je smještena na kratonu Man koji se sastoji od dva bloka arhajskih i paleoproterozojskih stijena (Liberian Geological Survey, 1974). Arhajski dio građen je od granita, granitnih gnajseva i magmatita starosti između 2,5 – 3 milijardi godina dok je paleoproterozojski dio građen od bazičnih intruzija, granita i dioritičnih gnajseva starosti između 1,8 – 2,5 milijardi godina. Granica između dva spomenuta bloka nije jasno definirana. Treći, panafrički dio, star približno 550 milijuna godina smješten je paralelno s obalnom linijom, a od dva prethodno spomenuta bloka, odvojen je rasjedima orijentacije SZ – JI (slika 2.6). Geološka građa Liberije uvjetovala je veliki potencijal za eksploataciju metalnih i mineralnih industrijskih sirovina, ali je zbog nedostatka resursa područje nedovoljno istraženo.



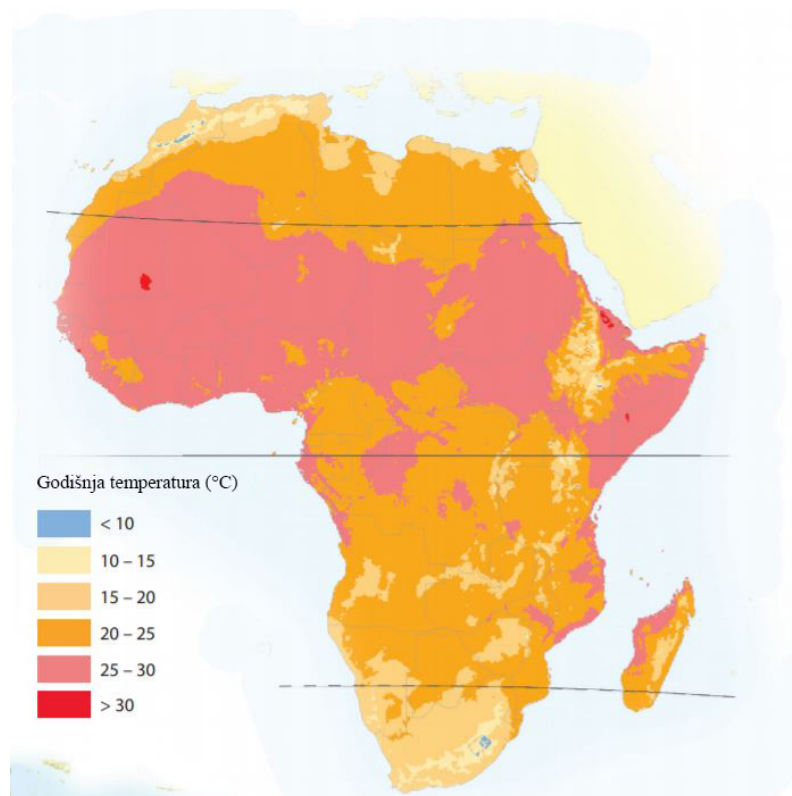
Slika 2.6 Pojednostavljena geološka karta Liberije (Liberian Geological Survey, 1974).

2.3. Klima

Prema Köppen-Geiger klasifikaciji, Liberija pripada ekvatorijalno - monsunskoj klimi koju karakterizira nejednaki raspored obilnih kiša te prašumski pokrov zemljišta (slika 2.7) (ESDAC, 2013). Iako se nalazi približno 26° sjeverno od ekvatora, prosječne temperature na području Liberije nisu ekstremne, a razlog tome je formiranje oblaka i obilne kiše koja sprečavaju temperature iznad 33°C . Prosječna godišnja temperatura u Liberiji iznosi $25 - 30^\circ\text{C}$ uz mjestimični pad prosječne godišnje temperature na $20 - 25^\circ\text{C}$ što se vidi na slici 2.7 (ESDAC, 2013). Liberija, kao i ostatak zapadne Afrike, ima vlažno i suho razdoblje koje se izmjenjuje zbog interakcije dviju migrirajućih zračnih masa. Prva je vruća tropska kontinentalna zračna masa koja dolazi sa sjevera i ima visoki tlak zbog čega diže prašinu i pijesak. Ovo se još naziva i *Harmattan* (Encyclopedia Britannica, 2019) koji dolazi iz Sahare. Druga, vlažna, zračna masa dolazi s ekvatora i zbog nje nastaju sjeverozapadni vjetrovi. Utjecaji vlažne zračne mase najviše se osjete tokom srpnja.

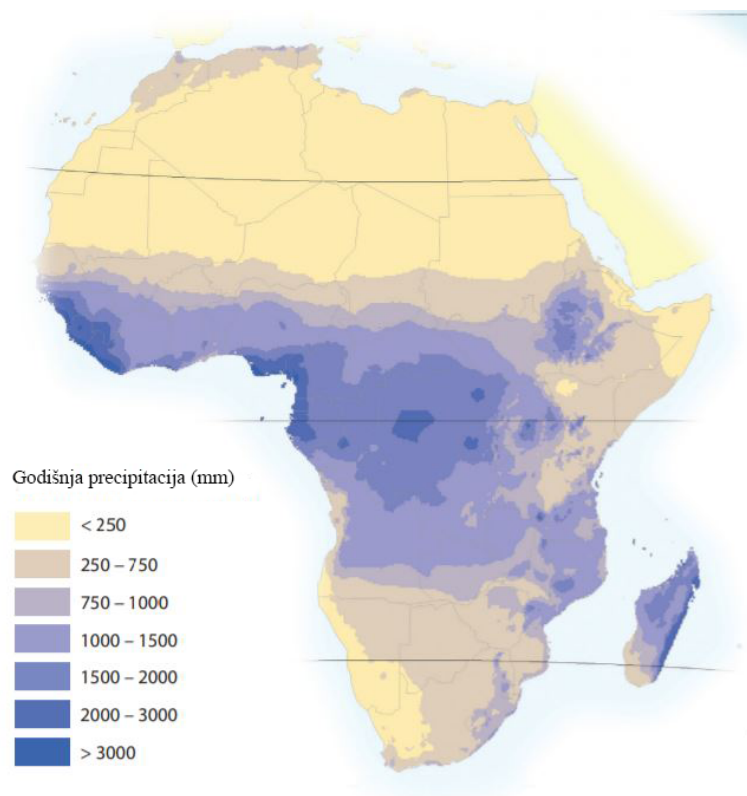


Slika 2.7 Karta klimatskih zona Afrike prema Köppen-Geiger klasifikaciji (ESDAC,2013).



Slika 2.8 Prosječna godišnja temperatura Afrike (ESDAC,2013).

Prema karti raspodjele srednjih godišnjih oborina za područje Afrike (slika 2.9), može se zaključiti kako je prostorna raspodjela oborina u Africi nejednolika. U glavnom gradu Liberije, Monroviji, prosječno padne preko 1.000 mm kiše samo u svibnju, dok na 50% područja Afrike prosječno padne manje od 500 mm kiše. S obzirom na navedeni podatak, Liberija pripada u kategoriju najkišnijih dijelova Afrike gdje u prosjeku padne preko 3.000 mm kiše godišnje (ESDAC,2013). U ranom svibnju, Inter-Tropical Convergence Zone (u daljnjem tekstu „ITCZ“) dolazi u Liberiju s juga. Sa sobom donosi jake kiše i oluje koje obilježavaju početak kišne sezone koja se nastavlja sve do srpnja kada se ITCZ nalazi duboko u kontinentu. Do kraja srpnja i početka kolovoza, oborine se bitno smanje (Gatter, 1997). U sjevernoj polovici Liberije se oborine mogu razdužiti jer ITCZ nikada ne prođe dovoljno duboko u kontinent da njegov utjecaj na Liberiju prestane što traje sve do rujna (Gatter, 1997). U hladnijim mjesecima, ITCZ ponovno odlazi prema jugu i tako se ciklus ponavlja.



Slika 2.9 Raspodjela srednjih godišnjih oborina Afrike (ESDAC,2013).

3. METODOLOGIJA

Rizik je očekivani stupanj gubitka kod pojavljivanja hazarda (Varnes, 1984). Stupanj rizika se klasificira kao niski, srednji i visoki kako bi se tako kvantificirani rizik mogao opisati. Prilikom procjeni rizika erozije na obali Liberije, primijenjena je heuristička metoda procjene čija glavna karakteristika iskustvo i stručnjaka koji provodi prostornu analizu na istraživanom području. Prvi korak analize je definiranje faktora preko kojih se može izraziti stupanj hazarda i ranjivosti od erozije. Slijedeći korak je priprema ulaznih podataka koji su digitalizirani i rasterizirani u faktorske karte na način da svaka ćelija (piksel) poprima određenu vrijednost. Težinski faktori su definirani iskustveno s obzirom na to kako određeni preduvjet ili faktor utječe na pojavu erozije. S obzirom na navedeno, kod heurističke metode procjene rizika stručnjak određuje koji ulazni podaci i faktorske karte će biti korištene, te definira težinske vrijednosti za svaku klasu faktorskih karata. Nakon što su definirane težinske karte, sve karte se preklapaju te se izražava hazard i ranjivost, odnosno rizik istraživanog područja na eroziju. Rizik predstavlja umnožak hazarda i rizika, odnosno iskazan je slijedećom jednačinom:

$$R = H \times V \quad 3.1$$

Gdje je :

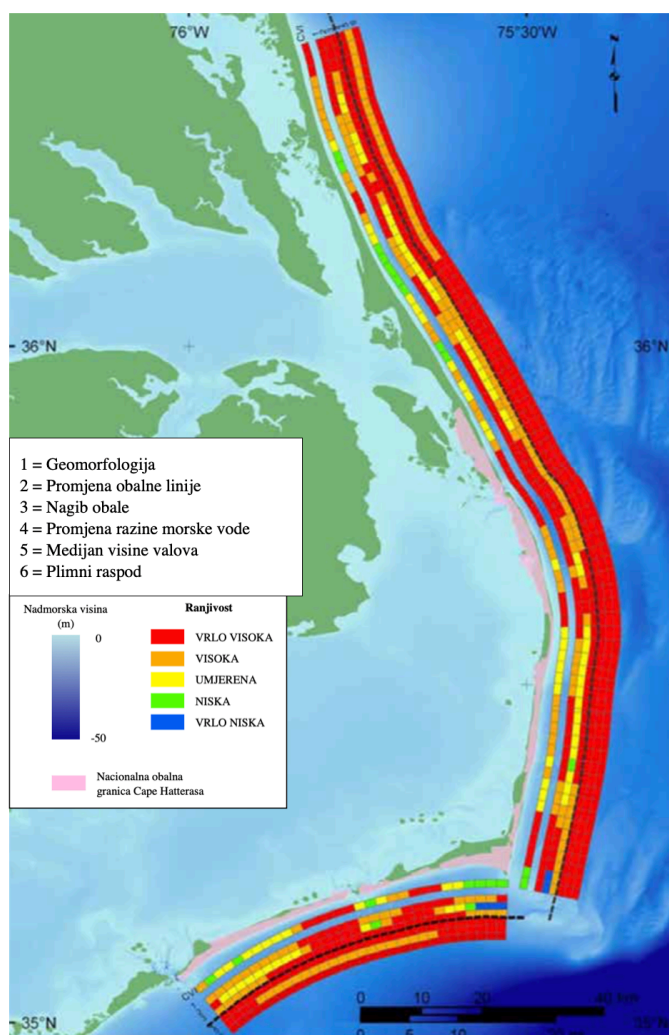
R = ukupni rizik, H = hazard, V = ranjivost.

U nastavku rada prikazana su četiri istraživanja čije su metodologije za procjenu hazarda, ranjivosti i rizika od obalne erozije koje su poslužile kao temelj za izradu ovog diplomskog rada. Opisana istraživanja se uglavnom baziraju na geomorfološkim faktorima kojima se procjenjuje hazard i antropogenim faktorima koji zapravo predstavljaju elemente pod rizikom.. U tom smislu, navedene metodologije istraživanja predstavljaju pregled ulaznih podataka za analizu rizika od obalne erozije.

3.1. Procjena obalne ranjivosti otoka Cape Hatteras na povišenje razine mora, 2004.

United States Geological Survey (u daljnjem tekstu „USGS“) u suradnji s *Geologic Resource Division of National Park Service* (u daljnjem tekstu „NPS“), proveli su analizu utjecaja povišenja morske razine u budućnosti na obalu otoka Cape Hatteras u državi Sjeverna Karolina (Pendleton et al., 2004) . Istraživanje je rezultiralo izradom karte koju je NPS koristio kao referentnu točku prilikom upravljanja obalom. Kao glavni faktor pri izradi karte,

korišten je indeks obalne osjetljivosti (*engl. Coastal Vulnerability Index*, u daljnjem tekstu „CVI“). Karta ranjivosti obale prikazana je na slici 3.1.



Slika 3.1 Karta ranjivosti obale otoka Cape Hatteras (Pendleton et al., 2004).

Korištena metodologija koncentrirana je na šest faktora prikazanih u tablici 3.1. Faktori koji utječu na pojavu obalne erozije grupirani su u dvije grupe: geološki faktori i fizički faktori. Geološki faktori predstavljaju relativnu podložnost obale na eroziju i oni su geomorfologija, promjena obalne linije kroz povijest i nagib terena. Fizički faktori prikazuju stanje hazarda inundacije kroz određeno vremensko razdoblje, a korišteni su faktori su relativna promjena morske razine, medijan visine valova i plimni raspon.

Tablica 3.1 Klasifikacija faktora za analizu CVI (Pendleton et al., 2004).

grupa	faktori
geološki faktori	1. geomorfologija 2. promjena obalne linije kroz povijest 3. nagib obale
fizički faktori	1. relativna promjena morske razine 2. medijan visine valova 3. plimni raspon

Prostorna analiza je provedena na pravilnim ćelijama dimenzija 1,5 x 1,5 km. Za svaku faktorsku karte iz grupe geoloških i fizičkih karata definirane su klase i težinske vrijednosti (tablica 3.2). Težinske vrijednosti su u rasponu od 1 do 5 gdje najnižu ocjenu imaju klase faktorskih karata koji minimalno utječu na podložnost eroziji obale (npr. visoki fjordovi ili stopa akrecije od +2 m godišnje) dok najviše težinske vrijednosti imaju klase faktorskih karata koje znatno utječu na podložnost eroziji obale (npr. niske plaže i lagune uz stopu erozije od -2 m godišnje). CVI faktor izražen je slijedećom jednadžbom:

$$CVI = \sqrt{\frac{a \times b \times c \times d \times e \times f}{6}} \quad 3.2$$

Gdje je:

a = geomorfologija, b = stopa obalne erozije/akrecije, c = nagib obale, d = stopa relativne promjene razine mora, e = medijan visine valova, f = plimni raspon.

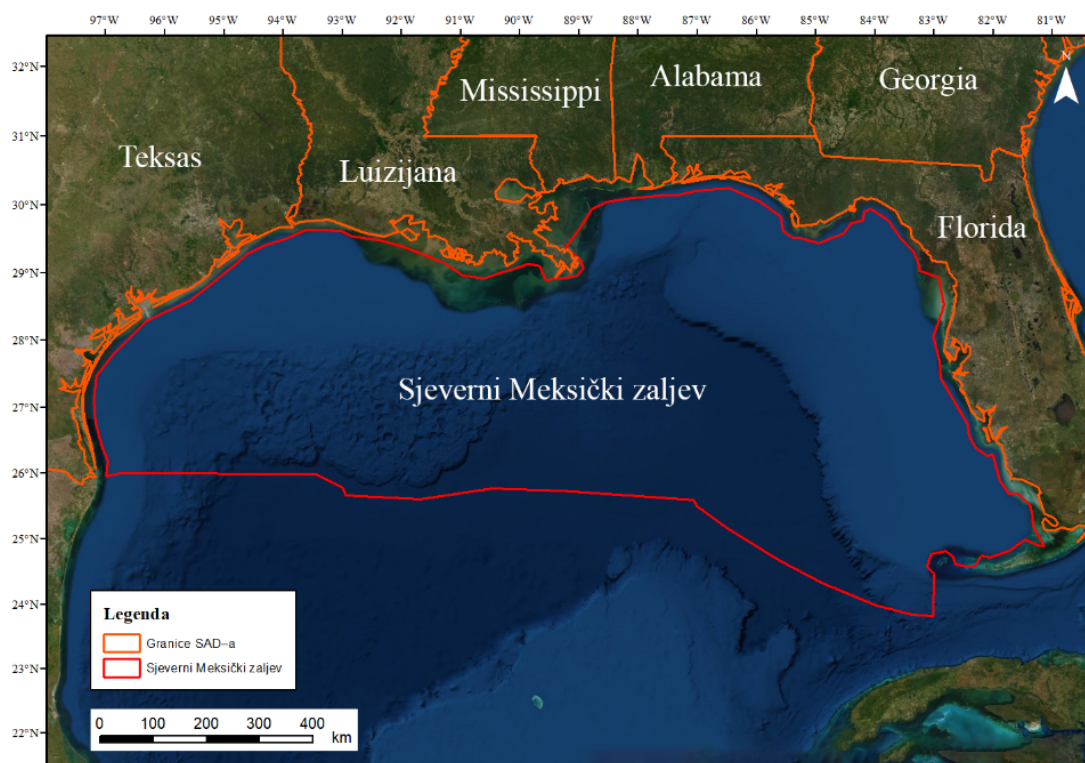
Tablica 3.2 Težinske vrijednosti klasa faktorskih karata korištenih prilikom procjene rizika od obalne erozije (Pendleton et al., 2004).

faktori	vrlo nisko 1	nisko 2	srednje 3	visoko 4	vrlo visoko 5
geomorfologija	fjordovi	srednje visoke litice	niske litice	estuariji i lagune	plaže i koraljni grebeni
erozija / akrecija (m/god)	> +2,0	1,0 – 2,0	(-1,0 – 1,0)	(-2,0 – -1,0)	< -2,0
nagib obale (%)	> 1,20	1,20 – 0,90	0,90 – 0,60	0,60 – 0,30	< 0,30
promjena razine mora (mm/god)	< 1,80	1,80 – 2,50	2,50 – 3,0	3,0 – 3,4	> 3,4
medijan visine valova (m)	< 0,55	0,55 – 0,85	0,86 – 1,05	1,06 – 1,25	> 1,25
plimni raspon (m)	> 6,0	4,0 – 6,0	2,0 – 4,0	1,0 – 2,0	> 1,0

Prema konačnim izvedenim kartama ranjivosti, 26% obale je klasificirano kao obala vrlo visoke ranjivosti. 24% kao obala visoke ranjivosti, 26% kao srednje ranjivosti i 24% kao niske ranjivosti (Pendleton et al, 2004).

3.2. Procjena obalne ranjivosti Sjevernog Meksičkog zaljeva na povišenje razine mora, 2010.

Kao dio projekta „Promjena ekosustava Sjevernog Meksičkog zaljeva“ (Pendleton et al. 2010), USGS je proveo analizu utjecaja povišenja morske razine u budućnosti na obalu Sjevernog Meksičkog zaljeva (slika 3.2). CVI je bio korišten pri izradi karte relativne ranjivosti obale od grada Galvestona u Tekasu do Paname na Floridi.



Slika 3.2 Geografski smještaj Sjevernog Meksičkog zaljeva.

Metodologija u obzir uzima geomorfološke značajke, intenzitet erozije i akrecije, godišnju promjenu kopnene površine, nagib obale, relativnu promjenu razine morske vode, vertikalni pomak, medijan visine valova i plimni raspon. U tablici 3.3 prikazano je bodovanje klasa faktorskih karata. Težinske vrijednosti su u rasponu od 1 do 5 gdje najnižu ocjenu imaju klase faktorskih karata koji minimalno utječu na podložnost eroziji obale (npr. visoki fjordovi ili stopa akrecije od +2 m godišnje) dok najviše težinske vrijednosti imaju klase faktorskih karata koje znatno utječu na podložnost eroziji obale (npr. niske plaže i lagune uz stopu erozije od -2 m godišnje).

Područje istraživanja podijeljeno je na ćelije dimenzija 1 x 1 km. CVI vrijednost izračunata je na temelju bodova iz tablice 3.3. Korištena jednačba za izračun CVI vrijednosti je:

$$CVI = \sqrt{\frac{a \times b \times c \times d \times e \times f}{6}} \quad 3.3$$

Gdje je :

a = geomorfologija, b = stopa obalne erozije/akrecije ili godišnja promjena kopnene površine, c = nagib obale, d = stopa relativne promjene razine mora, e = medijan visine valova, f = plimni raspon.

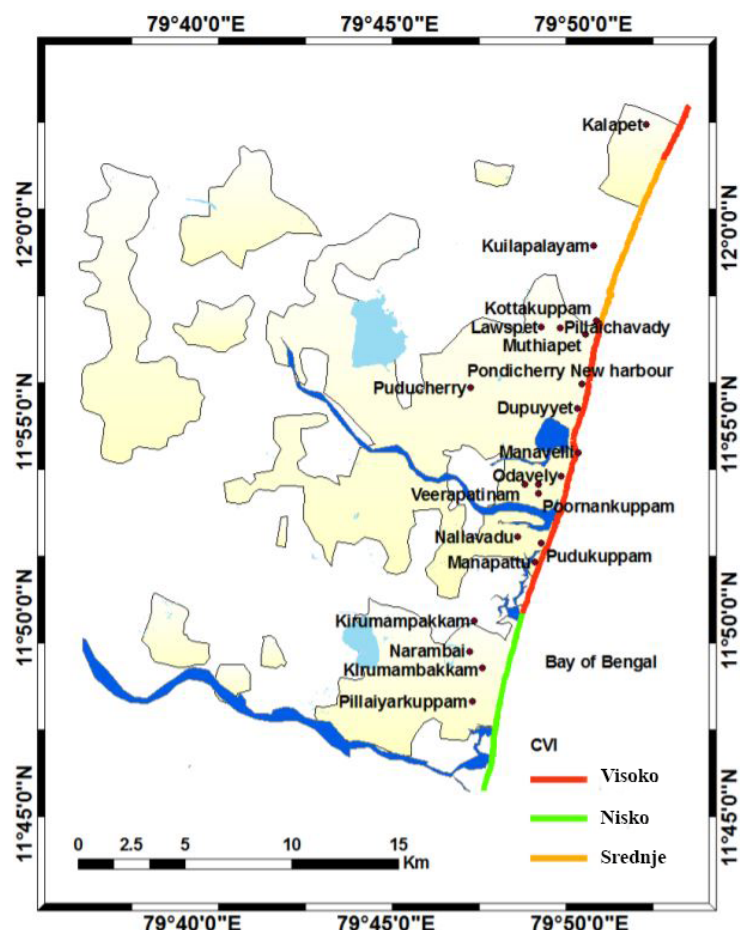
Nakon što je određena CVI vrijednost za cijelo područje istraživanja, izvedena karta je reklasificirana u četiri kategorije ranjivosti.

Tablica 3.3 Stupnjevanje faktora osjetljivosti (Pendleton et al. 2010).

faktori	vrlo nisko 1	nisko 2	srednje 3	visoko 4	vrlo visoko 5
geomorfologija	fjordovi	srednje visoke litice	niske litice	estuariji i lagune	plaže i koraljni grebeni
erozija / akrecija (m/god)	> +2,0	1,0 – 2,0	(-1,0 – 1,0)	(-2,0 – -1,0)	< -2,0
promjena kopnene površine (m ² /km ² /god)	> 1.000	0 – 1.000	(-1.000 – 1,0)	(-2.000 – 1.001)	< -2.000
nagib obale (%)	> 1,20	1,20 – 0,90	0,90 – 0,60	0,60 – 0,30	< 0,30
promjena razine mora (mm/god)	< 1,80	1,80 – 2,50	2,50 – 3,0	3,0 – 3,4	> 3,4
vertikalni pomak (mm/god)	< 1,10	1,10 – 2,40	2,50 – 3,90	4,0 – 5,0	> 5,0
medijan visine valova (m)	< 0,55	0,55 – 0,85	0,86 – 1,05	1,06 – 1,25	> 1,25
plimni raspon (m)	> 6,0	4,0 – 6,0	2,0 – 4,0	1,0 – 2,0	> 1,0

3.3 Evaluacija obalne ranjivosti saveznog teritorija Indije, Puducherry, 2012.

Analizu obalne ranjivosti na povišenje morske razine saveznog teritorija Puducherrya (slika 3.3), proveo je CSIR Institut oceanografije sa sveučilišta u Puducherryu (Mani Murali et al., 2013).



Slika 3.3 Rezultati analize obalne ranjivosti saveznog teritorija Puducherry (Mani Murali et al., 2013).

Opisano istraživanje koristi metodologiju utemeljenu na procesu hijerarhijske analize (Saaty, 1977). Proces hijerarhijske analize omogućava bolje razumijevanje kompleksnih sustava tako što problem restrukturira prema hijerarhijskoj strukturi. Hijerarhiju određuju stručnjaci koji provode istraživanje koji određuju i stupnjevanje ulaznih podataka.

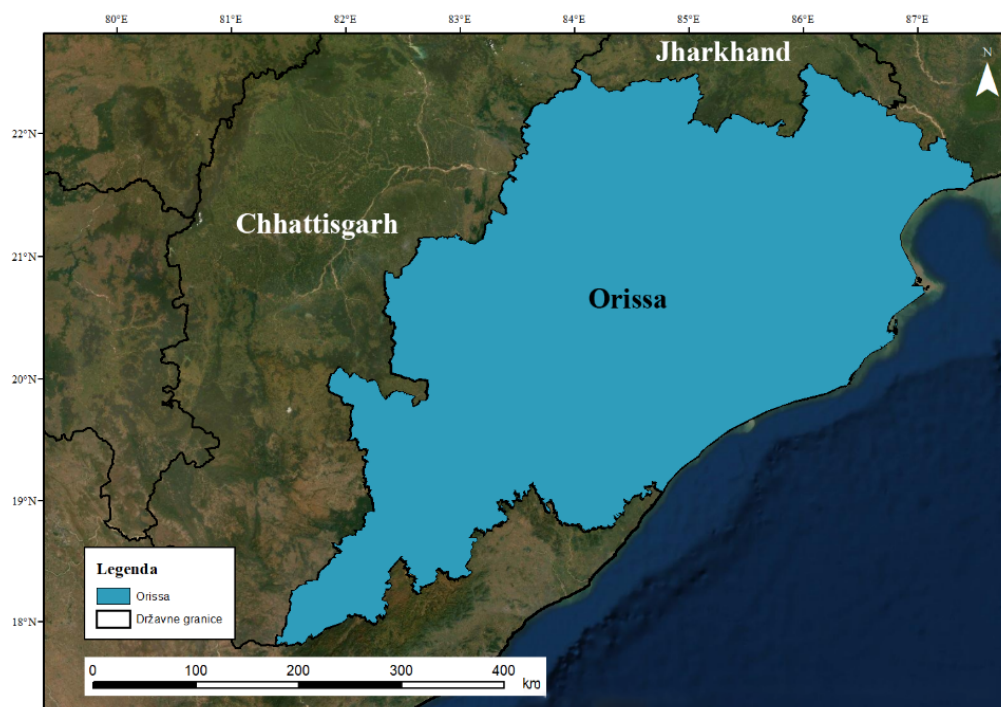
Metoda, za razliku od prethodne dvije, u obzir uzima socio – ekonomske faktore zajedno s fizičkim faktorima. Fizički faktori korišteni su za izračun indeksa fizičke ranjivosti, a socio – ekonomski faktori za izračun indeksa socio – ekonomske ranjivosti. Fizički faktori su: nagib obale, geomorfologija, regionalna visina, erozija/akrecija, promjena razine mora, visina valova te plimni raspon. Socio – ekonomski faktori su: populacija, pokrov i namjena zemljišta, infrastruktura te kulturna baština. Na temelju hijerarhije i bodovanja određenih procesom hijerarhijske analize, konačni CVI faktor je kategoriziran u kategorije niske, srednje i visoke ranjivosti. Tablica 3.4 prikazuje korištene faktore kategorizirane u dvije kategorije.

Tablica 3.4 Klasifikacija faktora za analizu CVI faktora (Mani Murali et al., 2013).

grupa	faktori
geološki faktori	1. nagib obale 2. geomorfologija 3. regionalna visina 4. erozija / akrecija 5. promjena razine morske vode 6. visina valova 7. plimni raspon
fizički faktori	1. populacija 2. pokrov i namjena zemljišta 3. infrastruktura 4. kulturna baština

3.4. Evaluacija obalne ranjivosti države Orissa, 2010.

Predstavljeno istraživanje je vrlo slično istraživanjima iz potpoglavlja 3.1. i 3.2 (Kumar et al., 2010). Analiza obalne ranjivosti na povišenje morske razine države Orissa (slika 3.4), provedena je koristeći osam faktora: stopa promjene obalne linije mjerena u metrima po godini, relativna promjena razine mora mjerena u milimetrima po godini, nagib obale mjerena u postocima, medijan visine valova mjerena u metrima, plimni raspon mjerena u metrima, regionalna visina mjerena u metrima te geomorfologija. Težinske vrijednosti su u rasponu od 1 do 3 gdje najnižu ocjenu imaju klase faktorskih karata koji minimalno utječu na podložnost eroziji obale (npr. inundirana ili stopa akrecije veća od 0 m godišnje) dok najviše težinske vrijednosti imaju klase faktorskih karata koje znatno utječu na podložnost eroziji obale (npr. pješčane plaže uz stopu erozije veća od -10 m godišnje). Podaci su prikazani u tablici 3.5.



Slika 3.4 Geografski smještaj države Orrisa.

Tablica 3.5 Stupnjevanje faktora osjetljivosti (Kumar et al., 2010).

faktori	nisko 1	srednje 2	visoko 3
stopa promjene obalne linije (m/god)	> 0 (akrecija)	≥ -10 i < 0 (erozija)	< -10 (jaka erozija)
relativna promjena razine mora (mm/god)	< 0	> 0 i $\leq 1,0$	> 1,0 i $\leq 2,0$
nagib obale (%)	> 1,0	> 0,2 i $\leq 1,0$	≥ 0 i $\leq 0,2$
medijan visine valova (m)	–	1,25 – 1,40	–
plimni raspon (m)	$\leq 2,5$	> 2,5 i $\leq 3,5$	> 3,5
regionalna visina (m)	> 6,0	> 3,0 i $\leq 6,0$	≥ 0 i $\leq 3,0$
geomorfologija	inundirana obala	estuariji i obale bogate vegetacijom	pješčane plaže
visina tsunamija (m)	≥ 0 i $\leq 1,0$	> 1,0 i $\leq 2,0$	> 2,0

U svrhe istraživanja, cijelo područje je podijeljeno na ćelije dimenzija 1 km x 1 km. Nakon što je svaki faktor dobio svoju ocjenu, konačni CVI se računa prema jednadžbi:

$$CVI = \sqrt{\frac{a \times b \times c \times d \times e \times f \times g \times h}{8}} \quad 3.4$$

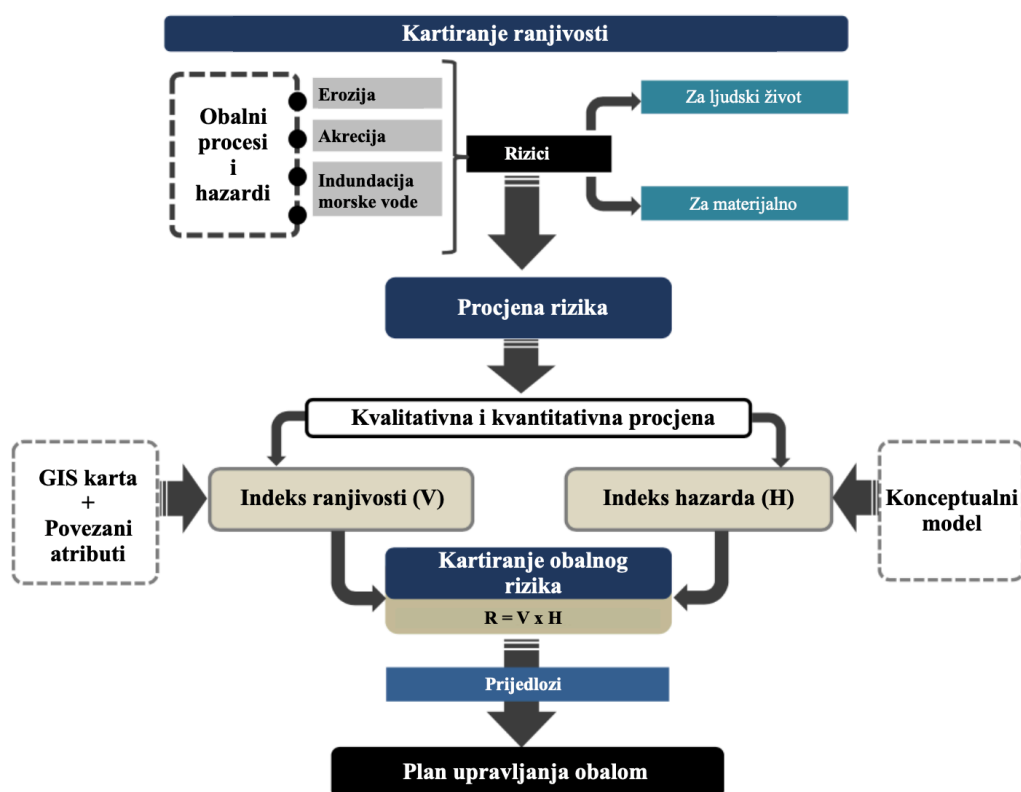
Gdje je :

a = stupanj rizika erozije/akrecije, b = stupanj rizika relativne promjene razine mora, c = stupanj rizika nagiba obale, d = stupanj rizika visine valova, e = stupanj rizika plimnog raspona, f = stupanj rizika regionalne visine, g = stupanj rizika obalne geomorfologije, h = stupanj rizika pojave tsunamija

CVI faktor duž obale je promjenjiv i iznosi između 2,1 i 19. Djelovi obale sa CVI faktorom između 2,1 do 4,75 su kategorizirani kao dijelovi niske ranjivosti (16% obale), dijelovi od 4,75 do 9,5 kao srednje ranjivosti (62% obale), a dijelovi s CVI faktorom većim od 9,5 su kategorizirani kao dijelovi visoke ranjivosti (22% obale) (Kumar et al., 2010).

3.5. Procjena rizika od obalne erozije Liberije

Metodologija istraživanja ovog diplomskog rada temelji se na metodologiji korištenoj u Projektu integriranog upravljanja obalnom zonom (eng. *Integrated Coastal Zone Management project*) Odisha (Trumbić, 2018). Model procjene rizika od obalne erozije se temelji na heurističkoj procjeni utjecaja određenih faktora erozije. Metodologija podrazumijeva hazard kao prirodno induciranu potencijalnu prijetnju za ljude i materijalna dobra, a ranjivost kao osjetljivost na gubitak (smrt, ozljede, gubitak materijalnih dobara). Prema tome, kvantificiranje rizika proizlazi iz vjerojatnosti pojave hazarda te ljudskoj osjetljivosti na potencijalni gubitak. U slučaju visoke vjerojatnosti pojave hazarda na području koje je vrlo rijetko naseljeno ljudima, uzrokovat će manji stupanj rizika. Srednja vjerojatnost pojave hazarda na području s visokom gustoćom naseljenosti rezultirat će značajno povećanim stupanjem rizika (Trumbić, 2018). Grafički prikaz metodologije prikazan je na slici 3.5.



Slika 3.5 Grafički prikaz korištene metodologije (Trumbić, 2018).

Ulazni podaci korišteni u prostornoj analizi na istraživanom području su stopa erozije/akrecije, razina morske vode, namjena i pokrov zemljišta, gustoća naseljenosti te kulturna baština. Način na koji su ulazni podaci procesirani prikazuje jednačba 3.5. Težinski faktori i klase ulaznih podataka prikazani su u tablicama 3.6 – 3.10. Detaljan opis ulaznih podataka te dostupnost i izvor opisani su u poglavlju 4.

Prostorna analiza provedena je u GIS softveru, a istraživano područje je zbog detaljnosti ulaznih podataka podijeljeno je na ćelije dimenzija 32 m x 32 m. Po uzoru na projekt ICZMP Odisha (Trumbić, 2018), istraživano područje obuhvaća područje udaljenosti 15 km od obalne linije prema unutrašnjosti kontinenta (slika 2.3).

Klase faktorskih karata i težinske vrijednosti pojedinih klasa faktorskih karata definirane su s obzirom na istraživanje koje je proveo Trumbić (2018). Faktorske karte su posebno zbrojene za hazard i posebno za ranjivost, a potom je iskazan rizik koji predstavlja umnožak hazarda i ranjivosti. Iz objektivnih razloga, validacija rezultata nije bila moguća zbog nemogućnosti odlaska na terensku provjeru u Liberiju.

$$R = \left(\frac{EHI}{AHI} + SHI \right) \times \left(\frac{LVI + PVI + HVI}{D} \right) \quad 3.5$$

Gdje je :

R = ukupni rizik, EHI/AHI = indeks hazarda erozije i akrecije, SHI = indeks inundacije morske vode, LVI = indeks ranjivosti namjene i pokrova zemljišta, PVI = indeks ranjivosti stanovništva, HVI = indeks ranjivosti zaštićenih područja, D = udaljenost od obale.

Tablica 3.6 Težinske vrijednosti hazarda akrecije i erozije.

hazard akrecije i erozije	
stopa akrecije (m/godina)	indeks hazarda akrecije (AHI)
0 – 0,25	0,1
0,25 – 0,5	0,2
0,5 – 1	0,3
1 – 1,5	0,4
1,5 – 2	0,5
2 – 2,5	0,6
2,5 – 3	0,7
3 – 4	0,8
4 – 5	0,9
> 5	1

Nastavak tablice 3.6 Težinske vrijednosti hazarda akrecije i erozije.

stopa erozije (m/godina)	indeks hazarda erozije (EHI)
0 – 0,25	1
0,25 – 0,5	2
0,5 – 1	3
1 – 1,5	4
1,5 – 2	5
2 – 2,5	6
2,5 – 3	7
3 – 4	8
4 – 5	9
> 5	10

Tablica 3.7 Težinske vrijednosti hazarda inundacije morske vode.

inundacija morske vode	
inundacija morske vode (m)	indeks hazarda inundacije morske vode (SHI)
0 – 1	1 – 3
1 – 2	4 – 5
2 – 3	6 – 7
> 3	8 – 10

Tablica 3.8 Težinske vrijednosti ranjivosti i pokrova zemljišta.

ranjivost namjene i pokrova zemljišta	
tip namjene i pokrova zemljišta	indeks ranjivosti namjene i pokrova zemljišta (LVI)
savana, tlo	1
makija, travnata savana	2
močvarna šuma, močvara, vodena tijela	3
mangrova šuma	4
degradirana šuma	5
šuma	6
šuma uz vodotoke, obalna šuma	7
agrikultura u plitkim područjima	8
agrikultura	9
naselja i plantaže	10

Tablica 3.9 Težinske vrijednosti ranjivosti stanovništva.

ranjivost stanovništva	
broj stanovnika (stanovnik/km ²)	indeks ranjivosti stanovništva (PVI)
0 – 250	1
250 – 500	2
500 – 1.000	3
1.000 – 2.250	4
2.250 – 3.500	5
3.500 – 4.000	6
4.000 – 5.000	7
5.000 – 7.500	8
7.500 – 10.000	9
> 10.000	10

Tablica 3.10 Težinske vrijednosti ranjivosti kulturne baštine.

ranjivost kulturne baštine	
vrsta kulturne baštine	indeks ranjivosti kulturne baštine (HVI)
maritimna i ostala turistički važna baština	1
kulturne i religijske građevine te područja koja nisu državno zaštićena	2
kulturne i religijske građevine te područja koja su državno zaštićena	3
povijesna baština srednje vrijednosti ili nacionalne važnosti	4
povijesna baština visoke vrijednosti i internacionalne važnosti	5

3.6. Klasifikacija rizika od obalne erozije

U ovom poglavlju detaljnije je opisana metodologija klasifikacije konačnih karata rizika od obalne erozije. S obzirom da je karta rizika obalne erozije konačni produkt ovog istraživanja, primijenjeno je šest različitih metoda klasifikacije, a to su *metoda geometrijskih intervala* (engl. *geometric interval*), *metoda prirodnih granica* (engl. *natural breaks*), *metoda standardne devijacije* (engl. *standard deviation*) i *metoda kvantila* (engl. *quantile*) koje su dostupne u GIS softveru. Primijenjene su još dvije klasifikacije definirane iskustveno i nazivaju se *Klasifikacija 1* i *Klasifikacija 2*. Kratki opis metoda naveden je u tablici 3.11.

Tablica 3.11 Vrste klasifikacija u Arc GIS programu.

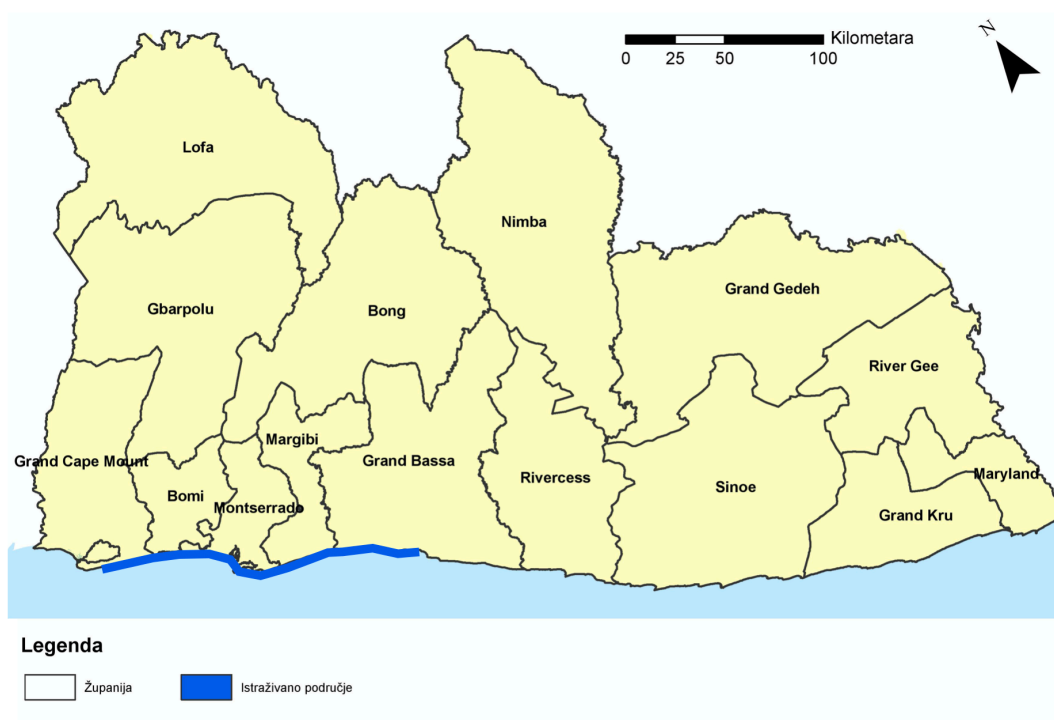
klasifikacija	opis klasifikacije
<i>metoda kvantila</i>	Svaka klasa sadrži jednak broj stavki. Ne postoje klase koje imaju premalo ili previše vrijednosti. Zbog toga je idealna za linearno distribuirane podatke. Kao takva također nije mjerodavna kod analize područja na rizik. Utjecaj jednakog broja stavki u klasama se može smanjiti ako se uvede veći broj klasa što u slučaju ovog istraživanja nije moguće.
<i>metoda prirodnih granica</i>	Granice u ovoj vrsti klasifikacije su postavljene prema prirodnoj klasifikaciji koja već postoji u podacima. Algoritam istražuje područja sa vrlo sličnim vrijednostima i njih grupira, a kao granice postavlja granične vrijednosti koje najviše odskaku između grupa. Ova vrsta klasifikacije nije optimalna za karte koje su izrađene od više različitih informacija (faktorske karte).
<i>metoda geometrijskih intervala</i>	U ovoj klasifikaciji, granice su bazirane na geometrijskim intervalima. Algoritam stvara geometrijske granice tako da minimizira sumu kvadrata elemenata u svakoj klasi. Svaka klasa tada ima određeni koeficijent kojim se množi svaki faktor unutar te klase kako bi se zadržala jednaka udaljenost između vrijednosti. To osigurava da svaka klasa ima približno jednak broj vrijednosti i da je promjena između intervala relativno podjednaka.
<i>metoda standardne devijacije</i>	Koristeći ovu klasifikaciju, automatski se ponalazi sredina svih vrijednosti i postavljaju se granice iznad i ispod te srednje vrijednosti u intervalima standardne devijacije od 1, ½, 1/3 ili ¼. Ovom klasifikacijom se prikazuje koliko istraživane vrijednosti odskaku od srednje vrijednosti.
<i>klasifikacija 1 i klasifikacija 2</i>	Obje klasifikacije unesene su ručno i subjektivnom procjenom stručnjaka. Razlika između klasifikacija je ta što <i>Klasifikacija 2</i> predstavlja konzervativniju opciju koja pretpostavlja veći rizik za šire područje.

4. ULAZNI PODACI

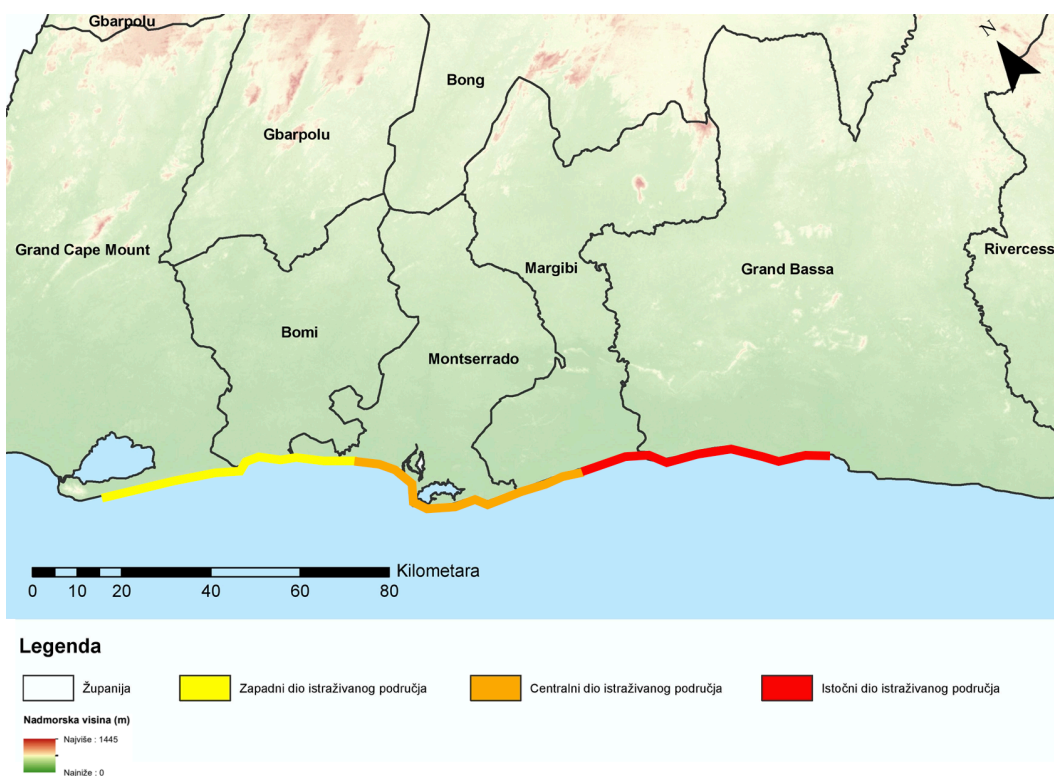
Prema primijenjenoj metodologiji ulazni podaci su prikupljeni za faktorske karte hazarda i karte koje predstavljaju elemente pod rizikom i korištene su za određivanje ranjivosti istraživanog područja. Faktorske karte korištene za izražavanje hazarda su stopa erozije i akrecije te inundacije morske vode. Izvedene karte koje predstavljaju elemente pod rizikom su namjena i pokrov zemljišta, gustoća naseljenosti te kulturna baština. Svi ulazni podaci su prikupljeni pretraživanjem web izvora i znanstvenih studija, radova i projekata te ostalih platformi za pohranu prostornih podataka, a prikazani su u WGS 1984 koordinatnom sustavu. U sljedećim potpoglavljima opisani su ulazni podaci, njihovi izvori i namjena.

4.1. Stopa erozije/akrecije

Iz istraživanja Awange (2018), preuzeta je stopa erozije/akrecije obalne erozije na dijelu područja sjeverne Liberije (slika 4.1 i 4.2). Istraživanje kako je to utjecalo na promjenu pokrova i namjene zemljišta je trajalo u vremenskom rasponu od 29 godina (1986 – 2015). Za analizu stope erozije i akrecije, korištena je Landsat i Sentinel-2 tehnologija koja omogućuje snimanje *near infrared* (VNIR) i *shortwave infrared wavelengths* (SWIR). Landsat satelitski sistem skuplja multispektralne slike koje omogućuju praćenje ljudskih aktivnosti kao npr. opažanje, mjerenje i označavanje promjena u okolišu (USGS, 2015). Promjene u okolišu su dinamične stoga ove slike mogu biti korištene za promatranje razmjera promjena na velikim površinama u kratko vrijeme bez financijskih troškova. Rezolucija snimaka iznosi 30 m x 30 m, a satelitske snimke su dostupne na stranici USGS-a. Za verifikaciju Landsat snimaka, korišten je Sentinel-2 Europske svemirske agencije s rezolucijom od 10 m x 10 m. Sentinel-2 sadrži radiometrijske i geometrijske korekcije zajedno s ortorektifikacijom kako bi se stvorile vrlo precizni geolocirani proizvodi (Drusch et al., 2012). U ovom radu korišteni su podaci iz vremenskog razdoblja od 1986. do 2015. Ukupni pomak obalne linije u tom razdoblju za središnji dio iznosi -26,2 m u 29 godina, odnosno -0,9 m/god i označava neto eroziju, za istočni dio iznosi 54,7 m u 29 godina, odnosno 1,9 m/god i označava neto akreciju te za zapadni dio iznosi 28,7 m u 29 godina i iznosi 1 m/god te označava neto akreciju. Rezultati istraživanja i stope erozije/akrecije prikazani su u tablici 4.1.



Slika 4.1 Područje istraživanja stope erozije i akrecije (Awange, 2018).



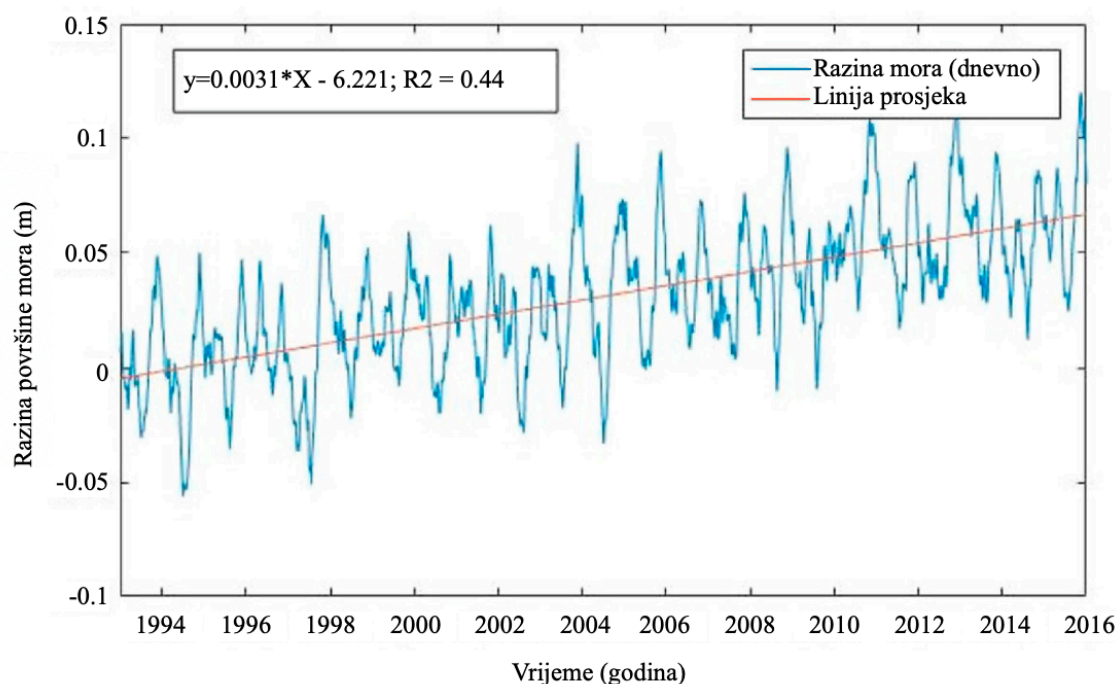
Slika 4.2 Podjela istraživanja stope erozije i akrecije podijeljeno u tri zone (Awange, 2018).

Tablica 4.1 Prosječna promjena obalne linije u metrima i njihova godišnja stopa promjene (Awange et al., 2018).

erozija/akrecija	1986. – 1998.	1986. – 2002.	1986. – 2015.
akrecija (Srednja)	43,7 (3,6)	30,5 (1,9)	41,5 (1,4)
akrecija (Istočna)	43,7 (3,6)	30,7 (1,9)	104,8 (3,6)
akrecija (Zapadna)	38,9 (3,2)	53,1 (3,3)	78,0 (2,7)
erozija (Srednja)	–63,9 (–5,3)	–66,2 (–4,1)	–67,7 (–2,3)
erozija (Istočna)	–74,7 (–6,2)	–76,0 (–4,8)	–50,1 (–1,7)
erozija (Zapadna)	–41,6 (–3,5)	–27,3 (–1,7)	–49,3 (–1,7)

4.2. Razina mora

Relativna promjena razine mora u Liberiji praćena je uz pomoć satelitske altimetrije (slika 4.3). Graf na slici 4.3 pokazuje trend rasta razine mora u periodu od 1993. do 2015. iz kojeg je vidljivo da ukupni porast razine mora u dokumentiranom periodu iznosi 0,072 m što je približno 3,3 mm/god (Awange et al., 2018) što se poklapa sa svjetskim prosjekom koji također iznosi 3,3 mm/god (NASA, 2019).



Slika 4.3 Dnevna promjena razine mora u Liberiji (Awange et al., 2018).

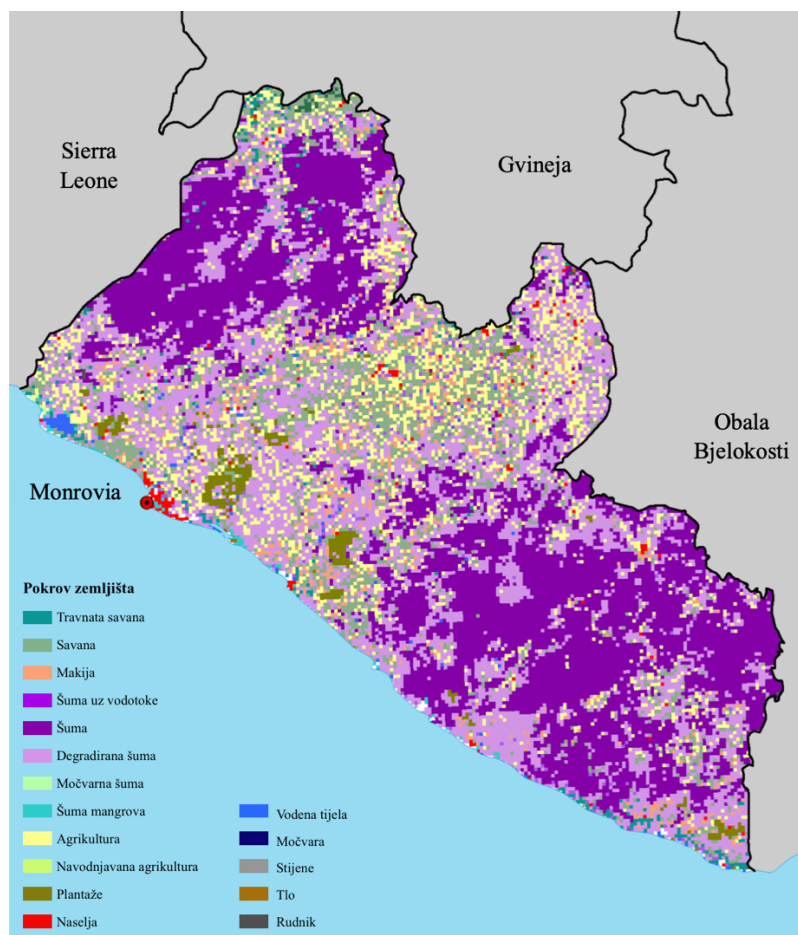
Jedni od glavnih problema vezanih uz povišenje razine mora su inundacija/poplave, gubitak močvarnog područja, erozija krhke morfologije, intruzija slane vode i otežana drenaža kopnene vode (Awange et al., 2018).

4.3. Namjena i pokrov zemljišta

Liberija je jedna od najšumovitijih područja u Zapadnoj Africi (slika 4.4). Prema podacima iz 2013., šume prekrivaju dvije trećine površine Liberije od koje je 44% označeno kao degradirana šuma, 13% zauzima agrikultura, a savane čine oko 11%. Nakon toga slijedi makija, plantaže i ostalo (USGS, 2013). Zbog civilnih ratova (1989. – 1996. i 1999. – 2003.), promjena u pokrovu i namjeni zemljišta u tom periodu se kretala brzinom od 0,5% godišnje, dok je u posljednjih 15 godina brzina promjene naglo porasla na 1,3% što je iznad prosjeka regije (USGS, 2013). Najveća promjena u pokrovu i namjeni zemljišta dogodila se u kategoriji šuma gdje je od 1975. do 2013. nestalo 15% šumskih površina (6.600 km²) zbog selektivne sječe te posijeci-i-spali agrikulture.

Prema radu Trumbić (2018), službene stavke su klasificirane u četiri kategorije: šume i vodena tijela, pustoš, agrikultura i akvakultura te izgrađene površine. U šume i vodena tijela spadaju šume, močvare, vodena vegetacija, suho tlo, šuma uz vodotoke, degradirana šuma,

gustiš te močvarna šuma. U pustoš spada savana, kamenita površina te travnata savana. U agrikulturu i akvakulturu spadaju plantaže, agrikultura, irigirana agrikultura te agrikultura u plitkim područjima. U izgrađene površine spadaju naselja dok u ostalo spada rudnik. (tablica 4.2).



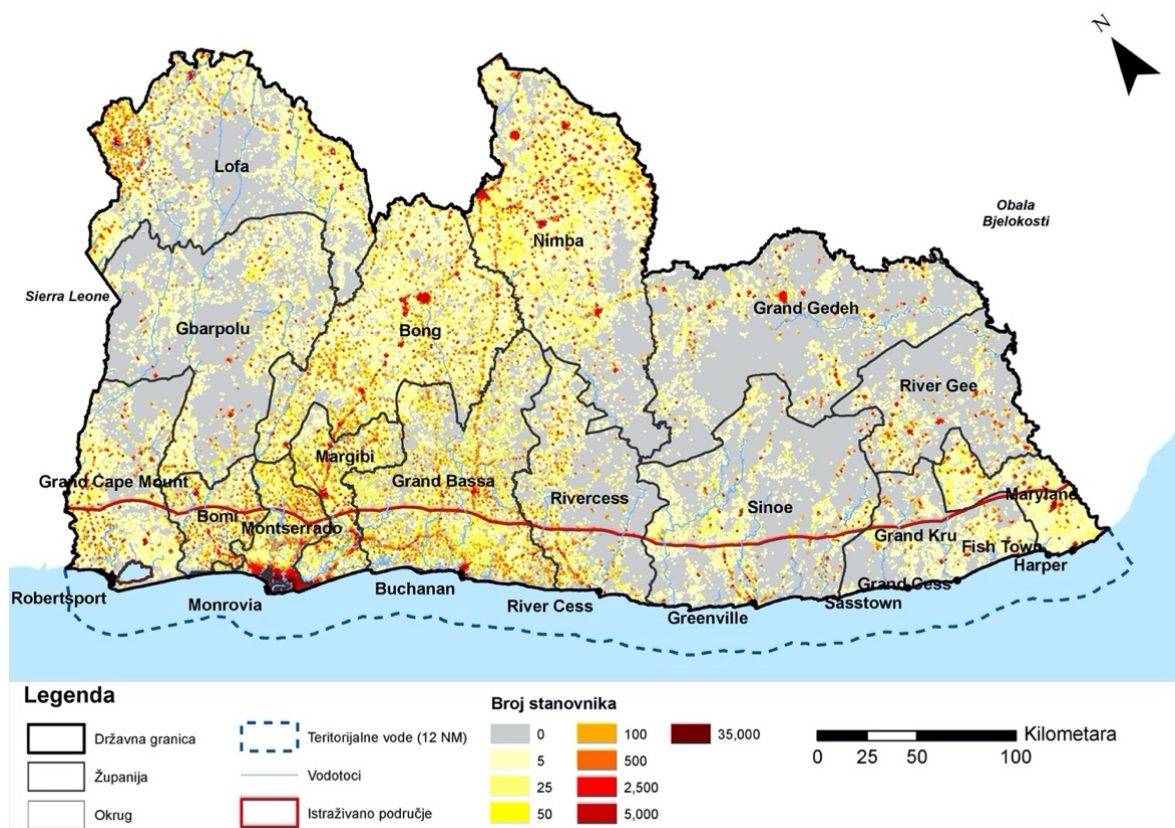
Slika 4.4 Pokrov i namjena zemljišta u Liberiji (USGS, 2013).

Tablica 4.2 Kategorizacija pokrova i namjene zemljišta (Trumbić, 2018).

grupa	namjena zemljišta
šume i vodena tijela	šume močvare vodena vegetacija vodena tijela suho tlo šuma uz vodotoke degradirana šuma gustiš močvarna šuma
pustoš	savana kamenita površina travnata savana
agrikultura i akvakultura	plantaža agrikultura irigirana agrikultura agrikultura u plitkim područjima
izgrađene površine	naselja
ostalo	rudnik

4.4. Gustoća naseljenosti

Prema posljednjoj statistici naseljenosti Liberije, rezultati su prilagođeni na nacionalnoj razini kako bi se poklopili s procjenama UN 2019. godine kada je ukupan broj stanovništva iznosio 4.937.000. Slika 4.5 prikazuje procijenjeni broj stanovnika po ćeliji približne dimenzije 100 m x 100 m.



Slika 4.5 Procijenjena gustoća naseljenosti u Liberiji (USAID, 2016).

Liberija je najgušće naseljena uz obalnu granicu, najnaseljeniji grad je Monrovia, a najgušće naseljena upravna jedinica je Margibi (USAID, 2016). Većina stanovništva (58% populacije) (Nicholls & Cazenave, 2010) stanuje u priobalnog dijelu, od kojih većina živi u niskim i nestabilnim kućama u blizini plaže (UN DESA, 2015). Podatak će biti iskorišten pri krajnjoj analizi ranjivosti proučavanog područja. Najgušće naseljena priobalna područja predstavljaju najveći potencijal za podnošenje socioekonomskih šteta.

4.5. Kulturna baština

Najveća kulturna baština Liberije su šume i prašume (Protected Planet, 2020). Trenutno broji deset nacionalnih parkova s površinom od 8.925 km² (Gbi/Krahn–Bassa, Foya, Kpo planine, Planina Bong, Zapadna Nimba, Margibi mangorva šuma, Cestos-Senkwehn, Gran Kru–rijeka Gee, Gola i Sapo), 1 park prirode s površinom od 971,36 km² (Grebo) i 3 rezervata prirode s površinom od 1.848,41 km² (Piso jezero, Wonegisi i Istočna Nimba) (tablica 4.3).

Tablica 4.3 Kategorizacija kulturne baštine Liberije (Protected Planet, 2020).

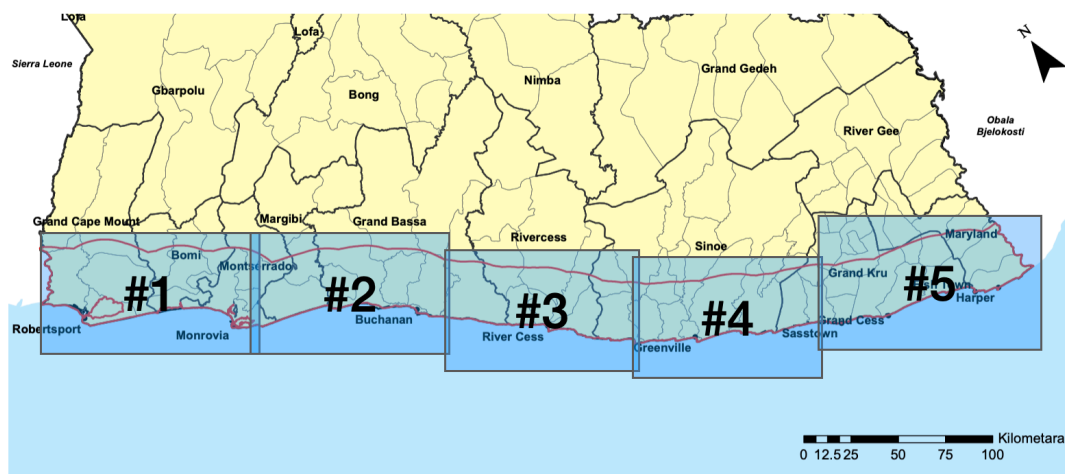
vrsta kulturne baštine	naziv	površina (km²)
nacionalni park	Gbi/Krahn–Bassa	884,09
nacionalni park	Foya	1.646,28
nacionalni park	Kpo planine	837,09
rezervat prirode	Piso jezero	339,14
nacionalni park	Planina Bong	248,12
nacionalni park	Zapadna Nimba	104,82
nacionalni park	Margibi mangorva šuma	238,13
nacionalni park	Cestos-Senkwehn	832,09
rezervat prirode	Wonegisi	1.374,27
nacionalni park	Gran Kru– rijeka Gee	1.351,00
nacionalni park	Gola	979,75
nacionalni park	Sapo	1.803,63
rezervat prirode	Istočna Nimba	135
park prirode	Grebo	971,36

5. FAKTORSKE KARTE

U ovom poglavlju prikazane su faktorske karte korištene pri analizi rizika od erozije za obalu Liberije. Faktorske karte su nastale reklasifikacijom ulaznih podataka prema heurističkoj procjeni. Faktorske karte su izrađene u sitnom mjerilu 1:1.500.000. Karte su napravljene u rasterskom obliku dimenzija ćelija 32 m x 32 m te svaka ćelija za svaki od faktora sadrži podatke o određenom faktoru.

Prema jednadžbi 3.1, potrebno je odrediti indekse faktora prije nego što se može odrediti hazard i ranjivost proučavanog područja. U nastavku su navedene sljedeće faktorske karte: karta hazarda erozije i akrecije (prilog 1), karta inundacije morske vode (prilog 2), karta namjene i pokrova zemljišta (prilog 3), karta ranjivosti stanovništva (prilog 4), karta ranjivosti kulturne baštine (prilog 5).

Zbog presitnog mjerila, istraživano područje podijeljeno je na pet dijelova kako bi se podaci mogli točno pročitati iz priloga (slika 5.2). Na slici 5.3 je prikazan isječak priloga 1 dijela istraživanog područja #1 iz kojeg se može vidjeti raspodjela erozije i akrecije oko najnaseljenijeg grada Monrovia. Iako područja akrecije dominiraju, vidljivo je kako su područja erozije češća uz ušća riječnih tokova što pridonosi odnošenju čestica i jačem stupnju erozije.



Legenda

	Državna granica		Istraživano područje
	Županija		Podjela istraživanog područja
	Okrug		

Slika 5.1 Podjela istraživanog područja.

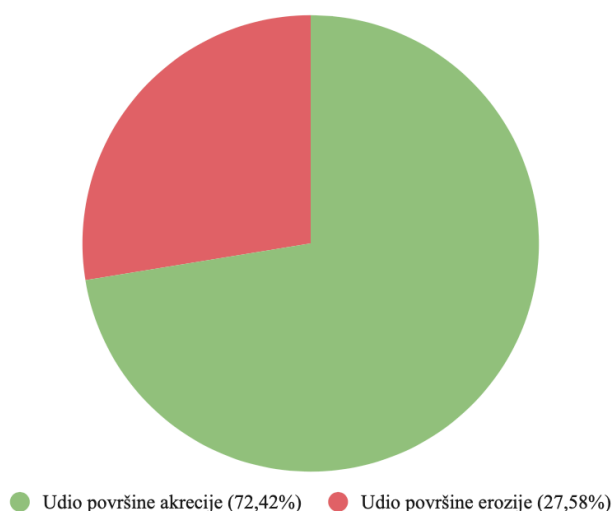
5.1. Karta hazarda erozije i akrecije

Karta hazarda erozije i akrecije prikazuje vjerojatnost koliko će se obale erodirati, odnosno akumulirati u periodu od godine dana. To je važno zbog toga što gradovima na taj način nestaje infrastruktura i važna prirodna staništa poput plaža, područja za mrijest i sl. Također erozija smanjuje granicu između mora i stanovništva čime direktno utječe na ljudske živote. Iako je rijetko akrecija spomenuta kao hazard, može predstavljati problem u lukama ili ribolovnim područjima. Faktori korišteni u izradi ove faktorske karte su statistički podaci erozije i akrecije na području obale Liberije (Awange et al., 2018) i površinska mreža vodenih tokova. Svi podaci su detaljnije opisani u poglavlju 4.

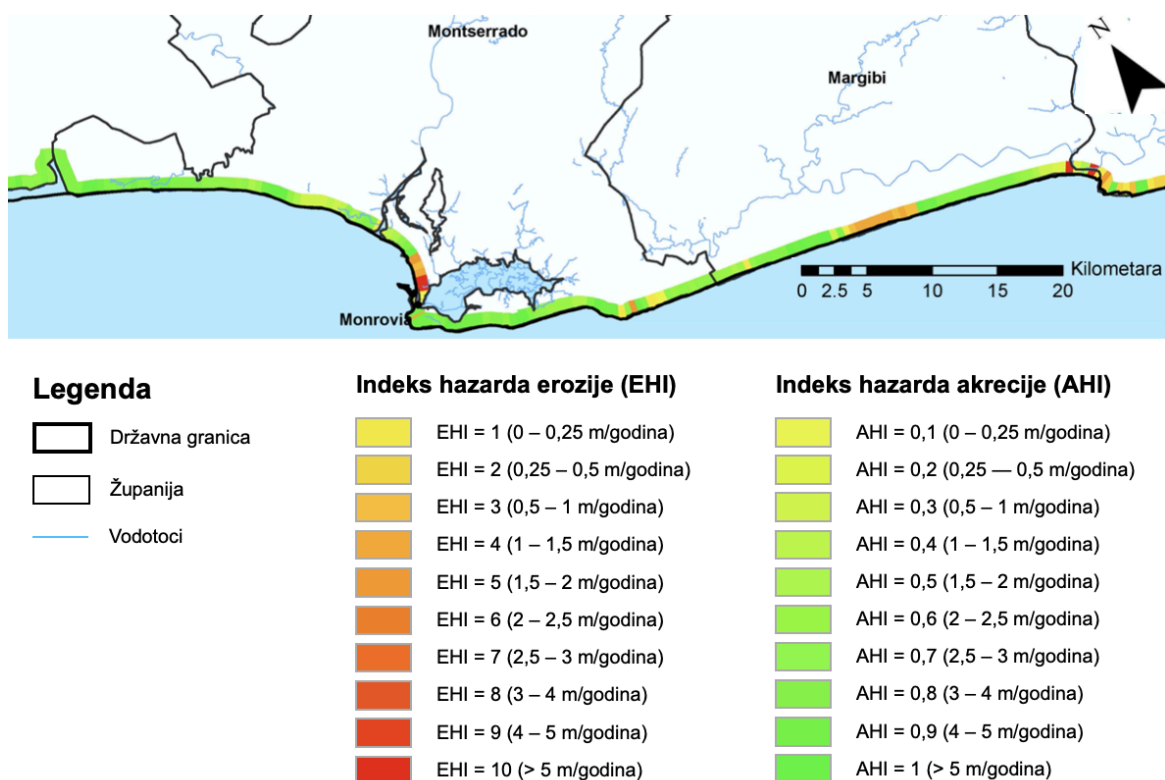
Podaci su kategorizirani u dvije skupine: indeks hazarda erozije (EHI) i indeks hazarda akrecije (AHI). EHI ima vrijednosti od 1 – 10 dok AHI ima vrijednosti od 0,1 – 1 jer se pojava akrecije uobičajeno ne označava kao hazard i nema jednak utjecaj na ljudski život ili materijalna dobra.

U prilogu 1, na kartama od #1 do #4 se može vidjeti kako su površine rijeke ključni faktor u eroziji i akreciji. Pojava erozije je vidljiva na područjima oko većih rijeka koje utječu u more što je slučaj kod velikih gradova, ali i svim ostalim dijelovima obale u kojima rijeke imaju izlaz na more, dok je slučaj akrecije zabilježen na područjima koja to nemaju. Iako su područja oko rijeka zahvaćena procesom erozije, na 72,42% površine istraživanog područja zabilježena je akrecija (slika 5.1).

Udio površine erozije i akrecije na istraživanom području



Slika 5.2 Udio površine erozije i akrecije u istraživanom području.



Slika 5.3 Karta hazarda erozije i akrecije (isječak iz priloga 1).

5.2. Karta inundacije morske vode

Karta inundacije morske vode je prva faktorska karta koja je poslužila za određivanje rizika erozije. Na prilogu 2 vidljiv je mogući utjecaj poplave na istraživano područje u sljedećih 100 godina. Indeks hazarda (SHI, *engl. Sea Water Inundation Hazard Index*) raspoređen je u četiri kategorije. Svaka kategorija prikazuje indeks vjerojatnosti koliko metara ispod vode će se nalaziti istraživano područje u spomenutom periodu. SHI iznosi: 1 – 3 (za vjerojatnost inundacije morske vode 0 -1 m), 4-5 (za vjerojatnost inundacije morske vode 1-2 m), 6-7 (za vjerojatnost inundacije morske vode 2-3 m), 8-10 (za vjerojatnost inundacije morske vode veća od 3 m). Kao glavni faktori korišteni u izradi ove karte su hidrologija Liberije i podizanje morske razine vode.

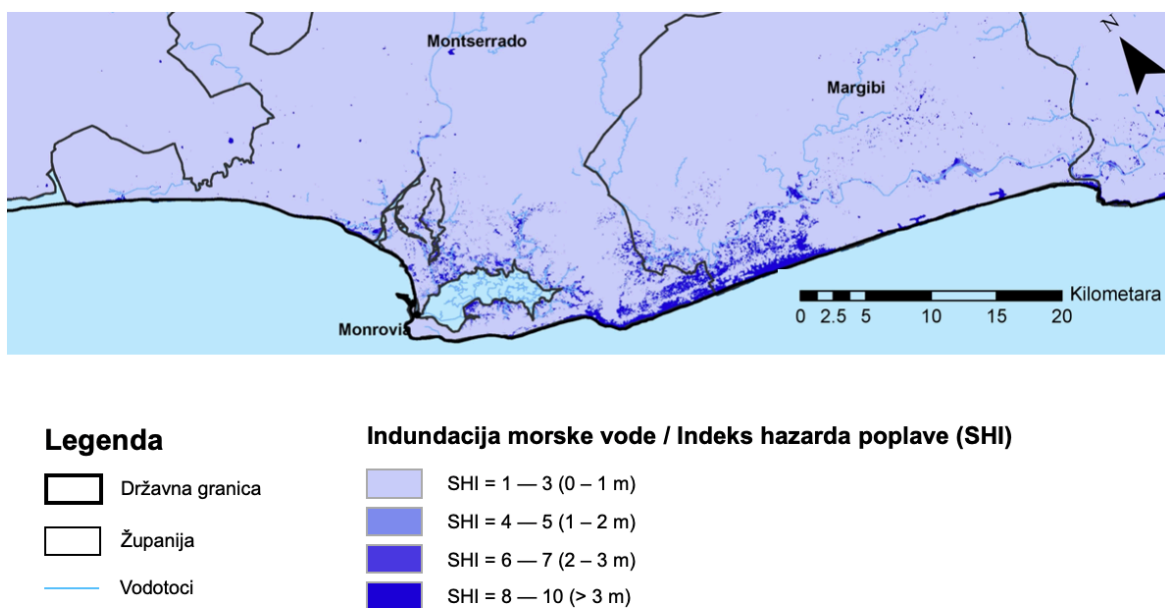
Uzimajući u obzir ta dva faktora, jasno je kako su najugroženija područja na kojima se ta dva faktora preklapaju. Takva područja su pozicionirana uz rijeke i morsku obalu. Udaljavajući se od rijeka i morske obale, smanjuje se vjerojatnost pojave poplavljenog područja što znači da su područja udaljenija od rijeka i morske obale sigurnija. Najmanja vjerojatnost od pojave hazarda poplave je u unutrašnjoj Liberiji.

Iako je 97,25% površine istraživnog područja kategorizirano niskim rizikom (SHI=1), većina velikih gradova u Liberiji je smještena upravo na područjima kojima prijeti najveći rizik te oni spadaju u vršnih 2%. To su gradovi: Robertsport, Monrovia, Buchanan, River Cess, Greenville, Sasstown, Grand Cess, Fish Town i Harper. Srednji stupanj rizika (HVI = 2) ima površina od 0,73%, visoki stupanj rizika (HVI = 3) ima površina od 0,53% dok vrlo visoki stupnja (HVI = 4) ima 1,49% površine istraživnog područja. Na slici 5.4 je prikazana površinska raspodjela SHI u istraživnom području.



Slika 5.4 Površinska raspodjela SHI na istraživnom području.

Na slici 5.5 je isječak priloga 2 koji prikazuje Monroviu, grad s najvećom vjerojatnosti za hazard poplave i indundacije morske vode te ostatak županije Montserrado kojoj prijeti vrlo mala vjerojatnost od poplavljenog područja.



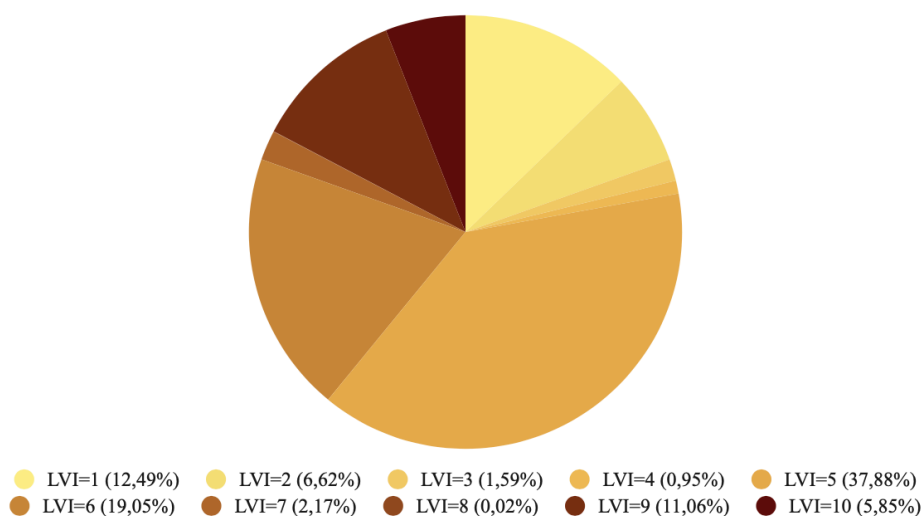
Slika 5.5 Karta hazarda inundacije morske vode (isječak iz priloga 2).

5.3. Karta ranjivosti namjene i pokrova zemljišta

Karta ranjivosti i pokrova zemljišta prikazuje opis određenog dijela površine iz perspektive ekonomske iskoristivosti. Zavisno o tome kako će oštećenje određenog dijela površine utjecati na ekonomiju zemlje, karta je raspoređena u indeks ranjivosti namjene i pokrova zemljišta (LVI ili *engl. Land Vulnerability Index*) koji se dijeli u deset kategorija. Savane, makije, degradirane šume i močvarna područja imaju najniže težinske vrijednosti zbog malog ekonomskog značaja te zbog toga imaju nisku podložnost na prirodne procese. Očuvanim šumama, agrikulturi te naseljima i plantažama dodijeljene su najviše težinske vrijednosti.

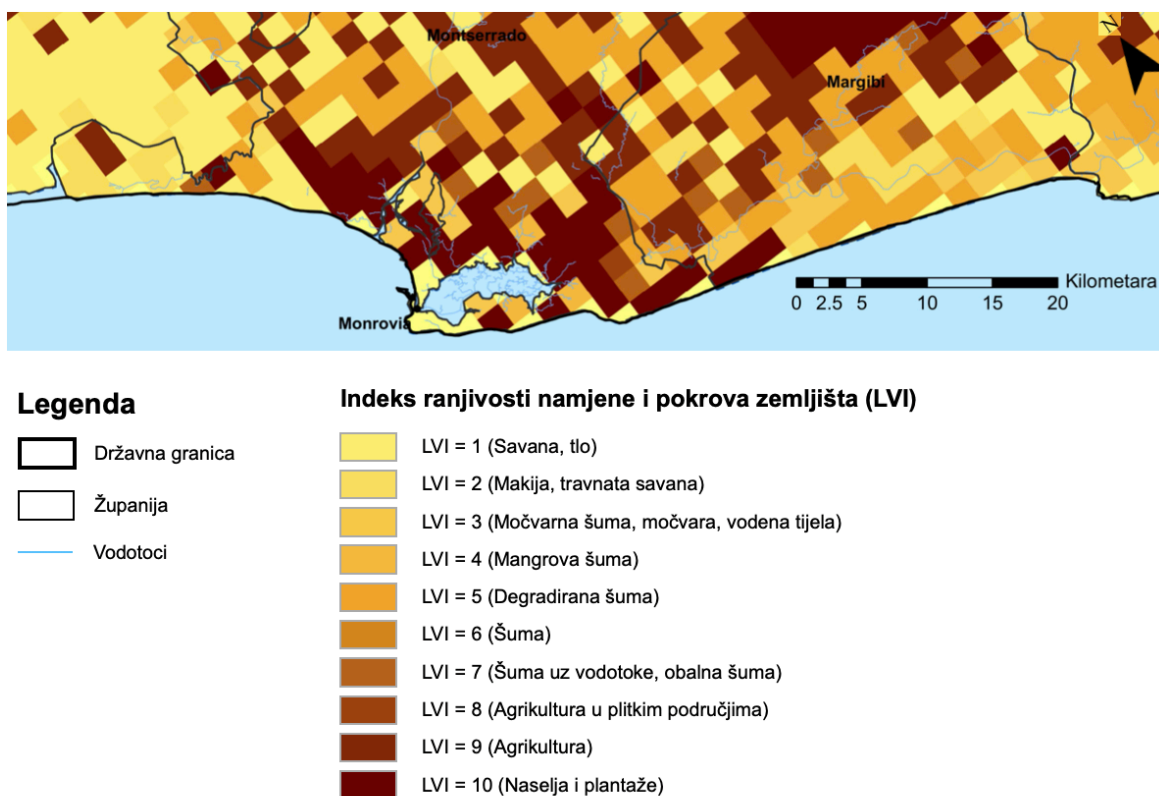
Među najvećim površinskim udjelima imaju degradirane šume s LVI = 5 (37,88%), šume s LVI = 6 (19,05%), savane i tlo s LVI = 1 (12,49%) te agrikultura s LVI = 9 (11,06%) kako je prikazano na slici 5.6.

Površinski udio LVI na istraživanom području



Slika 5.6 Površinska raspodjela LVI u istraživanom području.

Na prilogu 3 prikazano je kako se namjena zemljišta razlikuje od sjeverozapada Liberije do jugoistoka. Sjeverozapadni dio je naseljeniji i iskorišteniji po pitanju ekonomskih dobara, zbog čega je očita učestalija pojava kontrastnih ćelija – ćelije s niskom ekonomskom vrijednošću se često pojavljuju uz ćelije s visokom ekonomskom vrijednošću. To je posebno izraženo uz obalu dok se kontrast smanjuje prema unutrašnjosti. Gledajući od sredine županije Rivercess prema granici na jugoistoku, primjećuje se dominantnost šuma i nenaseljenost tog područja dok uz samu granicu ponovno dolazi slučaj kao sa sjeverozapada zemlje. Najveći LVI se mogu vidjeti u okolini grada Monrovia (slika 5.7).



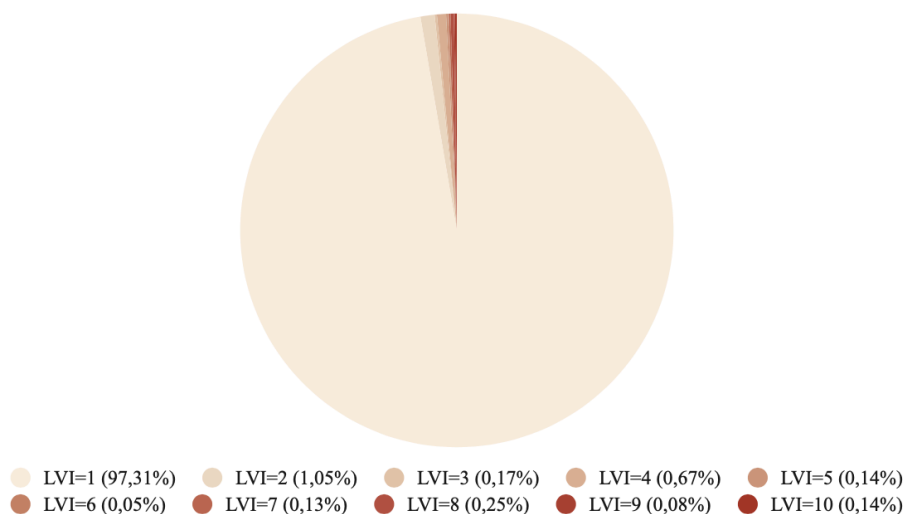
Slika 5.7 Karta ranjivosti namjene i pokrova zemljišta (isječak iz priloga 3).

5.4. Karta ranjivosti stanovništva

Karta prikazuje indeks ranjivosti stanovništva koji je određen prema gustoći naseljenosti područja. Gustoća naseljenosti reklasificirana je prema deset kategorija s indeksima ranjivosti stanovništva (PVI ili *engl. Population Vulnerability Index*) od 1- 10. Područja s najmanjom gustoćom imaju najmanji indeks dok područja s najvećom gustoćom (područje oko grada Monrovia) imaju najveći indeks.

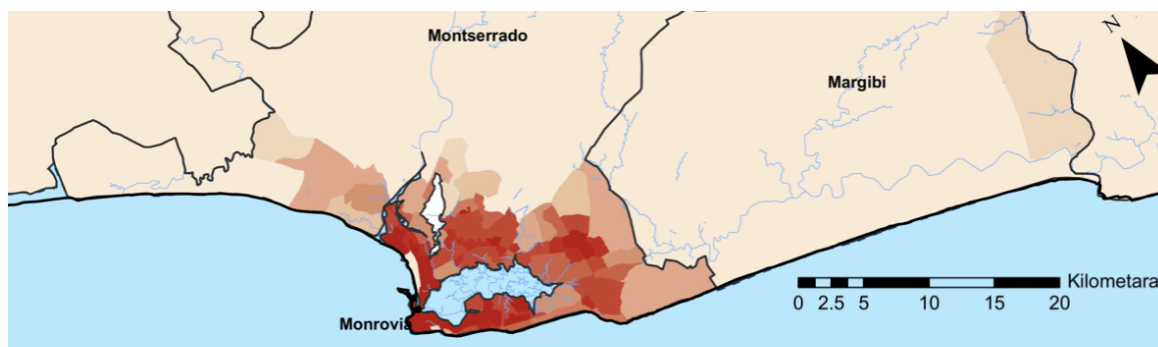
Zbog toga što je Monrovia najgušće naseljen grad u Liberiji i ima otprilike $\frac{1}{4}$ stanovništva Liberije, najveća ranjivost je koncentrirana oko tog područja. Sljedeći ranjivi gradovi su Buchanan, Greenville te Harper. Slika 5.8 prikazuje površinski udio različitih stupnjeva PVI na istraživanom području gdje najniži PVI = 1 ima 97,31% istraživanog područja, a najviši PVI=10 ima 0,14% istraživanog područja. Samo 0,79% istraživanog područja ima PVI preko 5.

Površinski udio PVI na istraživanom području



Slika 5.8 Površinska raspodjela PVI u istraživanom području.

Na prilogu 4 je detaljno prikazana raspodjela gustoće stanovništva prema indeksu ranjivosti, a na slici 5.9 se nalazi isječak iz priloga koji pokazuje najugroženije područje, Monroviu. Sa snižavanjem gustoće naseljenosti snižava se i PVI, koji prema unutrašnjosti polagano pada.



Legenda

- Državna granica
- Županija
- Vodotoci

Indeks ranjivosti populacije (PVI)

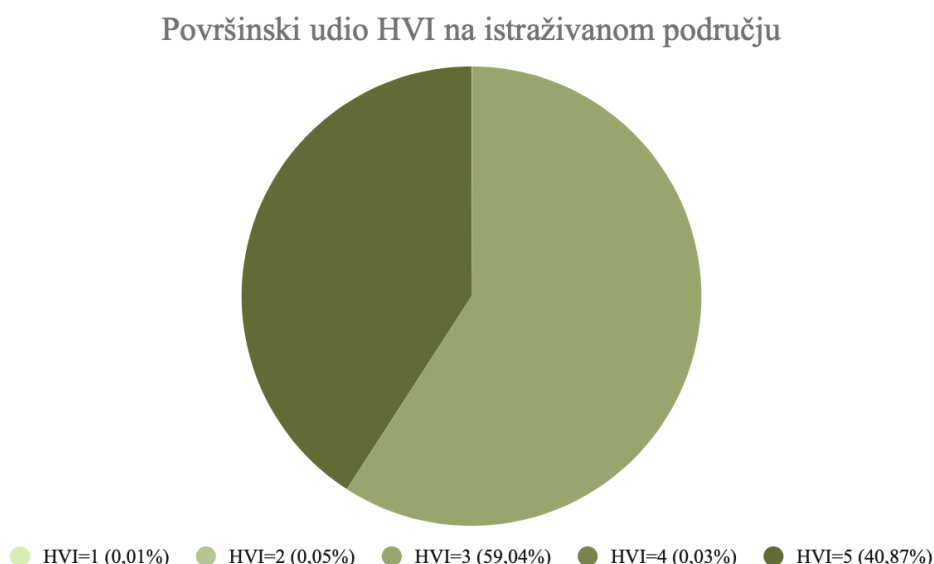
- PVI = 1 (0 — 250 stanovnika / km²)
- PVI = 2 (250 — 500 stanovnika / km²)
- PVI = 3 (500 — 1.000 stanovnika / km²)
- PVI = 4 (1.000 — 2.250 stanovnika / km²)
- PVI = 5 (2.250 — 3.500 stanovnika / km²)
- PVI = 6 (3.500 — 4.000 stanovnika / km²)
- PVI = 7 (4.000 — 5.000 stanovnika / km²)
- PVI = 8 (5.000 — 7.500 stanovnika / km²)
- PVI = 9 (7.500 — 10.000 stanovnika / km²)
- PVI = 10 (> 10.000 stanovnika / km²)

Slika 5.9 Karta ranjivosti populacije (isječak iz priloga 4).

5.5. Karta ranjivosti kulturne baštine

Budući da je kulturna baština generacijsko nasljeđe od velikog značaja za populaciju države, takva područja se uzimaju u obzir kao važni faktori kod procjene ukupne ranjivosti istraživnog područja. Indeks ranjivosti je označen kao HVI (*engl. Heritage Vulnerability Indeks*) i raspodijeljen je u pet kategorija prema važnosti kulturne baštine. Najmanje značajna područja imaju najmanje ocjene dok najznačajnija područja imaju najveće ocjene.

Slika 5.10 prikazuje površinu raspodjelu HVI indeksa na istraživnom području. Ocjenu 1 imaju područja koja spadaju pod ostala povijesna nasljeđa koja nisu od velike važnosti (0,01%); 2 imaju važne kulturne i religijske zgrade (0,05%); 3 su važna kulturna i religijska nasljeđa koja su pod zaštitom države (59,04%); 4 povijesna baština o srednje vrijednosti ili nacionalne važnosti (0,03%); 5 baština od vrlo visoke vrijednosti i internacionalne važnosti (40,87%).



Slika 5.10 Površinska raspodjela HVI u istraživnom području.

Područje oko Jezera Piso i Margibi mangrove šume imaju najviše ocjene ranjivosti dok područja Cestos-Senkwehn i Grand Kru-Rijeka Gee imaju najniže ocjene ranjivosti. Detalji se mogu vidjeti u prilogu 5, a slika 5.11 prikazuje isječak priloga.



Legenda

- Državna granica
- Županija
- Vodotoci

Indeks ranjivosti kulturne baštine (HVI)

- HVI = 1
- HVI = 2
- HVI = 3
- HVI = 4
- HVI = 5

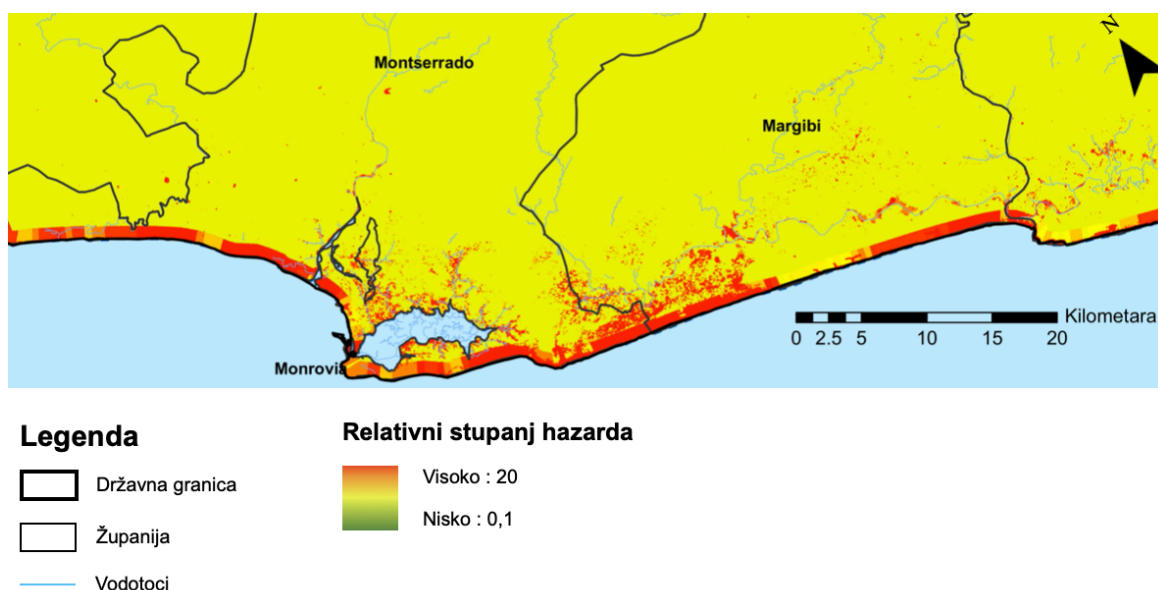
Slika 5.11 Karta ranjivosti kulturne baštine (isječak iz priloga 5).

6. REZULTATI

Prema jednadžbi 3.1, rizik se računa kao umnožak hazarda i ranjivosti. Hazard i ranjivost su nastali kombinacijom faktorskih karata opisanih u poglavlju 5. Ovo poglavlje je podijeljeno na potpoglavlja o izrađenim kartama hazarda, ranjivosti i rizika. Hazard i ranjivost jednako utječu na konačnu procjenu rizika tako da je za očekivati da će područja s niskim indeksom hazarda i visokom ranjivošću biti jednako vrednovana kao područja s niskom ranjivošću i visokim indeksom hazarda.

6.1. Karta hazarda

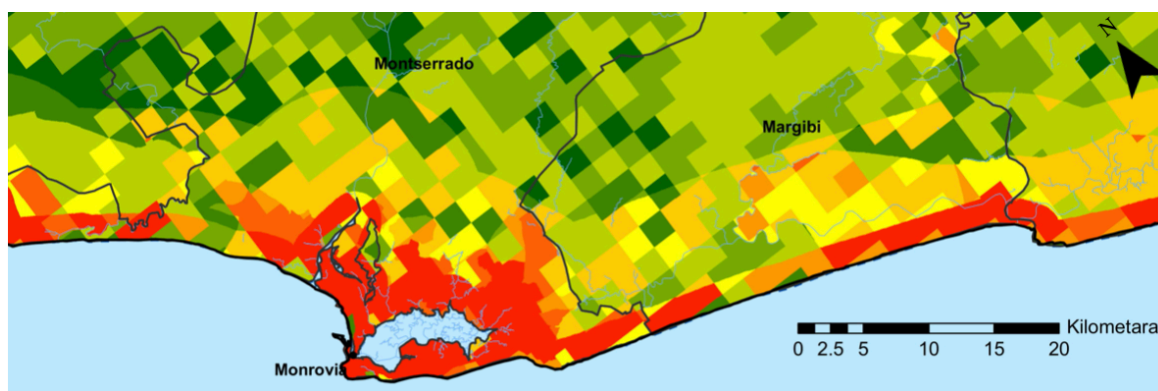
Prilog 6 prikazuje kartu hazarda koja je nastala zbrajanjem faktorskih karata erozije i akrecije te inundacije morske vode. Raspon stupnja rizika je od 0,1 do 20 jer vrijednost akrecije počinje od 0,1 dok je zbroj najvećeg hazarda erozije i inundacije morske vode 20. Zbog toga što se polovica hazarda odnosi isključivo na obalni pojas (faktorska karta erozije i akrecije), karta prikazuje gotovo čitavu unutrašnjost istraživanog područja kao područje s malom vjerojatnosti od pojave erozije. Najveći dio istraživanog područja ima nisku vjerojatnost od pojave hazarda. Najugroženiji gradovi su gradovi smješteni u priobalnom pojasu uz rijeke i to su redom Robertsport, Morovia, Buchanan, River Cess, Greenville, Sasstown, Grand Cess, Fishtown i Harper. Vrlo mali dio površine ima srednju vjerojatnost od pojave hazarda, koje je na prilogu 6 i slici 6.1. prikazano žutom bojom.



Slika 6.1 Karta relativnog hazarda u istraživanom području (isječak iz priloga 6).

6.2. Karta ranjivosti

Karta ranjivosti je nastala zbrajanjem faktorskih karata ranjivosti stanovništva, ranjivosti namjene zemljišta i kulturne baštine. Posljednji važan faktor je udaljenost od obale (D) kojim dijelimo prethodno zbrojene karte. Povećanjem udaljenosti od obale, utjecaj obalnih procesa pozitivnih za eroziju i akreciju se smanjuje zbog čega će konačna karta prikazati ranjivost kao manju povećanjem udaljenosti od obale. Cijela karta prikazana je na prilogu 7. Kako je sjeverozapad zemlje gušće naseljen te ekonomski i kulturno razvijeniji, pokazuje veću ranjivost prema eroziji u odnosu na jugoistok zemlje. Gledajući malo detaljnije, najgušće naseljena područja su područja uz rijeke te je svako od tih područja gotovo jednako ranjivo na eroziju. Najmanje ranjiva područje nalaze se u unutrašnjosti Liberije koje nisu gusto naseljeno, nemaju značajnu kulturnu baštinu te nisu ekonomski razvijena. Ranjivost oko grada Monrovia prikazana je na slici 6.2 i dio je priloga 7.

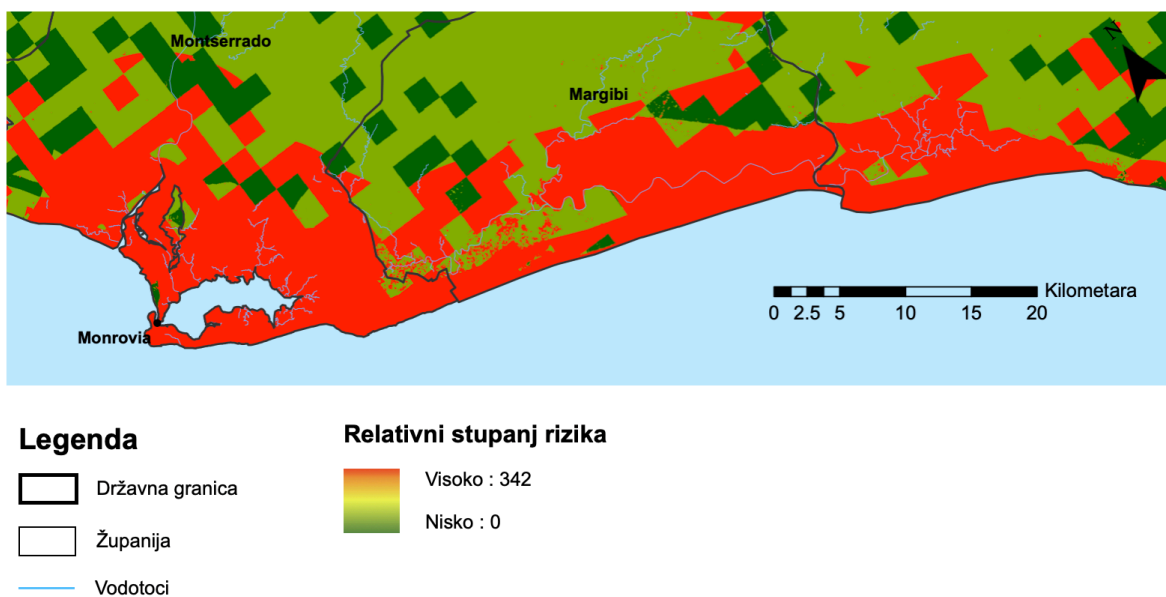


Slika 6.2 Karta relativne ranjivosti u istraživanom području (isječak iz priloga 7).

6.3. Rizik

U potpoglavlju 3.6. detaljno su opisane klasifikacije čiji su rezultati prikazani u ovom poglavlju. Rezultati navode opise granica između klasifikacija te opise grafova i karata rizika. Karta dobivena svakom klasifikacijom je posebno opisana i cijelo potpoglavlje je raspoređeno u manje sekcije koje predstavljaju pojedinu klasifikaciju.

Kao uvod u karte rizika, prilog 8 prikazuje detalje iz kojih je zaključeno kako je priobalni pojas Liberije u najvećem riziku od erozije koji se smanjuje postepeno idući prema unutrašnjosti. Ukupni stupanj relativnog rizika je od 0 do 342. Na udaljenosti od otprilike 12.5 km od obale prestaje najveći rizik i prelazi u zonu u relativno niskog stupnja rizika. Najugroženije područje je područje oko Monrovia što je prikazano na slici 6.3.



Slika 6.3 Karta relativnog rizika u istraživanom području (isječak iz priloga 8).

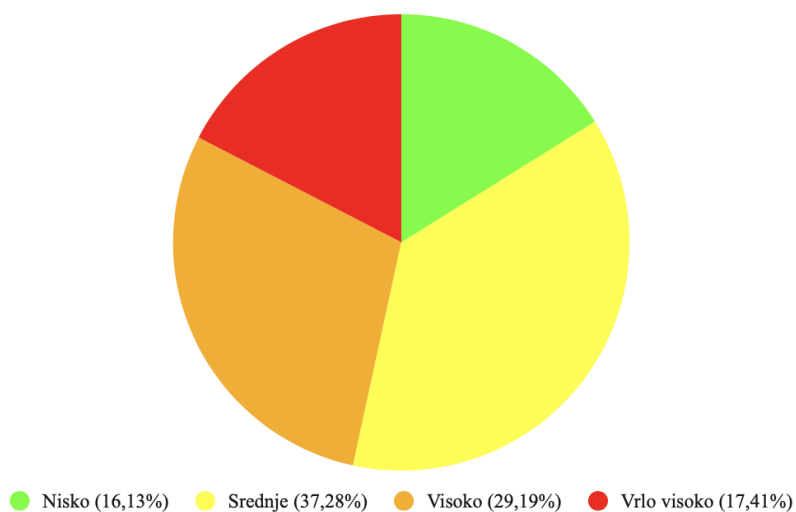
Budući da se radi o neklasificiranim podacima, nije prikazana površinska raspodjela kategorija prema stupnju rizika.

Kako se podaci mogli točno klasificirati, potrebno ih je svesti na istu bazu. Način na koji su određene *Klasifikacija 1* i *Klasifikacija 2* traži da se stupanj relativnog rizika svede na 100, a to se radi reklasifikacijom stupnja relativnog rizika uz pomoć klasifikacijske *metode jednakih dijelova* (eng. *Equal interval*).

6.3.1. Metoda kvantila

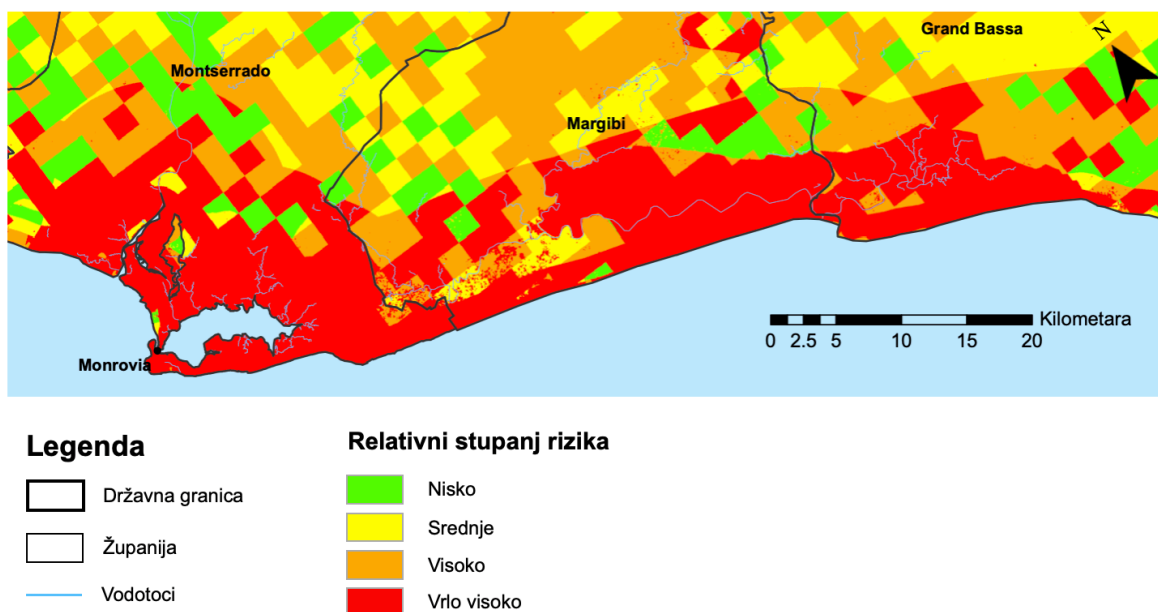
Metoda kvantila raspon relativnog rizika kategorizira u četiri kategorije rizika: (i) nisko (0 - 1), (ii) srednje (1 - 2), (iii) visoko (2 - 3), (iv) vrlo visoko (3 - 100). Većina područja (37,28% od ukupne površine) predstavlja područje srednjeg rizika, dok je područje visokog rizika odmah iza s 29,19% ukupne istraživane površine. Područja s najvećim rizikom se nalaze uz obalu pa tako i u unutrašnjosti Liberije. Područja niskog rizika (16,13% površine) i vrlo visokog rizika (17,41% površine) su gotovo jednako zastupljena kao što je prikazano na slici 6.4.

Površinski udio stupnja rizika na istraživanom području



Slika 6.4 Površinski udio stupnja rizika u istraživanom području prema *metodi kvantila*.

Na slici 6.5 je prikazano područje oko grada Monrovia, a dio je priloga 9. Prikaz je napravljen u mjerilu 1:300.000.

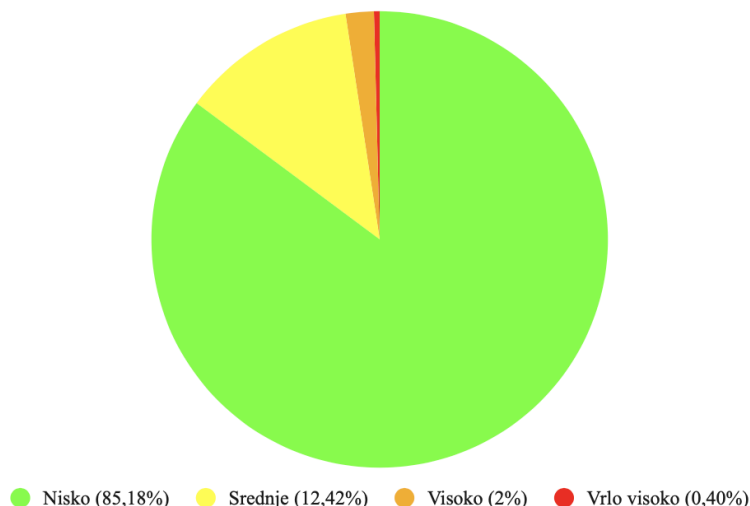


Slika 6.5 Karta relativnog rizika izrađena *metodom kvantila* (isječak iz priloga 9).

6.3.2. Metoda prirodnih granica

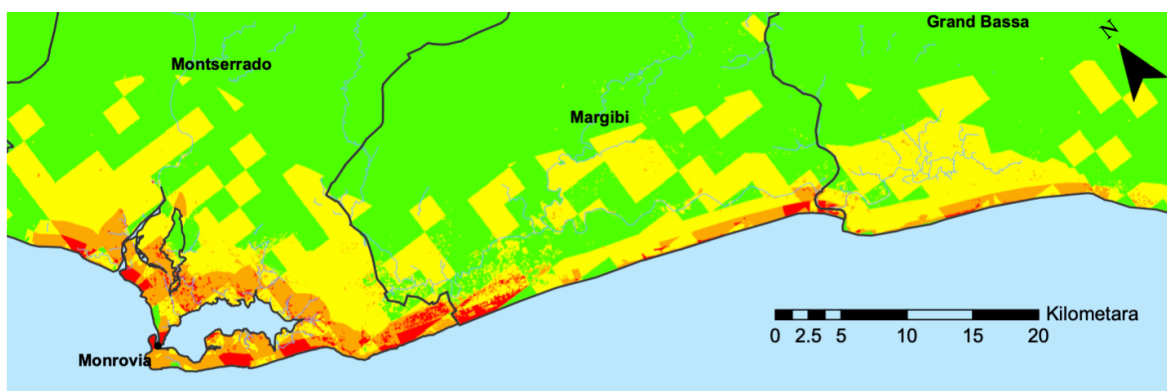
Metoda prirodnih granica ranije spomenuti raspon relativnog rizika kategorizira u četiri kategorije rizika: (i) nisko (0 - 4), (ii) srednje (4 - 11), (iii) visoko (11 – 27), (iv) vrlo visoko (27 – 100). Istraživano područje je većinom kategorizirano kao područje s niskim (85,18% ukupne površine) i srednjim (12,42%) stupnjem rizika. Samo je 2% klasificirano kao područje visokog rizika i 0,40% ako područje vrlo visokog rizika kao (slika 6.6).

Površinski udio stupnja rizika na istraživanom području



Slika 6.6 Površinski udio klasa rizika na istraživanom području prema *metodi prirodnih granica*.

Područja s najvećim rizikom su područja naseljenih gradova koji se nalaze uz rijeke poput Monrovia i Robertsporta. Iako je rizik na tim mjestima značajan, opseg tog rizika nije realno prikazan tako da se *metoda prirodnih granica* ne smije uzimati u obzir u procesu analize rizika. *Metoda prirodnih granica* nije dala dovoljnu težinu ranjivosti te je većinu podataka izbacila na temelju hazarda što se vidi prema srednjem, velikom i visokom stupnju rizika koji su u vrlo sličnom skladu kao što je karta procjene hazarda. Detaljan prikaz relativnog rizika prema *metodi prirodnih granica* se može vidjeti u prilogu 10, a na slici 6.7 se nalazi isječak napravljen u mjerilu 1:300.000.



Legenda

- Državna granica
- Županija
- Vodotoci

Relativni stupanj rizika

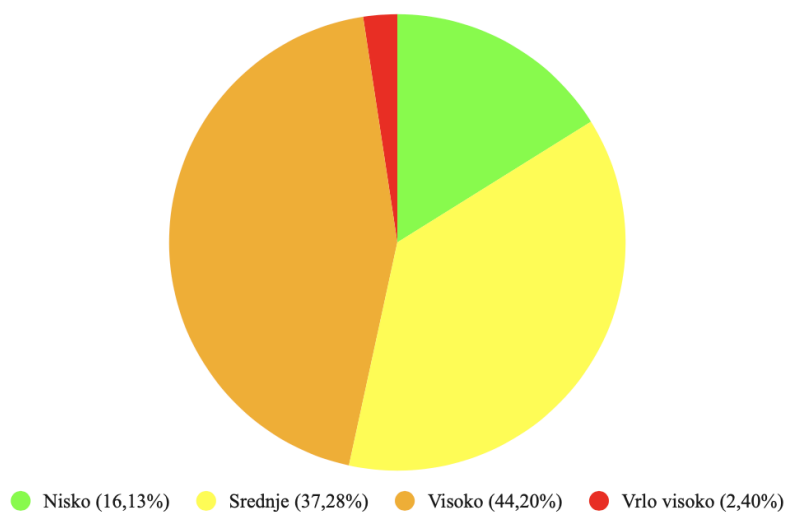
- Nisko
- Srednje
- Visoko
- Vrlo visoko

Slika 6.7 Karta relativnog rizika izrađena uz pomoć *metode prirodnih granica* (isječak iz priloga 10).

6.3.3. Metoda geometrijskih intervala

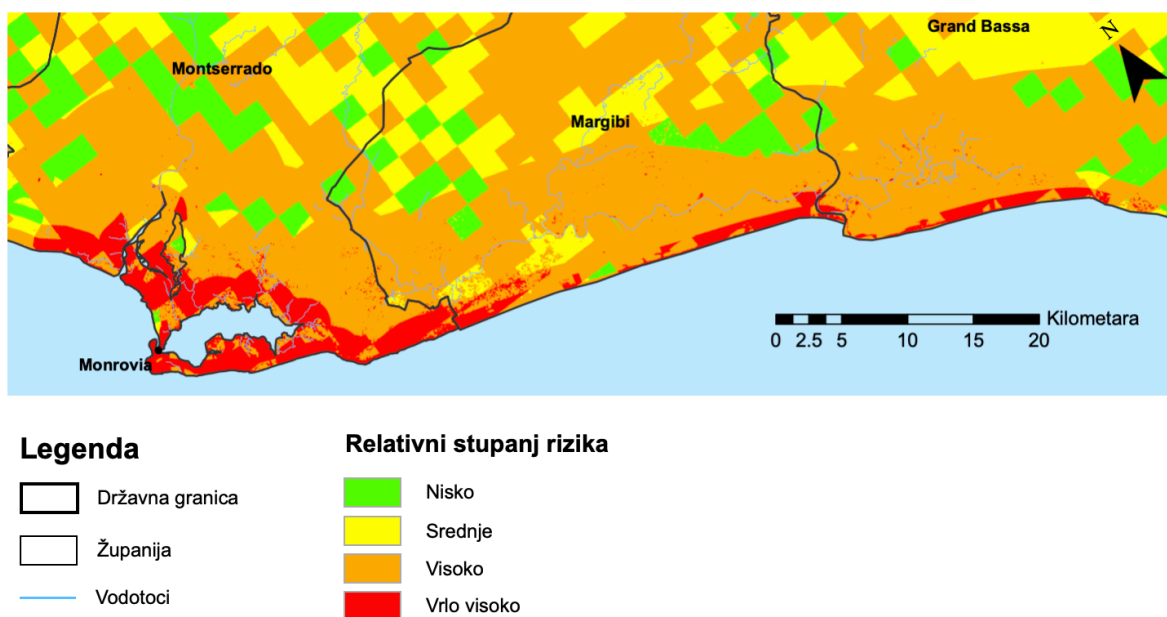
Klasifikacijska *metoda geometrijskih intervala* ranije spomenuti raspon relativnog rizika kategorizira u četiri kategorije rizika: (i) nisko (0 – 1,11), (ii) srednje (1,11 – 2,16), (iii) visoko (2,16 – 11,75), (iv) vrlo visoko (11,75 – 100). Ovako klasificirana karta (prilog 11) prikazuje kako su područja pod vrlo visokim rizikom smještena uz obalu Liberije. Vidljivo je kako su prijelazi između područja visokog rizika i niskog rizika u velikom kontrastu na sjeverozapadu zemlje dok su prijelazi jasniji na jugoistoku za što je direktno vezana faktorskom kartom ranjivosti namjene zemljišta. Prema analizi udjela stupnja rizika u istraživanom području (slika 6.8), 16,13% područja ima stupanj niskog rizika, 37,28% srednjeg rizika, 44,20% visokog rizika i 2,40% vrlo visokog rizika.

Površinski udio stupnja rizika na istraživanom području



Slika 6.8 Površinski udio stupnja rizika u istraživanom području prema *metodi geometrijskih intervala*.

Na slici 6.9 prikazano je područje oko grada Monrovia kao područje s vrlo visokim rizikom.

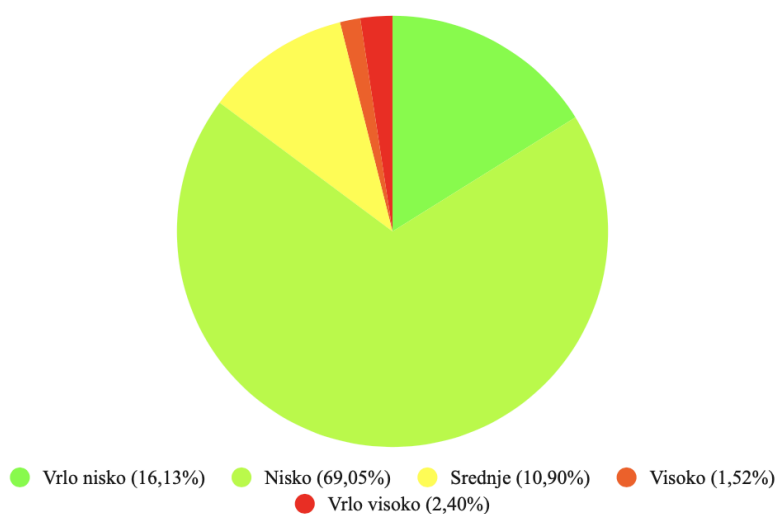


Slika 6.9 Karta relativnog rizika izrađena prema *metodi geometrijskih intervala* (isječak iz priloga 11).

6.3.4. Metoda standardne devijacije

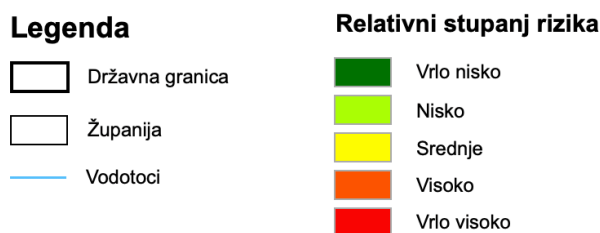
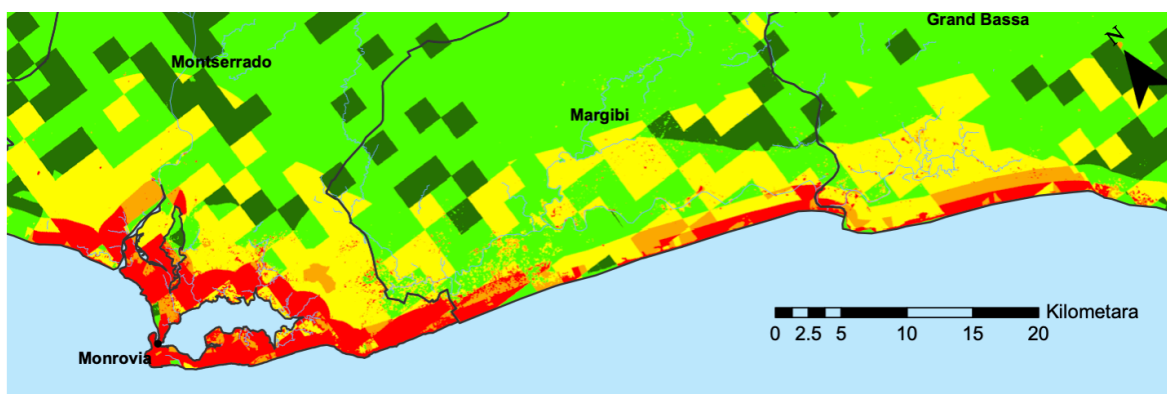
Metoda standardne devijacije ranije spomenuti raspon relativnog rizika (slika 6.4) kategorizira u pet kategorija rizika: (i) vrlo nisko (0 – 1,41), (ii) nisko (1,41 – 4,86), (iii) srednje (4,86 – 8,29), (iv) visoko (8,29 – 11,73), (v) vrlo visoko (11,73 – 100). Prema toj klasifikaciji 16,13% istraživnog područja je klasificirano kao područje vrlo niskog rizika, 69,05% je niskog rizika, 10,9% je srednjeg rizika, 1,52% je visokog rizika i 2,40% je vrlo visokog rizika kao što prikazuje slika 6.10.

Površinski udio stupnja rizika na istraživnom području



Slika 6.10 Površinski udio stupnja rizika u istraživnom području prema *metodi standardne devijacije*.

Kao područja vrlo visokog i visokog rizika, klasificirano je priobalje uz najnaseljenije gradove. S obzirom na ulazne faktore, klasifikacija je mjerodavna za konačne zaključke i korisna kada je potrebno istražiti područja koja su ispod ili iznad srednje vrijednosti rizika koji se proučava. Slika 6.11 prikazuje klasifikaciju prema *metodi standardne devijacije* u okolini grada Monrovia i kao takve je dio priloga 12. Prikaz je napravljen u mjerilu 1:300.000.



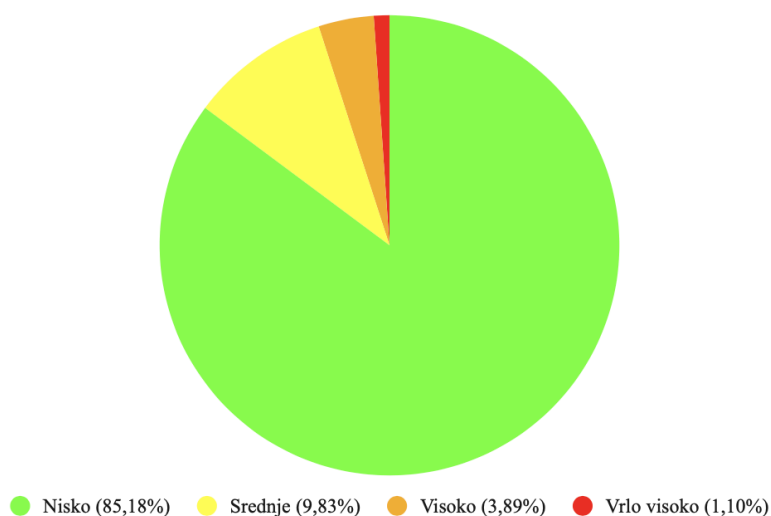
Slika 6.11 Karta relativnog rizika izrađena prema *metodi standardne devijacije* (isječak iz priloga 12).

6.3.5. Klasifikacija 1

Klasifikacija 1 unesena je iskustvena procjena stručnjaka s obzirom na raspodjelu vrijednosti ukupnog rizika na istraživanom području. Krajnjim rezultatom podsjeća na rezultat dobiven *metodom prirodnih granica* od koje se razlikuje za maksimalno 2,66% i to u kategoriji srednjeg stupnja rizika. Sve razlike između ostalih kategorija su manje od 2,66%.

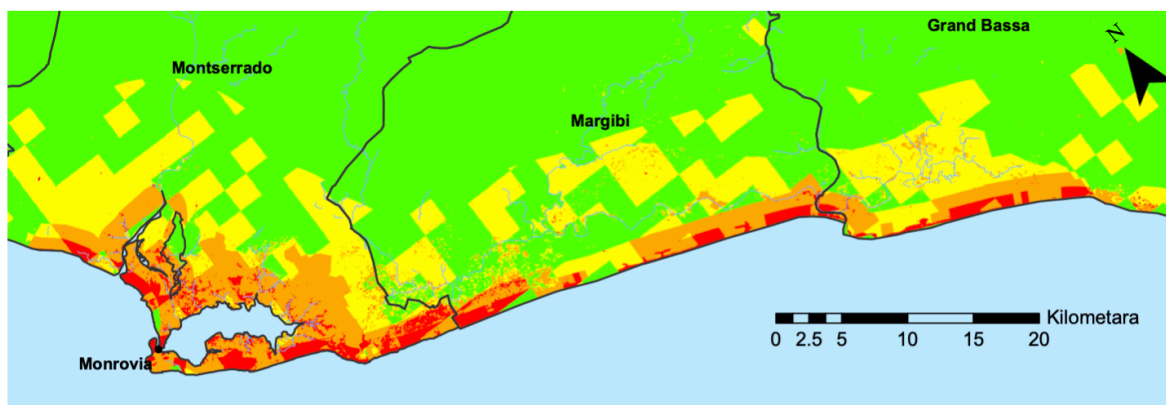
Klasifikacija 1 ranije spomenuti raspon relativnog rizika kategorizira u četiri kategorije rizika: (i) nisko (2 - 4), (ii) srednje (4 – 7), (iii) visoko (7 – 17), (iv) vrlo visoko (17 - 342). Prema slici 6.12, 85,18% istraživanog područja je kategorizirano niskim rizikom, 9,83% srednjim rizikom, 3,89% visokim rizikom i 1,10% vrlo visokim rizikom.

Površinski udio stupnja rizika na istraživanom području



Slika 6.12 Površinski udio stupnja rizika u istraživanom području prema *Klasifikacija 1* klasifikaciji.

Od dvije iskustvene klasifikacije, *Klasifikacija 1* predstavlja konačnu verziju koja uzima da je područje udaljenije od cca 5 km od obale sigurno i područje niskog rizika. Najveći udio visokog i vrlo visokog rizika ima sjeverozapad gdje su najnaseljeniji gradovi. U jugoistočnom dijelu, najveći dio površine sa srednjim stupnjem rizika odlazi na zaštićena područja. S povećanjem udaljenosti od obale, stupanj rizika se smanjuje za ta područja te nije isti kao u sljedećoj klasifikaciji *Klasifikacija 2*. Slika 6.13 (isječak priloga 13) prikazuje stupanj rizika oko grada Monrovia.



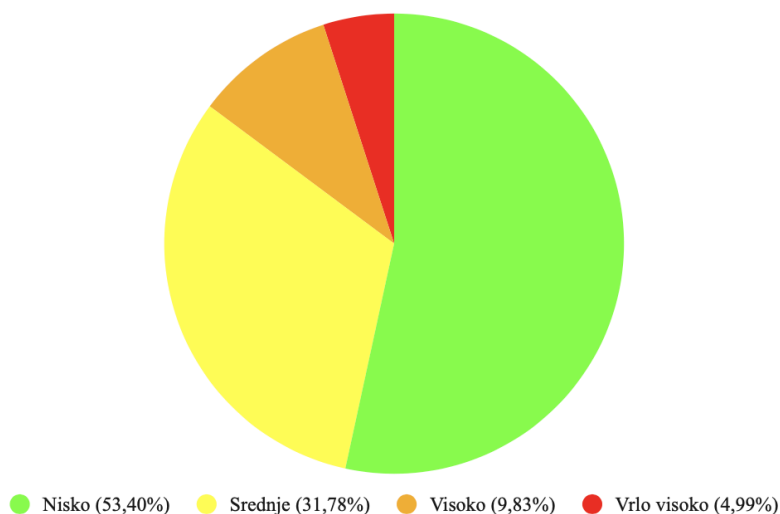
Slika 6.13 Karta relativnog rizika izrađena uz pomoć klasifikacije *Klasifikacija 1* (isječak iz priloga 13).

6.3.6. Klasifikacija 2

Jednako kao i kod *Klasifikacija 1*, *Klasifikacija 2* definirana je subjektivnom procjenama stručnjaka. Ova klasifikacija se razlikuje od svih preostalih po srednjem relativnom stupnju rizika u kojem ima najveću vrijednost od svih ostalih klasifikacija, 9,82%. Ova klasifikacija je konzervativnija od *Klasifikacija 1* zbog toga što veći postotak područja uzima kao područje koje predstavlja srednji, visoki ili vrlo visoki rizik.

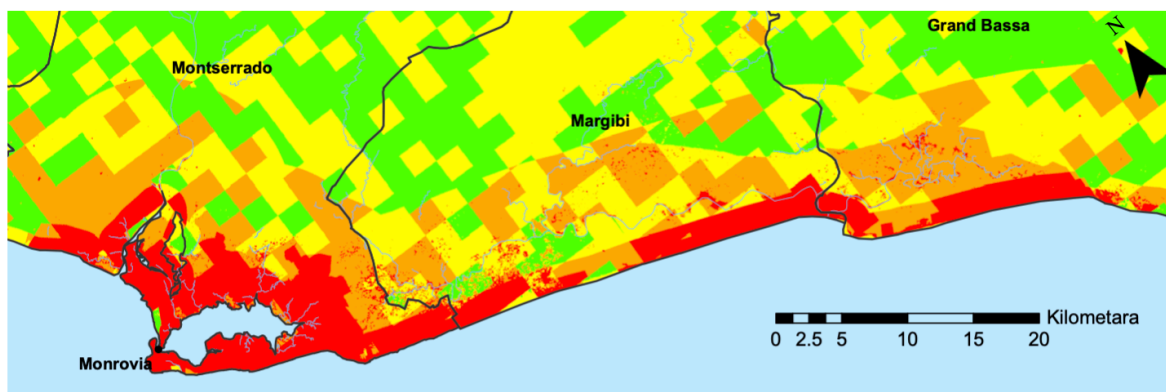
Klasifikacija 2 ranije spomenuti raspon relativnog rizika kategorizira u četiri kategorije rizika: (i) nisko (2 - 4), (ii) srednje (4 – 7), (iii) visoko (7 – 100), (iv) vrlo visoko (100 - 342). Prema slici 6.14, 53,40% istraživanog područja je kategorizirano niskim rizikom, 31,78% srednjim rizikom, 9,82% visokim rizikom i 4,99% vrlo visokim rizikom.

Površinski udio stupnja rizika na istraživanom području



Slika 6.14 Površinski udio stupnja rizika u istraživanom području prema klasifikaciji
Klasifikacija 2.

Iz slike 6.15 (isječak iz priloga 14) je vidljivo kako su svi ulazni faktori uzeti u obzir te je površinska raspodjela relativnog stupnja rizika realna. Područja od vrlo visokog rizika su najnaseljenija područja uz obalu, dok su naseljena područja prema unutrašnjosti srednjeg rizika, a nenaseљena područja su područja niskog rizika. Na sjeverozapadu zemlje, srednji rizik pate naselja, dok na jugoistoku srednji rizik pate zaštićena područja Nacionalni park Cestos-Senkwehn te Grand Kru-Rijeka Gee.



Legenda

- Državna granica
- Županija
- Vodotoci

Relativni stupanj rizika

- Nisko
- Srednje
- Visoko
- Vrlo visoko

Slika 6.15 Karta relativnog rizika izrađena uz pomoć klasifikacije *Klasifikacija 2* (isječak iz priloga 14).

6.3.7 Sumarni prikaz rezultata klasifikacijskih metoda

U tablici 6.1 prikazana je usporedba rezultata procjene rizika dobivenih uz pomoć različitih klasifikacijskih metoda. Tablica je podijeljena na pet kategorija kako bi se zadovoljila potreba metode standardne devijacije, a to su: (i) vrlo nisko, (ii) nisko, (iii), srednje, (iv) visoko, (v) vrlo visoko.

Tablica 6.1 Usporedba rezultata procjene rizika uz različite klasifikacije.

klasifikacija	granice	vrlo nisko	nisko	srednje	visoko	vrlo visoko
<i>metoda kvantila</i>	1					
	2	-	16,13%	37,28%	29,19%	17,41%
	3					
<i>metoda prirodnih granica</i>	4					
	11	-	85,18%	12,42%	2,00%	0,40%
	27					
<i>metoda geometrijskihi intervala</i>	1,11					
	2,16	-	16,13%	37,28%	44,20%	2,40%
	11,75					
<i>metoda standardne devijacije</i>	1,41					
	4,86					
	8,29	16,13%	75,84%	3,72%	1,92%	2,40%
	11,73					
<i>klasifikacija 1</i>	4					
	7	-	85,18%	9,83%	3,89%	1,10%
	17					
<i>klasifikacija 2</i>	2					
	4	-	53,40%	31,78%	9,83%	4,99%
	7					

7. DISKUSIJA

Karta rizika od obalne erozije je vrlo važna podloga za planiranje mjera koje se odnose na sanaciju i prevenciju procesa erozije i postanka pojava koje nastaju kao posljedica ovog geohazarda na području Liberije. Provedena procjena rizika zasniva na znanstvenim i stručnim metodama istraživanjima koje su sažeto opisane u ovom radu kako bi se mogli usporediti primjeri dobre prakse i različitost pristupa. Odabir mjera i donošenje daljnjih odluka na temelju karte rizika ovisi o tome jesu li rizici ocijenjeni kao prihvatljivi ili ne, što je izvan domene geoznanosti, jer ocjena prihvatljivosti rizika uglavnom ovisi o socijalnim, političkim i ekonomskim kriterijima. Metodologija izrade karte rizika od obalne erozije u Liberiji izrađena je subjektivnom metodom, što znači da je zasnovana na cijelom nizu početnih pretpostavki i dostupnim povijesnim podacima. Zbog toga, ova karta sadrži informacije preliminarne prirode koje daju brzi uvid u stanje obalne erozije u Liberiji. S obzirom da je Liberija država s vrlo malo resursa za kontinuirano bilježenje podataka te s vrlo malo službenih karta krupnog mjerila, mnogi dostupni podaci korišteni u opisanim prostornim analizama, su male preciznosti.

Procjena rizika od obalne erozije u Liberiji provedena je na osnovi pet vrsta ulaznih podataka, a to su podaci o: godišnjoj eroziji i akreciji, inundaciji morske vode, gustoći naseljenosti, rasporedu kulturne baštine te pokrovu i namjeni zemljišta. Osim ovih faktora, na eroziju još utječu i godišnja raspodjela padalina, morske mijene, pojave oluja i ekonomska aktivnost. Međutim, podaci o oborinama, morskim mijenama, oluji i ekonomskim aktivnostima nisu bili uključeni u procjenu rizika zbog toga što istraživano područje nije potpuno pokriveno odgovarajućim faktorskim kartama. Područje istraživanja obuhvaća pojas širine 15 km od obale Liberije prema unutrašnjosti, a ukupna površina istraživanog područja iznosi 16.379,97 km². Proteže se od granice na sjeverozapadu pa sve do granice na jugoistoku čime je obuhvaćena cijela obalna linija.

Izvori ulaznih podataka za analize hazarda, ranjivosti i rizika su bili različiti. Iz službene arhive ESRI platforme preuzeti su: podaci o gustoći i raspodjeli stanovništva; administrativne granice jedinica lokalne samouprave, regionalne razine i državne granice; i prostorni prikaz kulturne baštine. Podatci o pokrovu i namjeni zemljišta bili su dostupni u USGS arhivi. Za razliku od toga, podaci o eroziji i akreciji prikupljeni iz postojeće dokumentacije istraživanja provedenih na području Liberije. Informacije o inundaciji morske vode su prikupljene uz pomoć vanjskih suradnika, što je od iznimne važnosti budući

da je za proces erozije ovaj faktor izuzetno značajan. Arhiva kartografskih podakata u GIS-u, kako i statističkih podataka u Liberiji je vrlo slabo održavana i često ne postoje ažurirani i primjenjivi podaci potrebni za prikaz i analize. Usprkos navedenom, smatra se da su u istraživanje uključeni svi najvažnijifaktori zbog čega je procjena rizika zadovoljavajuće pouzdanosti te se može koristiti za daljnje donošenje odluka i razvoj mjera prevencije.

Na početku istraživanja je pretpostavljeno će priobalni dijelovi biti najviše ugroženi. Istraživanjima je bilo potrebo utvrditi koji dijelovi su ugroženi i u kojem opsegu. Konačna karta rizika nastala je na temelju karata hazarda i ranjivosti koje prikazuju područja na kojima je najvjerojatniji utjecaj prirodnih procesa obalne erozije i područja koja će imati najveće štete ako se ti prirodni procesi dogode. Ovime su provedena istraživanja potvrdila pretpostavku, a uz pomoć prostornih analiza dobiveno je sedam različitih karata rizika, koje prikazuju relativnu vrijednost rizika u oblanom pojasu Liberije. Karte se razlikuju u načinima klasifikacije podatak, a korištene su sve klasifikacije iz programa Arc GIS (*metoda geometrijskih intervala, prirodnih granica, kvantila, standardne devijacije*), kao i dvije iskustvene klasifikacije (*Klasifikacija 1 i Klasifikacija 2*).

Usporedba rezultata procjene rizika dobivenih različitim načinima klasifikacije pokazala je veliku varijabilnost konačnih rezultata. Najveća zastupljenost visoko rizičnih područja dobivena je metodama klasifikacije *geometrijskih intervala* i *kvantila*. Najmanja zastupljenost visoko rizičnih područja dobivena je metodama klasifikacije *prirodnih granica*. Metode *prirodnih granica* i *kvantila* nisu predodređene za analizu ovakve vrste podataka zbog čega su podaci dobiveni tim klasifikacijama u velikom odstupanju od ostalih karata. Iskustvene klasifikacije *Klasifikacija 1* i *Klasifikacija 2* daju točnije raspodjele interpretiranih klasa rizika, od kojih je karta rizika klasificirana primjenom *Klasifikacije 2* na strani veće sigurnosti zbog čega je financijski nepovoljnija. Kao najbolja karta odabrana je karta rizika obalne erozije Liberije dobivena klasifikacijom *Klasifikacija 2*.

Daljnji korak u prostornoj analizi rizika je verifikacija izvedenih karata hazarda, ranjivosti i rizika od erozije obale što će imati utjecaj na odabir konačne karte rizika koja će se koristiti za prevenciju erozije i zaštitu stanovništva na obalnom području Liberije. Verifikacija još nije provedena, a biti će provedena na način da će se u određenom vremenskom periodu pratiti pojava erozije ili nastale štete i uspoređivati s izvedenim kartama.

8. ZAKLJUČAK

Procjena hazarda, ranjivosti i rizika od erozije obale Liberije provedena je na državnoj razini na osnovi podataka prikupljenih iz međunarodnih baza podataka i dokumentacije o provedenim istraživanjima u Liberiji. U prostornoj analizi rizika korišteni su sljedeći faktori: gustoća naseljenosti, kulturna baština, pokrov i namjena zemljišta, godišnja erozija i akrecija te inundacija morske vode. Karta rizika od erozije obale istraživanog područja prikazana je u državnom mjerilu 1:1.500.000 i obuhvaća 16.379,97 km² priobalnog područja Liberije, odnosno zonu širine 15 km od granice između obale i mora prema unutrašnjosti.

Na hazard od erozije obale najviše utječu sljedeći faktori: razgranata hidrološka mreža, geološka građa te relativno niske nadmorske visine koje čine cijelo područje podložnim na poplave. Na ranjivost od erozije utječu sljedeći faktori: gustoća naseljenosti, kulturna baština, pokrov i namjena zemljišta.

Konačna rizika podijeljena je na područja niskog rizika (53,40% površine), srednjeg rizika (31,78% površine), visokog rizika (9,83% površine) i vrlo visokog rizika (4,99% površine). Zona visokog i vrlo visokog rizika (ukupno 14,82% površine) nalazi se u priobalnom području, do 3 kilometra od obalne granice prema unutrašnjosti, u okolici najnaseljenijih gradova Robertsport, Monrovia, Buchanan, River Cess, Greenville, Sasstown, Grand Cess i Harper. S obzirom na rezultate procjene rizika, mogu se izdvojiti dva područja koja se generalno razlikuju po rasporedu kategorija rizika, sjeverozapadni i jugoistočni dio. Sjeverozapadni dio je naseljeniji i ekonomski aktivniji zbog čega se područja srednjeg stupnja rizika pojavljuju čak i dublje u unutrašnjosti. S druge strane, jugoistok je slabije naseljen što rezultira manjim rizikom od erozije čemu svjedoči gotovo podjednaka raspodjela područja s niskim stupnjem rizika i područja sa srednjim, visokim i vrlo visokim stupnjem rizika.

9. LITERATURA

- AWANGEA, J.L., SALEEMA , A., KONNEHA, S.S., GONCALVESB, R.M., KIEMAC, J.B.K., HUA, K.X., 2018. Liberia's coastal erosion vulnerability and LULC change analysis: Post-civil war and Ebola epidemic. *Applied Geography* Volume 101, str. 56-67.
- BENAC, Č., 2013. Rječnik pojmova u primijenjenoj geologiji i geološkom inženjerstvu. Udžbenici Sveučilišta u Rijeci, Rijeka, str. 35.
- DRUSCH, M., DEL BELLO, U., CARLIER, S., COLIN, O., FERNANDEZ, V., GASCON, F., ET AL., 2012. Sentinel-2: ESA's optical high-resolution mission for GMES operational services. European Space Agency SP-1332.
- GATTER, W., 1997. *Birds of Liberia*. Yale University Press, New Haven.
- KUMAR, T. S., MAHENDRA, R. S., SHAILESH N., RADHAKRISHNAN K., SAHU, K. C., 2010. Coastal Vulnerability Assessment for Orissa State, East Coast of India. *Journal of Coastal Research*, 26(3), 523 – 534.
- LUIJENDIJK, A., HAGENAARS, G., RANASINGHE, R., 2018. The State of the World's Beaches. *Sci Rep* 8, 6641.
- MANI MURALI, R., ANKITA, M., AMRITA, S., VETHAMONY, P., 2013. Coastal Vulnerability Assessment of Puducherry coast, India, using Analytical Hierarchy Process (AHP). CSIR-National Institute of Oceanography, Dona Paula, Goa, India and Pondicherry University, Puducherry, India.
- NEHRA, V., 2016. A Study of Coastal Erosion & Its Causes, Effects and Control Strategies. *International Journal of Research and Scientific Innovation (IJRSI)* Svezak 3, Izdanje 6, ISSN 2321–2705.
- NICHOLLS, R. J., & CAZENAVE, A., 2010. Sea-level rise and its impact on coastal zones. *Science*, 328(5985), 1517–1520.
- PENDLETON, E. A., E. R. THIELER, S. J. WILLIAMS, 2004. Coastal Vulnerability Assessment of Cape Hatteras National Seashore (CAHA) to Sea-Level Rise. Open-File Report. U.S. Geological Survey, Reston, Virginia.
- PENDLETON, E. A., J. A., BARRAS, S. J., WILLIAMS, D. C., TWICHELL, 2010. Coastal Vulnerability Assessment of the Northern Gulf of Mexico to Sea-Level Rise and Coastal Change. U.S. Geological Survey. Reston, Virginia.
- POORNIMA, K. V., & CHINTHAPARTHI, S., 2014. Detection and future prediction of coastal changes in Chennai using remote sensing and GIS techniques. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 3(2), 9456–9462.

SAATY, T. L., 1977. A scaling method for priorities in hierarchical structures, J. Math. Psychol., 15, 234–281.

TRUMBIĆ, I., 2018. Land Vulnerability Report. IPE GLOBAL Research.

UNDP, 2015. The republic of Liberia: Enhancing the resilience of vulnerable coastal areas to climate change risks.

USAID, 2016. LandScan product for Liberia population density.

USGS, 2015. Landsat data. United States: USGS.

VARNES, D. J., 1984. Landslide Hazard Zonation: A Review of Principles and Practice, Natural Hazards. UNESCO, Paris.

WEB IZVORI:

ENCYCLOPEDIA BRITANNICA. 2019.

URL: <https://www.britannica.com/science/harmattan> (22.4.2020.)

CLIMATES TO TRAVEL. Climate – Liberia.

URL: <https://www.climatestotravel.com/climate/liberia> (7.3.2020.)

COASTAL WIKI. 2020.

URL: www.coastalwiki.org/wiki/Types_and_background_of_coastal_erosion (22.4.2020.)

ESDAC. 2013. Soil Atlas of Africa.

URL: https://esdac.jrc.ec.europa.eu/Library/Maps/Africa_Atlas/Documents/JRC_africa_soil_atlas_part1.pdf. (6.3.2020.)

ESRI. 2016. Geoportal Server.

URL: <https://www.esri.com/enus/arcgis/products/geoportal-server/overview> (3.2.2020.)

JAXA. 2018. ALOS Global Digital Surface Model "ALOS World 3D - 30m (AW3D30)".

URL: <https://www.eorc.jaxa.jp> (2.2.2020.)

LIBERIAN GEOLOGICAL SURVEY. 1974. Geology.

URL: <https://www.bgs.ac.uk/LGS/geology.html> (6.3.2020.)

NASA. 2019. Global Climate Change.

URL: <https://climate.nasa.gov/vital-signs/sea-level/> (3.2.2020.)

PROTECTED PLANET. 2020. Liberia protected areas.

URL: <https://www.protectedplanet.net/country/LR> (6.12.2019.)

UN DESA. 2015. World population prospects.

URL: <https://www.un.org/en/development/desa/publications/world-population-prospects-2015-revision.html> (2.2.2020.)

UN. 2019. Projekcija stanovništva.

URL: <https://data.un.org/en/iso/lr.html> (6.3.2020.)

UNDP. 2018. Razvojni program UN-a.

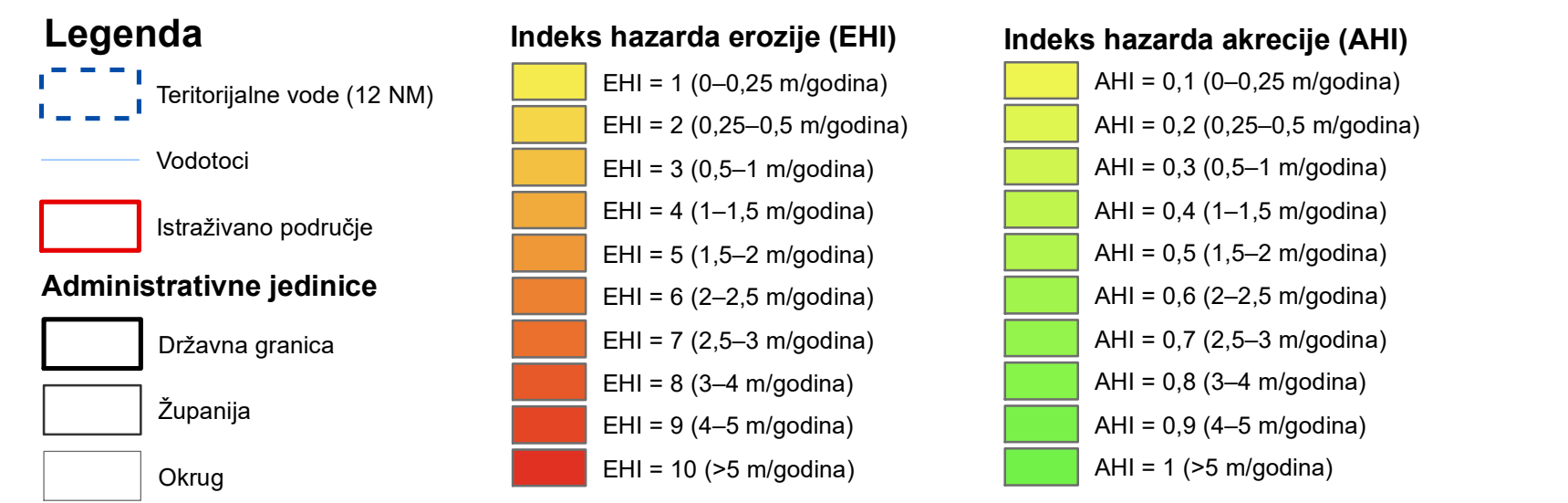
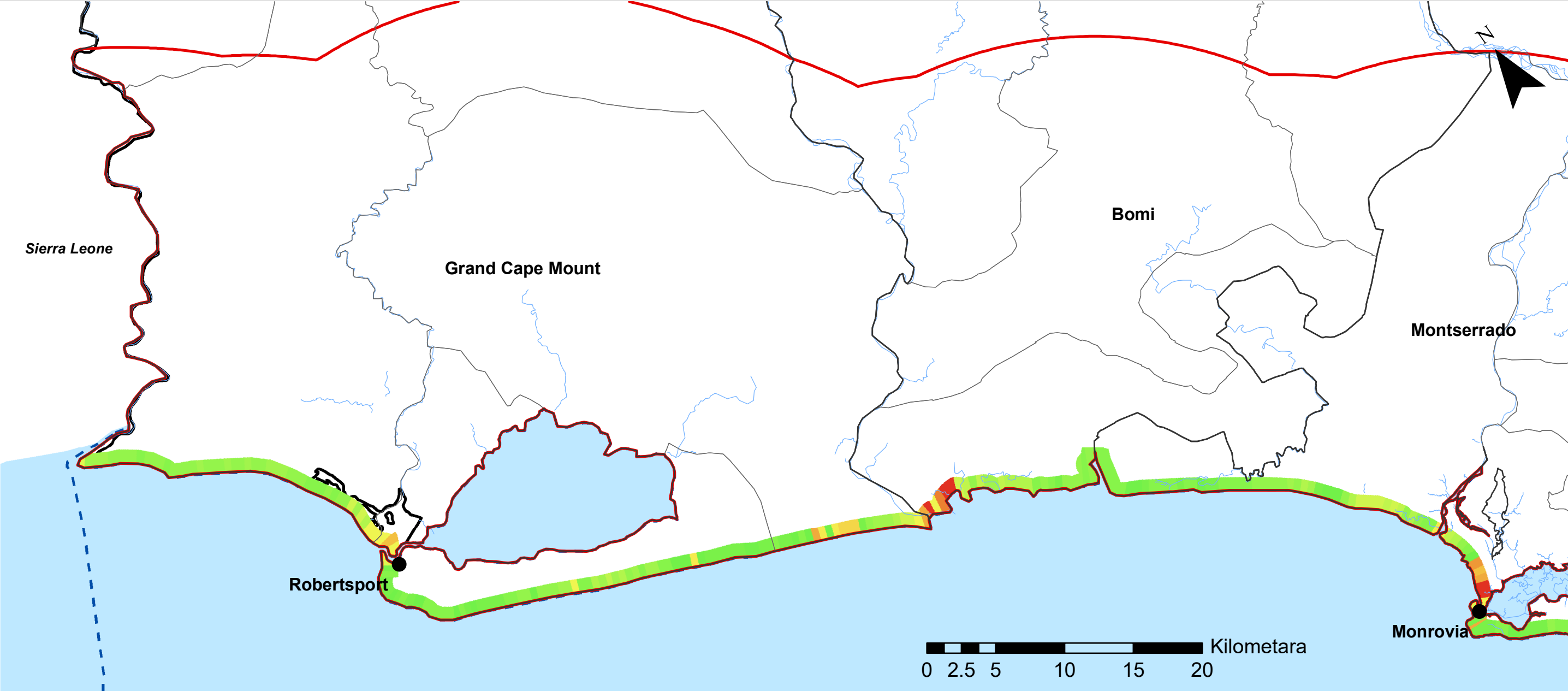
URL: <https://medium.com/@UNDP/environment-chief-why-were-prioritizing-climate-governance-in-liberia-25c34b7aa152> (8.2.2020.)

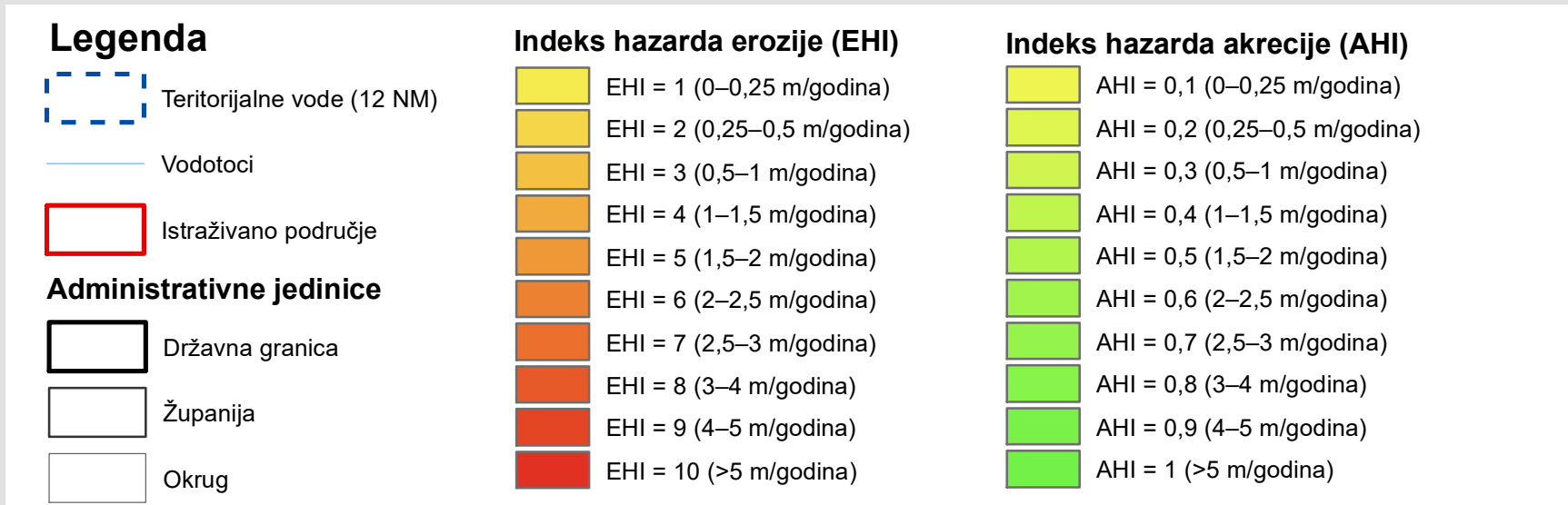
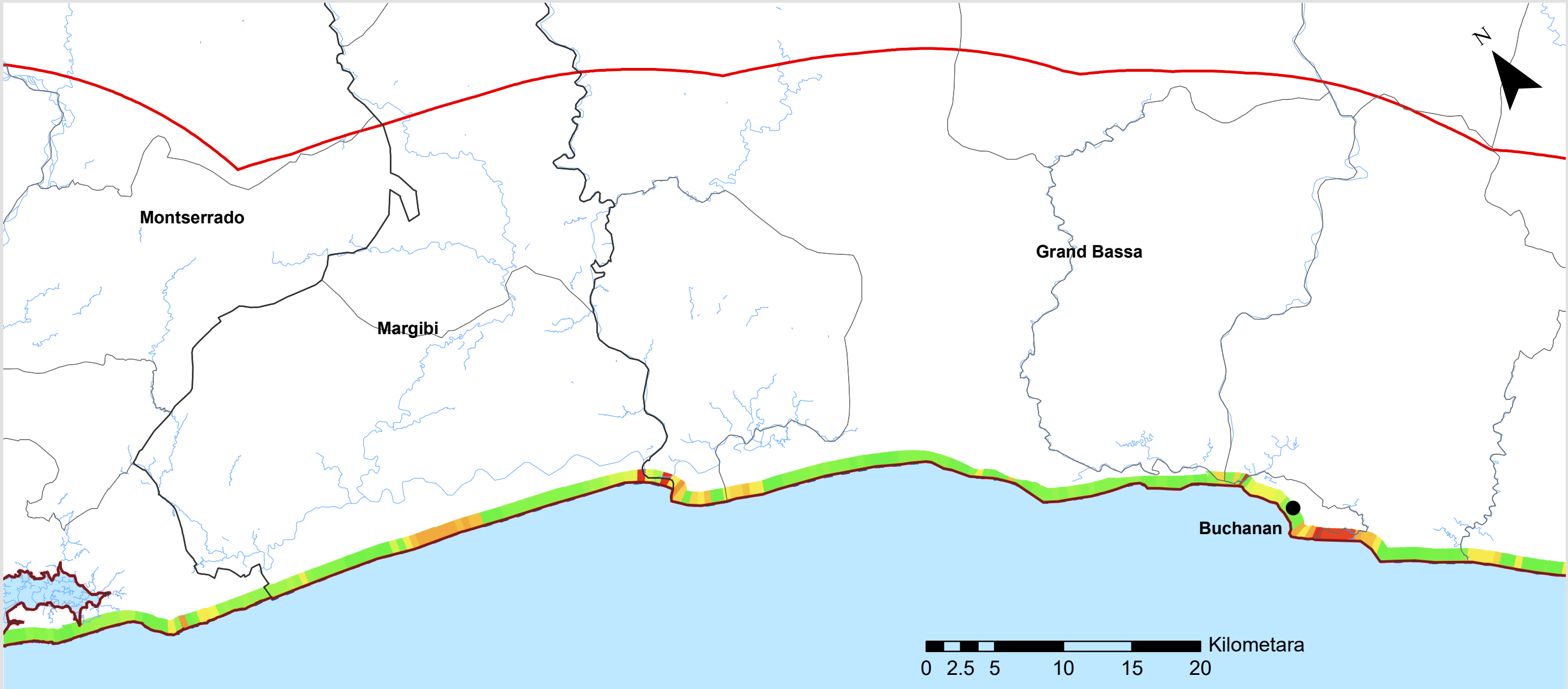
USAID. 2012. Climate change adaptation in Liberia.

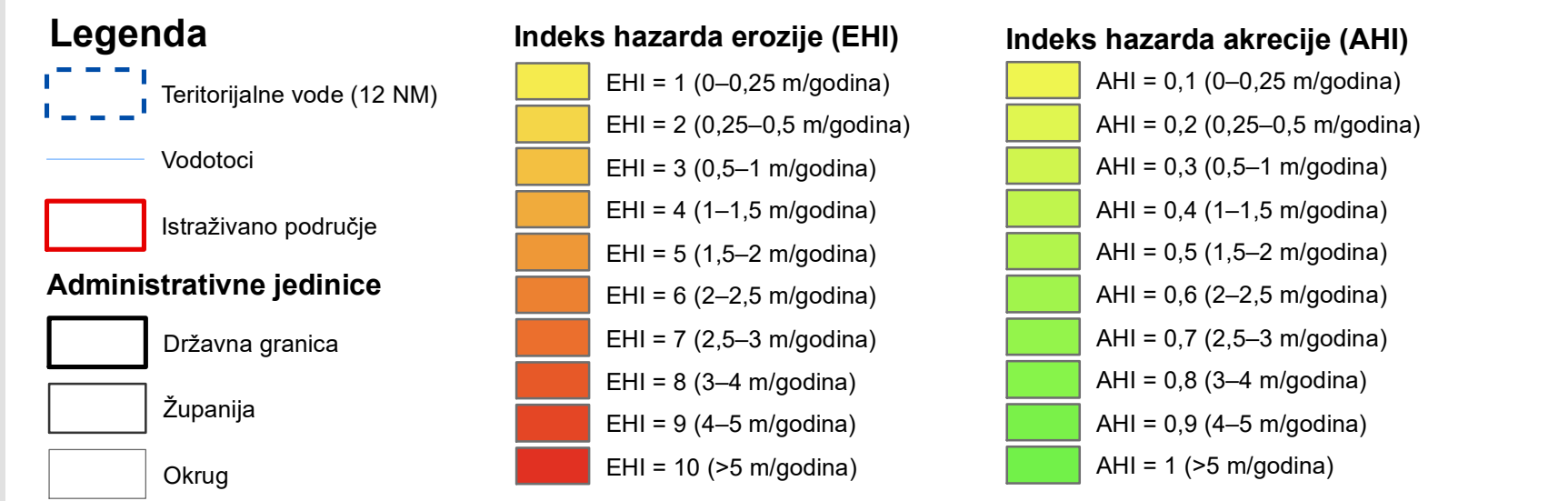
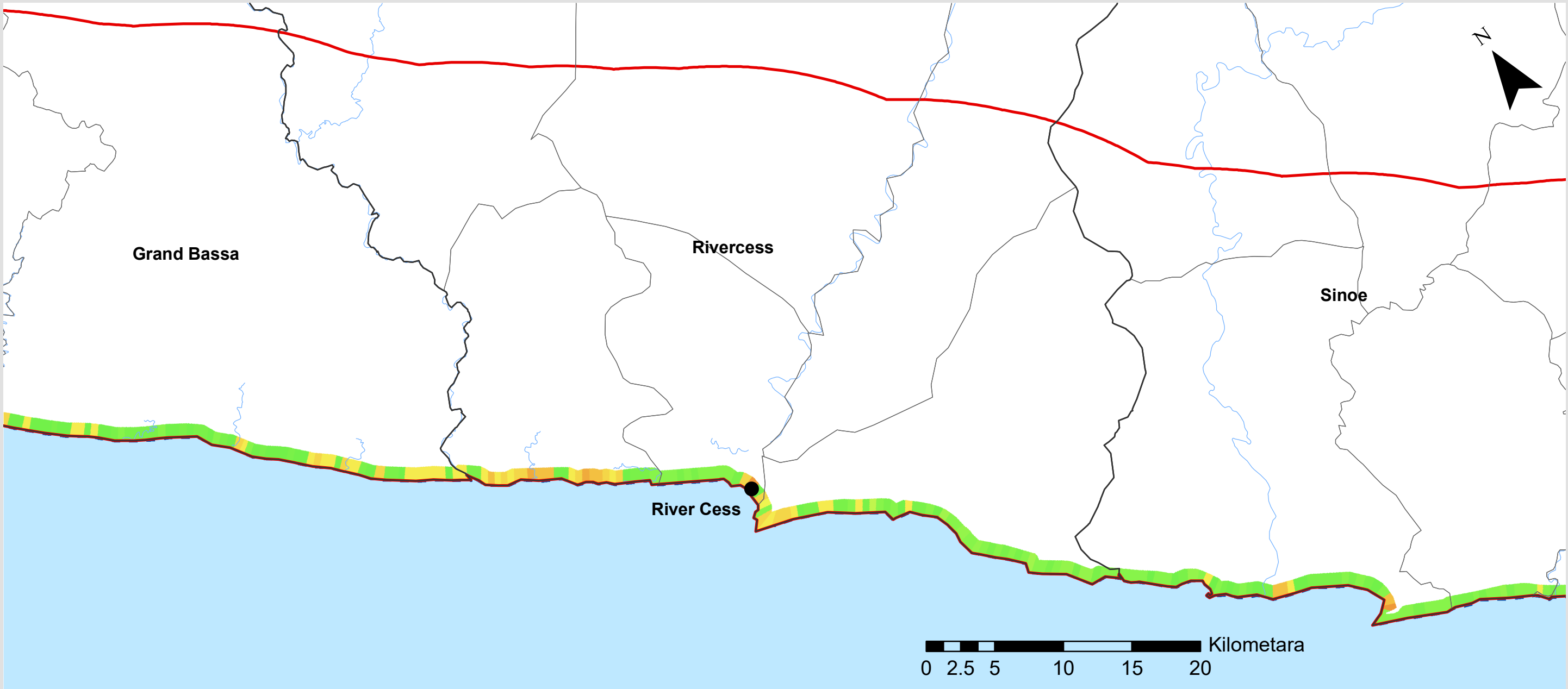
URL: <https://www.climatelinks.org/resources/climate-change-adaptation-liberia-fact-sheet> (2.2.2020.)

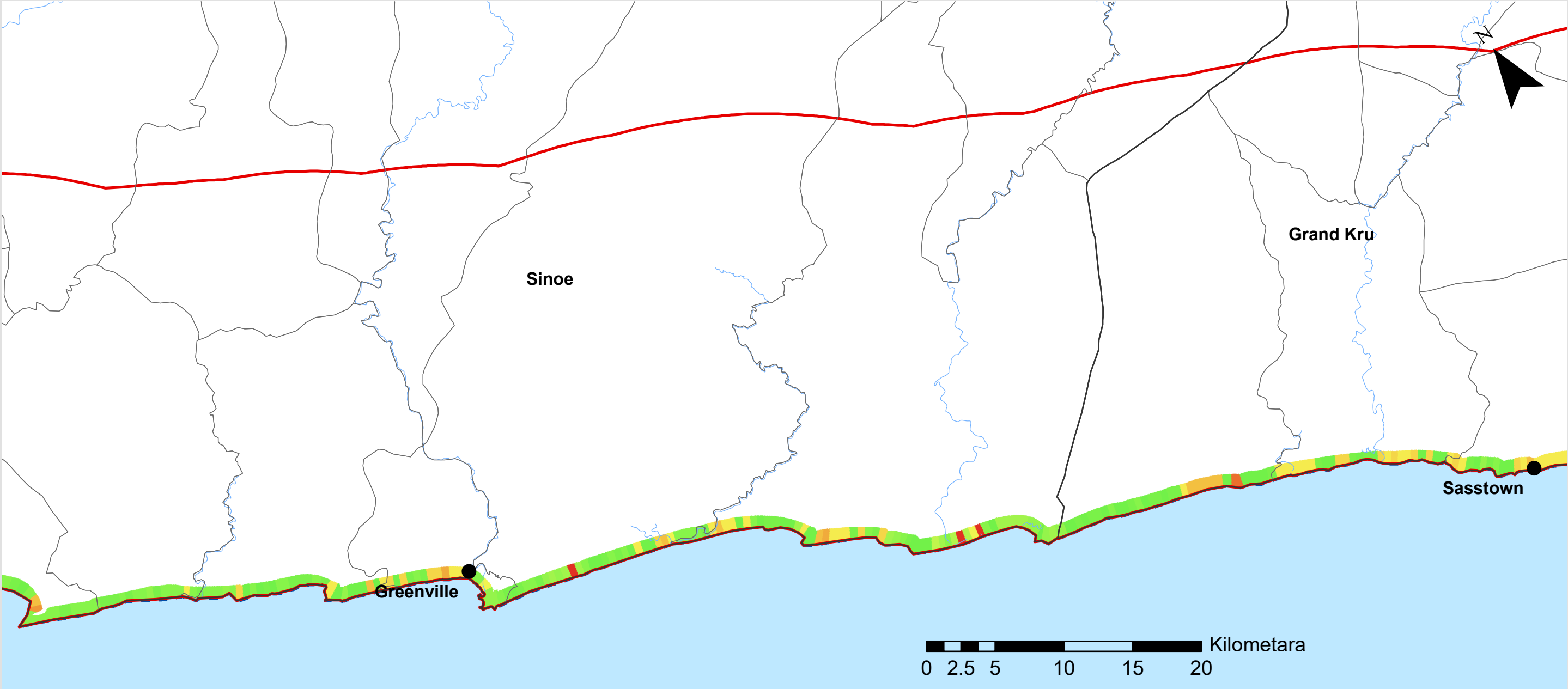
USGS. 2013. West Africa: Land Use and Land Cover Dynamics.

URL: <https://eros.usgs.gov/westafrica/land-cover/land-use-land-cover-and-trends-liberia> (6.12.2019.)









Legenda

Teritorijalne vode (12 NM)

Vodotoci

Istraživano područje

Administrativne jedinice

Državna granica

Županija

Okrug

Indeks hazarda erozije (EHI)

	EHI = 1 (0–0,25 m/godina)
	EHI = 2 (0,25–0,5 m/godina)
	EHI = 3 (0,5–1 m/godina)
	EHI = 4 (1–1,5 m/godina)
	EHI = 5 (1,5–2 m/godina)
	EHI = 6 (2–2,5 m/godina)
	EHI = 7 (2,5–3 m/godina)
	EHI = 8 (3–4 m/godina)
	EHI = 9 (4–5 m/godina)
	EHI = 10 (>5 m/godina)

Indeks hazarda akrecije (AHI)

	AHI = 0,1 (0–0,25 m/godina)
	AHI = 0,2 (0,25–0,5 m/godina)
	AHI = 0,3 (0,5–1 m/godina)
	AHI = 0,4 (1–1,5 m/godina)
	AHI = 0,5 (1,5–2 m/godina)
	AHI = 0,6 (2–2,5 m/godina)
	AHI = 0,7 (2,5–3 m/godina)
	AHI = 0,8 (3–4 m/godina)
	AHI = 0,9 (4–5 m/godina)
	AHI = 1 (>5 m/godina)

Procjena rizika od obalne erozije u Liberiji

Diplomski rad

Mentor
Prof. dr. sc. Snježana Mihalić Arbanas

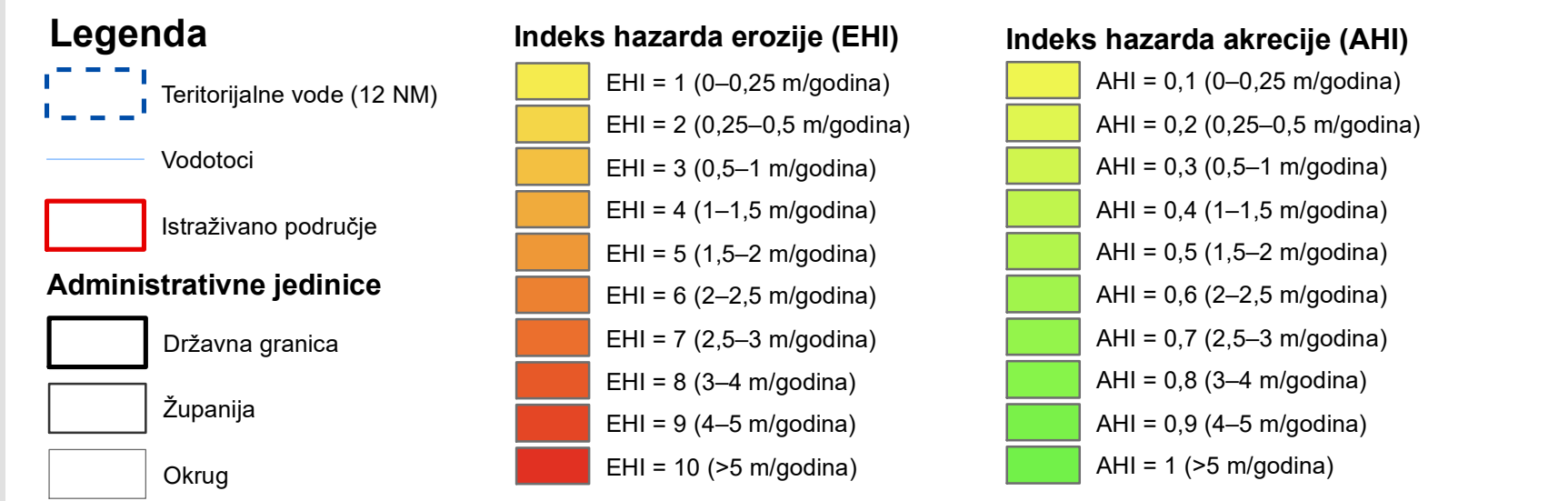
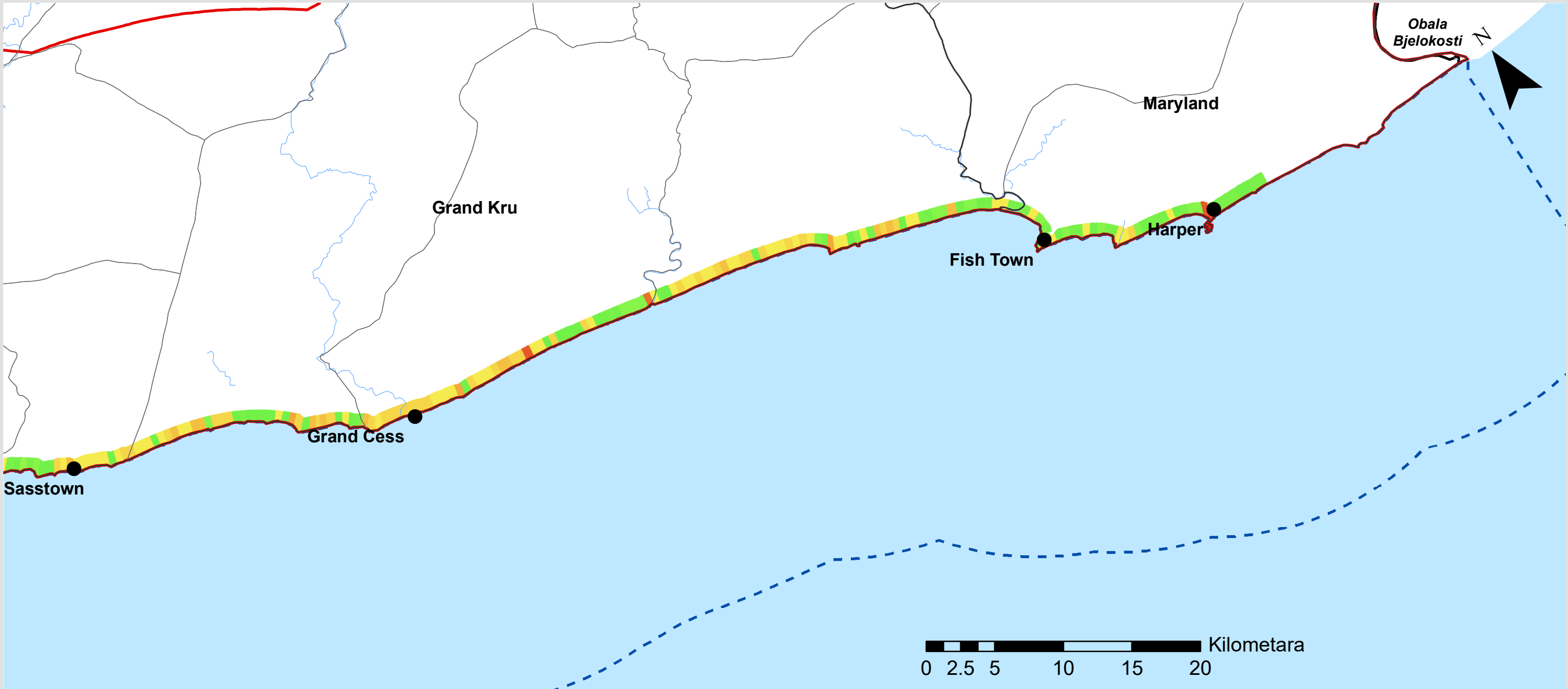
Komentor
Dr. sc. Sanja Bernat Gazibara

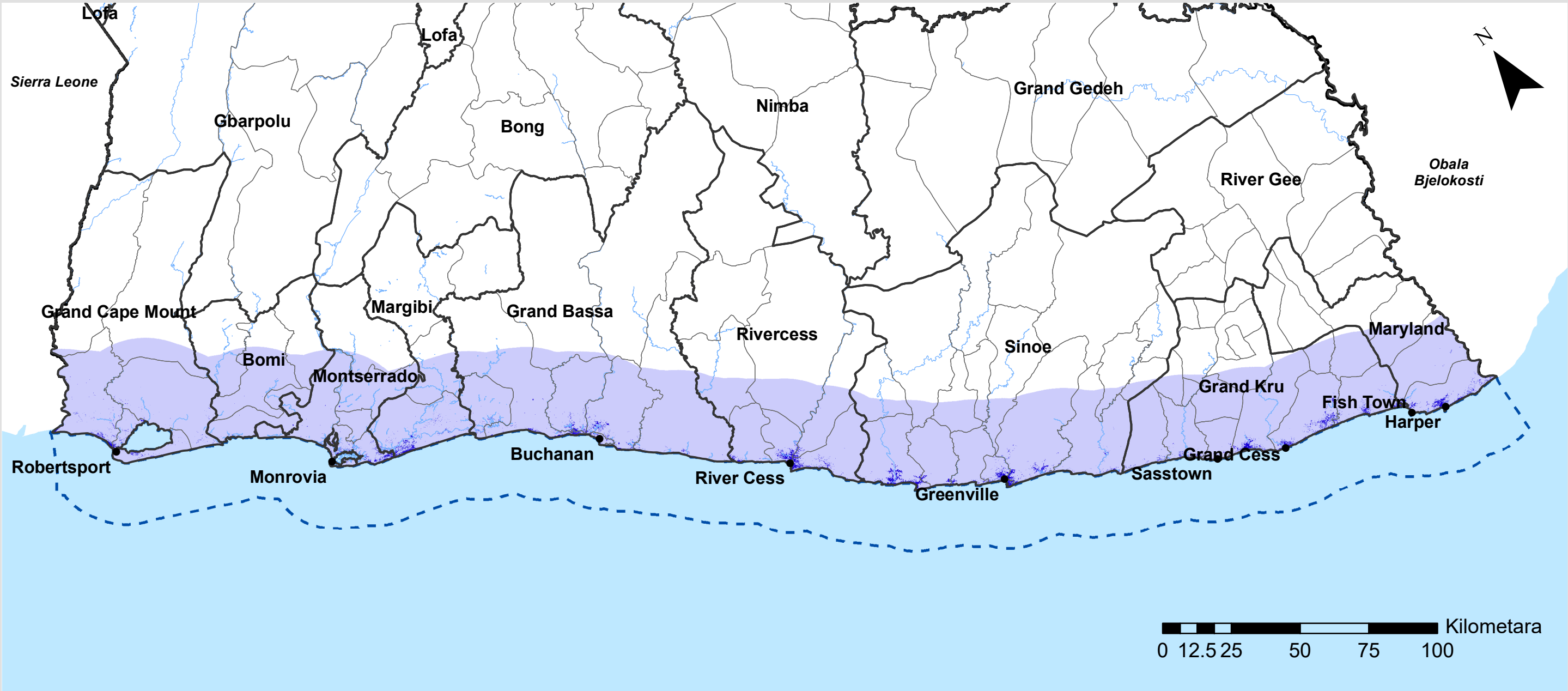
Izradio
Bruno Oršanić, univ. bacc. ing. geol.

Datum
veljača, 2020.

Mjerilo
1:300.000

Prilog br.
1





Legenda

- Teritorijalne vode (12 NM)
- Vodotoci

Administrativne jedinice

- Državna granica
- Županija
- Okrug

Inundacija morske vode /
Indeks hazarda poplave (SHI)

- SHI = 1–3 (0–1 m)
- SHI = 4–5 (1–2 m)
- SHI = 6–7 (2–3 m)
- SHI = 8–10 (>3 m)



Sveučilište u Zagrebu
RUDARSKO
GEOLOŠKO
NAFTNI FAKULTET

Procjena rizika od obalne erozije u Liberiji

Diplomski rad

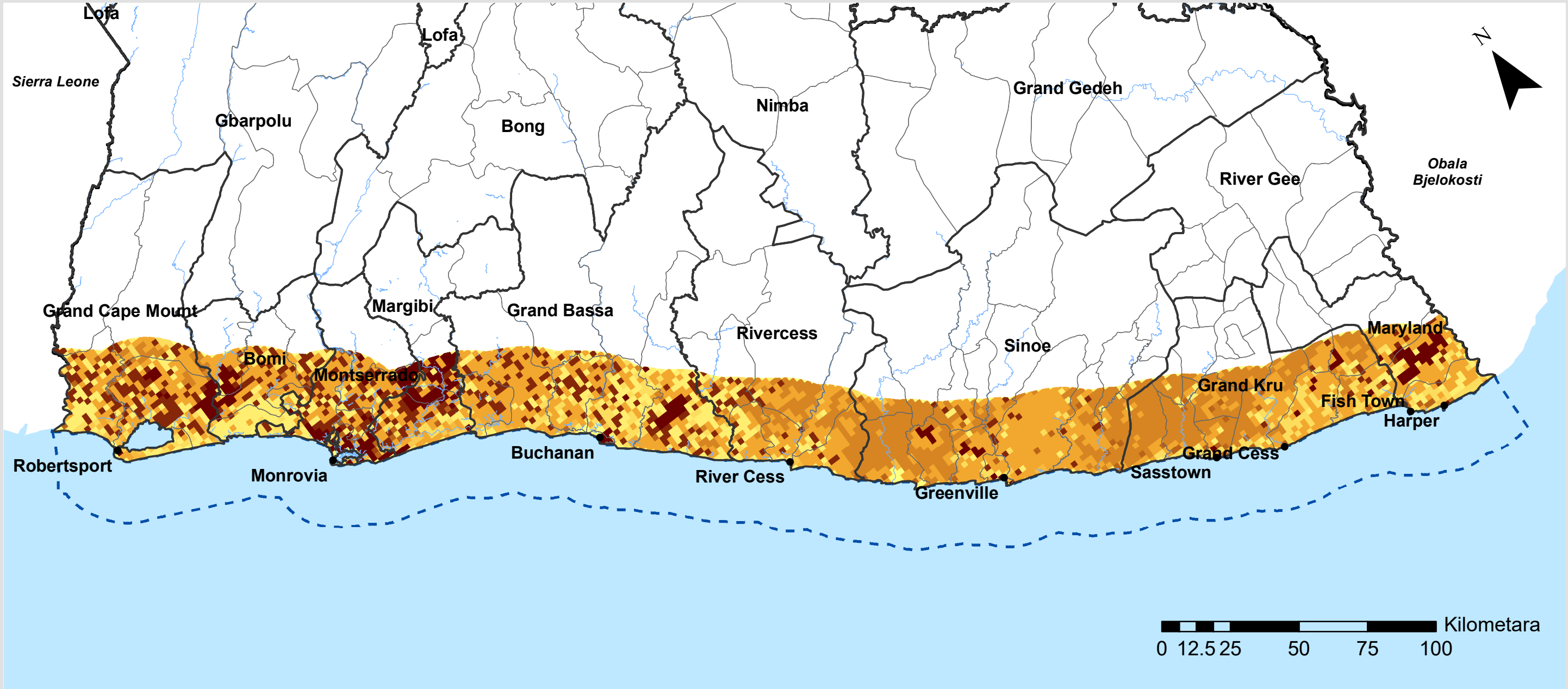
Mentor
Prof. dr. sc. Snježana Mihalić Arbanas
Komentor
Dr. sc. Sanja Bernat Gazibara

Izradio
Bruno Oršanić, univ. bacc. ing. geol.

Datum veljača, 2020. Mjerilo 1:1.500.000 Prilog br. 2

PROCJENA HAZARDA, RANJIVOSTI I RIZIKA
ZA OBALNO PODRUČJE LIBERIJE

RANJIVOST NAMJENE I POKROVA ZEMLJIŠTA
KARTA BR.:3 ISTRAŽIVANO PODRUČJE



Legenda

- Teritorijalne vode (12 NM)
- Vodotoci
- Administrativne jedinice
 - Državna granica
 - Županija
 - Okrug

Indeks ranjivosti namjene i pokrova zemljišta (LVI)

- | | |
|---|--|
| LVI = 1 (Savana, tlo) | LVI = 6 (Šuma) |
| LVI = 2 (Makija, travnata savana) | LVI = 7 (Šuma uz vodotoke, obalna šuma) |
| LVI = 3 (Močvarna šuma, močvara, vodena tijela) | LVI = 8 (Agrikultura u plitkim područjima) |
| LVI = 4 (Mangrova šuma) | LVI = 9 (Agrikultura) |
| LVI = 5 (Degradirana šuma) | LVI = 10 (Naselja i plantaže) |



Sveučilište u Zagrebu
RUDARSKO
GEOLOŠKO
NAFTNI FAKULTET

Procjena rizika od obalne erozije u Liberiji

Diplomski rad

Mentor
Prof. dr. sc. Snježana Mihalić Arbanas
Komentor
Dr. sc. Sanja Bernat Gazibara

Izradio
Bruno Oršanić, univ. bacc. ing. geol.

Datum **veljača, 2020.** Mjerilo **1:1.500.000** Prilog br. **3**



Legenda

- Teritorijalne vode (12 NM)
- Vodotoci
- Administrativne jedinice
 - Državna granica
 - Županija
 - Okrug

Indeks ranjivosti stanovništva (PVI)

- | | |
|--|---|
| PVI = 1
(0–250 stanovnika/km ²) | PVI = 6
(3.500–4.000 stanovnika/km ²) |
| PVI = 2
(250–500 stanovnika/km ²) | PVI = 7
(4.000–5.000 stanovnika/km ²) |
| PVI = 3
(500–1.000 stanovnika/km ²) | PVI = 8
(5.000–7.500 stanovnika/km ²) |
| PVI = 4
(1.000–2.250 stanovnika/km ²) | PVI = 9
(7.500–10.000 stanovnika/km ²) |
| PVI = 5
(2.250–3.500 stanovnika/km ²) | PVI = 10
(>10.000 stanovnika/km ²) |



Sveučilište u Zagrebu
RUDARSKO
GEOLOŠKO
NAFTNI FAKULTET

Procjena rizika od obalne erozije u Liberiji

Diplomski rad

Mentor
Prof. dr. sc. Snježana Mihalić Arbanas
Komentor
Dr. sc. Sanja Bernat Gazibara

Izradio
Bruno Oršanić, univ. bacc. ing. geol.

Datum **veljača, 2020.** Mjerilo **1:1.500.000** Prilog br. **4**

PROCJENA HAZARDA, RANJIVOSTI I RIZIKA
ZA OBALNO PODRUČJE LIBERIJE

RANJIVOST KULTURNE BAŠTINE
KARTA BR.:5 ISTRAŽIVANO PODRUČJE



Legenda

Teritorijalne vode (12 NM)

Vodotoci

Administrativne jedinice

Državna granica

Županija

Okrug

Indeks ranjivosti kulturne baštine (HVI)

	HVI = 1
	HVI = 2
	HVI = 3
	HVI = 4
	HVI = 5

Procjena rizika od obalne erozije u Liberiji

Diplomski rad

Mentor
Prof. dr. sc. Snježana Mihalić Arbanas

Komentor
Dr. sc. Sanja Bernat Gazibara

Izradio
Bruno Oršanić, univ. bacc. ing. geol.

Datum	veljača, 2020.	Mjerilo	1:1.500.000	Prilog br.	5
-------	----------------	---------	-------------	------------	---



Legenda

Teritorijalne vode (12 NM)

Vodotoci

Administrativne jedinice

Državna granica

Županija

Okrug

Relativni stupanj hazarda

Visoko : 20

Nisko : 0,1

 Sveučilište u Zagrebu
RUDARSKO
GEOLOŠKO
NAFTNI FAKULTET

Procjena rizika od obalne erozije u Liberiji

Diplomski rad

Mentor
Prof. dr. sc. Snježana Mihalić Arbanas

Izradio
Bruno Oršanić, univ. bacc. ing. geol.

Komentor
Dr. sc. Sanja Bernat Gazibara

Datum
veljača, 2020.

Mjerilo
1:1.500.000

Prilog br.
6

PROCJENA HAZARDA, RANJIVOSTI I RIZIKA
ZA OBALNO PODRUČJE LIBERIJE

RELATIVNA RANJIVOST
KARTA BR.:7 ISTRAŽIVANO PODRUČJE



Legenda

Teritorijalne vode (12 NM)
Vodotoci

Administrativne jedinice

Državna granica
Županija
Okrug

Relativni stupanj ranjivosti

Visoko : 20
Nisko : 0



Sveučilište u Zagrebu
RUDARSKO
GEOLOŠKO
NAFTNI FAKULTET

Procjena rizika od obalne erozije u Liberiji

Diplomski rad

Mentor
Prof. dr. sc. Snježana Mihalić Arbanas
Komentor
Dr. sc. Sanja Bernat Gazibara

Izradio
Bruno Oršanić, univ. bacc. ing. geol.

Datum veljača, 2020. Mjerilo 1:1.500.000 Prilog br. 7



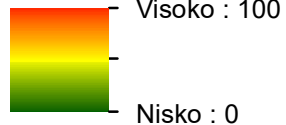
Legenda

- Teritorijalne vode (12 NM)
- Vodotoci

Administrativne jedinice

- Državna granica
- Županija
- Okrug

Relativni stupanj rizika



Sveučilište u Zagrebu
RUDARSKO
GEOLOŠKO
NAFTNI FAKULTET

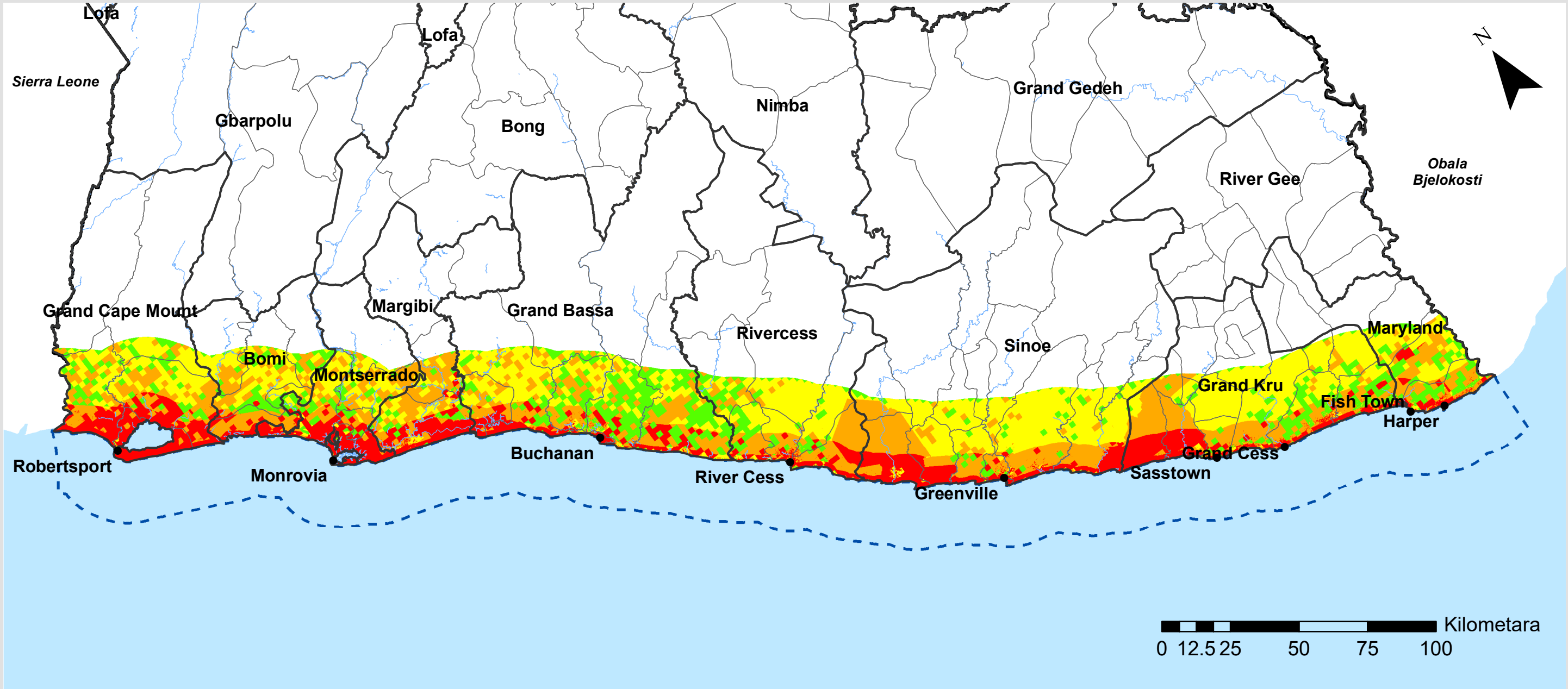
Procjena rizika od obalne erozije u Liberiji

Diplomski rad

Mentor
Prof. dr. sc. Snježana Mihalić Arbanas
Komentor
Dr. sc. Sanja Bernat Gazibara

Izradio
Bruno Oršanić, univ. bacc. ing. geol.

Datum veljača, 2020. Mjerilo 1:1.500.000 Prilog br. 8



Legenda

Teritorijalne vode (12 NM)

Vodotoci

Administrativne jedinice

Državna granica

Županija

Okrug

Relativni stupanj rizika

Nisko

Srednje

Visoko

Vrlo visoko

 Sveučilište u Zagrebu
RUDARSKO
GEOLOŠKO
NAFTNI FAKULTET

Procjena rizika od obalne erozije u Liberiji

Diplomski rad

Mentor
Prof. dr. sc. Snježana Mihalić Arbanas

Izradio
Bruno Oršanić, univ. bacc. ing. geol.

Komentor
Dr. sc. Sanja Bernat Gazibara

Datum
veljača, 2020.

Mjerilo
1:1.500.000

Prilog br.
9



Legenda

Teritorijalne vode (12 NM)
Vodotoci

Administrativne jedinice

Državna granica
Županija
Okrug

Relativni stupanj rizika

Nisko
Srednje
Visoko
Vrlo visoko



Sveučilište u Zagrebu
RUDARSKO
GEOLOŠKO
NAFTNI FAKULTET

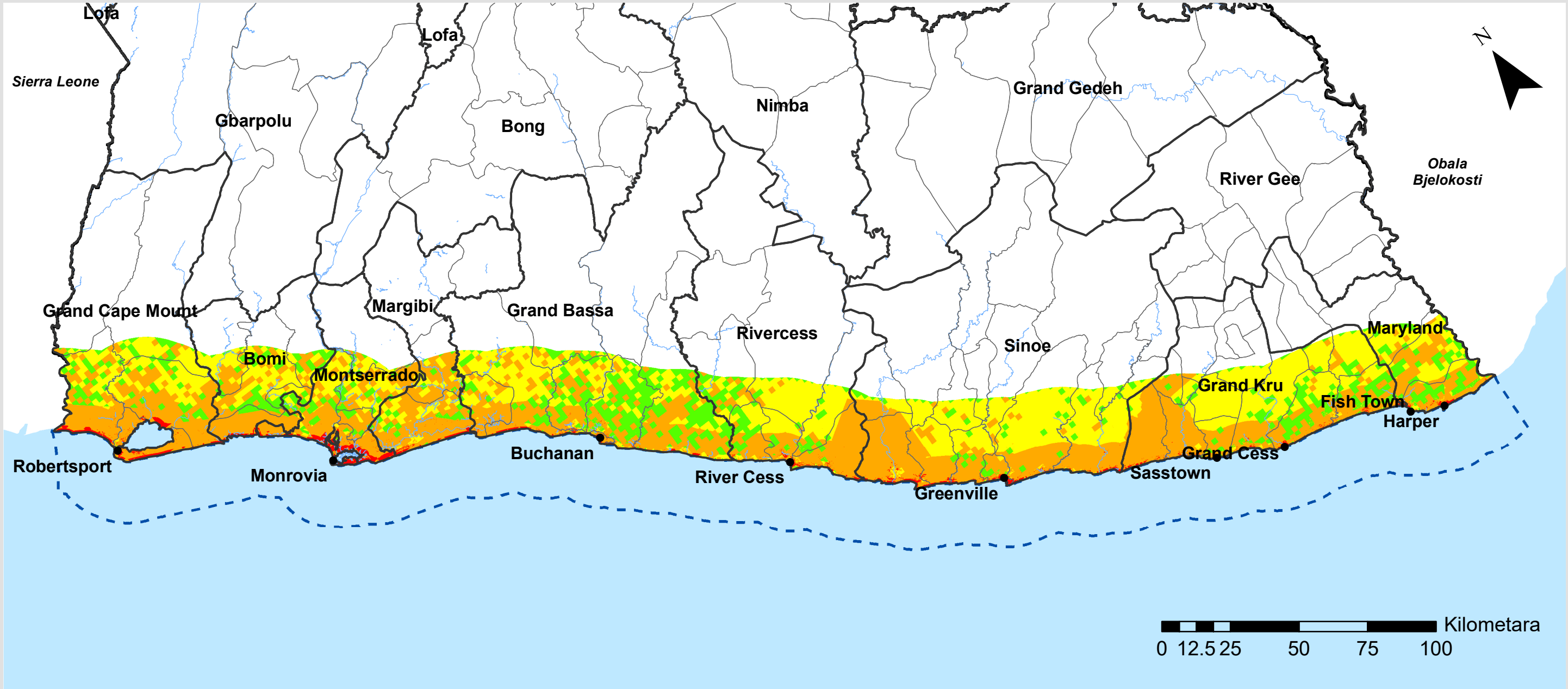
Procjena rizika od obalne erozije u Liberiji

Diplomski rad

Mentor
Prof. dr. sc. Snježana Mihalić Arbanas
Komentor
Dr. sc. Sanja Bernat Gazibara

Izradio
Bruno Oršanić, univ. bacc. ing. geol.

Datum veljača, 2020. Mjerilo 1:1.500.000 Prilog br. 10



Legenda

- Teritorijalne vode (12 NM)
- Vodotoci

Administrativne jedinice

- Državna granica
- Županija
- Okrug

Relativni stupanj rizika

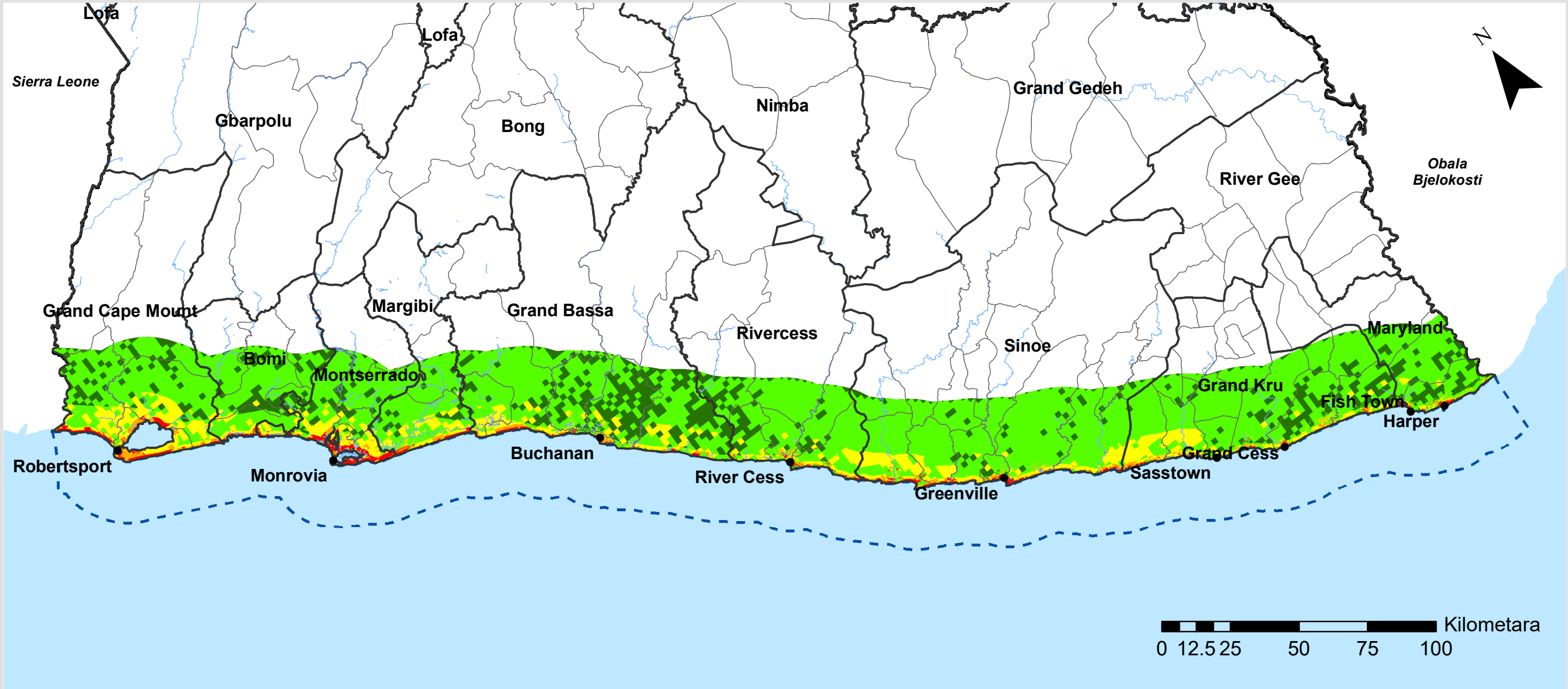
- Nisko
- Srednje
- Visoko
- Vrlo visoko



Procjena rizika od obalne erozije u Liberiji
Diplomski rad

Mentor
Prof. dr. sc. Snježana Mihalić Arbanas
Izradio
Bruno Oršanić, univ. bacc. ing. geol.
Komentor
Dr. sc. Sanja Bernat Gazibara

Datum
veljača, 2020.
Mjerilo
1:1.500.000
Prilog br.
11



Legenda

Teritorijalne vode (12 NM)

Vodotoci

Administrativne jedinice

Državna granica

Županija

Okrug

Relativni stupanj rizika

Vrlo nisko

Nisko

Srednje

Visoko

Vrlo visoko

Sveučilište u Zagrebu
RUDARSKO
GEOLOŠKO
NAFTNI FAKULTET

Procjena rizika od obalne erozije u Liberiji

Diplomski rad

Mentor
Prof. dr. sc. Snježana Mihalić Arbanas

Komentor
Dr. sc. Sanja Bernat Gazibara

Izradio
Bruno Oršanić, univ. bacc. ing. geol.

Datum
veljača, 2020.

Mjerilo
1:1.500.000

Prilog br.
12



Legenda

Teritorijalne vode (12 NM)

Vodotoci

Administrativne jedinice

Državna granica

Županija

Okrug

Relativni stupanj rizika

Nisko

Srednje

Visoko

Vrlo visoko

Sveučilište u Zagrebu
RUDARSKO
GEOLOŠKO
NAFTNI FAKULTET

Procjena rizika od obalne erozije u Liberiji

Diplomski rad

Mentor
Prof. dr. sc. Snježana Mihalić Arbanas

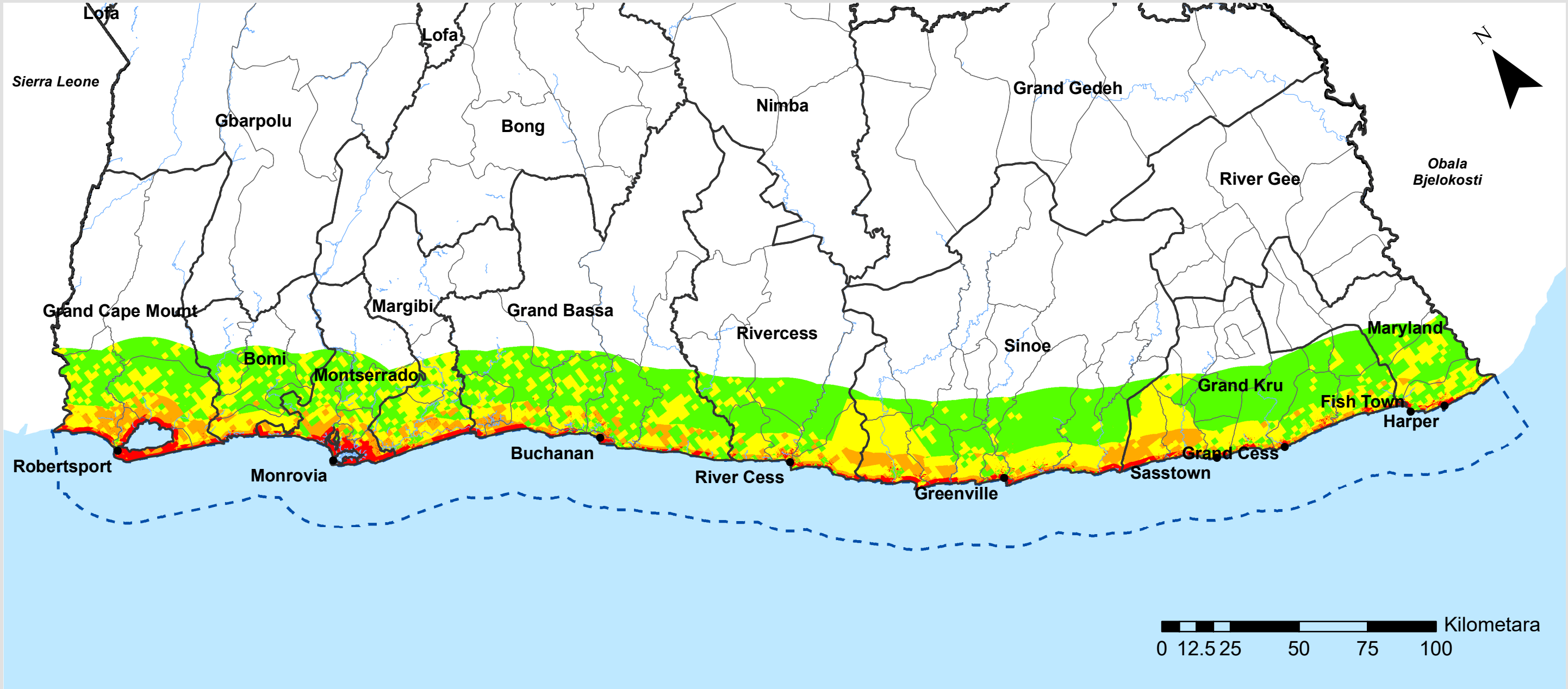
Komentor
Dr. sc. Sanja Bernat Gazibara

Izradio
Bruno Oršanić, univ. bacc. ing. geol.

Datum
veljača, 2020.

Mjerilo
1:1.500.000

Prilog br.
13



Legenda

Teritorijalne vode (12 NM)

Vodotoci

Administrativne jedinice

Državna granica

Županija

Okrug

Relativni stupanj rizika

Nisko

Srednje

Visoko

Vrlo visoko

Sveučilište u Zagrebu
RUDARSKO
GEOLOŠKO
NAFTNI FAKULTET

Procjena rizika od obalne erozije u Liberiji

Diplomski rad

Mentor
Prof. dr. sc. Snježana Mihalić Arbanas

Komentor
Dr. sc. Sanja Bernat Gazibara

Izradio
Bruno Oršanić, univ. bacc. ing. geol.

Datum
veljača, 2020.

Mjerilo
1:1.500.000

Prilog br.
14



KLASA: 602-04/19-01/336
URBROJ: 251-70-03-19-3
U Zagrebu, 10.07.2020.

Bruno Oršanić, student

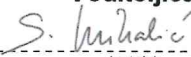
RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju Vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-04/19-01/336, UR. BROJ: 251-70-13-19-1 od 13.11.2019. godine priopćujemo temu diplomskog rada koja glasi:

PROCJENA RIZIKA OD OBALNE EROZIJE U LIBERIJI

Za voditeljicu ovog diplomskog rada imenuje se u smislu Pravilnika o diplomskom ispitu prof. dr. sc. Snježana Mihalić Arbanas, redovita profesorica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu i komentorica dr. sc. Sanja Bernat Gazibara.

Voditeljica


(potpis)

Prof. dr. sc. Snježana Mihalić
Arbanas

(titula, ime i prezime)

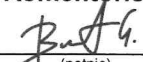
**Predsjednik povjerenstva za
završne i diplomske ispite**


(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Stanko Ružičić

(titula, ime i prezime)

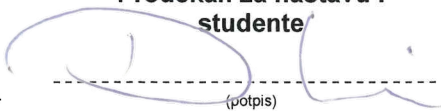
Komentorica:


(potpis)

Dr. sc. Sanja Bernat Gazibara

(titula, ime i prezime)

**Prodekan za nastavu i
studente**


(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Dalibor Kuhinek

(titula, ime i prezime)