

UTICAJ PROMENA KLIME NA PROCENU HAZARDA OD KLIZIŠTA NA PUTNOJ MREŽI SRBIJE

dr. Biljana Abolmasov, dipl.inž.geol.

Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, biljana.abolmasov@rgf.bg.ac.rs

Stručni rad

Rezime: Različiti klimatski faktori, kao padavine, topljenje snega, promene temperature i dr., imaju uticaja na stabilnost terena i uslovljavaju aktiviranje klizišta i drugih procesa nestabilnosti. Globalno zagrevanje je nedvosmisleno, međutim svi potencijalni efekti i moguće promene na hazard od klizišta je teško odrediti i prognozirati. U radu su analizirani mogući uticaji promena klimatskih parametara na stabilnost terena u smislu prognoziranih regionalnih/lokalnih, dugoročnih/kratkoročnih i direktnih/indirektnih mogućih posledica. Takođe je analiziran uticaj klimatskih promena na hazard od klizišta, kao i različiti aspekti posledica na putnu mrežu u Srbiji. U radu je dat i kratak prikaz mogućih aktivnosti u planiranju i projektovanju novih puteva, odnosno održavanju postojeće putne mreže, a koje mogu uzeti u obzir uticaj klimatskih promena na hazard od klizišta.

Ključne reči: klizišta, procena hazarda, promene klime, putna infrastruktura

CLIMATE CHANGES AND LANDSLIDE HAZARD ASSESSMENT ON THE SERBIAN ROAD NETWORK

Biljana Abolmasov, Ph.D. geology

University of Belgrade, Faculty of Mining and Geology,
biljana.abolmasov@rgf.bg.ac.rs

Professional paper

Abstract: Different climatic factors like precipitation, snow melting, temperature changes, etc. influence the stability of slopes and cause landslides and other mass movements processes. Global warming is unequivocal but the effects and the related changes in other climatic parameters and their influence on landslide hazard remain difficult to determine, and to predict. The possible effects of climate changes and slope stability was analyzed and summarized as local or regional, short-term or long term, direct or indirect impact for different landslide types. In this paper, the influence of climate parameters variations in the future on landslide hazard assessment were discussed, as well as overall impact on road network. Brief overview of possible actions for including climate changes vs. landslide hazard on planning and design of new roads and maintenance of existing road network was also presented.

Keywords: landslides, landslide hazard assessment, climate changes, road network

1. UVOD

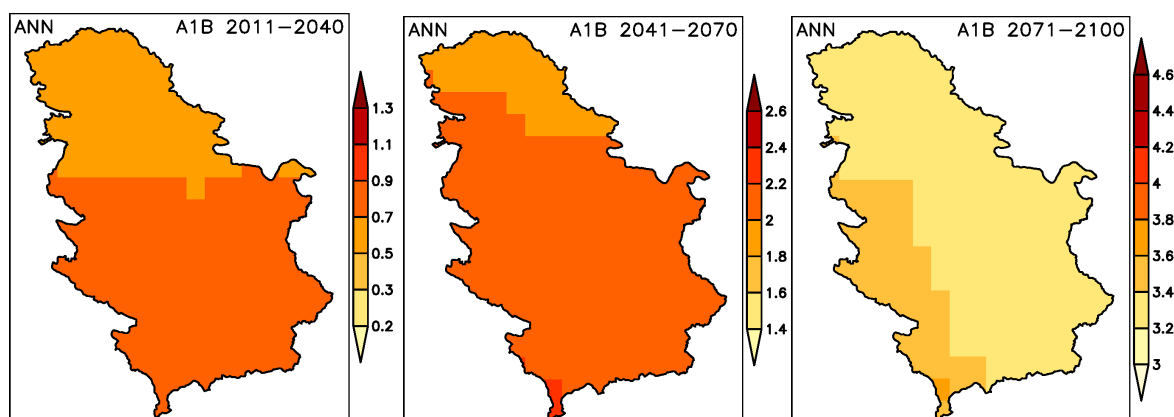
Pod pojmom klizišta (*Landslides*) se u međunarodnoj terminologiji podrazumeva čitav niz savremenih geodinamičkih procesa i pojava kojima je zajedničko da narušavaju stabilnost terena (Cruden i Varnes; 1996, Cruden i VanDine, 2013; Hungr i dr. 2012). Potreba da se klizišta posmatraju i kao prirodni-geološki hazard, potekla je iz nastojanja da se evidentne negativne posledice ovog procesa na ljude i njihova materijalna dobra, predvide i prognozom umanje, u meri u kojoj je to realno i moguće, kako kroz naučni, stručni tako i kroz okvir zakonske regulative. To su ujedno i ciljevi Ujedinjenih Nacija promovisani kroz Hyogo (2005) i Sendai (2015) deklaracije, a čiji je potpisnik i naša zemlja. Procena hazarda od klizišta, predstavlja deo procesa upravljanja rizikom, sa krajnjim ciljem da se umanje verovatnoća potencijalnih ljudskih i materijalnih gubitaka. Kao rezultat procene nastaju karte na kojima je prikazana prostorna distribucija klasa hazarda, odnosno rizika od procesa klizenja.

Na području Srbije najveći broj klizišta i drugih pojava nestabilnosti izazvano je ekcesnim padavinama (bilo da se radi o dugotrajnim ili intenzivnim ili naglom topljenju snega i sl.), i/ili antropogenim delovanjem. Nije retko da i drugi savremeni geodinamički procesi, a koji su u direktnoj zavisnosti od količine i vrste padavina, mogu biti aktivatori procesa nestabilnosti (npr. erozija obala prilikom bujičnih procesa ili poplava kada dolazi do aktiviranja klizišta/tecišta, ali i ispiranje pukotinske ispune u čvrstim stenskim masama, što može dovesti do procesa odronjavanja). Složeni odnosi i zavisnosti pojedinih klimatskih parametara i njihovog ukupnog uticaja na stabilnost terena (padina i kosina), predstavljaju razlog zašto se kod procene hazarda od klizišta razmatra uticaj promene pojedinih parametara klime u prostoru i vremenu.

Promene klime su nedvosmislene kako na globalnom tako i na regionalnom nivou i to je činjenica potvrđena instrumentalnim osmatranjima. Poslednji izveštaj *Intergovernmental Panel on Climate Changes (IPCC; 2014)* ukazuje na evidentan porast koncentracije gasova sa efektom staklene bašte i izmeren porast globalne temperature. Na osnovu pomenutog izveštaja u Evropi (severne, centralne i mediteranska oblasti) je vrlo moguće da će tokom 21 veka temperature vazduha nastaviti da rastu na godišnjem nivou. Očekuje se da će mogući porast temperature u zimskim mesecima biti izraženiji u severnim oblastima Evrope, dok je moguće da će tokom letnjih meseci biti izraženiji u centralnoj Evropi i oblasti Mediterana (Christensen i dr., 2013). Takođe se očekuje da u severnoj i centralnoj Evropi dođe do povećanja suma padavina, dok se u oblasti Mediterana očekuje smanjenje posebno u letnjem periodu.

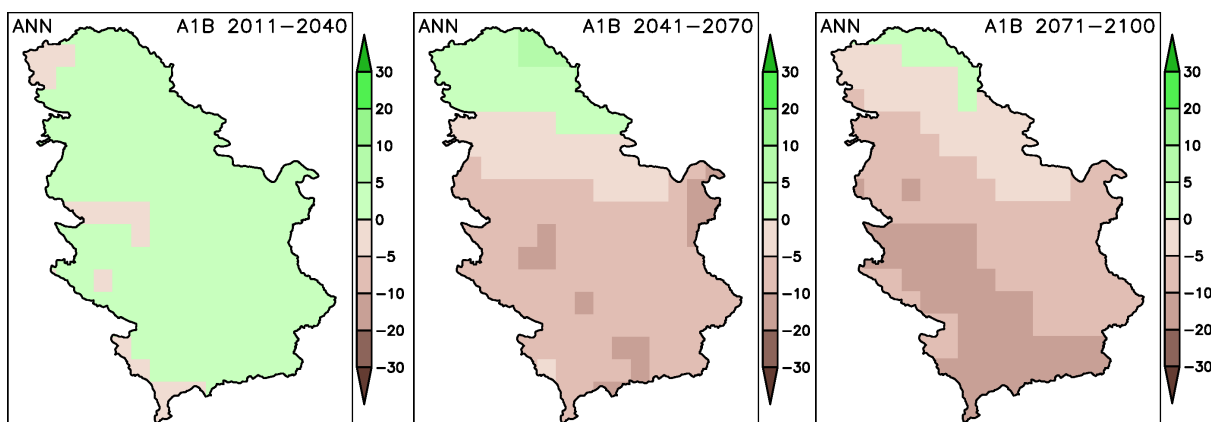
Prema Kržić i dr. (2011) i Rajković i dr. (2013) za teritoriju Srbije regionalizovana su dva klimatska scenarija, A1B i A2, za period 2001-2100. Do kraja ovog veka, scenarija promena klime u budućnosti takođe pokazuju konstantan porast temperature na celoj teritoriji Srbije. Scenarija pokazuju da će porast temperature biti značajniji tokom letnjih meseci i u oba scenarija porast letnjih temperatura na kraju 21-ovog veka (2100) iznosi preko 4°C. Oba scenarija pokazuju porast godišnjih količina padavina tokom

perioda 2011- 2040, u odnosu na vrednosti iz druge polovine 20-tog veka, međutim, za period posle 2040-te oba scenarija imaju negativan trend u godišnjim akumulacijama koji se pojačava idući ka 2100-toj godini (Slika 1 i Slika 2). Više podataka o scenarijima promene klime sa prostornim distribucijama parametara modela na teritoriji Srbije se mogu naći na <http://haos.ff.bg.ac.rs/climatedb-srb/>.



Slika 1. Projekcije distribucije prosečnih godišnjih temperatura vazduha za periode (s desna na levo) 2011-2040, 2014-2070 i 2071-2100 po scenariju A1B za teritoriju Srbije (prostorna rezolucija 0.25x0.25°)

Izvor: Rajković i dr., 2013. <http://haos.ff.bg.ac.rs/climatedb-srb/>



Slika 2. Projekcije distribucije prosečnih godišnjih padavina za periode (s desna na levo) 2011-2040, 2014-2070 i 2071-2100 po scenariju A1B za teritoriju Srbije (prostorna rezolucija 0.25x0.25°) Izvor: Rajković i dr., 2013. <http://haos.ff.bg.ac.rs/climatedb-srb/>

S obzirom na izuzetno obimnu materiju iz obe oblasti, u radu će biti data osnovna terminologija vezana za procenu hazarda i rizika od klizišta, u najkraćem prikazana metodologija procene hazarda, a potom će biti razmatrani potencijalni uticaji promena klime na procenu hazarda od klizišta.

2. OSNOVNA TERMINOLOGIJA

U Varnes i UNESCO publikaciji (1984) prvi put su definisani hazard i rizik od procesa klizišta i dugi niz godina predstavljali su polaznu osnovu u mnogim studijama, stručnim i naučnim radovima vezanim za pomenutu problematiku (Chowdhury, 1988; Einstein 1988; Leroi, 1996; Alleoti i Chowdhury, 1999; Guzzetti i dr., 1999; Crozier and Glade, 2005; Van Westen i dr., 2005; Abolmasov, 2007; Fell i dr., 2008; Cascini, 2008).

Savremeni pristup procene hazarda i rizika od klizišta podrazumeva u terminološkom, teorijskom i praktičnom vidu niz jasno definisanih procedura i metoda koje pre svega zavise od namene, veličine područja i zahtevane tačnosti procene (Corominas i dr., 2014). U narednom će biti izložene samo osnovne definicije za procenu hazarda i rizika od klizišta, bitne da bi se proces sagledao u celini. Uprošćen prikaz procedure dat je slici 3.

U publikaciji Varnes (1984) i UNESCO-a rizik od klizenja terena definisao opštim obrascem, gde je rizik proizvod sledećih elemenata:

$$R = H \times V(E_R) \quad [1]$$

Gde su: R - ukupan rizik, H – hazard, V – ugroženost i E_R – izloženost elemenata u riziku

Hazard od klizišta (*Landslide Hazard*) - predstavlja pokazatelj verovatnoće aktiviranja klizišta određene magnitude, na određenom području, u određenom vremenskom intervalu. Dakle, hazard od klizišta ima sledeće komponente koje se mogu izraziti sledećim obrascem:

$$H_L = p(A_L) \times p(N_L) \times S \quad [2]$$

Gde su: H_L - hazard od klizišta izražen preko komponenti : A_L -magnituda, N_L -učestalost u određenom vremenskom periodu i S-distribucija u prostoru

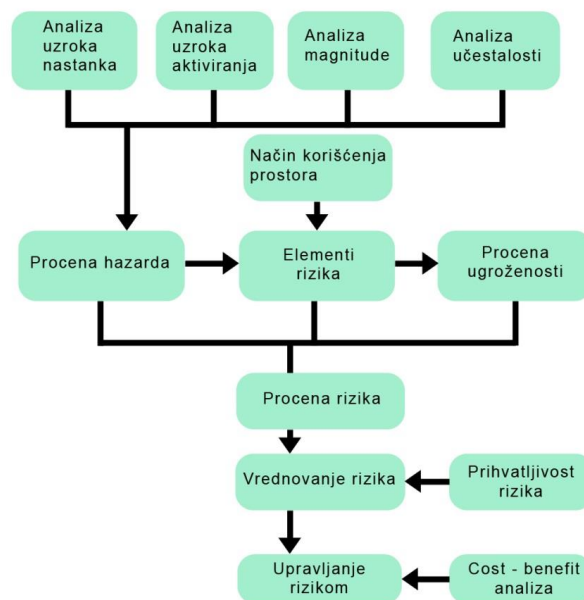
Podložnost terena ka klizenju (*Landslide Susceptibility*) – Predstavlja pokazatelj podložnosti terena ka aktiviranju procesa klizenja. Za razliku od procene hazarda na kartama koje se dobijaju kao rezultat procene prikazana je prostorna distribucija klasa podložnosti, ali komponenta vremenske verovatnoće nije uključena u procenu. Kao i kod procene hazarda izvršena je podela procesa po mehanizmu i vrsti pokrenutog materijala, a ukoliko je moguće i po magnitudi.

Izloženost elemenata rizika (*Exposure*) - Predstavlja pokazatelj prisustva ljudi i materijalnih dobara (kao elemenata u riziku) u područjima koja mogu biti izložena hazardu/podložnosti od klizišta.

Ugroženost (*Vulnerability*) – Predstavlja pokazatelj potencijalni stepen gubitaka koje bi pretrpeli elementi u riziku ako bi bili izloženi hazardu (klizištima) određene magnitude. Ugroženost zavisi od karakteristika samih elemenata u riziku.

Rizik od klizišta (*Landslide Risk*) - Predstavlja pokazatelj očekivanih negativnih posledica na ljude i njihova materijalna dobra. Izražava se kvalitativnim ili kvantitativnim socio-ekonomskim pokazateljima i sračunava se kao proizvod hazarda od klizišta, izloženosti i ugroženosti elemenata rizika. Procena rizika radi se pojedinačno za svaki pojedini element u riziku i suštinski predstavlja specifičan rizik (R_s).

Međunarodna komisija JTC-1 (*Joint Technical Committee on Landslides and Engineered Slope-The Joint of ISSMGE, ISRM and IAEG*), donela je uputstvo za izradu karata hazarda i rizika od klizenja terena za potrebe prostornog planiranja (Fell i dr., 2008), a potom i uputstvo za kvantitativno vrednovanje hazarda od klizenja (Corominas i dr., 2014).



Slika 3. Uprošćeni šematski prikaz postupaka koji čine metodologiju upravljanja rizikom od klizišta
Izvor: Abolmasov, 2007.

3. OSNOVE PROCENE HAZARDA OD KLIZIŠTA

Procena hazarda od klizišta je najznačajniji segment, od čijeg kvaliteta i rezultata zavise svi ostali dalji segmenti upravljanja rizikom od klizišta u širem smislu (Slika 3). Procena hazarda zahteva širok spektar podataka kojima su okarakterisani parametri koji utiču na proces, a koji mogu biti različiti u pogledu prostorne i vremenske promenljivosti. Pojedini parametri se tokom procene smatraju praktično stacionarnim, poput geoloških ili geomorfoloških uslova-parametara, ali ima i onih čija se promenljivost može pratiti u dužim ili kraćim periodima, pa i na dnevnom nivou, poput meteoroloških parametara (intenzitet padavina npr.). Osim parametara koji se dovode direktno u vezu sa procesom (kao uzročnici procesa ili aktivatori), potrebno je poznavati prostornu distribuciju i učestalost same pojave, što često predstavlja najveći problem. Usled neujednačene ažurnosti u vođenju evidencije i datiranju klizišta, često se u praksi susrećemo sa potrebom da isključimo vremensku dimenziju iz analize i da se umesto hazardom bavimo podložnošću na klizenje, koja razmatra samo prostornu verovatnoću pojave mahom na osnovu stacionarnih parametara (poglavlje 2.).

Sa stanovišta nivoa podataka evidentiranih pojava nestabilnosti u Srbiji je stanje takvo da za najveći broj pojava unetih u nacionalni katastar nema tačnog datuma ili časa aktiviranja (ili reaktiviranja procesa), te se može zaključiti da je u Srbiji trenutno gotovo nemoguće proceniti hazard od klizišta, već samo sprovesti procenu podločnosti na klizenje. Za procenu hazarda od klizišta, shodno međunarodnoj literaturi i praksi, neophodno je uspostavljanje jedinstvene, homogenizovane baze podataka o klizištima sa tačnim datiranjem faza aktivnosti procesa i analizom uzročnika-aktivatora, a za to je potrebno izvesno vreme, sistematičnost, ali i fondovi u vođenju nacionalnog katastarsa.

U prvom koraku je dakle, potrebno obezbediti dovoljno tačan, ažuran i pouzdan katastar, odnosno bazu podataka o klizištima i drugim pojavama nestabilnosti, shodno međunarodnoj klasifikaciji. Metodologija pripreme katastra delimično zavisi od razmere posmatranja, ali i od tipova procesa/pojave. Što se tiče klizišta neophodno je da postoji sledeći set podataka o pojedinačnoj pojavi:

- lokacija i datum pojave, pri čemu je pojava predstavljena poligonom na odgovarajućoj topografskoj podlozi,
- tipu pojave sa detaljnom klasifikacijom prema međunarodnom standardu od materijala i mehanizma, do sadržaja vode, aktivnost, brzine kretanja, načina kretanja i trenda kretanja,
- detaljnu geometriju (u zavisnosti od tipa pojave) i morfometriju pojave,
- svojstvima geološke podloge (geološkim, geomorfološkim, inženjerskogeološkim i hidrogeološkim uslovima u terenu),
- uzroku nastanka pojave kroz procenu najznačajnijih uticajnih faktora i okidača-aktivatora,
- štete nastale usled pojave kategorisane prema lokalnom i međunarodnom standardu,
- fotodokumentaciji (fotografisanje elemenata pojave i detalje oštećenih objekata i infrastrukture sa odgovarajućim razmernikom),
- dodatnim skicama i prognoznim presecima,
- podacima o izvršenim istraživanjima i njihovim rezultatima (ukoliko ih je bilo).

Format katastra treba da bude prostorna baza podataka, koja se za dalje potrebe iz vektorskog može prebaciti u rasterski format. Izbor rezolucije takvog rastera zavisi od minimalnih i maksimalnih dimenzija većine evidentiranih pojava.

Nadalje, u procesu procene podločnosti ili hazarda, neophodno je identifikovati one parametre koji imaju najviše uticaja na sâm proces klizenja i odabrati odgovarajuće izvore podataka kako bi se isti

modelovali. U praksi se parametri mogu razdvojiti na uzročnike procesa (geološke, geomorfološke, parametre životne sredine i antropogene), i pokretače-aktivatore (padavine, zemljotrese i dr.).

U grupi geoloških parametara svakako je najuticajnijim litološki sastav i inženjerskogeološka svojstva stenskih masa koje izgrađuju teren, jer u zavisnosti od vrste stenskih masa razlikujemo različita mehanička svojstva, odnosno njihovo ponašanje. Idealno je koristiti inženjerskogeološku kartu u kojoj je kriterijum inženjerskogeoloških svojstava stenske mase već inkorporiran. Ukoliko ne postoje takvi podaci onda je neophodno izraditi litološku kartu odgovarajuće razmere i izdvojiti iskustveno litološke komplekse koji bi imali iste inženjerskogeološka svojstva. Takođe se mogu koristiti i druge tematske ili specijalne geološke karte (poput hidrogeološke karte) ili je potrebno iste izvesti iz osnovne geološke karte.

Takođe je moguće uključiti u procenu i pedološke podloge sitne ili krupne razmere, koje nose statističke podatke o pojedinim parametrima tla, između ostalih i zapreminske težine u površinskim delovima, kao i tipove tla prema međunarodnoj klasifikaciji.

Geomorfološki parametri uglavnom podrazumevaju uticaj različitih morfometrijskih parametara poput nagiba, zakrivljenosti reljefa, razuđenosti reljefa, ekspozicije prema suncu, udaljenosti od vodotoka i jaruga, relativnih visina itd. Fizička zavisnost ovih parametara se dovodi u neposrednu vezu sa procesima nestabilnosti, jer je jasno npr. da su strmije padine podložnije pojedinim tipovima nestabilnosti, baš kao i padine sa češćim mikro reljefnim oblicima, ili one okrenute vlažnijoj severnoj strani (zbog sposobnosti da duže zadržavaju vodu u tlu).

Parametri životne sredine su usko vezani sa antropogenim uticajima i najčešće se prikazuju kartama upotrebe zemljišta, koje daju raspored vegetacije, vodnih resursa, ali i raspored urbanih područja, infrastrukture i sl.

Najčešći aktivatori procesa klizenja su padavine, zemljotresi, erozija, nagle oscilacije nivoa podzemnih i površinskih voda (poplave) i antropogeni uticaji. Antropogeni uticaji se često svode na izolovane slučajeve koji nemaju zakonitost pojavljivanja i teško ih je posmatrati na širem prostoru; na detaljnom nivou ih je moguće uključiti u analizu u slučaju kada postoje dokumentovani podaci. Podaci o zemljotresima (kao aktivatorima) i njihovim relacijama sa procesima nestabilnosti su retki na prostorima Srbije (s obzirom na maksimalne jačine dogođenih zemljotresa).

Padavine su, kao najčešći aktivator procesa klizenja jedan od najpromenljivijih faktora u prostoru i vremenu.

Za identifikovanje ekstrema neophodno je pratiti kumulativne dnevne količine padavine, a u zavisnosti od tačnosti podataka o vremenu aktiviranja klizišta ponekad i časovne padavine. Kumulativne padavine treba pratiti u kratkom vremenskom intervalu 5-10-15 dana, jer su to periodi u kojima se pri sprečenom dreniranju mogu sukcesivno pogoršati parametri čvrstoće stenske mase (tla i stena). Identifikovanjem takvih ekstrema dobija se njihov prostorni raspored i vremenska učestalost.

Veličina područja posmatranja i zahtevani nivo detaljnosti opredeljuju izbor metode procene, odnosno time i izbor parametara koji će biti osnova za izradu različitih prostornih modela (Tabela 1). Bitno je takođe napomenuti da se sve metode prostornih analiza rade u tzv. GIS okruženju - programu koji omogućava da se parametri-atributi i njihove međusobne relacije u prostoru (na zadanom području) različitim metodama analiziraju, kvantifikuju, modeliraju i prikazuju. Kao što je navedeno, literatura je obimna te se zainteresovani upućuju na radove Corominas i dr. (2014), Lee i Dai (2004), Fell i dr. (2008), Van Westen i dr. (2008), ili literaturu sa primerima sa područja Balkana (Marjanović i dr., 2018; Abolmasov i dr., 2017; Andrejev i dr. 2017; Peševski i dr. 2017; Marjanović i Đurić, 2016; Marjanović i dr., 2013; Marjanović i dr., 2011). Primeri procene podločnosti na klizenje i rizika po stanovništvo opštine Krupanj za nivo 1: 25 000 razmere (područje oko 350 km²) dati su na Slici

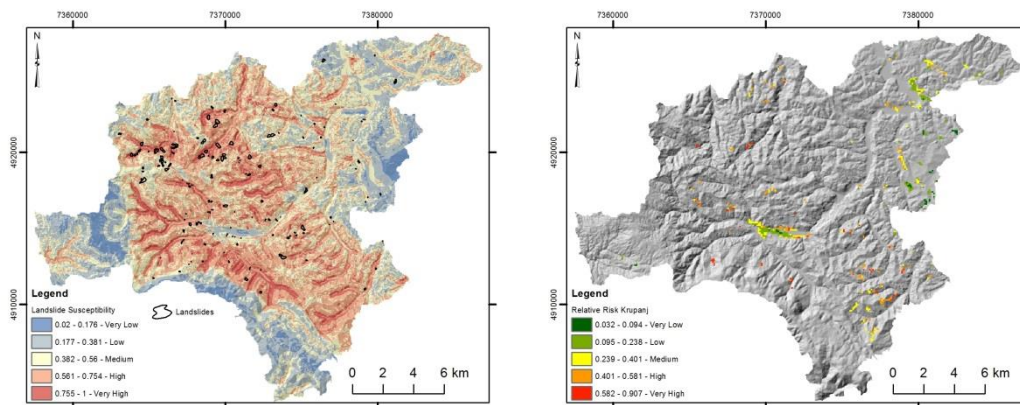
4., dok je primer procene relativnog hazarda (*quasi-hazard*) dat za primer urbanog područja grada Tuzle u BiH na Slici 5 (razmera 1:5000, područje 100 km²). Prvi model je urađen na osnovu AHP metode (Abolmasov i dr., 2017), dok je drugi urađen na osnovu metode naprednog mašinskog učenja (*Support Vector Machine-SVM*) (Marjanović i Đurić, 2016).

Za validaciju modela se obavezno koriste realni podaci prikupljeni na terenu organizovani u odgovarajuće prostorne baze-setove podataka (sa svim pripadajućim atributima). Podaci mogu biti dopunjeni analizama koje uključuju metode daljinske detekcije - analizom stereoparova avio ili satelitskih snimaka veoma visoke rezolucije, tj. preko 0.5 m (Đurić i dr., 2017). Pri validaciji se primenjuju različite metode kao npr. matrica kontigencije (*Confusion Matrix* ili *Contingency Table*) (Abolmasov i dr., 2017), koja ukazuje na različite tipove grešaka dobijenih modela u odnosu na realno stanje. Takođe, modeli se mogu oceniti i na osnovu ROC krivih (*Receiver Operating Characteristic*), koje spadaju u najobjektivnije vidove ocene modela, kako kvantitativno na osnovu vrednosti parametra površine ispod krive (*Area Under Curve-AUC*), tako i kvalitativno, na osnovu karaktera i oblika krive (Fawcett, 2006). Primer validacije modela dat je za dve procene urađene za teritoriju opštine Krupanj, gde su primenjene AHP i WoE metoda za procenu rizika, nivo 1:25 000 razmere na području od 350 km² (Slika 6).

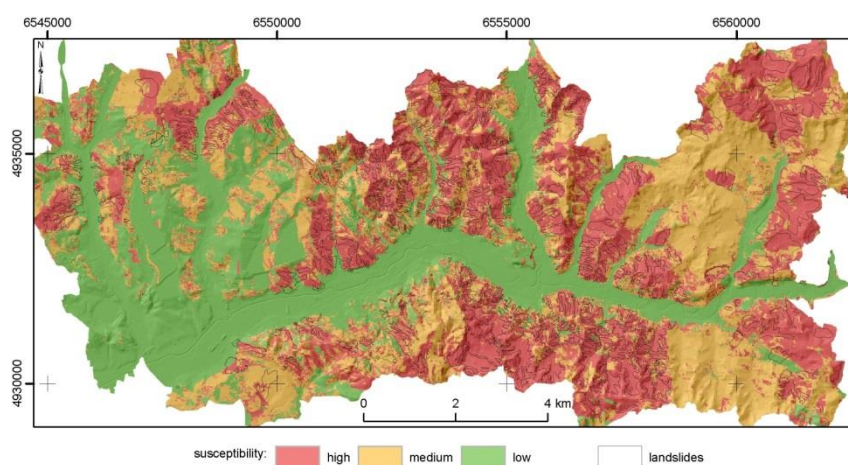
Tabela 1. Mogućnost primene različitih metoda procene hazarda u zavisnosti o razmere, područja i vrste pojave

Razmera	Područje	Vrsta pojave	Vrsta procene	Metode procene	Nivo procene/ upotreba
Sitna <1:100 000	>10000 km ²	klizišta i tecišta (generalno)	podločnost (prostorna distribucija)	ekspertska, višekriterijumska analiza (AHP)	bazični nivo/ informativni karakter za nacionalni nivo
Srednja 1:100 000 - 1:25 000	1000 – 10000km ²	klizišta (generalno), tecišta	podločnost (prostorna distribucija, magnituda)	višekriterijumska analiza (npr. AHP), statističke metode (npr. WoE,)	bazični do srednji nivo/ informativni karakter za nivo regionalnog planiranja
Krupna 1:5000-1:25000	10 – 1000 km ²	posebno klizišta klasifikovana po dubini (plitka-duboka), tecišta, odroni	podločnost/ hazard (prostorna distribucija, magnituda, brzina)	statističke i determinističke	srednji nivo do napredni/ nivo podloga za prostorno i urbanističko planiranje i projektovanje
Detaljna >1:5000	<10 km ²	plitka klizišta, tecišta, odroni	hazard (sve komponente)	determinističke, probabilističke	napredni/ nivo podloga za urbanističko planiranje i projektovanje

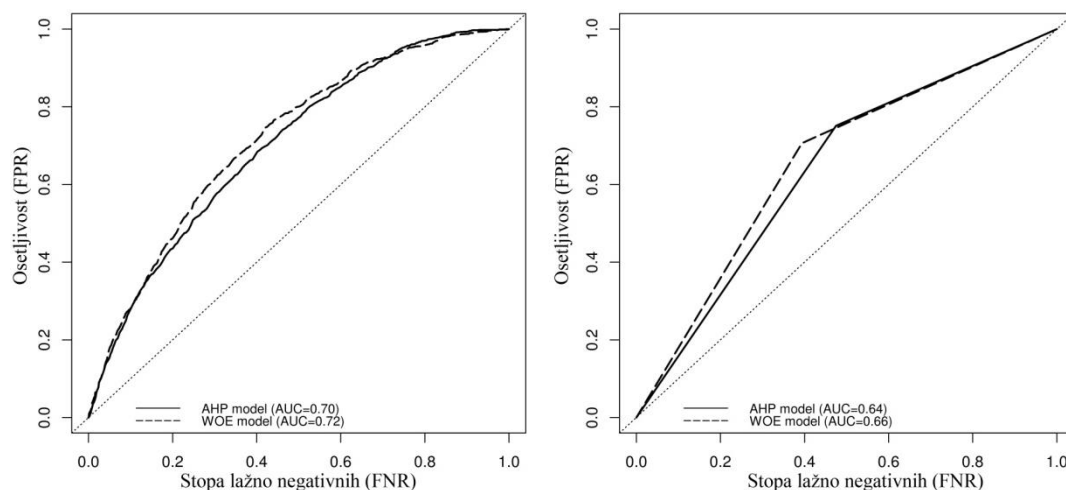
Izvor: (Abolmasov, 2007, izmenjeno)



Slika 4. Područje opštine Krupanj - Procena podložnosti na kliženje (levo); Procena rizika od klizišta za stanovništvo (desno)
Izvor: <http://geoliss.mre.gov.rs/beware/>



Slika 5. Procena podložnosti na kliženje urbanog područja Tuzle, 1: 5000
Izvor: Marjanović i Đurić, 2016.



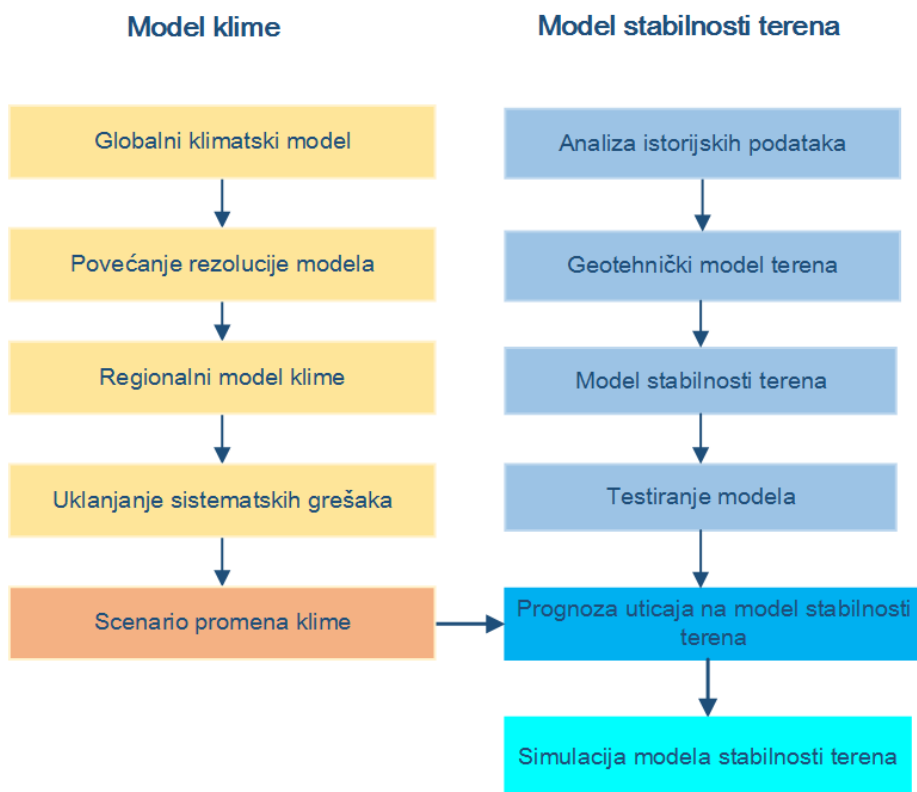
Slika 6. Uporedni grafici ROC-krivih za AHP i WOE modele procene podložnosti na kliženje za opštinu Krupanj: probabilističke verzije modela (levo), diskretne verzije modela (desno). Puna linija označava ROC krivu za AHP model, isprekidana linija ROC krivu za WOE model
Izvor: Abolmasov i dr., 2017.

4. UTICAJ PROMENA KLIME NA HAZARD OD KLIZIŠTA

Postavlja se pitanje koji parametri klime i koje njihove promene u budućnosti su od značaja za stabilnost padina i kosina, od pojedinačnog do regionalnog, tj. nacionalnog nivoa, a zatim koje od njih možemo uključiti u model, tj. u procenu hazarda od klizišta i njegove komponente (prostorna distribucija, magnituda i učestalost) - pri tom imajući u vidu da varijacije pojedinih parametara klime imaju različite uticaje na različite mehanizme kretanja i procese koji se pod jednim imenom nazivaju *Landslides*. Pri tom, objektivno, projekcije promena klimatskih parametara se zasnivaju na mogućim scenarijima, tj. efektima koji će biti posledica prognoziranih emisija štetnih gasova na globalnom nivou, potom korekcija da bi se dobilo regionalni-nacionalni scenario (*downscaling and bias correction*), u prihvatljivoj razmeri i pouzdanosti modela. Ukoliko koristimo postojeće scenarije, kao što je već pomenuto u uvodnom poglavlju, prostorna distribucija promena pojedinih parametara klime je data na $0.25 \times 0.25^\circ$, što za procenu hazarda od klizišta podrazumeva isključivo nacionalni, tj. informativni nivo (i tačnost modela).

Šematski prikaz relacija koje je neophodno uzeti u obzir prilikom razmatranja uticaja promena klime na stabilnost terena, a time i na procenu hazarda (i rizika) od klizišta dat je na slici 7.

Procena hazarda od klizišta, pojašnjenja radi, zavisi od velikog broja parametara i njihovih promenljivosti u prostoru i vremenu - ali pre svega od varijabilnosti fizičko-mehaničkih parametara inženjerskogeoloških kompleksa (a najviše članova), potom od geomorfoloških parametara i na kraju od varijabilnosti parametara okoline (koje je takođe vrlo teško prognozirati). Ne treba zanemariti činjenicu da se najveći broj podataka o procesu - bilo da se radi o klizištima, odronima, tecištima, prikuplja sporadično ili nasumično - u nekom vremenskom periodu nakon događaja, koji na našim prostorima može biti i više godina (jer zavisi od izdvojenih finansijskih sredstava), a da se analiza aktivatora (u momentu loma) najčešće ne sprovodi, ili za nju nema dovoljno pouzdanih podataka. Nacionalni katastar pojava nestabilnosti nije dopunjen ni podacima iz 2014. godine za sva područja na kojima je bilo pojava nestabilnosti, a koje su bile posledice ekstremnih klimatskih uslova za koje su podaci poznati.



Slika 7. Šematski prikaz uticaja promena klime na stabilnost terena
Izvor (Gariano i Guzzetti, 2016), modifikovano

U takvim, realnim uslovima u Srbiji, moguće je razmatrati uticaj promena klimatskih parametara regionalno, uzimajući u obzir određene scenarije

promena klime i moguće efekte na stenske mase u sklopu terena, odnosno očekivane uticaje na stabilnost padina/kosina (pozitivne i negativne).

Na taj način bi se izbegle sistematske greške, kao posledice grešaka oba modela. U Tabeli 2 dati su mogući uticaji promena pojedinih parametara klime na teren u celini i efekte koje bi takve promene izazvale na njegovu stabilnost.

Uticaj promena pojedinih klimatskih promena neophodno je posmatrati i sa sledećih aspekata:

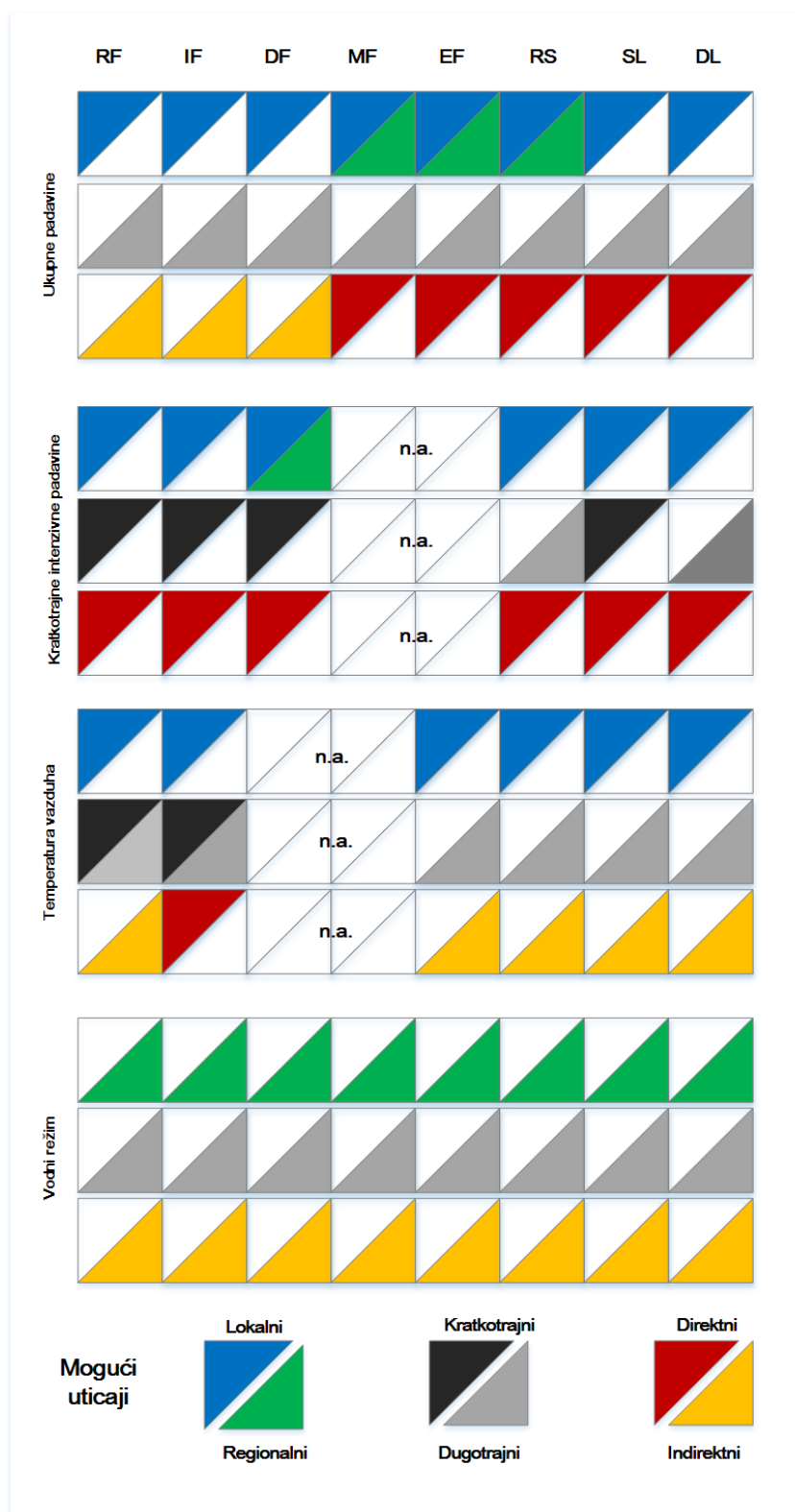
- 1) da li je uticaj regionalnog ili lokalnog karaktera
- 2) da li su to dugotrajne ili kratkotrajne promene (u intenzitetu npr.)

- 3) da li su efekti direktni ili indirektni i
- 4) na koje mehanizme kretanja utiču promene pojedinih klimatskih parametara

Dovodeći u vezu sve gore pomenute aspekte Gariano i Guzzetti (2016) su dali "matricu" mogućih uticaja uzimajući u obzir i različite mehanizme i vrste materijala koje mogu biti pokrenuti procesima koji se po međunarodnoj terminologiji nazivaju *Landslides* (slika 8).

Tabela 2. Mogući uticaji promena klime na stabilnost terena

Promene parametara klime	Moguće promene u terenu	Očekivan uticaj na stabilnost padina/kosina
Povećanje ukupne količine padavina	Češće kritične kumulativne padavine Povećanje težine stenskih masa Viši nivoi podzemnih voda Povećanje proticaja reka	Manje intenzivne padavine za postizanje kritičnog sadržaja vode Smanjenje sila sukcije i kohezije Povećanje napona smicanja Uvećanje zapreminske težine Smanjenje parametara čvrstoće Pojačano eroziono dejstvo reka Viši nivo vode u stajaćim vodama Češća nagla povećanja/sniženja niva podzemne vode
Povećanje intenziteta padavina	Infiltracija prevazilazi površinsku drenažu Povećaje protoka Povećanje površinskog oticaja	Stvaranje izolovanih izdani Smanjenje efektivnih napona Smanjenje čvrstoće na smicanje Uvećanje hidrauličkog gradijenta (sufozija) Pojačana površinska erozija
Povećanje temperature vazduha	Povećana evapotranspiracija Promena vegetacije Povećanje vodopropusnosti Češća nagla otapanja snega Smanjenje površina pod snegom/ledom	Smanjenje kritičnih kumulativnih padavina Viši prag kritičnih količina padavina Veća evapotranspiracija Smanjena infiltracija vode Veća kohezija korena vegetacije Brža infiltracija Povećanje oticaja i infiltracije Smanjenje parametara čvrstoće (kohezije) Smanjenje vrstoće kod čvrstih stena
Promene u brzini vetra i trajanju vetrovitih dana	Promena evapotranspiracije Promena korenovog sistema Promena intenziteta abrazije na obalama	Smanjenje vlažnosti tla Uvećanje ispućalosti, smanjenje kohezije i čvrstoće Smanjenje kohezivnosti korenovog sistema Povećana dezintegracija stena
Učestalost varijacija parametara klime	Češći (ili sporiji) periodi vlažnog i sušnog perioda	Povećanje ispućalosti Proširenje zeva pukotina Smanje kohezije i ugla unutrašnjeg trenja kod čvrstih stena



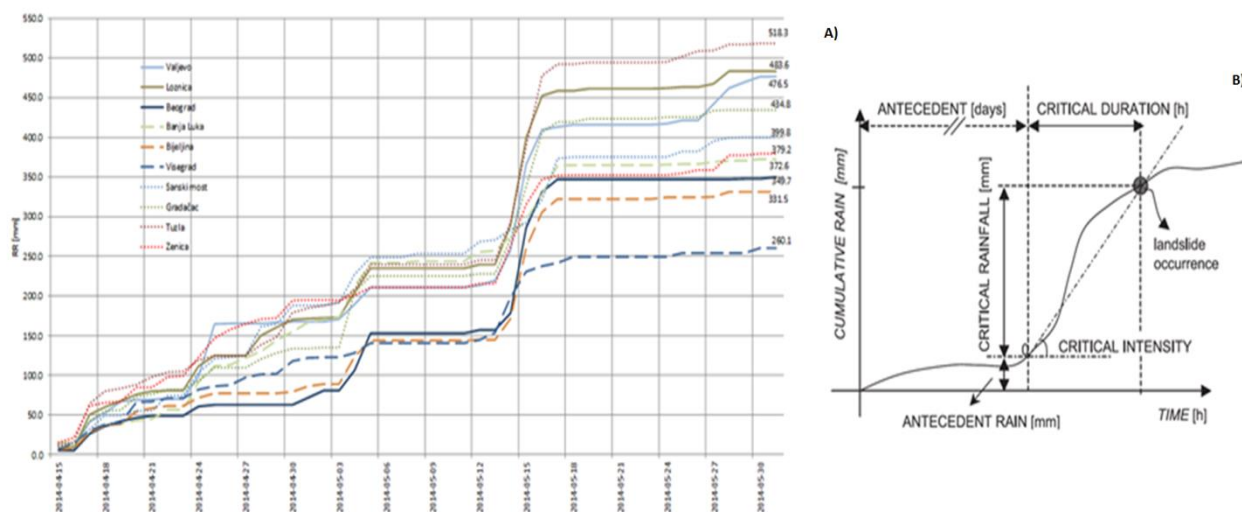
Slika 8. "Matrica" mogućih uticaja promena klime na različite tipove procesa nestabilnosti- RF-odroni, IF-lavine, DF-tečenje drobine, EF-tečenje tla, MF-tečenje finozirog tla, RS-kliženje stena, SL-plitka klizišta, DL-duboka klizišta
Izvor: Gariano I Guzzetti, 2016, (prevod, Abolmasov, 2017)

Ukoliko razmatramo uticaj promena klime i mogućih efekata na hazard od klizišta, na osnovu velikog broja statistički obrađenih podataka klizišta Italije (Gariano I Guzzetti, 2016), utvrđeno je da promene

klime nemaju uticaja na magnitude (kao jednu od komponenata hazarda), međutim imaju uticaja na učestalost, kao i na prostornu distribuciju (druge dve komponente hazarda od klizišta [2].

Praktično govoreći, polazeći od očekujućih uticaja, regionalne promene klimatskih parametara, kako dugotrajnih, tako i kratkotrajnih imaju uticaja na hazard od klizišta, time što se smanjuje kritičan sadržaj vode u tlu pri kome intenzivne padavine mogu dovesti učestalijih pojava klizišta i tecišta. Primer takvog događaja kod nas je aktiviranje

velikog broja klizišta u maju 2014 godine kada su kumulativne i intenzivne padavine dovele do masovne pojave plitkih klizišta i tecišta u zapadnoj Srbiji. Dijagram padavina za period 15.04.2014.-30.05.2014. pokazuje tipičnu krivu kritičnih suma padavina karakterističnu za ovakve događaje (Aleotti, 2004), (slika 9).

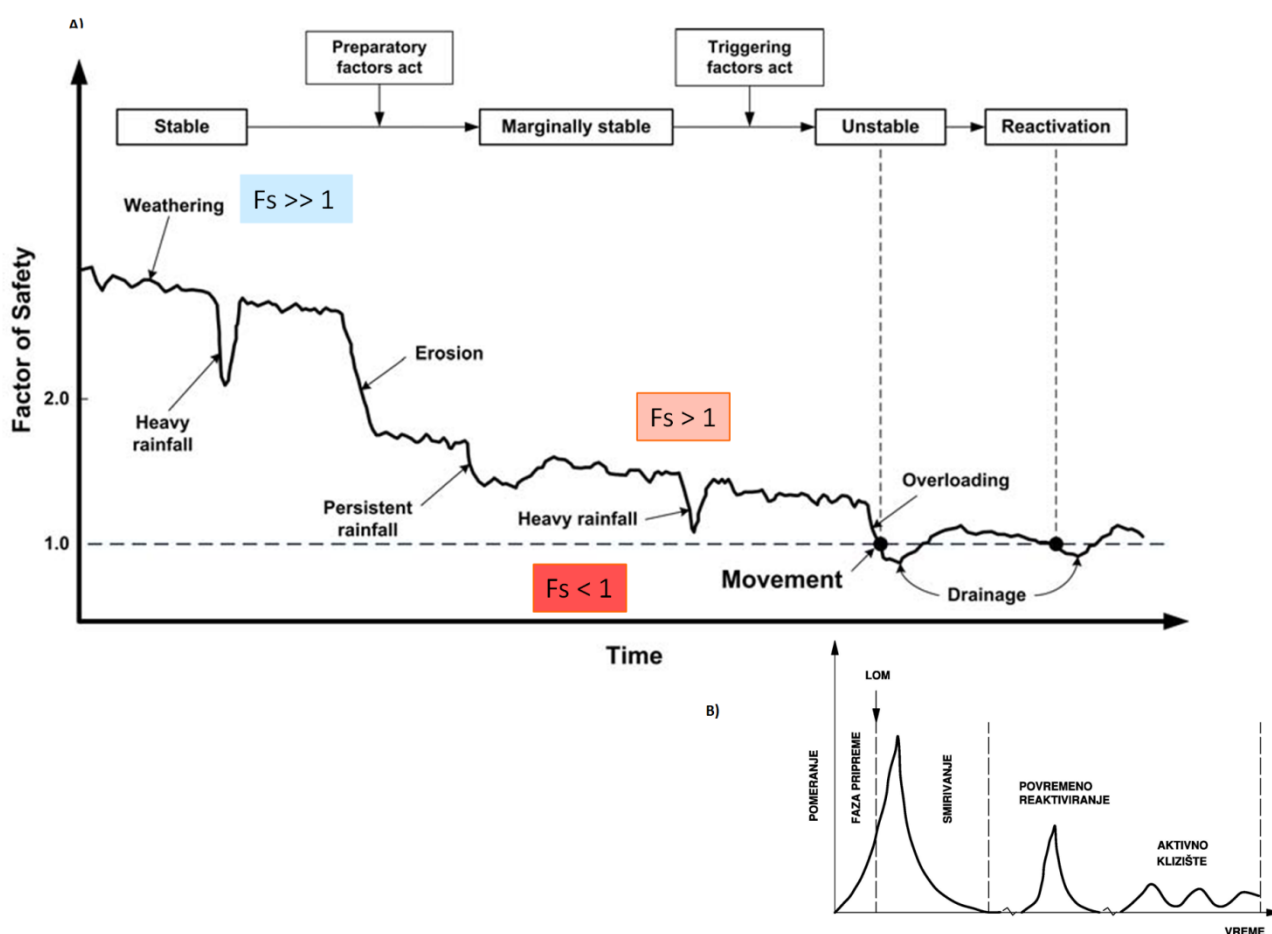


Slika 9. (A) Dijagram prosečnih dnevnih količina padavina za 10 klimatoloških stanica u Srbiji i BiH za period 15.04.-30.05.2014. (B) teorijski model kritičnih suma padavina (Aleotti, 2004)

Već je naglašeno da je u Srbiji gotovo nemoguće proceniti "pravi" hazard, već da se u najvećoj meri radi procena podločnosti terena na kliženje (iz više razloga, poglavlje 3). Procena polazi od tzv. stacionarnih parametara, od kojih je svakako litološki sastav terena najznačajniji. U prostornoj analizi polazi se od inženjerskogeoloških kompleksa ili inženjerskogeoloških članova čija je prostorna distribucija prikazana odgovarajućom kartom. U inženjerskogeološki model inkorporirana su svojstva stenskih masa, dakle i njihovi parametri čvrstoće, kao i stanje i podločnost stenskih masa ga fizičko-mehaničkom raspadanju (time i promeni svojstava). Promene klimatskih parametara (tabela 2), imaće uticaja na intenzivnije površinsko raspadanje (degradaciju stenskih masa), čime će parametri čvrstoće (pre svega kohezija) biti promenjeni u odnosu na sadašnje parametre. Pored toga stvorice se uslovi za brže formiranje kore površinskog raspadanja (a poznato je da najveći broj klizišta nastaje na kontaktu sveže stenske mase i kore površinskog raspadanja). Promene u vegetacionom pokrivaču i verovatno pojačana erozija dovešće do promene i mikoreljefnih oblika, dok će češće poplave i njima pojačana erozija obala reka dovesti do promene geometrije padina, odnosno odnosa komponenti pasivnih i aktivnih sila. Ukoliko pokušamo da projektujemo sve pretpostavke na poznate dijagrame dinamike kliženja, odnosno promene faktora sigurnosti tokom vremena (i odnosa uzročnika i aktivatora procesa), dolazimo do

zaključka da će se vremenski period opadanja faktora sigurnosti skratiti, a da će periodi reaktiviranja procesa biti sve kraći. Intenzitet deformacija (tj. iznosi pomeranja mogu pokazati i drugačije odnose između inicijalnih i iznosa pomeranja kod reaktiviranja procesa). Oba dijagrama prikazana na slici 10. (A i B) prikazuju promene (opadanje) faktora sigurnosti (F_s) tokom vremena, odnosno faze aktivnosti procesa i odnose deformacija u vremenu. Nažalost, većinu ovih promena teško je, gotovo nemoguće, kvantitativno izraziti u modelu procene podločnosti ili hazarda od klizišta na nacionalnom ili regionalnom nivou (osim semi-kvantitativno ili ekspertski).

Time dolazimo do modela procene na detaljnom nivou, odnosno do determinističkih ili probabilističkih metoda procene u koje je moguće uključiti promenu parametara stenske mase, ali i promenu nivoa podzemne vode (koja se teorijski očekuje, bilo kao posledica dugotrajnih ili kratkotrajnih promena porasta temperature ili promena padavinskog režima). Slično je i sa modelima i simulacijama tečenja, tj. tecištima. Prvi model ima značajno ograničenje - prostorna analiza F_s zasniva se na modelu beskonačne kosine i važi samo za plitka klizišta. Drugi model zahteva određivanje reoloških parametara suspenzije, te je trenutno laboratorijsko ispitivanje nemoguće sprovesti u Srbiji, tako da se modeliranje svodi na simulacije mogućih deformacija.



Slika 10. (A) Dijagram promene faktora sigurnosti (F_s) tokom vremena - odnos uzročnika i aktivatora procesa nestabilnosti (Popescu, 1996); (B) Dijagram promene iznosa deformacija tokom različitih faza aktivnosti procesa (Leroueil i dr., 2006)(modifikovano)

5. HAZARD OD KLIZIŠTA I PUTEVI SRBIJE VS. PROMENE KLIME

Poslednji ekstremni klimatski događaj iz maja 2014. godine ostavio je pustoš na državnim putevima i lokalnoj infrastrukturi (Jotić i dr., 2015). Procena šteta na putevima Srbije tima Programa za razvoj Ujedinjenih nacija (UNDP) je iznosila 166.5 miliona EUR-a, što je blizu 11% ukupnih (ali i direktnih) šteta koje je tada pretrpela Srbija. Sličan događaj po masovnosti aktiviranja klizišta i poplavama, ali drugačiji po aktivatorima, desio se i 2006. godine u centralnim i jugozapadnim delovima Srbije. Od 2014. godine do danas, više puta je tokom različitih meseci proglašavano vanredno stanje u opštinama istočne i zapadne Srbije zbog različitih klimatskih događaja, uključujući i potpuni kolaps saobraćaja na koridoru X (E-75) zbog snežnih nanosa na deonici između Leskovca i Aleksinca početkom januara ove godine. Promene parametara klime su očigledne i po mnogo čemu netipične za pojedina godišnja doba.

Hazard od klizišta nije procenjen, ali je svakako prisutan na putnoj mreži Srbije i na to nam ukazuju istorijski podaci o dogođenim procesima nestabilnosti (klizištima, tecištima, odronima). Putna mreža, kao element u riziku na različite načine je izložena hazardu, odnosno ima različiti stepen ugroženosti (zavisno od kategorije puta, stanja puta, godišnje frekvencije vozila, važnosti za lokalnu zajednicu i dr.), tj. ima različiti rizik od klizišta.

Postavlja se pitanje kako pristupiti uključivanju projekcija promene klimatskih parametara u proces upravljanja putnom infrastrukturom, sa aspekta uticaja njihovih promena na stabilnost terena - hazarda - pre svega padina i kosina koje su ujedno i elementi puta kao konstrukcije u opštem.

U poglavlju 2, tabela 2. prikazani su očekivani mogući uticaji promene klimatskih parametara na stabilnost terena, tj. padina i kosina, dok su na slici 8. prikazani mogući uticaji: regionalni/lokalni, dugotrajni/kratkotrajnih i direktnih/indirektni za najčešće mehanizme kretanja. Svaki od pomenutih

uticaja trebalo bi posebno razmatrati, odnosno posmatrati pozitivne ili negativne posledice na ukupnu stabilnost terena i stabilnost teren-konstrukcija s jedne strane, ali ne treba ni zanemariti činjenicu da bi trebalo posmatrati kakve su posledice na postojeću putnu mrežu, odnosno koliko je moguće uključiti projekcije u planiranje i projektovanje novih putnih pravaca.

Regionalne projekcije promene prosečnih temperature vazduha i prosečnih suma padavina za period do 2040 godine u Srbiji (slika 2 i slika 3) ukazuju na porast prosečnih temperatura vazduha i neznatan porast prosečnih suma padavina (posebno u zapadnim delovima Srbije). Veliki broj autora se slaže da su značajni podaci o mogućim ekstremnim padavinama isto koliko podaci o povećanju ili smanjenju ukupnih suma.

Ukoliko posmatramo planiranje i projektovanje novih putnih pravaca, svakako da bi se procena hazarda od klizišta i projekcije promene klimatskih parametara mogli uključiti u plansku i tehničku dokumentaciju. Preispitivanje tehničkih standarda i normativa je postavljeno kao pitanje iskustava nakon maja 2014. godine, što pruža mogućnost da se kod projektovanja novih putnih pravaca uzmu u obzir i promene klime i uticaj na elemente hazarda od klizišta. Kao primer indirektnog budućeg uticaja na projektovanje novih puteva se može navesti, da recimo projektovano ublažavanje kosina zbog promena fizičko-mehaničkih parametara stenskih masa dovodi do proširenja zone ekspropriacije, što uvećava cenu izgradnje pojedinih deonica.

S druge strane, ukoliko posmatramo postojeću putnu mrežu, velika je verovatnoća da možemo hazard od klizišta vs. promene klime, sagledavati i na regionalnom i na lokalnom nivou. Na regionalnom nivou je velika verovatnoća da će morati da se više ulaže u pojačano održavanje, rehabilitacije i hitne sanacije pojedinih putnih pravaca. Na lokalnom nivou se očekuju češći ciklusi reaktiviranja klizišta, odnosno naglo opadanje faktora sigurnosti već uslovno stabilnih padina i brži progresivni lom, što nas kao i u prethodnom dovodi do dodatnih, neophodnih ulaganja u putnu infrastrukturu.

6. ZAKLJUČAK

U radu je razmatran uticaj promena klime tj. pojedinih parametara klime na hazard od klizišta i putnu mrežu kao element rizika od klizišta u Srbiji. Složeni odnosi pojedinih parametara klime, kao padavina na primer, i njihovog uticaja na stabilnost terena u budućnosti ukazuju da je neophodno sprovesti čitav niz aktivnosti koje bi pomogle u modeliranju hazarda od klizišta kako na nacionalnom, tako i na regionalnom, odnosno na detaljnom nivou. Jedan od prvih koraka je prikupljanje relevantnih podataka o procesima nestabilnosti na putnoj mreži Srbije, definisanje uzročnika i posebno aktivatora, što podrazumeva datiranje pojava nestabilnosti, ali i ozbiljnije analize režima padavina sa većeg broja klimatoloških ili padavinskih stanica. Definisanjem regionalnog modela tzv. *threshold*-a, odnosno kritičnih uslova, stvorili bi se preduslovi da se adekvatno reaguje (u smislu sistema za rano upozoravanje), što možda ne bi uvek dovelo do sprečavanja deformacija konstrukcije, ali bi dovelo do poznavanja kritičnih deonica puta na kojima je neophodno izvršiti dodatne mere stabilizacije.

Projekcije promena klime su mogući scenariji zasnovani na prognozama emisije štetnih gasova s jedne strane, s druge strane je procena hazarda od klizišta takođe projekcija budućeg stanja stabilnosti terena. Oba modela zavise od ulaznih podataka, ali i od primenjene metode modeliranja, te su nivoi grešaka mogući na različitim nivoima procene i izrade modela, i ove činjenice obavezno treba imati u vidu.

Zahvale

Rad je u deo istraživanja projekta TR36009 Primena GNSS i TLS u monitoring stabilnosti infrastrukturnih objekata i terena, koga finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, na čemu im se zahvaljujem.

Literatura

- [1] Abolmasov B. (2007). Vrednovanje parametara geološke sredine za ocenu hazarda klizanja terena. Doktorska disertacija. Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd. 258 str.
- [2] Abolmasov B., Krušić J., Andrejev K., Marjanović M., Stanković R., Đurić U. (2017). Primena AHP i WoE metode u proceni podložnosti terena na klizanje na primeru opštine Krupanj. Časopis Izgradnja (u štampi).
- [3] Aleotti P. 2004. A warning system for rainfall-induced shallow failures. *Engineering Geology* 73 (3/4): 247- 265.
- [4] Aleotti P., Chowdhury R. 1999. Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* 58:21-44.
- [5] Andrejev K., Krušić J., Đurić U., Marjanović M., Abolmasov B. (2017). Relative Landslide Risk Assessment for the City of Valjevo. In: M. Mikoš et al. (eds.), *Advancing Culture of Living with Landslides, Proceedings of 4th World Landslide Forum, Ljubljana 29 May-02 June 2017*. Vol 3. pp. 525-523. Springer International Publishing. DOI 10.1007/978-3-319-53483-1_62
- [6] Australian Geomechanics Society 2007. Landslide risk management concepts and guidelines. Australian Geomechanics Society, Sub-Committee on Landslide Risk Managment.
- [7] BEWARE, <http://geoliss.mre.gov.rs/beware/>
- [8] Cascini L. 2008. Applicability of landslide susceptibility and hazard zoning at different scales. *Engineering Geology* 102: 164–177.
- [9] Cascini L. Applicability of landslide susceptibility and hazard zoning at different scales, *Engineering Geology* 102, pp.164–177, 2008.
- [10] Chowdury R. N. 1988. Special lecture: Analysis methods for assessing landslide risk-recent developments. In: Bonnard S. (eds). *Landslides - Glissements de terrain. Proceedings of the 5 th ISL. Laussane 10-15 July 1988*. A.A.Balkema, Rotterdam. Vol 1. 515-524.
- [11] Christensen, J.H., K. Krishna Kumar, E. Aldrian, S.-I. An, I.F.A. Cavalcanti, M. de Castro, W. Dong, P. Goswami, A. Hall, J.K. Kanyanga, A. Kitoh, J. Kossin, N.-C. Lau, J. Renwick, D.B. Stephenson, S.-P. Xie and T. Zhou, 2013: Climate Phenomena and their Relevance for Future Regional Climate Change. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. Wells, A.T.; Rodrigues, C.C. 2003. *Commercial aviation safety*. The McGraw-Hill Companies, Inc. USA. 350 p.
- [12] Corominas J., van Westen., Frattini P., Cascini L., Malet JP., Fotopolou S., Catani F., Van Den Eechaut M., Mavrouli O., Agliardi F., Pitikalis K., Winter M., Pastor., Ferlisi S., Tofani V., Hervás J., Smith JT. 2014. Recommendations for the quantitative analysis of landslide risk. *Bulletin of Engineering Geology and Environment* 73:209-263.
- [13] Crozier M. & Glade T. 2005. Landslide hazard and risk: Issues, Concepts and Approach. In: Glade T., Anderson M. & Crozier M. (Eds) 2005. *Landslide hazard and risk*. John Wiley & Sons, Ltd. England, February 2005. 1-40.
- [14] Cruden D. and D.F. VanDine (2013). Classification, Description, Causes And Indirect Effects-Canadian Technical Guidelines and Best Practices related to Landslides: a national initiative for loss reduction, Geological Survey Of Canada Open File 7359, 2013.
- [15] Cruden D.M. & Varnes D.J. 1996. Landslide types and processes. In: Turner K. & Shuster L.R. (Eds). *Landslides, investigations and Mitigation. Special report 247, Transportation Research Board, National Research Council, National Academy Press, Washington D.C.* 36-75.
- [16] Đurić D., Mladenović A., Pešić-Georgiadis M., Marjanović M., Abolmasov B. (2017). Using multiresolution and multitemporal satellite data for post disaster landslide inventory in the Republic of Serbia. *Landslides, On line*. DOI 10.1007/s10346-017-0847-2, ISSN 1612-510X. IF (2016) 3.657, *Engineering geological* (1/35) <https://doi.org/10.1007/s10346-017-0847-2>
- [17] Einstein H.H. 1988. Special lecture: landslide risk assessment procedure. In: Bonnard S. (eds). *Landslides - Glissements de terrain. Proceedings of the 5 th International Symposium on Landslides. Laussane 10-15 July 1988*. A.A.Balkema, Rotterdam. Vol 2. 1075-1090
- [18] Fawcett T. 2006. An introduction to ROC analysis. *Pattern Recognition Letters* 27: 861–874.
- [19] Fell R. 1994. Landslide risk assessment and acceptable risk. *Canadian Geotechnical Journal* 31: 261-272.
- [20] Fell R.; Corominas J.; Bonnard C.; Cascini L.; Leroi E.; Savage WY. 2008. Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning. *Engineering Geology* 102: 85-111
- [21] Gariano SL, Guzzetti F (2016). Landslides in a changing climate. *Earth Science Reviews*, doi: 10.1016/j.earscirev.2016.08.011.
- [22] Guzzetti F, Carrara A, Cardinali M, Reichenbach P. Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy. *Geomorphology* 31, pp.181–216, 1999.
- [23] Hungr O, Leroueil S, Picarelli L, (2012). Varnes classification of landslides types, an update. *Proceedings of the 11th International and 2nd American Symposium on Landslides and Engineered Slopes, Banff, Canada, 3-8 June, 2012*. Eds, Eberhardt E, Froese C, Turner K, Leroueil S, Taylor & Francis Group, London, Vol 1, pp. 47-58.

- [24] IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp. Available at <http://www.ipcc.ch/> (02.08.2017).
- [25] Jotić M., Vujanić V., Jelisavac, B., Zlatković, M., Milenković, S. (2015). Klizišta i štete na saobraćajnoj infrastrukturi u Srbiji, *IZGRADNJA*, 69 (5-6), 215-224.
- [26] Kržić A.; Tošić I.; Djurdjević V.; Veljović K.; Rajković B. 2011. Changes in climate indices for Serbia according to the SRES-A1B and SRES-A2 scenarios. *Climate Research* 49: 73–86, doi: 10.3354/cr01008.
- [27] Lee E.M. & Jones D.K.C. 2004. *Landslide Risk Assessment*. Tomas Telford Ltd., UK. 2004. 454 pp.
- [28] Lee E.M. and Jones D.K.C. (2004). *Landslide Risk Assessment*. Tomas Telford Ltd., UK. 454 pp.
- [29] Leroi E. 1996. Landslide hazard-risk maps at different scales: Objectives, tools and developments. Special lecture. In: Senneset K. (Eds) *Proceeding of the VII International Symposium on Landslides*, Trondheim, 17-21. June 1996, Norway. A.A. Balkema, Rotterdam, Netherlands. Vol I. 35-51 p.
- [30] Leroueil S., Locat J., Vaunat J., Picarelli L., Lee H., Faure R. (1996). Geotechnical characterization of slope movements. Special lecture. In: Senneset K. (Eds) *Proceeding of the VII International Symposium on Landslides*, Trondheim, 17-21. June 1996, Norway. A.A. Balkema, Rotterdam, Netherlands. Vol I. 53-74.
- [31] Marjanović M., Abolmasov B., Đurić U., Zečević S. (2013). Impact of geo-environmental factors on landslide susceptibility using an AHP method: A case study of Fruška Gora Mt., Serbia. *Annales Geologiques de la Peninsule Balkanique* 74: 91-100. ISSN 0350-0608
- [32] Marjanović M., Bajat B., Abolmasov B., Kovačević M. (2018). Machine Learning and Landslide Assessment in a GIS Environment. In (Eds: Jean-Claude Thill and Suzana Dragicevic). *Geo Computational Analysis and Modeling of Regional Systems*, Part of *Advances in Geographic Information Science Book Series (AGIS)*, pp 191-213. *First Online* ISSN 1867-2434 ISSN 1867-2442 (electronic), ISBN 978-3-319-59509-2 ISBN 978-3-319-59511-5 (eBook) DOI 10.1007/978-3-319-59511-5. Springer International Publishing Ag, Part of Springer Nature.
- [33] Marjanović M., Đurić U., (2016) From Landslide Inventory to Landslide Risk Assessment: Methodology, current practice and challenges. III Congress of Geologists of the Republic of Macedonia, September 30 - October 02, Struga Macedonia, pp. 199-208.
- [34] Marjanović, M., Kovačević, M., Bajat B., Mihalić, S. & Abolmasov, B. (2011). Landslide Assessment of Starča Basin (Croatia) Using Machine Learning Algorithms. 45-55. *Acta Geotechnica Slovenica* 2011/2. ISSN 1854-0171. (IF 2011 0,100) <http://www.fg.uni-mb.si/journal-ags/2011-2-en.asp>
- [35] Peševski I., Jovanovski M., Abolmasov B. (2017). Landslide Susceptibility Modeling Using Arbitrary Polynomial Method. *Proceedings of 2nd Regional Symposium on Landslides in the Adriatic-Balkan Region - 2nd ReSyLAB 2015*, Eds: Abolmasov B., Marjanović M., Đurić U., University of Belgrade, Faculty of Mining and Geology, Belgrade, Serbia, pp. 137-142. ISBN 978-86-7352-296-8. <http://resylab2015.rgf.rs/>
- [36] Popescu M. (1996). From landslides causes to landslide remediation. In: Senneset K. (Eds) *Proceeding of the VII International Symposium on Landslides*, Trondheim, 17-21. June 1996, Norway. A.A. Balkema, Rotterdam, Netherlands. Vol I. 75-96.
- [37] Rajković B., Vujadinović M. and Vuković A. (2013). Report on revisited climate change scenarios including review on applied statistical method for removing of systematic model errors, with maps of temperature, precipitation and required climate indices changes; Second national communication of the Republic of Serbia under the United Nations framework convention on climate change. MERZ, Belgrade, Serbia (on-line) available at <http://haos.ff.bg.ac.rs/climatedb-srb/>. (05.08.2017).
- [38] Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030, UNISDR/GE/2015 - ICLUX EN5000 1st <http://edition.www.unisdr.org>
- [39] Van Westen C.J., Castellanos E., Kuriakose S. 2008. Spatial data for landslide susceptibility, hazard and vulnerability assessment: An overview. *Engineering Geology* 102: 112-131.
- [40] Van Westen C.J., Van Asch T.W.J., Soeters R. 2005. Landslide hazard and risk zonation-why is it still so difficult? *Bulletin Engineering Geology and Environment* 65: 167-184.
- [41] Varnes D.J. 1984. Landslides hazard zonation: a review of principles and practice. *Natural Hazards* 3. UNESCO Press, Paris. 63 pp.