

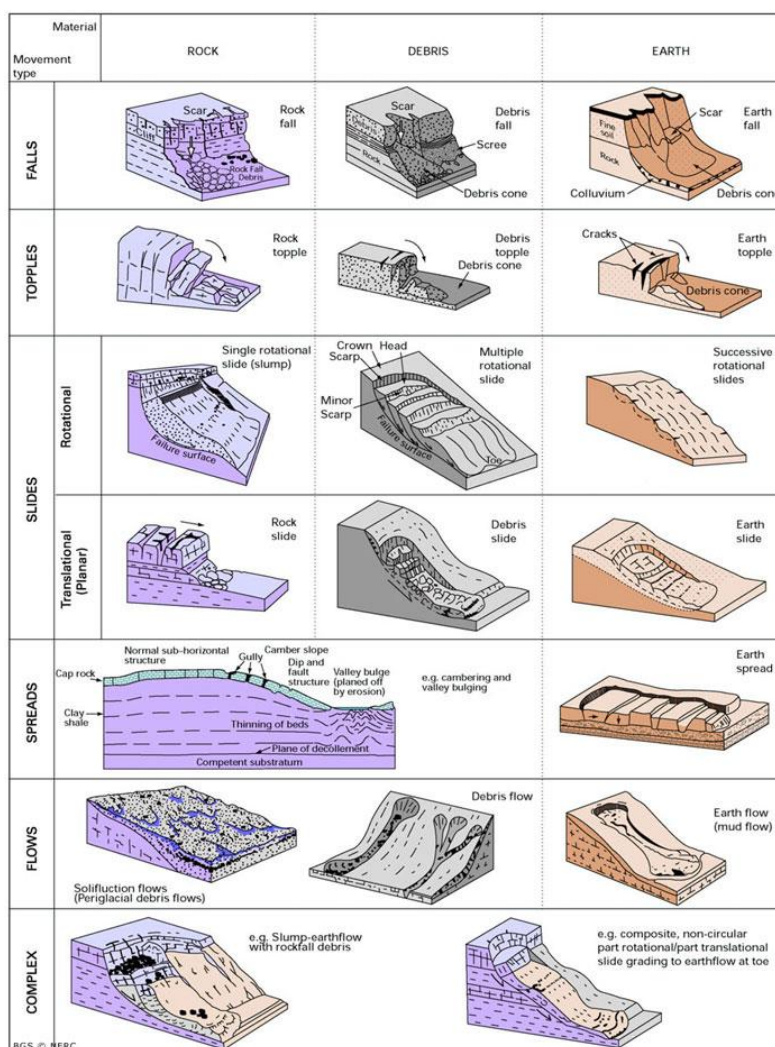
PRIRUČNIK O METODOLOGIJI I NAČINU PRORAČUNA RIZIKA OD KLIZIŠTA

UVOD

Klizanje je savremeni geološki proces otkidanja i pomijaranja stijenskih masa u padinama i kosinama, preko stabilne podloge, a po jasno ispoljenoj površi ili zoni klizanja.

Termin *Landslides – Klizišta* obuhvata veliku grupu savremenih geodinamičkih procesa čija aktivnost izaziva promjenu stabilnosti terena, tj. nestabilnost padina i kosina.

U savremenoj svjetskoj literaturi pod pojmom klizišta podrazumijevaju se svi procesi nestabilnosti prikazani na slici 1, podijeljeni prema tipu pokrenutog materijala (stijena, drobina, tlo) i prema tipu kretanja (padanje – odronjavanje, prevrtanje, klizenje, širenje, tečenje). Takođe, veoma česta pojava jesu tzv. kompleksna klizišta, odnosno kombinacija dva ili više gore navedenih procesa.



Slika 1: Klasifikacija padinskih procesa (Varnes, 1978, Cruden&Varnes, 1996)

Geološke hazarde predstavljaju svi procesi čije je porijeklo vezano za dinamiku Zemlje, a koji u prirodnom i/ili društvenom okruženju prouzrokuju štetne posljedice na prirodu, materijalna dobra i ljude.

OPŠTI PRISTUP UPRAVLJANJU RIZICIMA

Konceptualni pristup upravljanja rizikom od klizišta (*Risk Management*) predstavlja nekoliko postupaka (Abolmasov, 2012).

Osnova za bilo kakav početak procedure podrazumijeva prije svega prikupljanje dokumentacije i formiranje baze podataka, katastra klizišta za zadato područje.

Nakon kvalitetno prikupljenih podataka potrebno je izraditi kartu podložnosti terena na klizanje, zatim kartu hazarda od klizišta i na kraju kartu rizika od klizišta.

Karta podložnosti, tj. sklonosti terena ka klizanju treba da sadrži podatke zastupljenosti pojedinih tipova klizišta na površini terena, njihovoj magnitudi (zapremini ili površini), po mogućstvu aktivnosti, brzini kretanja i daljini do koje pokrenuti materijal može da dospije. To se odnosi i na prisutna klizišta, ali i na potencijalna (tj. uslovno stabilne padine). Za razliku od karte hazarda nema komponentu vremenske vjerovatnoće i smatra se preduslovnim nivoom za procjenu tj. izradu karte hazarda.

Karta hazarda od klizišta pored informacija koje sadrži karta podložnosti sadrži i podatak o vremenskoj vjerovatnoći, tj. podatak o učestalosti aktiviranja/reaktiviranja klizišta na nekom području na godišnjem nivou. Procjena vremenske i prostorne komponente vjerovatnoće događanja procesa je terminološki definisana, za šta je neophodna dugogodišnja analiza dobro dokumentovanih podataka o procesu klizanja i pojavama klizišta, sa izvedenim relacijama mehanizma i dinamike kretanja. U najvećem broju slučajeva podaci su veoma oskudni, te je karta hazarda u suštini svedena na kartu podložnosti.

Karta rizika od klizišta pored sadržaja karte hazarda ima unijete sve elemente rizika koji su potencijalno ugroženi.

Procjena rizika od klizišta predstavlja proces analize raspoloživih informacija u cilju sračunavanja stepena rizika na ljude, materijalna dobra ili životnu sredinu. Generalno posmatrajući, analiza rizika obuhvata sljedeće korake: definisanje okvira procjene, definisanje hazarda, procjenu ugroženosti i procjenu rizika. Procjena rizika integriše analizu hazarda i ugroženosti elemenata rizika (analiza posljedica) s ciljem utvrđivanja stepena rizika, kroz formu opšte hazard-rizik jednačine:

$$R = H \times V \times E$$

$$[\text{rizik} = \text{hazard} \times \text{ugroženost} \times \text{elementi pod rizikom}]$$

Ova jednostavna, a s druge strane veoma moćna jednačina, prikazuje glavne faktore rizika. Ona uključuje vjerovatnoću pojave potencijalno štetnog klizišta određene magnitude (hazard), zatim elemente pod rizikom i njihovu ugroženost od pojave klizišta date magnitude, izraženu kao odnos potencijale štete prema ukupnoj vrijednosti elementa pod rizikom.

OSNOVNA TERMINOLOGIJA

- Hazard od klizišta (*Landslide Hazard*) - pokazatelj vjerovatnoće aktiviranja klizišta određene magnitude na određenom području u određenom vremenskom intervalu
- Magnituda klizišta - predstavlja mjeru intenziteta procesa i uzeta je kao potencijalna masa ili zapremina, brzina kretanja i daljina do koje bi pokrenuti materijal mogao da dospije

- Ugroženost/ranjivost (*Vulnerability*) - Karakteristike i okolnosti izloženih elemenata koje ih čine podložnim štetnim uticajima opasnosti. Ugroženost se izražava i kao stepen mogućih gubitaka u području koje je pogođeno dejstvom hazarda - izražava se skalom vrijednosti od 0 do 1, ili procentualno
- Rizik od klizišta (*Landslide Risk*) - pokazatelj očekivanih negativnih posljedica na prirodu, materijalna dobra i ljude
- *Podložnost (Susceptibility)* – Prostorna vjerovatnoća dešavanja neke pojave (npr. klizišta) na nekom području izražena kvalitativno (skalom od niske do visoke podložnosti) ili kvantitativno.
- *Elementi u riziku (Elements at risk)* – Ljudi, imovina, sistemi ili drugi elementi prisutni u zonama hazarda koji time bivaju pogođeni ili podliježu potencijalnim gubicima.

KARTA PODLOŽNOSTI/SKLONOSTI/OSJETLJIVOSTI – KARTA HAZARDA

Karta podložnosti/sklonosti terena na klizanje nastaje kao produkt multikriterijumske analize različitih podataka (layer-a) bitnih za nastanak klizišta, a kao najvažniji sloj (layer) u izradi ove karte jeste prostorni raspored klizišta koji nastaje kao produkt korišćenja digitalne baze katastra klizišta. Izrada ovakve karte pomoću savremenih GIS alata jeste veoma koristan način preventivnog djelovanja i preduslov za racionalnu i smislenu borbu protiv pojave klizišta i njihovog negativnog djelovanja.

Predstavlja prvi i najvažniji korak u analizi rizika od klizišta. U suštini karta podložnosti terena ka klizanju daje prijedlog rangiranja terena u smislu prostorne vjerovatnoće od pojave klizišta na nekom prostoru.

Postoji mnogo metoda za izradu ovakvih karata, ali kao napogodniji metod korsiti se takozvana AHP metoda, koja je zasnovana na tzv.heurističkog pristupu, odnosno ekspertskom rasuđivanju.

AHP metoda (Analytic Hierarchy Process) je matematička, višekriterijumska metoda (Saaty, 2003) koja se dosta koristi za modeliranje prostornih podataka, a u današnje vrijeme ima veliku primjenu i u oblasti inženjerske geologije, odnosno problematike nastabilnosti terena.

Prvi korak u primjeni jedne ovakve metode jeste formiranje AHP matrice sa kriterijumima pomoću koje se oni međusobno porede i na taj način se vrši višekriterijumska analiza. Metoda se zasniva na razlaganju složenog problema u hijerarhiji, gdje se cilj nalazi na vrhu hijerarhije dok su kriterijumi na nižim nivoima (tabela 1).

Konačna jednačina modela nakon analize treba da ima sljedeći oblik:

$$M_{AHP} = \sum_{i=1}^n w_i F_i$$

gde je:

w_i - težinski faktor,

F_i - odgovarajući kriterijum (layer)

Tabela 1: Primjer AHP matrice za poređenje

F_i	F_1	F_2	·	F_n
F_1	a_{11}	a_{12}	·	a_{1n}
F_2	a_{21}	a_{22}	·	a_{2n}
·	·	·	·	·
F_n	a_{n1}	a_{n2}	·	a_{nn}
Σ	Σa_{1n}	Σa_{2n}	·	Σa_{nn}

AHP je pogodan postupak za višekriterijumsko modeliranje sa rasterima, te je itekako pogodan za analizu prostornih podataka o klizištima i drugim uticajnim faktorima (Marjanović, 2013).

Koji će kriterijumi biti uključeni u analizu prije svega zavisi od detaljnosti karte, odnosno razmjere karte.

Najčešće korišćeni kriterijumi za pregledne karte sitnije razmjere jesu:

- geološka - inženjerskogeološka građa terena;
- nagib terena;
- padavine;
- korišćenje i namjena zemljišta;
- udaljenost od vodotokova;
- zakrivljenosti reljefa;
- orijentacija padine itd.

Takođe, u analizu se mogu uključiti i dodatni parametri kao što su: seizmičnost, tektonika i drugi faktori koji na analizirnom području prouzrokuju procese nestabilnosti.

Postupak modeliranja se generalno radi tako što se gore navedeni parametri porede u smislu značaja za razvoj procesa klizanja prema iskustvenom rasuđivanju.

Za svaki parametar koji je ušao u analizu urađene su analitičke karte na kojima su prema usvojenim kriterijumima izdvajane odgovarajuće klase sa pripadajućim vrijednostima težinskih faktora. Neophodno je da prethodno svi uticajni faktori budu klasifikovani na razumljivo mali broj klasa (do 10) i da svakoj klasi bude zadana odgovarajuća težina u opsegu 0-1 ili 0-10 ili 0-100. Pri dodjeljivanju vrijednosti težinskih faktora za svaki od analiziranih parametara, vrši se njihova validacija sa podacima iz katastra klizišta, odnosno vrši se preklapanje-provjera sa već registrovanim klizištima.

Bitno je napomenuti da matrica treba da zadovolji kriterijum konzistentnosti, odnosno mora imati logičnu hijerarhiju relativnih vrijednosti uticajnih faktora. Težinske vrijednosti dobijene prema AHP mogu biti lako primjenjene za rad u GIS okruženju. Jednostavnim množenjem normalizovanih vrednosti prikazanih na odgovarajućim rasterskim podlogama pojedinačnih parametara dobija se konačni AHP model, u ovom slučaju model podložnosti terena na pojavu klizišta.

Treba istaći da svaka karta, odnosno svaki model za različito područje može ima drugačiji pristup, prije svega u rangiranju dominantnih faktora za razvoj procesa nestabilnosti. Razlog tome leži npr. u različitosti geološke građe terena, nagibima terena pa samim tim i različitom dodjeljivanju težinskih faktora.

Da bi imali hazard, u analizi moramo imati uključenu vremensku komponentu. Jedini način uvođenja vremena jeste projekcija sa istorijskim padavinama i njihovo preklapanje sa kartom podložnosti.

Uvođenjem padavina u model dobija se tzv. kvazi-hazard, jer se donekle uvodi vremenska dimenzija izražena kroz povratni period ekstremnih padavina ili njihovu učestalost kroz srednje padavine za dug period vremena.

Za punu procjenu hazarda neophodno imati jasne korelacione veze između datuma aktiviranja procesa (klizišta) i aktivatora, tj. padavina, što u našim uslovima nije slučaj.

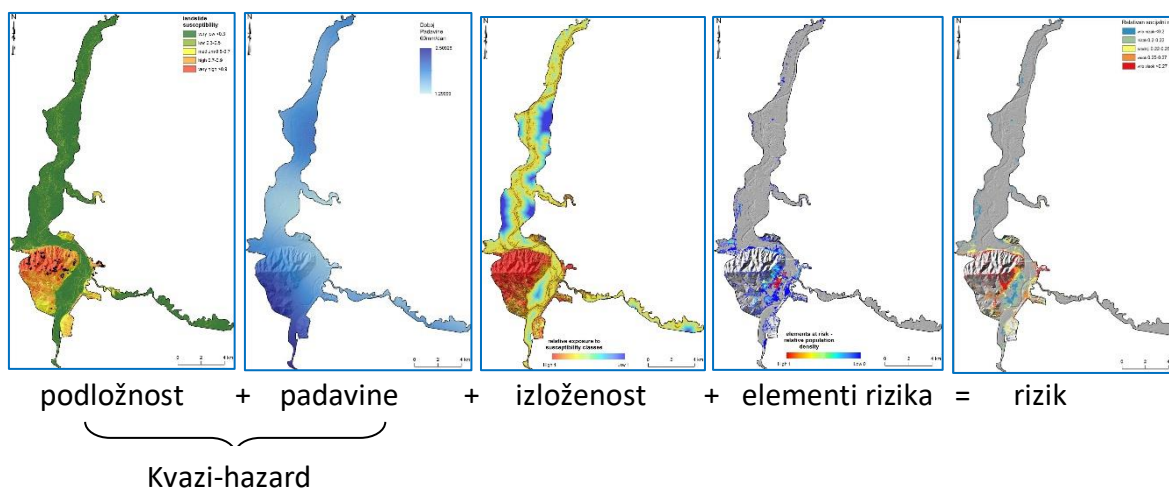
KARTA RIZIKA

Izloženost je sljedeće svojstvo koje predodređuje rizik u odnosu na hazard od klizišta. Naime, izloženost se najčešće izražava preko blizine posmatranog elementa u riziku određenoj klasi hazarda, naravno, u fokusu su klase vrlo visokog i visokog hazarda.

Nakon dobijanja prostorne distribucije klasa podložnosti moguće je dalje sračunati stepen izloženosti elemenata pod rizikom, u smislu udaljenosti elemenata pod rizikom od veoma visoke i visoke klase podložnosti/hazarda na kliženje.

Rezultujuća karta izloženosti dalje je preklopljena sa katastrofom elemenata pod rizikom (npr. sektor stanovanja) u cilju dobijanja ugroženosti elemenata pod rizikom, tj. konačnog relativnog rizika.

Rizik se dalje može jednostavno dobiti superponiranjem hazarda, izloženosti i elemenata u riziku. Cijeli proces modeliranja i dobijanja karte rizika kao krajnjeg proizvoda prikazan je na slici 2.



Slika 2: Proces dobijanja karte rizika

Sve gore navedene operacije rade se u okviru alata *Map Algebra*, odnosno *Raster Calculator*, u GIS okruženju.

ZAKLJUČAK

Metodologija procjene rizika od klizišta sastoji od sljedećih koraka: izrade karte podložnosti/kvazi - hazarda, izrade karte elemenata pod rizikom, sračunavanja ugroženosti na osnovu njihove izloženosti potencijalnom procesu kliženja i procjeni rizika od klizišta.