

Hrvatska zaklada za znanost

Istraživački projekti
(IP-2019-04)

Prošireni sažetak

Snježana Mihalić Arbanas

Razvoj metodologije procjene podložnosti na klizanje za planiranje namjene zemljišta primjenom LiDAR tehnologije

LandSlidePlan*Popis postignuća (Track-record) predlagatelja projektnog prijedloga u posljednjih 5 godina:***1. Pet publikacija:**

1. Mihalić Arbanas, S., Sećanj, M., Bernat Gazibara, S., Krkač, M., Begić, H., Džindo, A., Zekan, S., Arbanas, Ž., 2017. Landslides in the Dinarides and Pannonian Basin—from the largest historical and recent landslides in Croatia to catastrophic landslides caused by Cyclone Tamara (2014) in Bosnia and Herzegovina. *Landslides* 14(6): 1861–1876. (IF2017=3.811)
2. Krkač, M., Špoljarić, D., Bernat, S.; Mihalić Arbanas, S., 2017. Method for prediction of landslide movements based on random forests. *Landslides* 14(3): 947-960. (IF2017=3.811)
3. Prodan Vivoda, M., Mileusnić, M., Mihalić Arbanas, S., Arbanas, Ž., 2017. Influence of weathering processes on the shear strength of siltstones from a flysch rock mass along the northern Adriatic coast of Croatia. *Bulletin of engineering geology and the environment* 76(2): 695-711. (IF2017=1.825)
4. Mihalić Arbanas, S., Krkač, M., Bernat, S., 2016. Application of advanced technologies in landslide research in the area of the City of Zagreb (Croatia, Europe). *Geologia Croatica* 69 (2): 231-243. (IF2016=0.595)
5. Mihalić Arbanas, S., Arbanas, Ž., 2015. Landslides: A guide to researching landslide phenomena and processes. In *Handbook of Research on Advancements in Environmental Engineering*. Gaurina-Međimurac N (ed). IGI Global, Hershey, 474-510.

2. Popis najvažnijih projekata prihvaćenih za financiranje

- RECALL – RESILIENT EUROPEAN COMMUNITIES AGAINST LOCAL LANDSLIDES, DG ECHO (European Civil Protection and Humanitarian Aid Operations) (2015-2017). Član projekta. Izvor financiranja: European Civil Protection Financial Instrument (75%).
- RISK IDENTIFICATION AND LAND-USE PLANNING FOR DISASTER MITIGATION OF LANDSLIDES AND FLOODS IN CROATIA, hrvatsko-japanski bilateralni SATREPS projekt (2009-2014). Zamjenik voditelja projekta i voditelj radne grupe 3. Izvor financiranja: JICA, JST, MZOŠ.

3. Dosadašnje sudjelovanje na projektima HRZZ-a N/A**4. Pozvana predavanja na međunarodnim konferencijama i/ili ljetnim školama**

Landslide mapping and monitoring: Review of conventional and advanced techniques. 4th Symposium of Macedonian Association for Geotechnics, Ohrid, Makedonija, svibanj 2014.

5. Ostala važna akademska postignuća:

- član Upravnog odbora Međunarodnog konzorcija za klizišta (2012-danas)
- koordinator regionalne istraživačke ICL jadransko-balkanske mreže (ICL ABN)“(2017-danas)
- voditelj Svjetskog centra izvrsnosti za umanjivanje rizika od klizišta ICL-a (2017-2020)
- predsjedatelj radne skupine za procjenu rizika klizišta pri Ministarstvu graditeljstva i prostornoga uređenja (2017-2018)

Opis istraživačke grupe koja provodi istraživanje i zaduženja, gdje će se istraživanje provoditi te koji su postojeći resursi (prostor i opremu) nužni i dostupni za provedbu istraživanja.

Istraživačka grupa sastoji od šest suradnika, članova projekta s dva hrvatska sveučilišta, Sveučilišta u Zagrebi i Sveučilišta u Rijeci te tri međunarodna člana projekta, dva suradnika sa Sveučilišta u Firenci i jednog suradnika sa Sveučilišta u Ljubljani. Šest istraživača su sveučilišni profesori, dva istraživača su poslijedoktorandi i jedan istraživač je doktorand. Svi članovi projekta rade na području znanosti o klizištima s iskustvom u inženjerskoj geologiji, geotehnici, primjeni GIS-a, prostornim analizama i daljinskim istraživanjima klizišta. Znanstveno iskustvo voditelja projekta i tri

profesora iz Rijeke, Ljubljane i Firence vezano uz znanost o klizištima u prosjeku iznosi oko 28 godina, što je rezultiralo s više od 15 doktorata u Hrvatskoj, Sloveniji i Italiji. Iz perspektive projekta, najvažniji rezultati istraživanja u posljednje vrijeme su dvije doktorske disertacije dviju članica projekta, koje su izravno povezane s predloženom temom projekta. Oba doktorska istraživanja temelje se na korištenju digitalnih modela terena (DMT) izvedenih iz LiDAR (engl. Light Detection and Ranging) podataka u svrhu izrade karata klizišta (vizualno i automatizirano) u različitim okolišima te moguće primjene na kartiranje podložnosti na klizanje. Ova tehnologija pokazala se najučinkovitijom metodom za kartiranje klizišta u Hrvatskoj, a koncept projekta predstavlja nastavak i proširenje dosadašnjih istraživanja kako bi se razvile nove metodologije za praktičnu primjenu u društvu. Ostale kompetencije članova projekta, relevantne za projekt, su iskustvo u upravljanju istraživanjima, stečene kroz vodeće uloge u različitim projektima, institucijama, nacionalnim i međunarodnim organizacijama i inicijativama. Iskustvo u suradnji s vladama u Hrvatskoj, Sloveniji i Italiji vezano uz primjenu rezultata znanstvenih istraživanja iz područja klizišta od presudne je važnosti za provedbu projekta *LandSlidePlan*. Istraživanje će se provoditi na tri reprezentativna pilot područja u Republici Hrvatskoj, a uključuju kabinetska istraživanja na dva hrvatska sveučilišta (RGN fakultet u Zagrebu i Građevinski fakultet u Rijeci) te terenski rad. Osim istraživačkih aktivnosti, planiran je i niz projektnih događanja koji uključuju sastanke, radionice, okrugli stol i konferencije za tisak. UNIZG-RGNF će omogućiti korištenje postojeće opreme (radne stanice, serveri, printer i softvere) te digitalnih podataka (DMT izveden iz LiDAR-a) u svrhu istraživanja. Iz proračuna projekta planira se poboljšanje postojeće opreme s novim, snažnijom radnom stanicom i GIS softverom za obradu podataka. Dio opreme je namijenjen i doktorandu, čije istraživanje će biti vezano za projektne aktivnosti. Postojeći LiDAR podaci iz 2012. i 2013. godine koristit će se za verifikaciju novih podataka te u slučaju potrebe kao mjera za smanjenje rizika provedbe projekta. To znači da je prikupljanje novih LiDAR podataka za tri pilot područja ključno za uspješnu provedbu projekta i ostvarivanje visokog potencijala projektnog prijedloga.

Teorijska utemeljenost projekta te istraživački problemi i važnost njihovog istraživanja za razvitak područja istraživanja, društva i gospodarstva.

Procesi klizanja predstavljaju veliki problem u gotovo svim dijelovima svijeta jer uzrokuju izravne ili neizravne ekonomske i/ili socijalne gubitke na privatnim i/ili javnim dobrima. Održivo upravljanje prostorom na bilo kojoj razini je otežano, gotovo i nemoguće, bez poznavanja svih vrsta geohazardnih procesa i njihove prostorne raspodjele na nekom području, odnosno bez sustavnog evidentiranja pojava koje nastaju kao posljedica njihovog odvijanja. U posljednjih petnaestak godina sve je češća primjena daljinskih istraživanja za izradu karata klizišta. Prednost LiDAR podataka u odnosu na ostale metode daljinskih istraživanja je izrada digitalnog modela terena (DMT) bez vegetacije i vrlo visoke rezolucije (<2 m) koje omogućavaju identifikaciju i kartiranje klizišta na područjima pod gustom vegetacijom. Također, LiDAR DMT omogućava izradu karata faktora klizanja visoke rezolucije i kvalitete, odnosno izradu seta preduvjeta klizanja za koje se može definirati utjecaj na pojavu klizišta. Statističkom analizom podataka o klizištima i faktora klizanja moguće je podložnost na klizanje definirati kao prostornu vjerojatnost. Relevantnost predložene teme istraživanja, a vezano za kartiranje klizišta i procjenu podložnosti na klizanje, proizlazi iz državne procjene rizika od klizanja u kojoj su klizišta prepoznata kao drugi prirodni rizik u Hrvatskoj. Preliminarna analiza podložnosti na klizanje je pokazala da je oko 20% površine Republike Hrvatske potencijalno podložno na klizanje. Međutim, glavni problem u postojećem upravljanju klizištima u Republici Hrvatskoj je nedostatak detaljnih i potpunih inventara klizišta te prognostičkih karata hazarda i rizika klizanja. Misija projekta *LandSlidePlan* je sjecanje novih znanja nužnih za praktičnu procjenu podložnosti na klizanje, u svim dijelovima Republike Hrvatske, sa svrhom izrade karata podložnosti koje će biti korištene od strane regionalne i lokalne uprave u procesu planiranja namjene zemljišta. Istraživanje će se temeljiti na inovativnim tehnologijama, postojećim ograničenjima koja se odnose na dostupnost prostornih podataka u Hrvatskoj (ograničena količina geoloških i topografskih podataka) te na potrebi za cjelovitim rješenjima u sustavu prostornog uređenja Republike Hrvatske, sukladno s globalnim i europskim zahtjevima o održivom razvoju te zaštiti ljudi i okoliša. Znanstveni i praktični cilj istraživanja je razvoj metodologije za procjenu podložnosti na klizanje korištenjem LiDAR tehnologije te najpouzdanijih pristupa za modeliranje s obzirom na karakteristične okoliše u Hrvatskoj.

Metodologija istraživanja

Razvoj metodologija za procjenu podložnosti na klizanje u detaljnom mjerilu primjenom LiDAR tehnologije provest će se za tri pilot područja (3 x 20 km²) u Gradu Zagrebu, Hrvatskom Zagorju i Istri, koja su odabrana na temelju karakteristične geološke građe i stupnja urbanizacije. Konačni produkt istraživanja su smjernice za izradu karata inventara klizišta te razvijena metodologija za procjenu podložnosti na klizanje. Metodologija znanstvenog istraživanja uključuje: (a) prikupljanje

podataka za procjenu podložnosti na klizanje; (b) analize ulaznih podataka pomoću statističkih metoda; (c) verifikaciju rezultata procjene podložnosti na klizanje u smislu pouzdanosti izrađenih karata; (d) klasifikaciju izrađenih karata podložnosti na klizanje s obzirom na mišljenje dionika i praktičnu primjenu konačnih karata podložnosti na klizanje; (e) izradu smjernica za praktičnu primjenu razvijene metodologije u sustavu prostornog uređenja u Hrvatskoj. Metodologija uključuje iste korake za sva tri pilot područja. Lasersko skeniranje iz zraka provest će se u bezvegetacijskom dijelu godine (prosinac-ožujak), a dobiveni oblaci točaka koristit će se za izradu digitalnog modela terena (DMT) bez vegetacije. Iz optimalnog LiDAR DMT-a, bit će izvedene morfometrijske karate za vizualnu identifikaciju i kartiranje klizišta. Ključni neizravni cilj je izraditi detaljan i potpun inventar klizišta za modeliranje podložnosti na klizanje. Procjena podložnosti na klizanje planirana je primjenom slijedećih statističkih metoda: (i) bivarijantne statističke metode, uključujući metodu informacijske vrijednosti i WoE modela; (ii) multivarijantne statističke metode, uključujući linearnu regresiju i diskriminantnu analizu; (iii) metode strojnog učenja, uključujući metodu potpornih i metodu slučajnih šuma. Odabrane statističke metode predstavljaju najčešće korištene metode, ali i metode s najboljom predikcijom kod modeliranja podložnosti na klizanje. Klasifikacija dobivenih karata podložnosti na klizanje je ključan korak za mogućnost praktične primjene karata u planiranju namjene zemljišta, a u okviru planiranih istraživanja bit će uspoređene najčešće korištene metode. Ključni neizravni cilj je razviti model za klasifikaciju podložnosti prema specifičnim zahtjevima korisnika sustava prostornog uređenja u Republici Hrvatskoj.

Istraživački ciljevi projekta.

Znanstveni ciljevi predloženog istraživanja izvedeni su iz tri glavna znanstvena cilja projekta: **SO1-Land** – izraditi optimalni digitalni model terena bez vegetacije koji odražava morfologiju klizišta te održava razliku između dijelova terena s klizištima i dijelova terena bez klizišta, a koji mogu utjecati na namjenu zemljišta; **SO2-Slide** – izraditi pouzdanu kartu podložnosti na klizanje s najboljim prikazom područja podložnih na klizanje i područja s niskom vjerojatnosti pojave klizišta primjenom znanstvenih metoda na reprezentativnim područjima u Republici Hrvatskoj sa specifičnim inženjerskogeološkim uvjetima koji uvjetuju pojavu klizišta; **SO3-Plan** - izraditi karte koje prikazuju informacije o klizištima prema potrebama sustava prostornog uređenja u Republici Hrvatskoj (posebice planiranje namjene zemljišta), a obuhvaćaju lokalnu i regionalnu razinu te su usklađene na državnoj razini. Znanstveni ciljevi predloženog istraživanja su slijedeći: O2 Ispitati i izraditi najbolji DMT za vizualnu identifikaciju klizišta u tri karakteristična okoliša u RH (SO1-Land); O3 Pripremiti ulazne podatke (kartografske varijable) za prostorne analize podložnosti na klizanje za tri karakteristična okoliša u RH (SO2-Slide); O4 Izraditi i ispitati najpouzdanije karte podložnosti na klizanje za tri karakteristična okoliša u RH (SO2-Slide); O5 Izraditi kartu podložnosti na klizanje primjenjivu u sustavu prostornog uređenja RH (SO3-Plan); O6 Verificirati kartu podložnosti na klizanje u odnosu na potrebe sustava prostornog uređenja RH (SO3-Plan); O7 Predložiti konkretne načine implementacije karata podložnosti na klizanje u odnosu na potrebe sustava prostornog uređenja RH u obliku smjernica (SO3-Plan); O8 Razvoj nove generacije mladih istraživača koji mogu primjenjivati i razvijati metodologiju procjene podložnosti na klizanje primjenom LiDAR tehnologije.

Očekivani rezultate istraživanja.

Očekivani znanstveni rezultati projekta *LandSlidePlan* su slijedeći: D2.2 Izrađeno minimalno 16 DMT-ova, različitih rezolucija i metoda interpolacije, za svako od tri pilot područja; D2.4 Odabran optimalni DMT za vizualnu identifikaciju klizišta; D3.1 Izrađene tri karte klizišta koje predstavljaju najkvalitetnije inventare u odnosu na specifičnosti karakterističnih okoliša; D4.2 Izrađeno preko 200 karata podložnosti za svako od tri pilot područja sa svrhom ispitivanja pouzdanosti procjene svih primijenjenih metoda; D4.3 Pripremljeni ulazni podaci za analizu podložnosti (osjetljivosti); D4.5 Definiran utjecaj različitih parametara metoda procjena podložnosti na pouzdanost procjene i odabir najboljih metoda za procjenu podložnosti na klizanje; D5.1 Definirani kriteriji za zoniranje podložnosti na klizanje za specifične namjene u prostornom planiranju; D6.1 Definirane mogućnosti deriviranja informacija iz karata podložnosti na klizanje za svako od tri pilot područja, ovisno o razini administrativne jedinice i karakterističnim namjenama zemljišta; D7.1 Definirane potrebe sustava prostornog uređenja u obliku vrsta informacija koje su potrebne u različitim fazama upravljanja prostorom na svim razinama prostornog uređenja; D7.3 Metodologija izrade karata podložnosti na klizanje opisana u smjernicama za primjenu u sustavu prostornog uređenja, za izradu prostornih planova županija, gradova i općina. Projekt će rezultirati i objavljivanjem različitih publikacija, članaka u četiri znanstvena časopisa te na 9 međunarodnih konferencija i dvije knjige, zatim nizom javnih nastupa u medijima te prijenosom znanja i pozitivne prakse s relevantnih znanstvenih institucija iz Europe.

Opišite očekivani utjecaj projekta na znanstveno područje, struku, gospodarstvo ili društvo.

Očekuje se da će *LandSlidePlan* projekt stvoriti učinke na: (i) tehnička, društvena i okolišna područja; (ii) ciljane skupine znanstvenika, nadležne državne i lokalne uprave i širu javnost; i (iii) državnu, regionalnu, europsku i globalnu razinu. U okviru predmetnog poziva, očekivani utjecaji istraživačkih projekata HRZZ-a u potpunosti su ispunjeni *LandSlidePlan* projektom. Prvo, projekt će stvoriti nova znanja iz područja znanosti o klizištima koja koriste inovativnu LiDAR tehnologiju za kartiranje klizišta za primjenu u sustavu prostornog uređenja, koja će se koristiti od postupaka donošenja odluka do kreiranja politika planiranja namjene zemljišta u odnosu na ograničenja u prostoru. Budući da su nova znanja usmjerena na opažanja Zemlje (*Earth Observations*, EO) i stvaranje novih EO proizvoda s ciljem da se izbjegnu opasnosti od klizišta, konačan cilj je umanjeње šteta od klizišta, odnosno umanjeње potencijalnih ljudskih, materijalnih, ekonomskih, socijalnih i drugih gubitaka. Prema strategiji "*Smart specialisation strategy of the Republic of Croatia for the period from 2016 to 2020*" nova znanja spadaju u tematsko prioriteto područje 5.2.2. *Energija i održivi razvoj*, u dijelu koji se odnosi na *STPA 2 Environmental friendly technologies, equipment and advanced materials* (tj. izazovi vezani za klimatske promjene i povećane prirodne opasnosti koje potiču istraživačke inicijative, poduprte odgovarajućim mjerama Vlade i dionika iz industrije). U odnosu na istu Strategiju, *LandSlidePlan* također doprinosi povećanom korištenju EO proizvoda i servisa za primjene vezane za okoliš, za bolje upravljanje okolišnim resursima (prostorom), povećanu kvalitetu života i brži ekonomski razvoj područja ugroženih klizištima. Drugi i treći očekivani utjecaj projekta povezani su s istraživačkom grupom. *LandSlidePlan* će povezati istraživače sa dva hrvatska sveučilišta s istraživačima iz Italije i Slovenije, a koji se bave značajnom problematikom smanjenja rizika od klizišta. Značenje ove teme istraživanja potvrđeno je strateškim dokumentom UN-a "*Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030*". Predviđenih troje inozemnih istraživača u projektu su istaknuti znanstvenici s međunarodno priznatim dostignućima što je vidljivo iz njihovih funkcija u međunarodnim društvima (*International Consortium on Landslides* i *European Federation of Geologist*). *LandSlidePlan* će stvoriti prepoznatljivu istraživačku grupu koja se bavi i međunarodno i državno značajnom problematikom u domeni prevencije rizika od klizanja. Nova znanstveno-istraživačka grupa hrvatskih znanstvenika s dva sveučilišta, zajedno sa znanstvenicima iz Italije i Slovenije, može biti konkurentna na međunarodnoj razini s obzirom na izvrsnost istraživača i na potencijal projekta *LandSlidePlan*. Treća skupina očekivanih utjecaja projekta odnosi se na stvaranje znanstvenika koji mogu biti mentori novoj generaciji mladih istraživača čija će se istraživanja temeljiti na primjeni inovativnih tehnologija (LiDAR) i kreativnim rješenjima. *LandSlidePlan* doprinosi razvoju hrvatskog znanstveno-istraživačkoga potencijala time što će hrvatski znanstvenici u projektu steći i primijeniti nova znanja te će objavljivati znanstvene radove u vrhunskim časopisima i polučiti znanstvenu izvrsnost u svjetskim okvirima razvojem nove metodologije.