

# Primjena karata podložnosti odronima primjeru pokosa uz željezničku prugu i državnu cestu

---

PROF.DR.SC. ŽELJKO ARBANAS

GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U RIJECI

# PRIMJER

primijenjena istraživanja klizišta  
za razvoj mjera ublažavanja  
i prevencije rizika



Sveučilište u Zagrebu  
RUDARSKO  
GEOLOŠKO  
NAFTNI FAKULTET



Sveučilište  
u Rijeci  
Građevinski  
fakultet

## JutarnjiLIST

**FOTO: ZASTRAŠUJUĆI PRIZOR S  
JADRANSKE MAGISTRALE**  
Ogromne kamene gromade odronile  
se na cestu kod mjesta koje je  
potpuno uništio požar

Jutarnji.hr OBJAVLJENO: 07.10.2018.



# PRIMJER

primijenjena istraživanja klizišta  
za razvoj mjera ublažavanja  
i prevencije rizika



Sveučilište u Zagrebu  
RUDARSKO  
GEOLOŠKO  
NAFTNI FAKULTET



Sveučilište  
u Rijeci  
Građevinski  
fakultet

## SLOBODNA DALMACIJA

Gromada od 20 tona smrkskala prikolicu Viadukta  
NOVI ODRON U OMIŠU

16.04.2012.



## Glas Istre

Odron na pruzi kraj Buzeta Na željezničkoj  
pruzi između Buzeta i Roča došlo je do  
odrona stijena s litice Raspadalice  
na Ćićariji, 15.11.2013.



Posljedica otapanja snijega: odron  
stijena u Hrvatskoj Kostajnici ugrozio  
kuće, 11.03.2018.



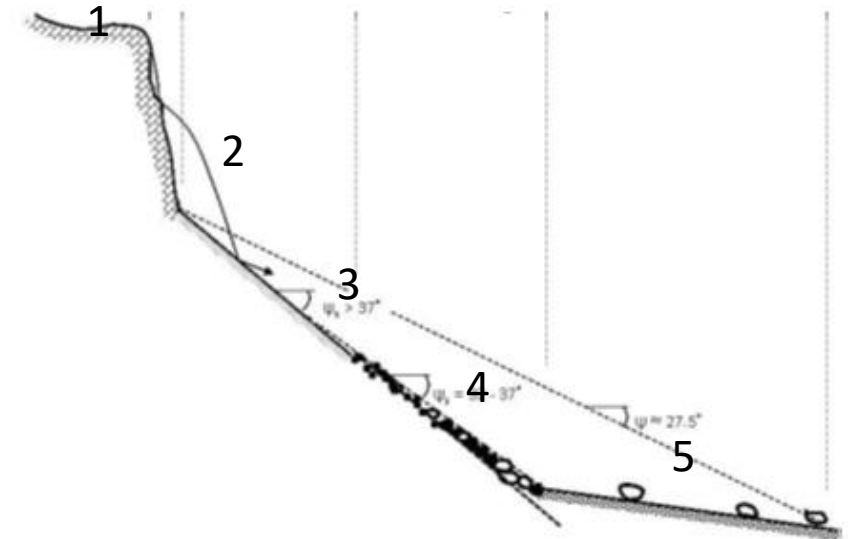
# PRIMJER

primijenjena istraživanja klizišta  
za razvoj mjera ublažavanja  
i prevencije rizika

Odron u stijenskoj masi je **tip klizišta** čiji se mehanizam sastoji od odvajanja pojedinog bloka (ili više blokova) od vertikalne ili subvertikalne litice (1) koje slijedi brzo gibanje niz padinu kroz faze slobodnog pada (2), odskakivanje (3), kotrljanja (4) i klizanja (5).

Pri tome su odroni **ekstremno brze pojave s velikim dosegom pokrenute mase**, a zbog velike brzine, osobe se uglavnom ne stignu evakuirati.

Zbog toga su **odroni tip klizišta koji uzrokuju najveći broj žrtava**, čak i pri niskim stupnjevima izloženosti kao što su prometnice, a odroni mogu izazvati i značajna oštećenja na građevinama i infrastrukturi te poremećaje u životnim procesima.



Više od **40% površine Hrvatske** predstavlja krško područje izloženo odronima koji su u prošlosti izazvali značajne štete na infrastrukturnim građevinama i naseljima, kao i ozljede i smrtne slučajeve.

U Republici Hrvatskoj **ne postoji ustaljena praksa procjene podložnosti i hazarda, kao ni analize rizika od odrona u stijenskoj masi**, iako su pojave odrona česte.

Također, **nije usvojena ili razvijena neka od metoda procjene podložnosti, hazarda ili rizika od odrona primjenjiva u Republici Hrvatskoj**. Praktični problemi koje koji nastaju uslijed ugroženosti infrastrukture ili naselja odronima rješavaju se deterministički, pri čemu se analize podložnosti i rizika od odrona provode samo djelomično, kao sastavni dio inženjerskih rješenja mjera za umanjenje rizika od odrona.

**Hazard od odrona određuje vjerojatnost pojave odrona** određene magnitude (volumena) ili intenziteta (definiranog energijom odrona) u određenom vremenskom periodu i na određenom području (površini) i ovisi o tri faktora:

**Vjerojatnost odvajanja bloka određene magnitude** (definirane preko veličine bloka) od stijenske litice na određenoj lokaciji u određenom periodu vremena, što uključuje prostornu (spacijalnu) komponentu vjerojatnosti pojave odrona (**podložnost**) i vremensku (temporalnu) komponentu vjerojatnosti pojave odrona (frekvenciju),

**Propagaciju gibanja bloka niz kosinu** što uključuje trajektoriju gibanja i maksimalni doseg pokrenutog bloka, i

**Intenzitet odrona** izražen kinetičkom energijom pokrenutog bloka duž trajektorije gibanja.

**Rizik je opisan s tri temeljne komponente: hazardom, izloženosti elemenata pod rizikom i njihovom ranjivosti**, a mogu biti karakterizirani prostornim ili ne-prostornim atributima. Izloženost je određena prostornom i vremenskom vjerojatnosti da je element pod rizikom prisutan u području zahvaćenom opasnosti od odrona u trenutku pojave odrona. Uobičajeni redoslijed određivanja u analizi rizika od stijenskog odrona je slijedeći:

**Analiza hazarda** koja uključuje analizu intenziteta, vjerojatnosti pojave odrona i doseg potencijalnog odrona,

**Identifikacija elemenata pod rizikom** koja uključuje njihov broj, vrijednost i stupanj izloženosti,

**Analiza ranjivosti**, i

**Procjena rizika.**

Tijekom posljednjih 40 godina razvijen je cijeli niz metoda za kvalitativnu procjenu hazarda od odrona u stijenskoj masi, pri čemu je većina razvijena za primjenu na ograničenim zonama uz prometnice ili naselja ugrožena odronima.

*Rockfall Hazard Rating System (RHRS) i modifikacije*

*Metode proizašle iz Rock Engineering System (RES)*

*Druge metode (AHP, QRHRS, ...)*

Rockfall Hazard Rating System (RHRS) i modifikacije (naročito Colorado Rockfall Hazard Rating System (CRHRS)) predstavlja sustav koji bi **uz određene daljnje modifikacije mogao biti usvojen za procjenu hazarda i rizika u od odrona stijenske mase u Republici Hrvatskoj.**



RHRS i CRHRS analiziraju slijedeće elemente u procjeni hazarda:

- i) **visinu kosine** s koje prijete odron;
- ii) **djelotvornost jarka** za prikupljanje odronjenog materijala;
- iii) **prosječan rizik vozila** (eng. average vehicle risk, AVR) koji predstavlja vjerojatnost da vozilo bude prisutno u zoni odrona u trenutku odrona izraženo u postotku vremena;
- iv) **postotak duljine preglednosti** za donošenje odluke (eng. percent of decision sight distance, PDSD) koji predstavlja postotak udaljenosti koja je vozaču potrebna da reagira na pojavu odrona;
- v) **širina prometnice** predstavlja ukupnu širinu prometnice uključujući bankine koja predstavlja prostor raspoloživ za zaobilaženje prepreke;
- vi) **geološke značajke** koje uključuju dva međusobno isključiva slučaja: postojanje višestrukih setova diskontinuiteta u stijenskoj masi i stijenska masa je podložna eroziji (trošenju);
- vii) **veličina bloka** ili **volumen odrona** po pojedinom događaju;
- viii) **klimatski uvjeti i prisutnost vode** na kosini izraženi preko intenziteta kiše, ciklusi smrzavanja i otapanja te cirkulacija vode u kosini; i
- ix) **povijest odrona** predstavlja informaciju o prošloj aktivnosti odrona na kosini iz postojeće baze podataka ili od osoblja koje održava prometnicu.

Rizik se određuje na osnovi 3 parametra:

- i) duljine preglednosti,
- ii) rizika za vozila i
- iii) broja nesreća uzrokovanih odronima u proteklom periodu.

# PRIMJER

primijenjena istraživanja klizišta  
za razvoj mjera ublažavanja  
i prevencije rizika

## Nedostaci RHRS i CRHS :

- Izuzetno subjektivna metoda, ovisi o ocjenjivaču
- Značajan broj parametara se procjenjuje (visina pokosa, stanje stijenske mase, mogućnost pojave odrona...)
- Ne uzima u obzir utjecaj modernih mjera zaštite od odrona
- Ne uzima u obzir utjecaj lokalnih uvjeta na hazard i rizik.

## Metodologija izrade karata podložnosti na odrone:

Trodimenzionalne snimke terena visoke rezolucije, kao što su zračne i terestričke snimke korištenjem LiDAR (*Light Detection and Ranging*) tehnologije ili fotogrametrijske snimke korištenjem SfM (*Structure from Motion*) tehnologije, omogućuju provođenje visoko sofisticiranih determinističkih prostornih simulacija pokretanja i propagacije odrona kao podloga za utvrđivanje rizika.



# PRIMJER

primijenjena istraživanja klizišta  
za razvoj mjera ublažavanja  
i prevencije rizika





# PRIMJER

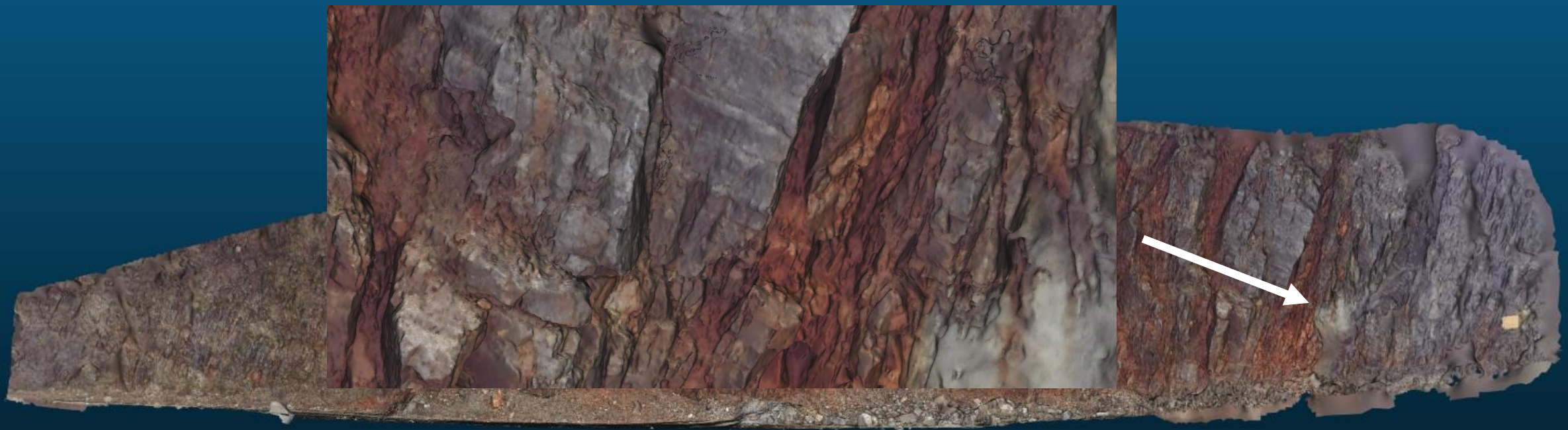
primijenjena istraživanja klizišta  
za razvoj mjera ublažavanja  
i prevencije rizika

## 3D modeli visoke rezolucije koji omogućuju:

- Uvid u stanje stijenske mase u svakom dijelu pokosa usjeka ili zasjeka
- Određivanje značajki diskontinuiteta stijenske mase (orijentacija, razmak, duljina, zijev, ispuna, valovitost...)
- Određivanje veličine bloka
- Provođenje kinematičkih analiza
- Provođenje analiza za utvrđivanje trajektorija i dosega odronjenih blokova

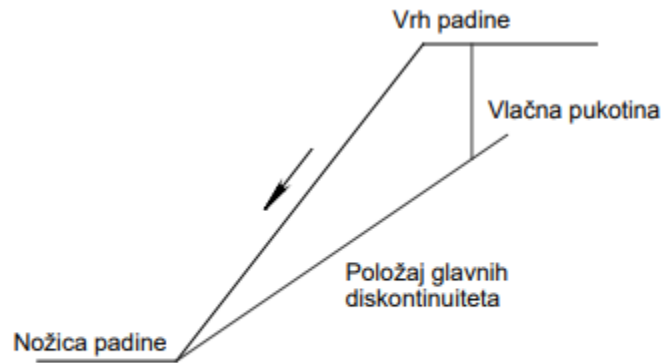
primijenjena istraživanja klizišta  
za razvoj mjera ublažavanja  
i prevencije rizika

# Lokacija Špičunak

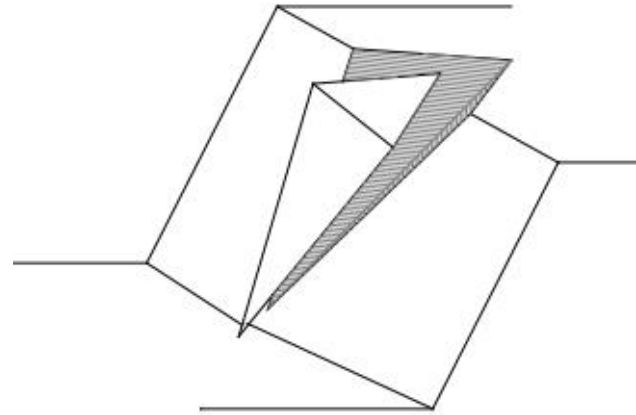


# PRIMJER

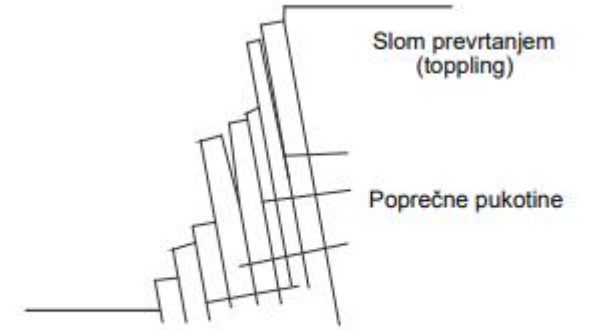
primijenjena istraživanja klizišta  
za razvoj mjera ublažavanja  
i prevencije rizika



Ravni slom s vlačnom pukotinom



Klinasti slom, postupni klinasti slom



Primarni slom prevrtanjem





# PRIMJER

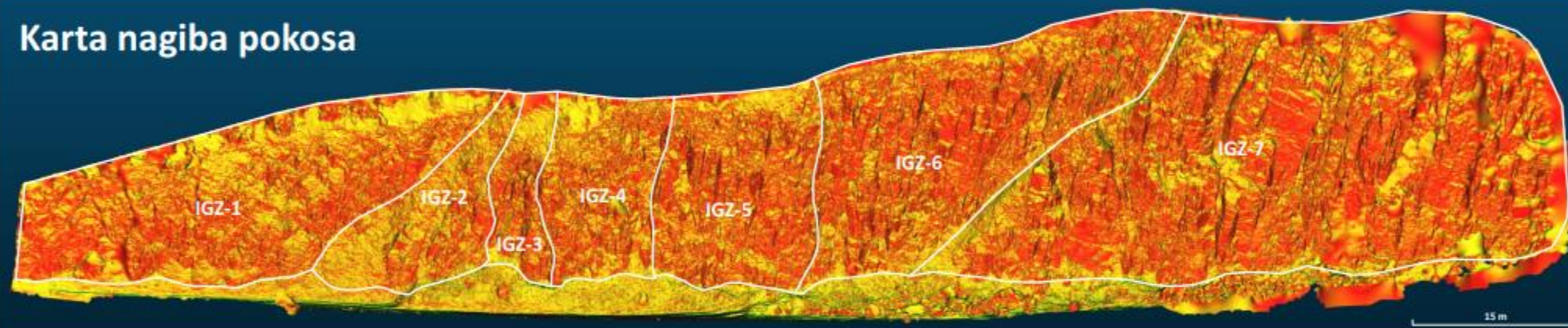
primijenjena istraživanja klizišta  
za razvoj mjera ublažavanja  
i prevencije rizika

## Lokacija Špičunak

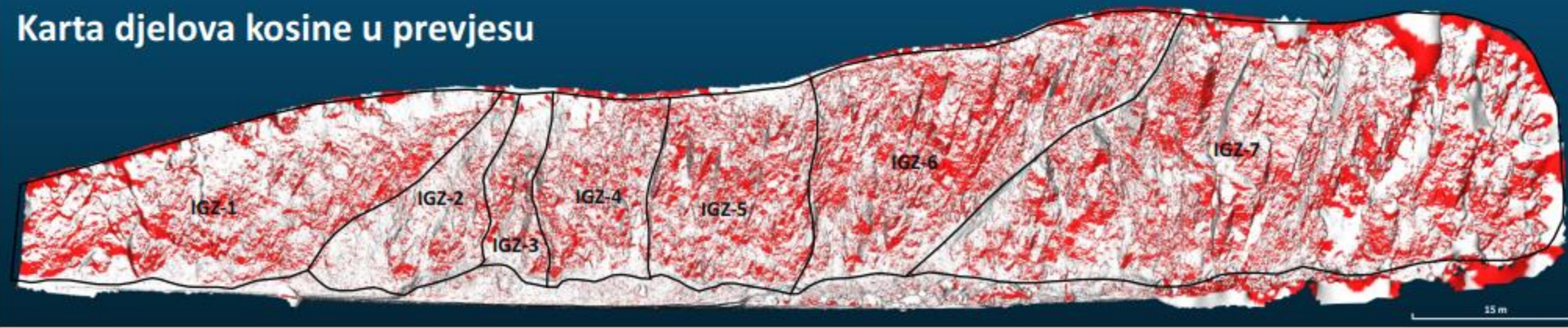
### Karta inženjerskogeoloških zona



### Karta nagiba pokosa



### Karta djelova kosine u prevjesu



# PRIMJER

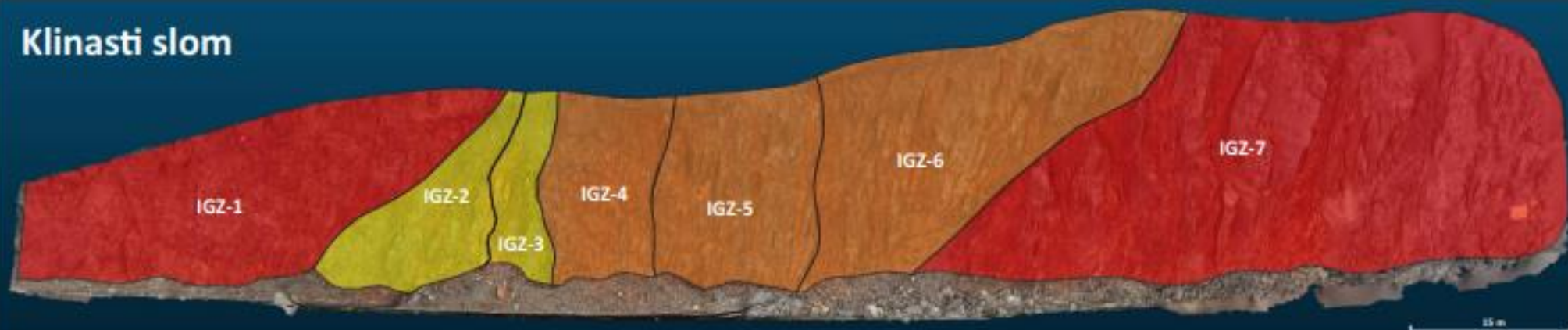
primijenjena istraživanja klizišta  
za razvoj mjera ublažavanja  
i prevencije rizika

## Lokacija Špičunak

### Planarni slom



### Klinasti slom



### Prevrtanje savijanjem

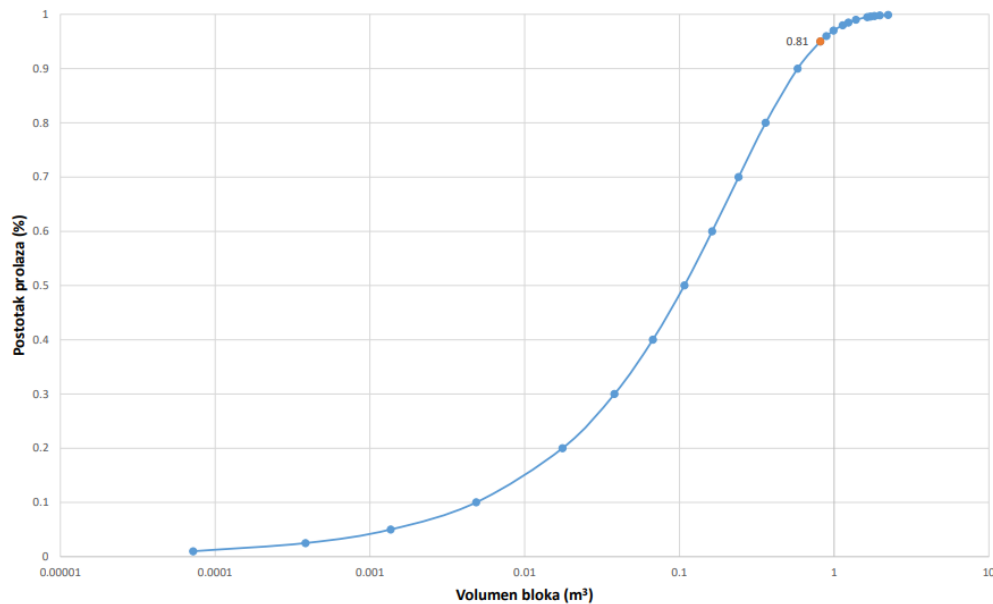


# PRIMJER

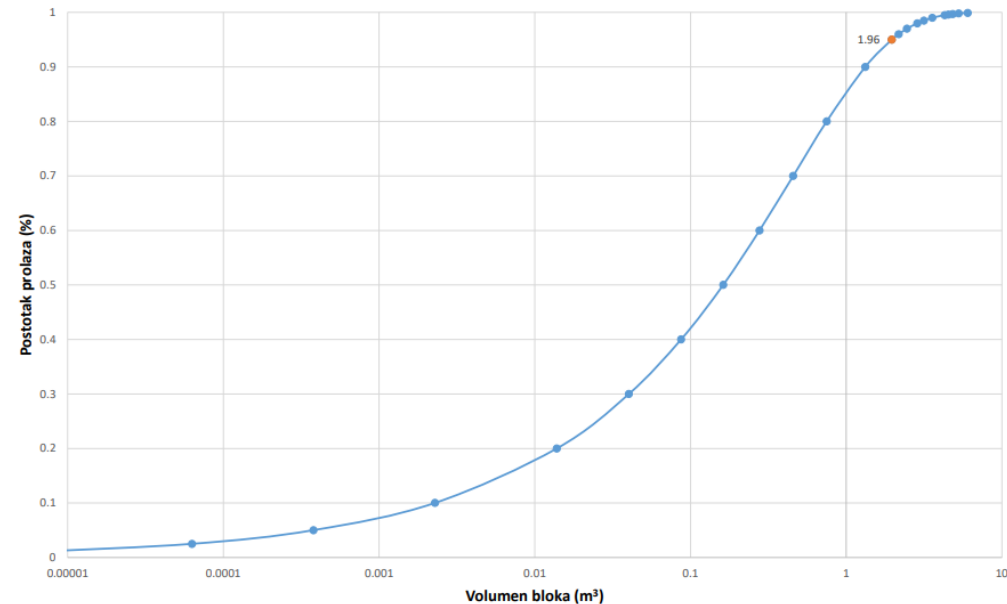
primijenjena istraživanja klizišta  
za razvoj mjera ublažavanja  
i prevencije rizika

## Lokacija Špičunak

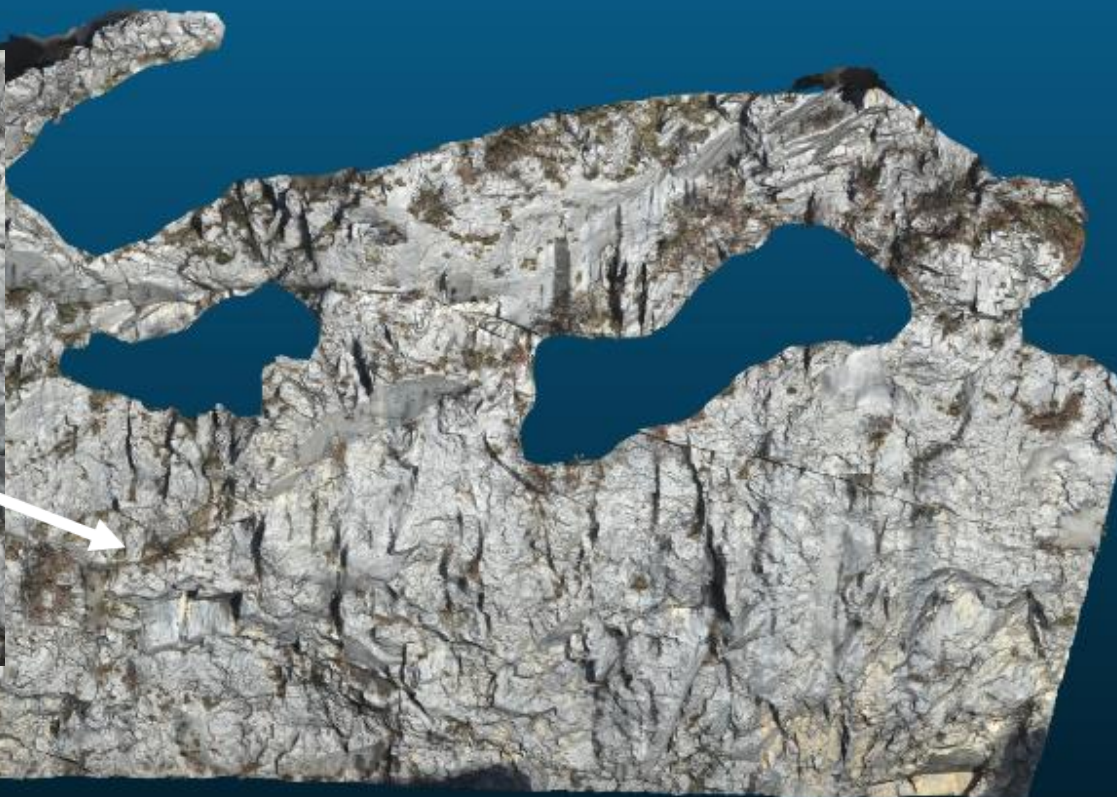
*In Situ Block Size Distribution (IBSD)*



*In Situ Block Size Distribution (IBSD)*



# Lokacija zasjek uz prugu, Krbavčiči

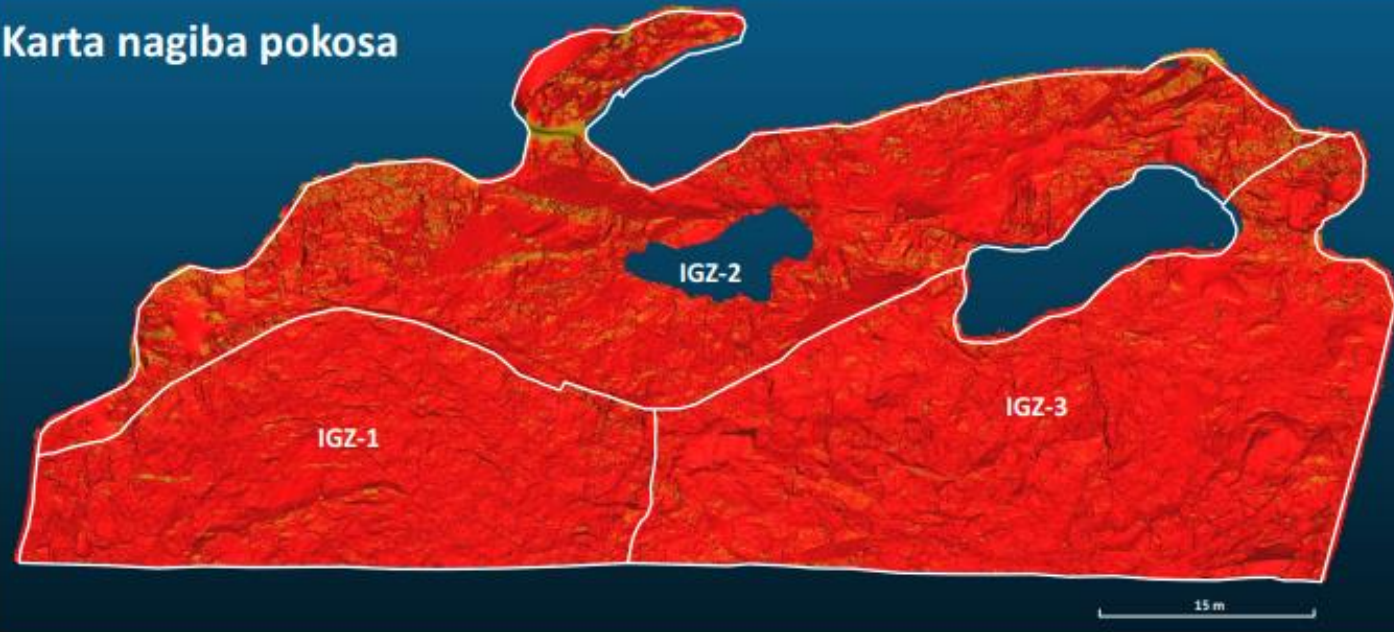


# PRIMJER

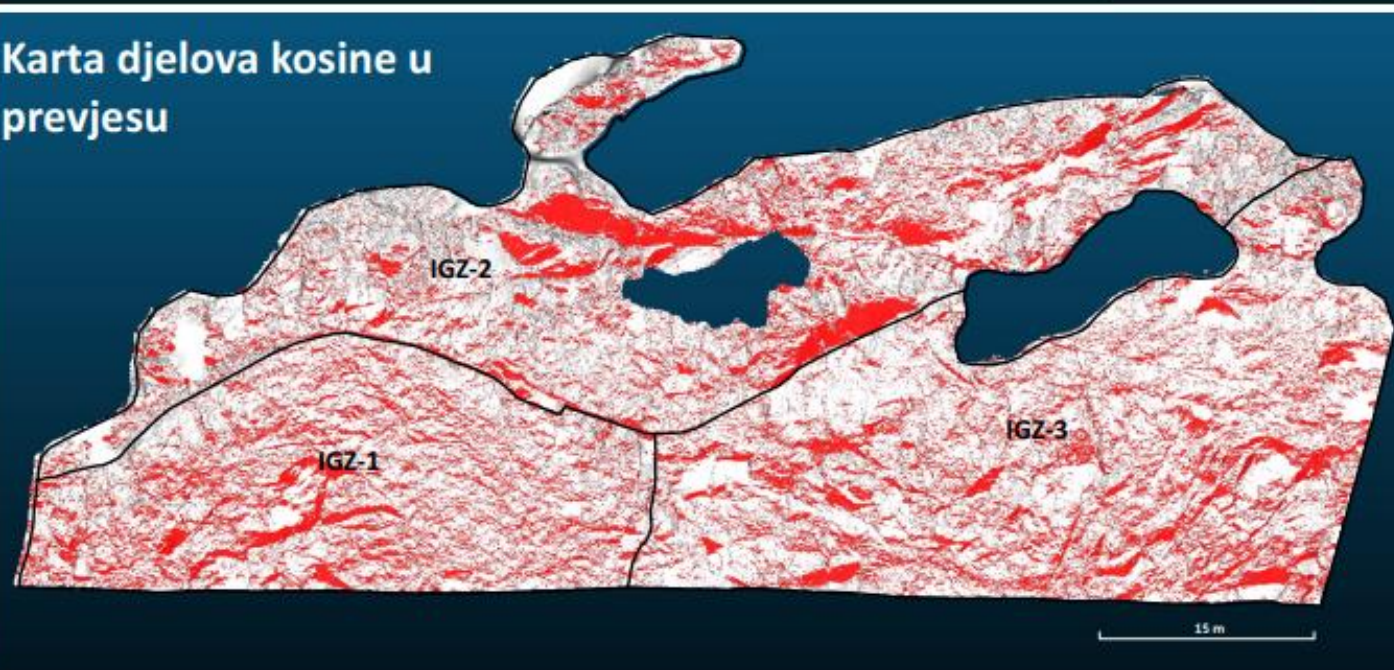
primijenjena istraživanja klizišta  
za razvoj mjera ublažavanja  
i prevencije rizika

## Lokacija zasjek uz prugu, Krbavčiči

Karta nagiba pokosa



Karta djelova kosine u  
prevjesu





# PRIMJER

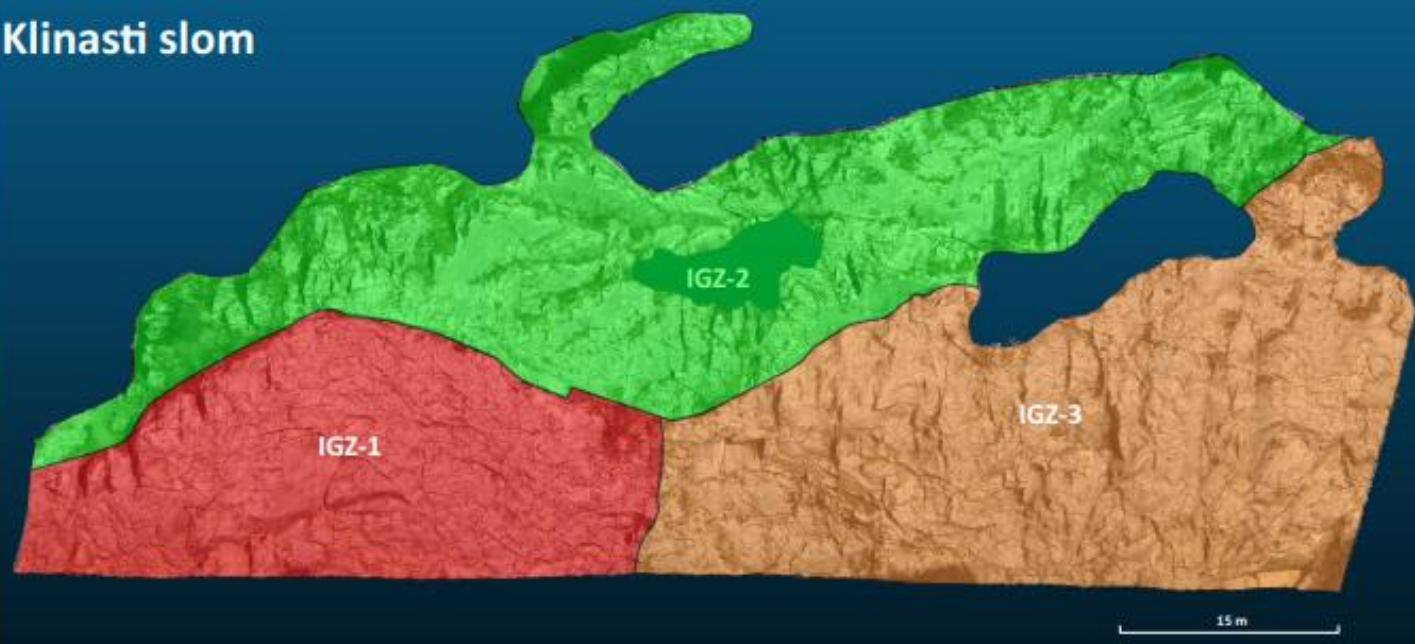
primijenjena istraživanja klizišta  
za razvoj mjera ublažavanja  
i prevencije rizika

## Lokacija zasjek uz prugu, Krbavčiči

Planarni slom



Klinasti slom



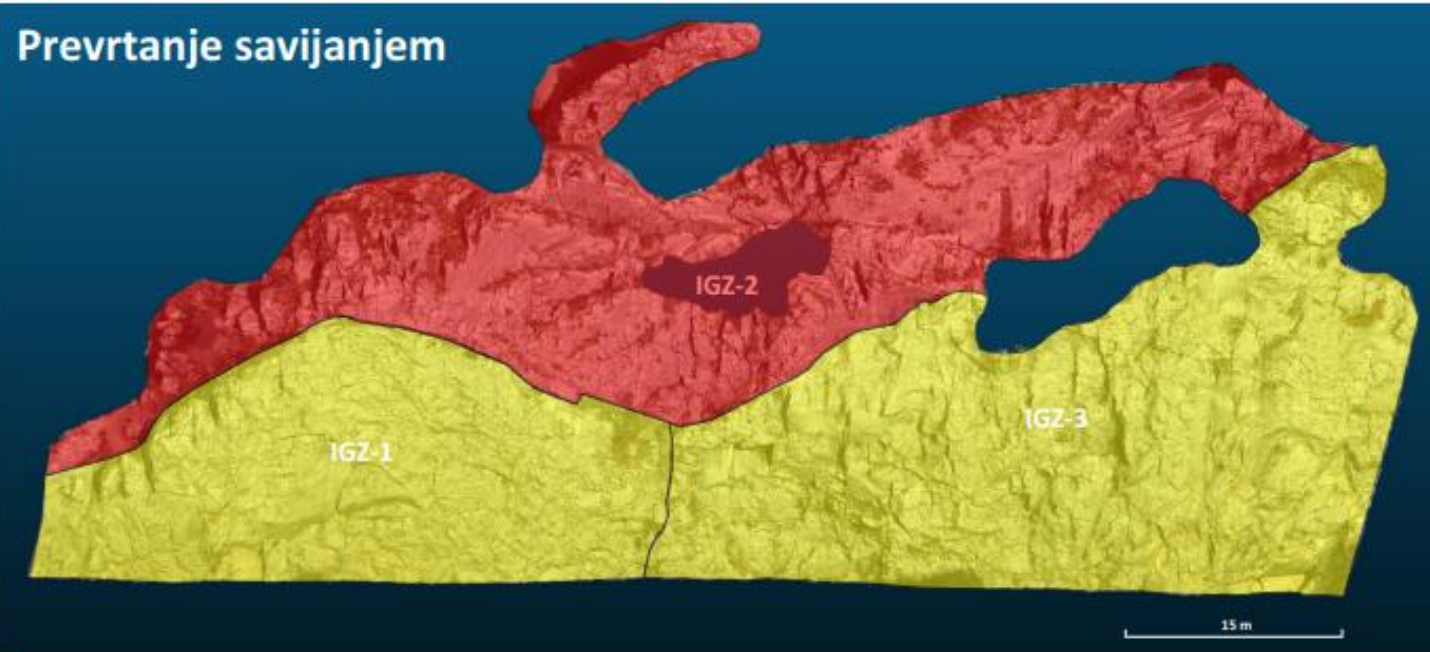


# PRIMJER

primijenjena istraživanja klizišta  
za razvoj mjera ublažavanja  
i prevencije rizika

## Lokacija zasjek uz prugu, Krbavčiči

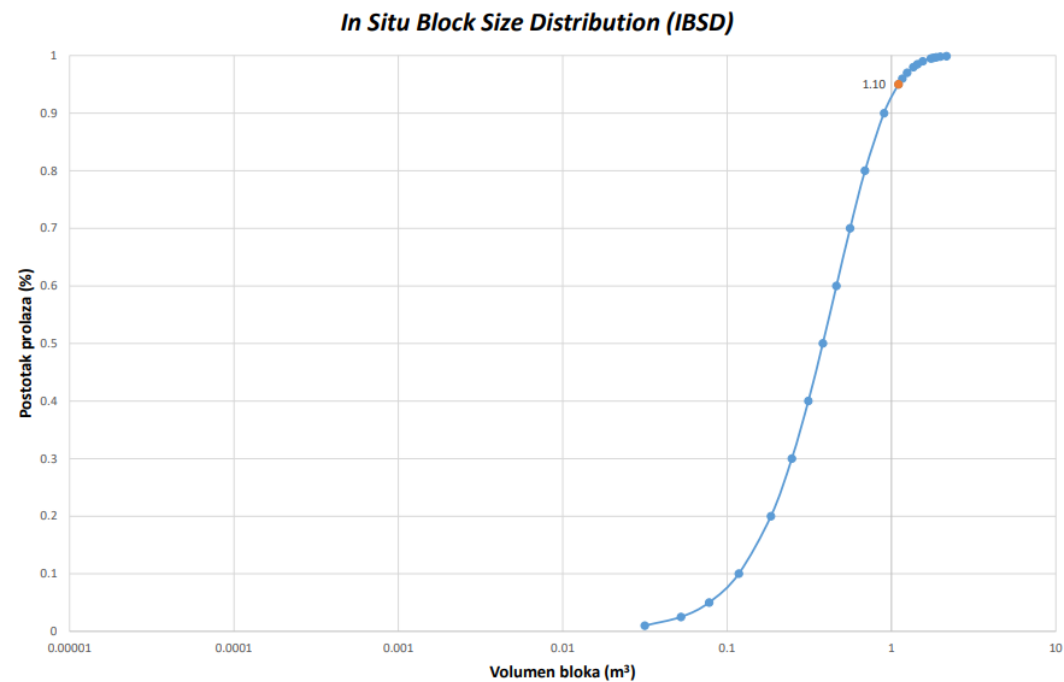
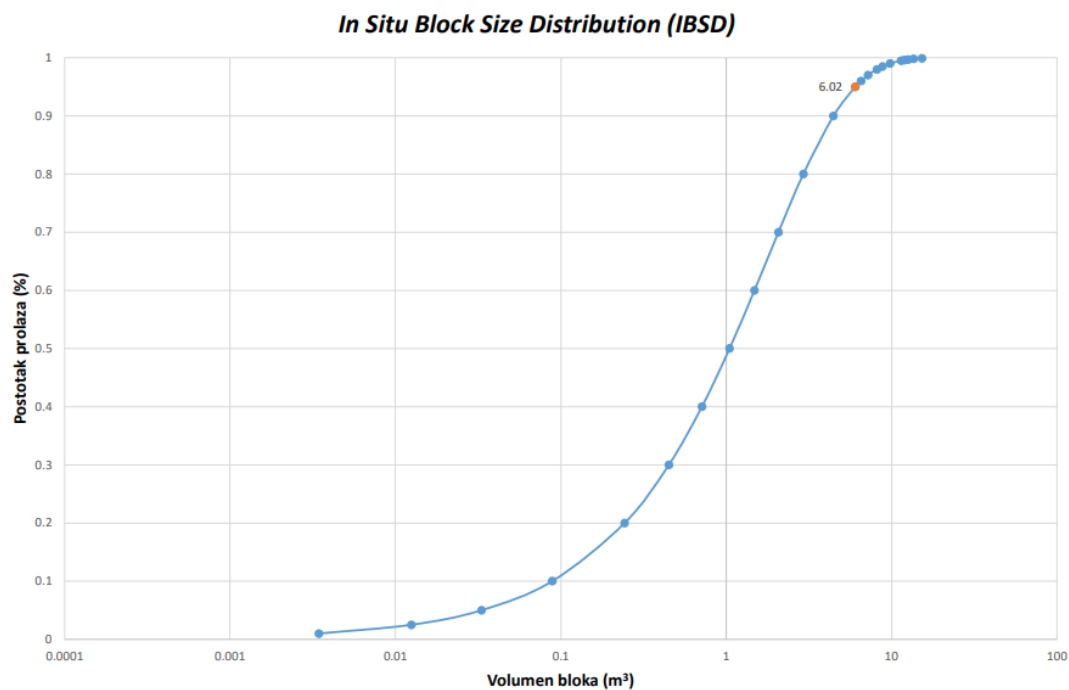
Prevrtnanje savijanjem



Prevrtnanje savijanjem



## Lokacija zasjek uz prugu, Krbavčići





## ZAKLJUČCI

**U Republici Hrvatskoj ne postoji ustaljena praksa procjene podložnosti i hazarda kao ni analize rizika od odrona u stijenskoj masi**, iako su pojave odrona česte te izazivaju značajne štete na prometnicama i drugoj infrastrukturi, stambenim i drugim građevinama, a ljudskih žrtava bilo je i u nedavnoj povijesti. **Više od 40% površine Hrvatske predstavlja krško područje izloženo odronima.**

Do sada nije usvojena ili razvijena neka od metoda procjene podložnosti, hazarda ili rizika od odrona primjenjiva u Republici Hrvatskoj, a **uslijed posljedica klimatskih promjena** mogu se očekivati sve **učestalije pojave odrona u stijenskoj masi.**

## ZAKLJUČCI

Trodimenzionalne snimke terena visoke rezolucije, kao što su zračne i terestričke snimke korištenjem LiDAR (Light Detection and Ranging) tehnologije ili fotogrametrijske snimke korištenjem SfM (Structure from Motion) tehnologije, omogućuju provođenje visoko sofisticiranih determinističkih prostornih simulacija pokretanja i propagacije odrona kao podloga za utvrđivanje hazarda i rizika.

**Karte podložnosti** ukazuju na prostornu mogućnost pojave odrona.

Iz **karata podložnosti** mogu slijediti karte hazarda i rizika, koje uključuju i karte dosega odrona.

Iz 3D modela terena visoke rezolucije mogu se izraditi i projekti sanacije, opet s visokom preciznosti određivanja mjera podupiranja i zaštite.

primijenjena istraživanja klizišta  
za razvoj mjera ublažavanja  
i prevencije rizika

## STUPIICA

Odron na cesti Makarska – Vrgorac, 24. listopada 2010. godine

