

## Pregled uporabljenih metod modeliranja skalnih podorov v Sloveniji

### *An Overview of the Methods Used for Rockfall Modelling in Slovenia*

Barbara ŽABOTA<sup>1</sup>, Milan KOBAL<sup>2</sup>

#### **Izvleček:**

Žabota, B., Kobal, M.: Pregled uporabljenih metod modeliranja skalnih podorov v Sloveniji; Gozdarski vestnik, 76/2018, št. 2. V slovenščini z izvlečkom v angleščini, cit. lit. 48. Prevod Breda Misja, jezikovni pregled slovenskega besedila Marjetka Šivic.

Skalni podori spadajo med najpogostejše naravne nesreče predvsem v gorskem svetu, saj jih je zaradi hipne sprožitve praktično nemogoče napovedati vnaprej, posledično pa predstavljajo pomembno grožnjo ljudem in njihovi infrastrukturi. Z različnimi prostorskimi modeli lahko učinkovito modeliramo območja proženja, premeščanja in odlaganja skalnih podorov in tako prepoznamo ključna ogrožena območja. V članku so predstavljene glavne skupine modelov modeliranja skalnih podorov ter njihova uporaba na območju Slovenije.

**Ključne besede:** naravne nesreče, pobočni procesi, skalni podori, modeliranje, geografski informacijski sistemi.

#### **Abstract:**

Žabota, B., Kobal, M.: An Overview of the Methods Used for Rockfall Modelling in Slovenia; Gozdarski vestnik (Professional Journal of Forestry), 76/2018, vol 2. In Slovenian, abstract in English, lit. quot. 48. Translated by Breda Misja, proofreading of the Slovenian text Marjetka Šivic.

Rockfalls belong to the most common natural hazards, above all in the mountain world, since they are practically impossible to be predicted due to their instantaneous triggering and therefore represent a significant threat to the people and their infrastructure. Using diverse spatial models, we can efficiently model source, transit and deposit areas of rockfalls and thus identify key endangered zones. The article presents main groups of models used for modelling rockfalls and their use in Slovenia.

**Key words:** natural hazards, slope processes, rockfalls, modelling, geographical information systems.

## 1 UVOD

### 1 INTRODUCTION

Skalni podori v gorskem svetu spadajo med najpogostejše naravne nesreče. Pojmujemo jih kot ločitev skalne gmote (živoskalnega gradiva) od strme skalne stene (klifa) ali strmega pobočja, od koder le-ta prepotuje različne razdalje na različne načine, in sicer s padanjem, poskakovanjem ali kotaljenjem. Zdrs skalnih gmot po navadi nastane na trdih kamninah (Lopez-Saez in sod., 2016). Z izrazom skalni podori zajamemo porušitve skalnih gmot različnih prostornin, za pojmovanje premikajočih se skalnih fragmentov pa se uporablja

izraz skalne gmote (Žabota, 2017). Poimenovanje »skalni podori« tako glede na različne definicije obsega padanje kamenja, padanje skal in skalnih blokov, ki dosega prostornino do 30 m<sup>3</sup>. Z omenjeno definicijo niso zajeti podori hriba, ob katerem nastane hkratni podor ogromne količine skalnih gmot, ki lahko dosega volumen od enega pa do več milijonov m<sup>3</sup> ter potovalne hitrosti več kot 40 m/s (Berger in sod., 2002; Durjava in sod., 1999; Guzzetti in sod., 2004; Schneuwly, 2009).

Najpogosteje zaznani indikatorji skalnih podorov (t.i. neme priče) v območjih premeščanja in odlaganja so melišča ali posamezno odložene skalne gmote na pobočju. Melišča nakazujejo

<sup>1</sup> B. Ž., mag. geog., Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire. Večna pot 83, SI-1000 Ljubljana, Slovenija. barbara.zabota@bf.uni-lj.si

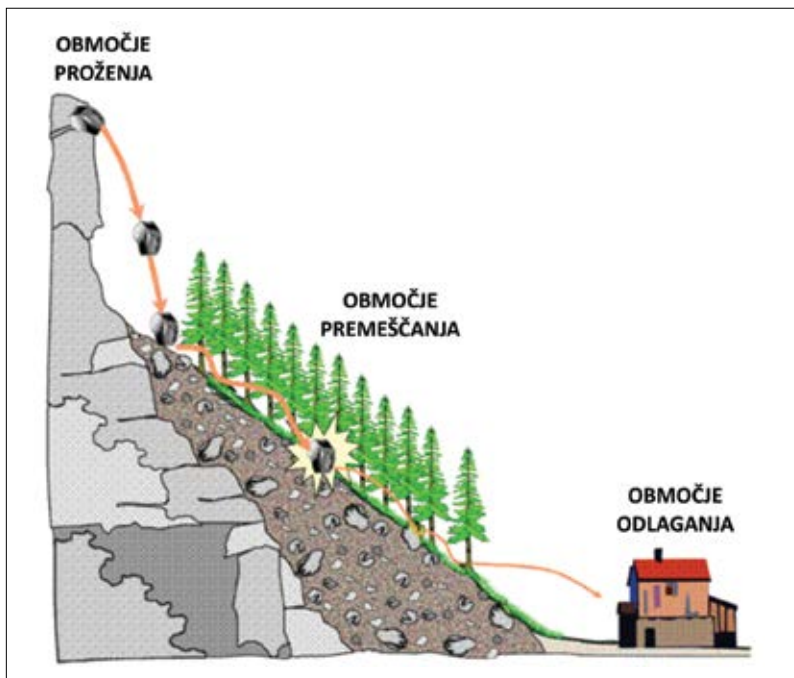
<sup>2</sup> Doc. dr. M. K., univ. dipl. inž. gozd., Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire. Večna pot 83, SI-1000 Ljubljana, Slovenija. milan.kobal@bf.uni-lj.si

na dolgotrajno podorno aktivnost, ki v alpskem prostoru lahko traja že od začetka holocena naprej (10.000 – 15.000 let) ter tako podajajo informacije o prejšnjih skalnih podorih. Stopnja aktivnosti teh podorov je nakazana z vegetacijo, ki pokriva melišča – kjer je podorna aktivnost velika, bo vegetacije manj, kjer pa je podorna aktivnost zmanjšana, bomo zasledili poraščena melišča. Na pobočjih, ki so poraščena z gozdom, na podorno aktivnost nakazujejo poškodovana drevesa ali skalne gmote, zaustavljene za drevesi (Dorren in sod., 2007).

Skalni podori nastanejo zaradi vpliva kombinacije reliefnih, geoloških in podnebnih dejavnikov (Dorren, 2003; Schenuwly, 2009), ki jih lahko razdelimo na pospeševalne in sprožilne. Pospeševalni dejavniki so tisti, ki kamnine razrahljajo, zaradi česar so manj stabilne, samega skalnega podora pa ne sprožijo (npr. trdnost in razpokanost kamnine, prelomi, odprte razpoke itn.) (Dorren in sod., 2007). Med sprožilne dejavnike uvrščamo tiste, ki prekinajo ravnovesno stanje med silami, ki prepričujejo premike skalnih gmot (Erisman in Abele, 2001).

Območje naravne nevarnosti pojavljanja skalnih podorov delimo na tri glavne dele: območje proženja, območje premeščanja in območje odlaganja skalnih podorov (Slika 1). Območja proženja zajemajo strme skalne stene, ki po navadi dosega naklone nad 30°. Območja premeščanja so območja, ki ležijo med območjem proženja in odlaganja; na takem območju dosežeta maksimum potovalna hitrost in višina odboja skalnih gmot. Območje odlaganja skalnih podorov je območje, kjer se skalne gmote zaustavijo, po navadi ob naklonu, manjšem od 25° (Dorren in sod., 2007).

Skalni podor je pobočni proces, ki nastane naglo, hipno, posledično ga je vnaprej težko napovedati. Zaradi hipne sprožitve skalnih podorov praktično ni časa za ukrepanje, zaradi česar je lahko na poseljenih območjih velika stopnja ogroženosti ljudi, naselij in infrastrukture (Agliardi in Crosta, 2003; Volkwein in sod., 2011). Da zmanjšamo stopnjo ogroženosti zaradi skalnih podorov in zagotovimo ustrezne preventivne zaščitne ukrepe, moramo predvsem vedeti, kje se skalni podori pojavljajo in kakšna je njihova razsežnost. Učinkovito orodje pri ocenjevanju



Slika 1: Delitev območja naravne nevarnosti pojavljanja skalnih podorov (Vir: Berger in sod., 2013)  
 Figure 1: Division of the main areas on an active rockfall slope (Source: Berger et al., 2013)

tveganja nevarnosti pojavljanja skalnih podorov so različni prostorski modeli, ki omogočajo napovedovanje potencialnih območij proženja, premeščanja in odlaganja skalnih podorov, uporabni pa so na lokalni in tudi regionalni ravni (Dorren in sod., 2007).

Cilj prispevka je predstaviti glavne skupine metod modeliranja skalnih podorov glede na glavna območja naravne nevarnosti njihovega pojavljanja ter pregled uporabljenih metod na območju Slovenije. Pri tem je treba izpostaviti, da predstavljene metode pri modeliranju ne upoštevajo vedno vloge gozda kot dejavnika, ki lahko blaži učinke skalnih podorov.

## 2 METODE MODELIRANJA SKALNIH PODOROV

### 2 METHODS FOR ROCKFALL MODELLING

Pri modeliranju skalnih podorov je treba oceniti vse dejavnike, ki vplivajo na nastanek in gibanje skalnih podorov z namenom, da je končna ocena ogroženosti čim manj subjektivna. Ključna je določitev območij proženja, premeščanja in odlaganja skalnih podorov. Modele, ki so v rabi

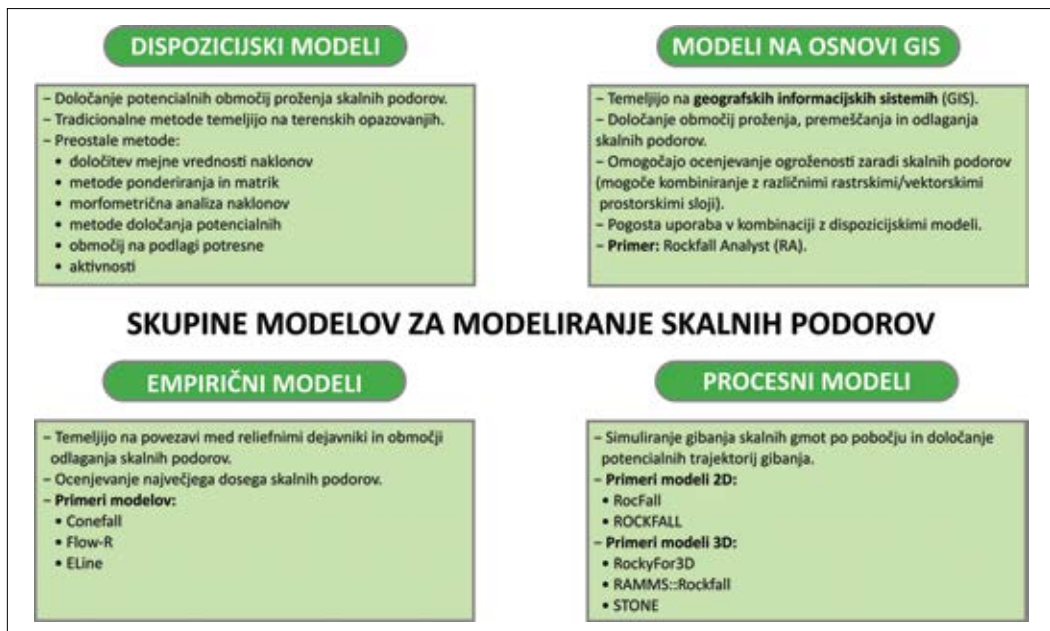
za modeliranje skalnih podorov, v grobem lahko razdelimo v štiri večje skupine (Dorren, 2003; Petje in sod., 2005a) (Slika 2):

- dispozicijski modeli,
- empirični modeli,
- procesni modeli in
- modeli na osnovi GIS.

### 2.1 Dispozicijski modeli

#### 2.1 Dispositional models

Dispozicijski modeli, ki jih lahko imenujemo tudi statični modeli, se uporabljajo za določanje potencialnih območij proženja skalnih podorov. Omejena območja je mogoče določiti na lokalnem in regionalnem nivoju, od same prostorske ravni določanja pa je odvisna izbira ustrezne metode. Terensko kartiranje s pomočjo topografskih kart in ortofoto posnetkov je primerno za lokalni nivo, ko je območje proučevanja omejeno na posamezni skalni podor. Na regionalnem nivoju, kjer nas zanimajo potencialna območja proženja skalnih podorov na večjem območju, bodo za določanje tovrstnih območij primernejše metode daljinskega zaznavanja v kombinaciji z verifikacijo rezultatov modeliranja na terenu (Petje in sod., 2005c).



Slika 2: Skupine modelov s ključnimi lastnostmi in primeri programskih orodij  
 Figure 2: Model groups with key features and examples of program tools

Tradicionalne dispozicijske metode temeljijo na terenskem delu in zajemajo ocenjevanje prejšnjih podornih procesov na podlagi (Dorren in sod., 2007):

- **geoloških dokazov:** na podlagi t.i. nemih prič – odloženih skalnih gmot, ki so posledica prejšnjih skalnih podorov,
- **ocenjevanja kemičnega preperevanja skalnih gmot,** ki so posledica skalnih podorov: primerno predvsem na karbonatnih kamninah,
- **datiranja starosti skalnih podorov s pomočjo lišajev,**
- **radiometričnega datiranja skalnih podorov:** vsebnost ogljika <sup>14</sup>C v sedimentih,
- **dendrogeomorfološkega datiranja:** proučevanje manj vidnih (poranitvena tkiva, ki so vidna pri pregledu branik dreves) ali bolj vidnih (spremenjena rast dreves) poškodb dreves.

Tovrstne metode so uporabne za ocenjevanje povratnih dob skalnih podorov z določenim dosegom, vendar niso uporabne v vseh situacijah, saj se npr. lahko spremenijo razmere, v katerih poteka preperevanje kamnin, ali ni mogoče ločiti skalnih podorov od morenskega gradiva (Petje in sod., 2005a).

Dandanes so v večini primerov novejši pristopi za ocenjevanje le območij proženja skalnih podorov podprti z geografskimi informacijskimi sistemi, razdelimo pa jih lahko v pet večjih skupin (Bauerhansl in sod., 2010; Frattini in sod., 2008; Guzzetti in sod., 2003; Jaboyedoff in Labiouse, 2003; Loye in sod., 2009; Marquínez in sod., 2003):

- določitev potencialnih območij proženja na topografskih kartah, kjer so označene skalne površine,
- določitev mejne vrednosti naklona pobočja, nad katero je večja verjetnost proženja skalnih podorov,
- metoda ponderiranja in matrik,
- morfometrična analiza naklonov območja in
- modeliranje območij proženja skalnih podorov kot posledica obpotresne aktivnosti.

## 2.2 Empirični modeli

### 2.2 Empirical models

Z empiričnimi modeli ocenjujemo največji doseg skalnih podorov, in sicer na podlagi povezave med reliefnimi dejavniki in območji odlaganja

skalnih podorov. Zaradi primerjave med različnimi reliefnimi dejavniki in horizontalno razdaljo, po kateri potujejo skalne gmote, jih lahko imenujemo tudi statistični modeli. Za ocenjevanje poti skalnih gmot se najpogosteje uporabljajo (Dorren, 2003; Heim, 1932; Jaboyedoff in Labiouse, 2011; Petje in sod., 2005a; Petje in sod., 2005c; Schneuwly, 2009):

- **geometrijski kot:** navidezna linija z določenim kotom, ki povezuje vrh pobočja – območja proženja – z največjim dosegom skalnega podora, pri čemer se upošteva najkrajša prepotovana razdalja med izhodiščno in končno točko,
- **kot energijske linije:** navidezna linija z določenim kotom, ki prikazuje energijo sile trenja in povezuje izvorno točko proženja skalnega podora s točko njegove zaustavitve, največja dolžina odlaganja je pogojena s presekom horizontalne ravnine z energijsko linijo (Slika 3),
- **srednji kot:** navidezna linija z določenim kotom, ki povezuje vrh pobočja – območja proženja – z največjim dosegom skalnega podora, pri čemer se upošteva dolžina dejansko prepotovane razdalje med izhodiščno in končno točko,
- **senčni kot:** navidezna linija z določenim kotom, ki povezuje dno skalne stene – območja proženja – in največji doseg območja odlaganja.

## 2.3 Procesni modeli

### 2.3 Process-based models

Za procesne modele je značilno, da opisujejo ali simulirajo gibanje skalnih gmot po pobočju in določijo potencialne poti oziroma trajektorije gibanja. Za posamezne skalne gmote predvidijo še hitrosti, kinetično energijo in območja odlaganja oziroma doseg skalnih gmot. Večina tovrstnih modelov je dvodimenzionalnih – upoštevajo le gibanje skalnih gmot po navpični ravnini; nekaj jih je tudi trodimenzionalnih, ki pa lahko simulirajo kinetično energijo posameznih fragmentov in medsebojne trke (Christen in sod., 2012; Dorren, 2003; Dorren, 2012; Guzzetti in sod., 2002; Petje in sod., 2005a; Schneuwly, 2009; Yilmaz in sod., 2008). Po navadi za izračun trajektorij gibanja skalnih gmot potrebujemo naslednje vhodne podatke v model: potencialna območja proženja skalnih podorov; obliko, geometrijo, velikost in maso

skalnih gmot; mehanske lastnosti skalnih gmot in pobočja; odbojne koeficiente in podatke o izoblikovanosti površja. Digitalni model reliefa (DMR) je vhodni podatek, ki je izredno pomemben pri simuliranju poti skalnih gmot, saj je od njegove prostorske ločljivosti odvisno, kako dobro bodo v modelu upoštevane lastnosti površja (Dorren, 2003; Petje in sod., 2005a; Schnewly, 2009).

## 2.4 Modeli na osnovi GIS

### 2.4 GIS based models

Modeli na osnovi GIS so tisti modeli, ki temeljijo na geografskih informacijskih sistemih ali rastrskih modelih, kateri vhodni podatki so bili pridobljeni v okviru geografskih informacijskih sistemov. Tovrstno modeliranje poteka v treh korakih (Dorren, 2003):

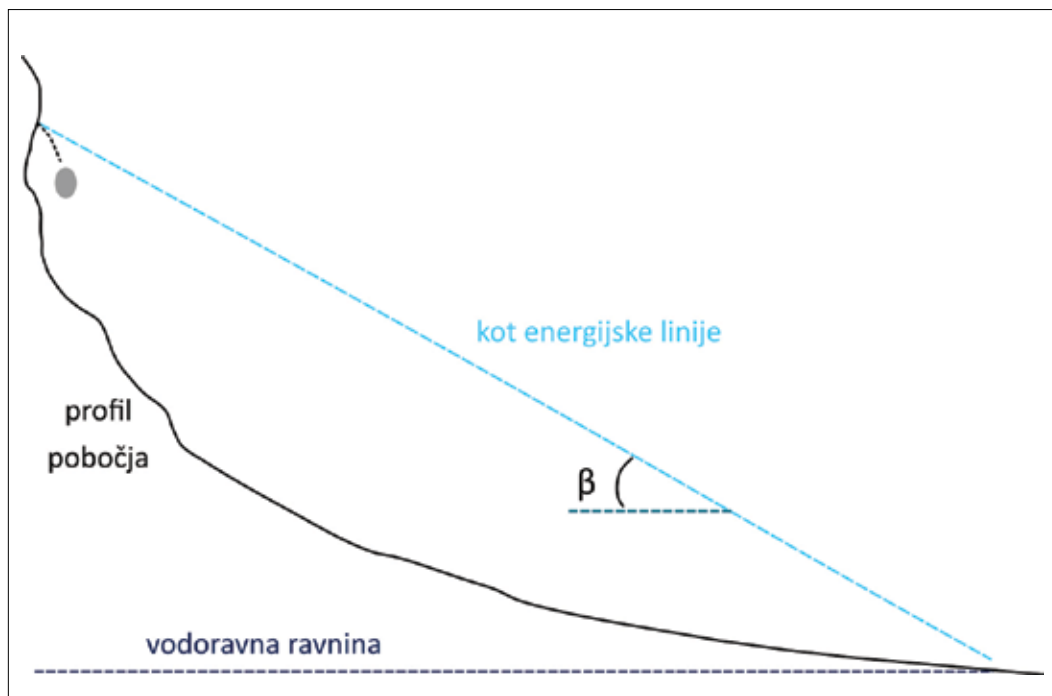
- **1. korak:** določitev potencialnih območij proženja skalnih podorov,
- **2. korak:** določevanje potovalne poti skalnih podorov,
- **3. korak:** izračun dolžine območja odlaganja skalnih podorov.

Ključno je, da so vhodni podatki v modele razpoložljivi za celotno proučevano območje v enotni obliki in enaki prostorski ločljivosti ter da vsebujejo območja proženja skalnih podorov, potencialno velikost skalnih gmot in lastnosti površja (npr. naklon, hrapavost površja, morebitne ovire). Kar jih ločuje od preostalih vrst modelov, je zmožnost kombiniranja DMR-ja z drugimi podatki o površju (tako rastrskimi kot tudi vektorskimi) – npr. geologijo, pedologijo, hidrologijo, rabo tal ipd. S tovrstno kombinacijo različnih prostorskih slojev lahko izvajamo nadaljnje prostorske analize (npr. ocenjevanje ogroženosti prometnic in naselij zaradi skalnih podorov) (Petje in sod., 2005a; Schnewly, 2009).

## 3 IZBIRA PRIMERNEGA MODELA

### 3 SELECTION OF THE APPROPRIATE METHOD

Določitev, katera vrsta modelov in specifično kateri model/programsko orodje je najprimernejše za modeliranje skalnih podorov, bi terjala obširno raziskavo, ki bi obsegala primerjavo



Slika 3: Princip kota energijske linije pri modeliranju območij proženja skalnih podorov (Vir: Larcher in sod., 2012)  
Figure 3: Principle of energy line angle in modelling rockfall source areas (Source: Larcher et al., 2012)

samih rezultatov modeliranja, vhodnih podatkov in parametrov ter časovno, strojno (oprema) in finančno primerjavo. Vsaka izmed skupin modelov ima svoje prednosti in slabosti (Preglednica 1), pri izbiri modela je treba dobro pretehtati naslednja dejstva:

- časovna, strojna in finančna razpoložljivost za izvedbo raziskave/analize,
- kakšen bo namen modeliranih rezultatov in
- kako dobro prostorsko ločljivost in natančnost zahtevanih rezultatov potrebujemo (lokalna, regionalna ali državna prostorska raven).

Rezultati vseh skupin modelov so zelo odvisni od izbire prostorske ločljivosti prostorskega sloja o izoblikovanosti površja, običajno DMR-ja, ter natančne in pravilne izločitve območij proženja skalnih podorov. Vsekakor je glavni odločitveni dejavnik izbire modela največja natančnost napovedi in s tem ogroženosti prebivalstva in infrastrukture.

#### 4 UPORABLJENE METODE MODELIRNJA SKALNIH PODOROV V SLOVENIJI

#### 4 METHODS USED FOR MODELLING ROCKFALLS IN SLOVENIA

V Sloveniji je bilo na podlagi predstavljenih metod modeliranih 21 območij (študije, ki so javno objavljene in dostopne v COBISS-u; Priloga 1), največ na območju alpskega sveta. Najstarejša študija je iz leta 1999 in najmlajša iz leta 2017 (Slika 4). Skupna površina modeliranih območij obsega 1.048,73 km<sup>2</sup>, kar je 5,2 % površine Slovenije. Najmanjšo modelirano območje je bilo veliko 0,04 km<sup>2</sup>, največje 20.273 km<sup>2</sup> (območje celotne države), povprečna velikost pa je znašala 1.021,95 km<sup>2</sup> (Slika 5).

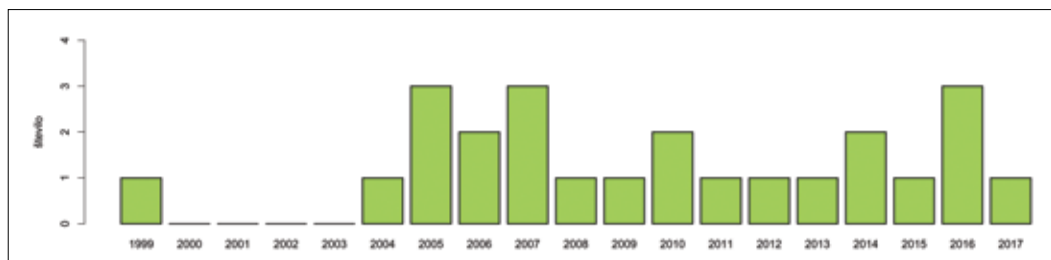
#### 4.1 Dispozicijski modeli

#### 4.1 Dispositional models

Terenske metode so najpogosteje uporabljene metode za določanje območij proženja skalnih podorov na območju Slovenije, saj jih je v svojih raziskavah uporabila večina avtorjev (67 % študij) (Slika 6 in Slika 7). Nekateri avtorji so se lotili celostnega terenskega pristopa in so poleg območij proženja skalnih podorov na terenu določili še območja premeščanja in odlaganja (Šneberger, 1999; Petje in sod., 2005b; Rak in sod., 2012).

Zorn in Komac (2004) sta za določanje območij proženja na območju Zgornje Savinjske doline uporabila dve deterministični metodi, in sicer metodo ponderiranja in metodo matrik.

Pristop modeliranja, ki temelji na enotno določeni mejni vrednosti naklona, nad katero je večja verjetnost proženja skalnih podorov, je med prvimi uporabil Skudnik (2008) na območju gozdnogospodarske enote Kamniška Bistrica (naklon  $\geq 39^\circ$  za gozdna območja in naklon  $\geq 43^\circ$  za skalovita območja). Enako metodo in mejne vrednosti sta na istem območju ponovila še Skudnik in Kušar (2011). Metode mejne vrednosti naklona površja se je poslužil tudi Guček (2016), ki je v svoji raziskavi na območju gozdnogospodarske enote Jezersko in Tržič uporabil mejne vrednosti  $39^\circ$  za gozdna območja in  $45^\circ$  za skalnata območja. Metodo morfometrične analize naklonov območja so za določanje skalnatih površin uporabili Kobal in Gantar (2016), ki sta modelirala na območju Občine Ajdovščina, ter Žabota (2017) na območju Občine Vipava. Pri obeh delih je bila uporabljena vrednost  $46^\circ$  za flišna območja, medtem ko se je razlikovala za območje apnenca: pri prvi študiji je znašala  $53^\circ$ , pri drugi pa  $47^\circ$ .

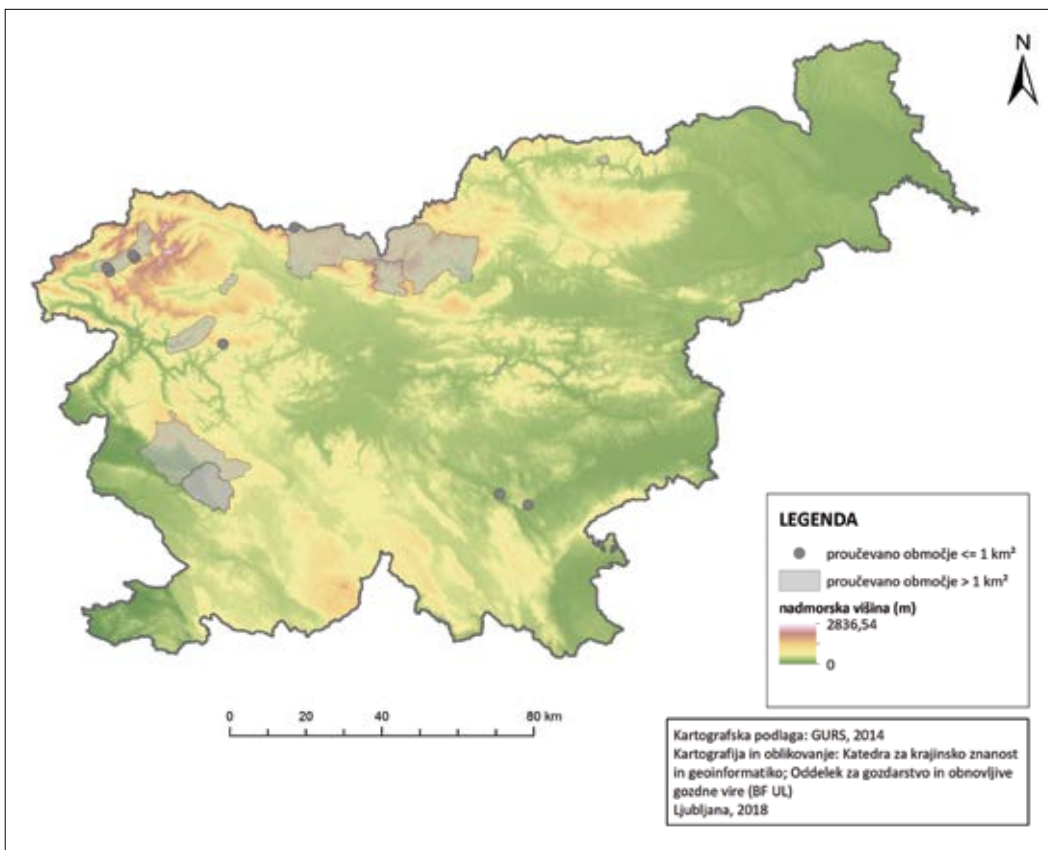


Slika 4: Število študij, ki so se na območju Slovenije ukvarjale z modeliranjem skalnih podorov, po letih.  
Figure 4: Number of studies, dealing with rockfall modelling in Slovenia; according to the years.

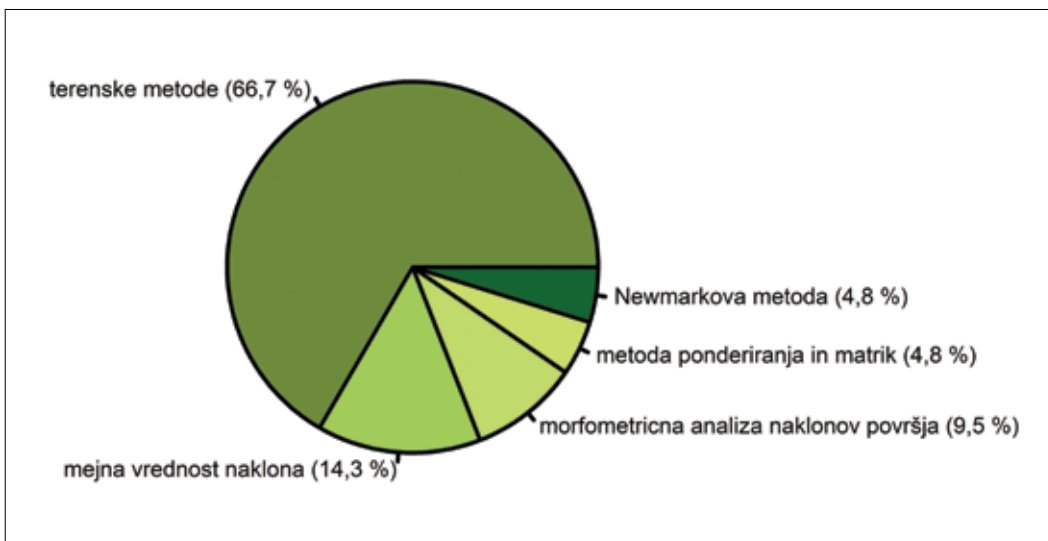
**Preglednica 1:** Nekatere prednosti in slabosti posameznih skupin modelov

*Table 1: Some advantages and disadvantages of individual model groups*

<b>DISPOZICIJSKI MODELI – terenske metode</b>	
<b>PREDNOSTI</b>	<b>SLABOSTI</b>
- natančno opredeljena območja proženja skalnih podorov	- časovno in finančno potratne metode - subjektivnost ocenjevanja
<b>DISPOZICIJSKI MODELI – preostale metode</b>	
<b>PREDNOSTI</b>	<b>SLABOSTI</b>
- časovno in finančno manj potratne	- stopnja poenostavitve pri metodah ponderiranja in matrik ter slabši prostorski ločljivosti DMR - neizvedljivost morfometrične analize naklonov ob slabši prostorski ločljivosti
<b>EMPIRIČNI MODELI</b>	
<b>PREDNOSTI</b>	<b>SLABOSTI</b>
- primerni za uporabo na regionalni ravni - malo vhodnih podatkov in začetnih parametrov (po navadi le DMR in kot energijske linije)	- časovno potratnejši ob uporabi večje prostorske ločljivosti DMR - poenostavitev območja odlaganja skalnih podorov (območje odlaganja v obliki stožca) - večina upošteva le en način premeščanja skalnih gmot - nekateri modeli ne upoštevajo oblike, volumna ali mase skalnih gmot - niso primerni za modeliranje na lokalni ravni
<b>PROCESNI MODELI</b>	
<b>PREDNOSTI</b>	<b>SLABOSTI</b>
- natančna določitev vseh možnih trajektorij premeščanja skalnih gmot - simuliranje trkov skalnih gmot - upoštevajo obliko, volumen in maso skalnih gmot - veliko vhodnih parametrov omogoča izračun lokacijsko točnejših in natančnejših območij premeščanja skalnih gmot - rezultati v različnih grafičnih podobah	- več vhodnih parametrov → večja stopnja napake pri njihovem določanju - kakovost in natančnost modeliranih rezultatov odvisna prostorske ločljivosti DMR - časovno potratni in strojno zahtevnejši (predvsem modeli 3D)
<b>MODELI NA OSNOVI GIS</b>	
<b>PREDNOSTI</b>	<b>SLABOSTI</b>
- kombinacija rastrskih in vektorskih prostorskih slojev - uporaba geostatističnih orodij - različne prostorske analize, vključno z ocenjevanjem ogroženosti prometnic in naselij	- poenostavitev rezultatov modeliranja - vektorski in rastrski podatki različnih prostorskih ločljivosti → posploševanje



Slika 5: Območja v Sloveniji, kjer je že bila modelirana naravna nevarnost pojavljanja skalnih podorov.  
 Figure 5: Areas in Slovenia, where the rockfall natural hazard has already been modelled.



Slika 6: Delež uporabljenih posameznih metod določanja območij proženja skalnih podorov v Sloveniji  
 Figure 6: The share of the used individual methods for determining rockfall source areas in Slovenia



Obpotesne pobočne procese je v Sloveniji modeliral Komac (2015) za območje celotne države, pri čemer je uporabil Newmarkovo metodo. Uporabljena metoda je primerna za ocenjevanje možnosti nastanka in dinamike obpotesnih skalnih podorov na regionalni ravni.

## 4.2 Empirični modeli

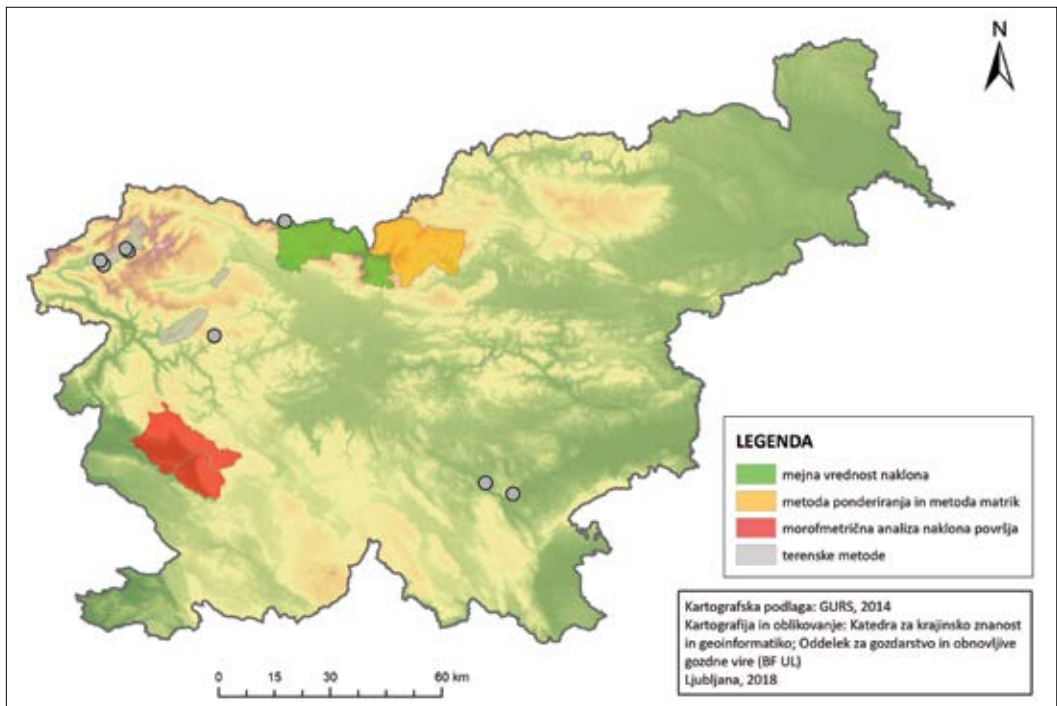
### 4.2 Empirical models

V Sloveniji lahko zabeležimo uporabo treh različnih modelov določanja dosega skalnega podora na podlagi statično določenega kota, in sicer z modelom Conefall, modelom El in preko orodja Viewshed (ArcMap) (Preglednica 2, Slika 8).

Conefall so v svojih raziskavah uporabili Skudnik in Kušar (2011), Guček (2016), Kobal in Gantar (2016) in Žabota (2017). Skudnik in Kušar (2011) sta za gozdnogospodarsko območje Kamniška Bistrica za energijsko linijo uporabila kot energijske linije ( $\beta = 32^\circ$ ) in za računanje kinetične energije podora upoštevala maso skalne gmote 50 kg. Pri določitvi mase podora sta upoštevala, da je mejna prostornina med kamenjem

in skalo  $20 \text{ dm}^3$  in da specifična masa apnenca znaša  $2300 \text{ kg/m}^3$ . Guček (2016) je model Conefall uporabil na območju gozdnogospodarske enote Jezersko in Tržič. Za kot energijske linije je uporabil vrednosti  $\beta = 32^\circ$ ,  $\beta = 35^\circ$  in  $\beta = 38^\circ$ , ki jih je prevzel iz projekta Paramount (Larcher in sod., 2012). Na podlagi različnih kotov energijske linije je določil verjetnosti dosega padajočega kamenja. Po mejnih vrednostih imajo območja z nakloni  $\beta \geq 38^\circ$  visoko,  $35^\circ \leq \beta < 38^\circ$  srednjo,  $32^\circ \leq \beta < 35^\circ$  nizko in  $\beta < 32^\circ$  zelo nizko verjetnost dosega skalnih gmot (Guček, 2016). Kobal in Gantar (2016) in Žabota (2017) so uporabili kot energijske linije  $32^\circ$  in lateralni kot odlaganja materiala  $\pm 16^\circ$  za območje Občine Ajdovščina ter območje Občine Vipava.

Skudnik (2008) je za modeliranje območij premeščanja in odlaganja uporabil model El Model, ki so ga razvili v sklopu projekta ProAlp (Bauerhansl in sod., 2010). Kot energijske linije je znašal  $32^\circ$ , pri izračunavanju linije pa ni upošteval velikosti skalnih gmot in izgubo energije ob kotaljenju po pobočju navzdol. Rebernik (2013)



Slika 7: Modelirana območja glede na uporabljene metode proženja skalnih podorov  
 Figure 7: Modelled areas with regard to the used rockfall source area methods

je največji doseg skalnih podorov na območju Ljubelja določal s pomočjo orodja Viewshed (ArcMap), in sicer je izbral kot energijske linije  $32^\circ$  ter lateralni kot  $\pm 15^\circ$ .

### 4.3 Procesni modeli

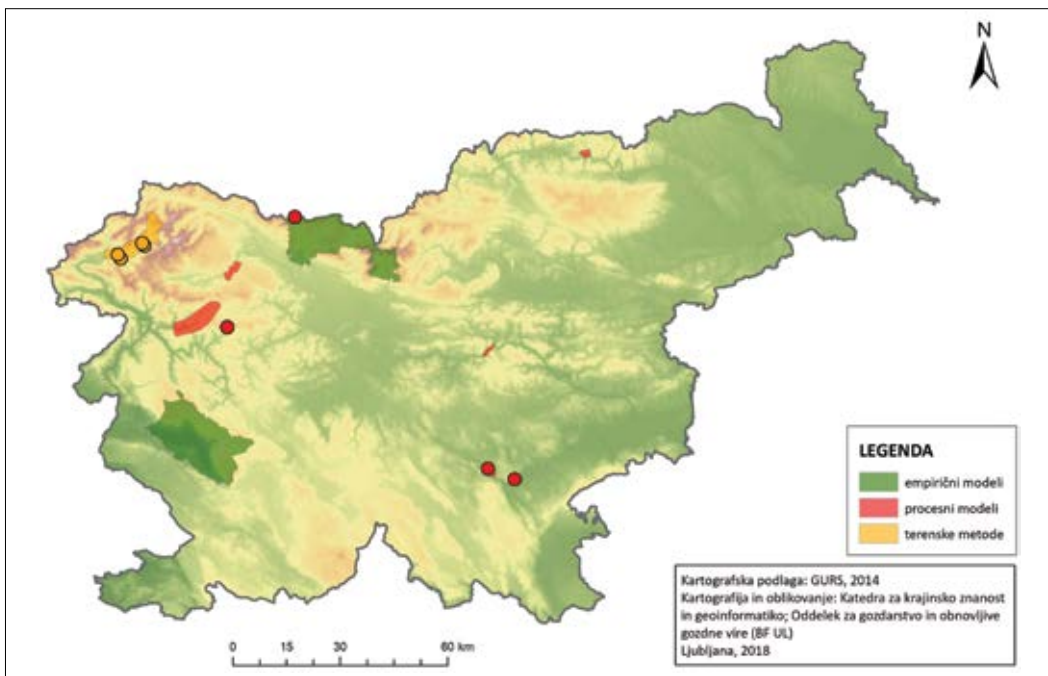
#### 4.3 Process models

Procesni modeli so najbolj množično uporabljeni modeli za modeliranje območij premeščanja in odlaganja skalnih podorov, saj so bili uporabljeni v 65 % študij, ki so modelirala tovrstna območja (Slika 8 in 9).

Rebernik (2013) je rezultate, pridobljene z kotom energijske linije, združil z rezultati simuliranja gibanja kamena po pobočju, ki jih je dobil z metodo RockyFor3D. Simulacije so bile izvedene za šest različnih scenarijev: za scenarije z gozdom, brez gozda, s prebiralnim gozdom, z dejanskimi trasami žičničnega spravila lesa, s teoretičnimi trasami po padnici terena in s teoretičnimi poševnimi trasami. Enako metodologijo je uporabil tudi Novak (2014) za območje Soteske pri Bohinju, le da je simulacije izvedel za tri scenarije (območje z gozdom, brez gozda in za prebiralni gozd).

Najbolj množično sta bila uporabljena simulacijska modela Rockfall 6.1 in RocFall 4.048 (Preglednica 2). Model Rockfall 6.1 so uporabili Smrdelj (2005) na primeru soteske Pasice v bližini Cerknega, Koren (2005) na območju doline Trente, Štampe (2006) na območju vasi Brezno ter Mikoš in sod. (2006) za podora Osojnik in Berebica. Model RocFall 4.048 so v svojih raziskavah uporabili Ivnik (2009) na območju regionalne ceste Podbrdo–Kneža; Peternel (2010); Čarman in Peternel (2010) na območju Občine Žužemberk in Rozina (2016) na območju lokalne ceste Renke–Zagorje.

Peklaj (2014) je poti gibanja skalnih gmot določal z uporabo orodja najbolj strma pot (ang. *steepest path*) znotraj programskega okolja ArcMap (ArcMap for Desktop, 2014). Na terenu je evidenciral vse potencialno ogrožajoče skale, ustvaril podatkovno bazo ter na koncu za vsako skalno gmoto s pomočjo omenjenega orodja izrisal njeno potencialno pot. Orodje deluje na tak način, da iz izhodiščne točke riše pravokotnice na plastnice, na podlagi tega pa se padnice interpolirajo na vse plastnice. Tako je za posamezno skalno gmoto določil le po eno potencialno pot gibanja po pobočju.



Slika 8: Modelirana območja glede na uporabljene metode premeščanja in odlaganja skalnih podorov  
 Figure 8: Modelled areas with regard to the used rockfall transit and deposit methods

**Preglednica 2:** Število uporabljenih posameznih programskih orodij za določanje območij premeščanja in odlaganja skalnih podorov

*Table 2: Number of the used program tools for determining rockfall transit and deposit areas*

Programsko orodje	Število študij
Conefall	4
Rockfall 6.1	4
RocFall 4.048	4
RockyFor3D	2
El Model	1
orodje Viewshed (ArcMap)	1
orodje Steepest Path	1

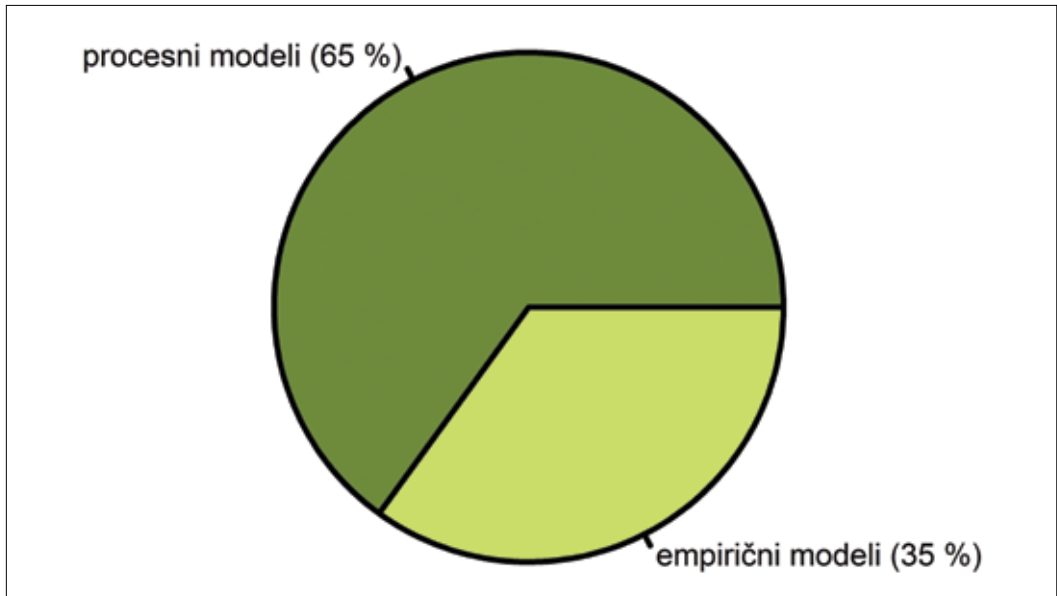
## 5 ZAKLJUČEK

## 5 CONCLUSION

Prostorski modeli so pomembno orodje pri prepoznavanju ogroženih območij zaradi skalnih podorov, saj z njihovo pomočjo lahko prepoznamo območja proženja, premeščanja in odlaganja skalnih podorov. Ker skalni podori spadajo med pobočne procese, ki nastanejo hipno, je praktično nemogoče vnaprej točno napovedati, kdaj se bodo zgodili, lahko pa vsaj prepoznamo potencialno

ogrožena območja in poskrbimo za ustrezne tehnične ali druge ukrepe, s katerimi zmanjšamo ogroženost naselij, infrastrukture in prebivalstva. Za modeliranje skalnih podorov imamo na voljo številne modele, ki jih lahko razdelimo v dispozijske, empirične, procesne in GIS-modele. Vsaka skupina modelov in programskih orodij ima svoje prednosti in slabosti, končna izbira "pravega" modela pa je odvisna od več dejavnikov, kot so npr. časovna, strojna in finančna razpoložljivost, namen modeliranih rezultatov ter prostorska ločljivost in natančnost rezultatov. Rezultati vseh modelov bodo predvsem odvisni od prostorske ločljivosti digitalnega modela reliefa (DMR), ki je glavni nosilec informacij o izoblikovanosti površja in pri vseh vrstah modelov najpomembneje vpliva na končne rezultate modeliranja.

V Sloveniji je področje modeliranja skalnih podorov v primerjavi s preostalimi alpskimi državami šele v začetnem stadiju in se samemu področju doslej ni namenilo večje pozornosti. Problematika skalnih podorov bo vedno bolj aktualna, predvsem v luči okrepljenih in vse pogostejših vremenskih ujm ter drugih motenj v gozdu (npr. vetrolomi, žledolomi, napadi podlubnikov), ko se lahko v zelo kratkem času zmanjša varovalna



**Slika 9:** Delež uporabljenih posameznih metod določanja območij premeščanja in odlaganja skalnih podorov v Sloveniji

*Figure 9: The share of used individual methods for determining rockfall transit and deposit areas in Slovenia*

vloga gozdov pri erozijskih procesih. Zatorej bi bilo pomembno modelirati naravno nevarnost pojavljanja skalnih podorov in ogroženost pred njimi na ravni celotne države z namenom pravočasnega izvajanja preventivnih ukrepov.

## 6 POVZETEK

Modele, ki se uporabljajo za modeliranje območij proženja, premeščanja in odlaganja skalnih podorov, lahko razdelimo na štiri večje skupine, in sicer na dispoziijske modele, empirične modele, procesne modele in modele na osnovi GIS. Dispoziijski modeli se uporabljajo za modeliranje območij proženja skalnih podorov, tradicionalno se mednje uvrščajo različne terenske metode. Dandanes so omenjeni modeli v večini podprti z geografskimi informacijskimi sistemi. Empirični modeli se uporabljajo za določanje največjega dosega skalnih podorov, in sicer na podlagi povezave med reliefnimi dejavniki in območji odlaganja skalnih podorov. Za ocenjevanje poti se pri empiričnih modelih najpogosteje uporabljajo geometrijski kot, kot energijske linije, srednji kot in senčni kot. Procesni modeli simulirajo gibanje skalnih gmot po pobočju in določijo njihove potencialne poti oziroma trajektorije. Delimo jih na dvodimenzionalne modele in trodimenzionalne, ki lahko simulirajo tudi kinetično energijo posameznih fragmentov in medsebojne trke. Modeli na osnovi GIS so tisti, ki temeljijo na geografskih informacijskih sistemih, z njimi pa lahko določamo območja proženja, premeščanja in odlaganja skalnih podorov. Vsi modeli imajo svoje prednosti in omejitve, končna izbira modela pa je odvisna od več dejavnikov (npr. namen rezultatov, potrebna prostorska ločljivost in natančnost rezultatov, časovna in finančna razpoložljivost za modeliranje ipd.). Pri vseh modelih je ključna izbira prostorske ločljivosti podatkov, še posebno digitalnega modela reliefa (DMR), ki je glavni vir podatkov o izoblikovanosti površja in največkrat najpomembnejše vpliva na določitev območij naravne nevarnosti pojavljanja skalnih podorov.

Na območju Slovenije je bilo skupno izvedenih 21 raziskav, ki so se ukvarjale z modeliranjem skalnih podorov. Območja proženja skalnih podorov so bila v večini primerov določena z

različnimi terenskimi metodami, v manjšini pa so bili uporabljeni še dispoziijski modeli: mejna vrednost naklona površja, morfometrična analiza naklonov površja, metoda ponderiranja in matrik ter Newmarkova metoda. Pri modelih, ki določajo območja premeščanja in odlaganja skalnih podorov, prevladujejo procesni modeli (65 %), kjer je bila večina uporabljenih modelov dvodimenzionalnih (Rockfall, RocFall, Steepest Path), v dveh primerih pa je bil uporabljen trodimenzionalen model RockyFor3D. Iz skupine empiričnih modelov so bili uporabljeni trije, in sicer je bil najpogosteje uporabljen Conefall, sledita mu El Model in orodje Viewshed.

## 6 SUMMARY

The models, used for modelling the source, transit and deposit areas of rockfalls, can be classified into four major groups, namely into dispositional models, empirical models, process-based models, and GIS based models. Dispositional models are used for modelling of rockfall source areas; they traditionally include diverse field methods. Nowadays, the said models are mostly supported by geographical information systems. Empirical models are used for determining the maximum rockfall run-out zone on the basis of the relationship between relief factors and rockfall deposition areas. Most often used for assessing the path in empirical models are: geometry angle, energy line angle, mean angle, and shadow angle. Process-based models simulate rock masses movement on the slope and determine their potential paths or trajectories. We classify them into two dimensional models and three dimensional models, which can simulate also the kinetic energy of individual fragments and their collisions. GIS based models are the ones, which are based on geographical information systems, and using them we can determine rockfall source, transit and deposit areas. All models have their advantages and limitations and final selection of the model depends on several factors (e.g. purpose of the results, necessary spatial resolution and accuracy of the results, temporal and financial availability for modelling, etc.). In all models, the selection of spatial data resolution is crucial, above all of digital terrain model (DTM), which

is the main data source on the surface shape and most often has the most important impact on the determination of the natural hazard areas of rockfall occurrence.

In Slovenia, a total of 21 researches, dealing with rockfall modelling, were performed. The rockfall source areas were in most cases determined by the use of diverse field methods; in the minority of cases, the dispositional modes were used: surface slope threshold value, surface slope morphometric analysis, weighting and matrix method, and Newmark method. In models, determining rockfall transit and deposition areas, process-based models prevail (65 %). The majority of the used models was two dimensional (Rockfall, RocFall, Steepest Path) and in two cases the three dimensional model RockyFor3D was used. Three models from the empirical models group were used, most the Conefall followed by El Model and Viewshed tool.

## 7 ZAHVALA

## 7 ACKNOWLEDGEMENT

Prispevek je bil pripravljen v okviru evropskega projekta ASP 462 RockTheAlps, ki je del evropskega programa Interreg Območje Alp. Hvala recenzentu za predlagane izboljšave.

## 8 VIRI

## 8 SOURCES

Agliardi, F., Crosta, G. B., 2003. High resolution three-dimensional numerical modelling of rockfalls. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 40: 455–471.

ArcGIS for Desktop. ArcMap. (2017). URL: <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/> (24. 2. 2017).

Bauerhansl, C., Berger, F., Dorren, L., Duc, P., Ginzler, C., Kleemayr, K., Koch, V., Koukal, T., Mattiuzzini, M., Perzl, F., Prskawetz, M., Schadauer, K., Schneider, W., Seebach, L., 2010. Development of harmonized indicators and estimation procedures for forests with protective functions against natural hazards in the Alpine Space. *Project ProAlp*: 168 str. <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/bc13d2e8-5fd3-4978-9cbd-220de5deb93f> (27. 2. 2017).

Berger, F., Kleemayr, K., Maier, B., Planinsek, S., Bigot, C., Bourrier, F., Jancke, O., Toe, D., Cerbu, G., 2013. *Eco-engineering and protection against rockfalls and*

*snow avalanches*. V: Cerbu, G. (ur.). *Management to adapt Alpine Space forests to climate change risks*, InTech: 191–210.

Berger, F., Quetel, C., Dorren, L.K.A., 2002. Forest: A natural protection mean against rockfalls, but with which efficiency? The objective and methodology of the Rockfor project. *International Congress INTEPRAEVENT 2002 in the Pacific Rim, Matsumoto/Japan. Congress Publication*, 2: 815–826.

Christen, M., Bühler, Y., Bartelt, P., Leine, R., Glover, J., Schweizer, A., Graf, C., McArdell, B. W., Gerber, W., Deubelbeiss, Y., Feistl, T., Volkwein, A., 2012. *Integral hazard management using a unified software environment. Numerical simulation tool »RAMMS« for gravitational natural hazards*. 12th Congress INTERPRAEVENT 2012 – Grenoble/France: 86 str.

Čarman, M., Peternel, T., 2010. *Skalni podori Stara gora pri Dvoru v občini Žužemberk*. *Geologija*, 53, 2: 173–180.

Dorren, L. K. A., 2003. *A review of rockfall mechanics and modelling approaches*. *Progress in Physical Geography*, 27, 1: 69–87.

Dorren, L. K. A., 2012. *Rockyfor3D (v5.2) revealed. Transparent description of the complete 3D rockfall model*. *International association for natural hazard risk management ecorisQ*: 32 str. [https://www.ecorisq.org/docs/Rockyfor3D\\_v5\\_2\\_EN.pdf](https://www.ecorisq.org/docs/Rockyfor3D_v5_2_EN.pdf) (14. 3. 2017).

Dorren, L., Berger, F., Jonsson, M., Krautblatter, Mölk, M., Stoffel, M., Wehrli, A., 2007. *State of the art in rockfall – forest interaction*. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 158, 6: 128–141.

Durjava, D., Horvat, A., Zemljčič, M., 1999. *Sodobni načini zaščite objektov pred padajočim kamenjem*. *Mišičev vodarski dan 1999*: 150–155.

Erismann, T. H., Abele, G., 2001. *Dynamics of rockslides and rockfalls*. Berlin, Heidelberg, New York, Springer: 316 str.

Frattini, P., Crosta, G., Carrara, A., Agliardi, F., 2008. *Assessment of rockfall susceptibility by integrating statistical and physically-based approaches*. *Geomorphology*, 94: 419–437.

Guček, M., 2016. *Opredeletve gozdnih območij s poudarjeno varovalno in zaščitno funkcijo*. Magistrsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 130 str.

Guzzetti, F., Crosta, G., Detti, R., Agliardi, F., 2002. *STONE: a computer program for the three dimensional simulation of rock-falls*. *Computers & Geosciences*, 28: 1079–1093.

Guzzetti, F., Reichenbach, P., Ghigi, S., 2004. *Rockfall hazard and risk assessment along a transportation corridor in the Nera Valley, Central Italy*. *Environmental Management*, 34, 2: 191–208.

- Guzzetti, F., Reichenbach, P., Wieczorek, G. F., 2003. Rockfall hazard and risk assessment in the Yosemite Valley, California, USA. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 3: 491–503.
- Heim, A., 1932. Bergsturz und Menschenleben. Beiblatt zur Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich, 20, 77: 218 str.
- Ivnik, M., 2009. Geodetske meritve pri analizi padanja kamenja. Diplomsko naloga. Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za geodezijo, Geodezija v inženirstvu: 133 str.
- Jaboyedoff, M., Labiouse, V., 2003. Preliminary assessment of rockfall hazard based on GIS. *ISRM 2003, Technology roadmap for rock mechanics*, South African Institute of Mining and Metallurgy: 575–578.
- Jaboyedoff, M., Labiouse, V., 2011. Technical Note: Preliminary estimation of rockfall runout zones. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11: 819–828.
- Kobal, M., Gantar, N., 2016. Porušitvena erozija v občini Ajdovščina – možnosti in omejitve uporabe lidarskih podatkov za modeliranje padajočega kamenja. *Gozdarski vestnik*, 74, 9: 358–371.
- Komac, B., 2015. Modeliranje obpotresnih pobočnih procesov v Sloveniji. *Geografski vestnik*, 87, 1: 117–133.
- Koren, M., 2005. Analiza erozijske ogroženosti turističnih kampov v Zgornjem Posočju. Diplomsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive vire: 91 str.
- Larcher, V., Simoni, S., Pasquazzo, R., Strada, C., Zampedrio, G., Berger, F., 2012. PARAMount: WP6 guidelines, Rockfall and Forecast systems: 84 str. [http://paramount-project.eu/downloads/33\\_WP6\\_Act6.1\\_rockfall\\_guidelines\\_PP3\\_PP4\\_PP10.pdf](http://paramount-project.eu/downloads/33_WP6_Act6.1_rockfall_guidelines_PP3_PP4_PP10.pdf) (24. 2. 2017).
- Lopez-Saez, J., Corona, C., Eckert, N., Stoeffel, M., Bourrier, F., Berger, F., 2016. Impacts of land-use and land-cover changes on rockfall propagation. *Insights from the Grenoble conurbation. Science of Total Environment*, 547: 345–355.
- Loye, A., Jaboyedoff, M., Pedrazzini, A., 2009. Identification of potential rockfall source areas at a regional scale using a DEM-based geomorphometric analysis. *Natural Hazards Earth System Sciences*, 9: 1643–1653.
- Marquínez, J., Menéndez Duarte, R., Farias, P., Jiménez, M., 2003. Predictive GIS-based model of rockfall activity in mountain cliffs. *Natural Hazards*, 30: 341–360.
- Mikoš, M., Petje, U., Ribičič, M., 2006. Application of a rockfall simulation program in an alpine valley in Slovenia. *Disaster mitigation of debris flows slope failures and landslides: proceedings of the INTRERPREVENT international symposium: September 25–29, 2006 in Niigata, Japan: 199–211.* [http://www.interprevent.at/palm-cms/upload\\_files/Publikationen/Tagungsbeitraege/2006\\_1\\_199.pdf](http://www.interprevent.at/palm-cms/upload_files/Publikationen/Tagungsbeitraege/2006_1_199.pdf) (24. 2. 2017).
- Novak, L., 2014. Sestojna zgradba in nevarnost padajočega kamenja v Soteski pri Bohinju. Diplomsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 107 str.
- Pekljaj, A., 2014. Evidentiranje in prostorska analiza skal na območju občine Straža. Diplomsko naloga. Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Univerzitetni študijski program I. Stopnje Geodezija in geoinformatika: 27 str.
- Peternel, T., 2010. Ocena ogroženosti pred padanjem kamnov na območju Dvora pri Žužemberku. Diplomsko delo. Ljubljana, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo: 54 str.
- Petje, U., Mikoš, M., Majes, B., 2005a. Modeliranje gibanja skalnih podorov – pregled. *Acta hydrotechnica*, 23, 38: 19–38.
- Petje, U., Mikoš, M., Ribičič, M., 2005b. Ocena nevarnosti padajočega kamenja za odsek regionalne ceste v dolini Trente. *Geologija*, 48, 2: 341–354.
- Petje, U., Ribičič, M., Mikoš, M., 2005c. Computer simulation of stone falls and rockfalls. *Acta geographica Slovenica*, 45, 2: 93–120.
- Rak, G., Zupančič, G., Papež, J., Kozelj, D., 2012. Izdelava kart nevarnosti, ranljivosti in ogroženosti zaradi snežnih plazov in padajočega kamenja na odseku Bohinjske proge. *Ujma*, 26: 130–137.
- Rebernik, J., 2013. Proučevanje vpliva padajočega kamenja v varovalnem gozdu na Ljubelju. Diplomsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 71 str.
- Rozina, D., 2016. Analiza padanja kamenja na odseku ceste Renke-Zagorje. Diplomsko delo. Ljubljana, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo: 78 str.
- Schnewly, D. M., 2009. Tree rings and rockfall. *Anatomic tree reactions and spatio-temporal rockfall analysis.* PhD thesis No. 1643, University Fribourg: 153 str. [http://www.dendrolab.ch/download/articles/Diss\\_DS\\_red.pdf](http://www.dendrolab.ch/download/articles/Diss_DS_red.pdf) (1. 3. 2017).
- Skudnik, M., 2008. Preizkus modela za določitev območij skalnih podorov znotraj gozdnega prostora kot dela varovalne funkcije gozda. *Strokovna naloga.* Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije: 28 str.
- Skudnik, M., Kušar, G., 2011. Use of 3D process-based model to determine forests protecting against rockfall – case study Kamniška Bistrica. *Acta geographica Slovenica*, 51–2: 253–176.

- Smrdelj, B., 2005. Uporabnost programa za simulacijo padanja kamenja za določitev ogroženosti na primeru partizanske bolnišnice Franje. Diplomsko delo. Ljubljana, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo: 76 str.
- Šneberger, B., 1999. Določanje meja območij ogroženosti s porušitveno erozijo na primeru skalnih podorov v dolini Trente. Diplomsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 112 str.
- Štampe, S., 2006. Analiza nevarnosti padajočega kamenja v vasi Brezno. Diplomaska naloga. Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Študij vodarstva in komunalnega inženirstva: 89 str.
- Volkwein, A., Schellenberg, K., Labiouse, V., Agliardi, F., Berger, F., Bourrier, F., Dorren, L. K. A., Gerber, W., Jaboyedoff, M., 2011. Rockfall characterisation and structural protection. A review. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11: 2617–2651.
- Yilmaz, I., Yildirim, M., Keskin, I., 2008. A method for mapping the spatial distribution of RockFall computer program analyses results using ArcGIS software. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 67: 547–554.
- Zorn, M., Komac, B., 2004. Deterministic modelling of landslide and rockfall risk. *Acta geographica Slovenica*, 44, 2: 53–100.
- Žabota, B., 2017. Vpliv prostorske ločljivosti digitalnega modela višin na napoved odlaganja skalnih podorov. Magistrsko delo. Ljubljana, Filozofska fakulteta, Oddelek za geografijo: 109 str.

Priloga 1: Pregled študij, ki so uporabljale v članku predstavljene metode modeliranja skalnih podorov.

AVTOR DELA	LETO	OBMOČJE PROUČEVANJA	XY koordinate območja	POVRŠINA OBMOČJA	MODEL ZA OBMOČJA PROŽENJA SKALNIH PODOROV	MODEL ZA OBMOČJA PREMEŠČANJA IN ODLAGANJA SKALNIH PODOROV
Šneberger	1999	dolina Trente; podori Osojnik, Berebica, Širokec in Kozji breg	46° 21' 15.79" N 13° 41' 47.66" E	0,5 km <sup>2</sup>	terenske metode	terenske metode
Zorn, Komanac	2004	Zg. Savinjska dolina	46° 22' 21.72" N 14° 44' 22.26" E	291,11 km <sup>2</sup>	metoda ponderiranja in metoda matrik	/
Koren	2005	dolina Trente	46° 24' 21.72" N 13° 45' 17.52" E	100 km <sup>2</sup>	terenske metode	Rockfall 6.1
Petje, Mikoš, Ribičič	2005	regionalna cesta Bovec-Vrščič	46° 24' 21.72" N 13° 45' 17.52" E	75 km <sup>2</sup>	terenske metode	terenske metode
Smrdelj	2005	soteska Pasice v bližini Cerknega	46° 9' 23.52" N 14° 1' 56.6" E	0,2 km <sup>2</sup>	terenske metode	Rockfall 6.1.
Mikoš, Petje, Ribičič	2006	dolina Trente; podor Osojnik in podor Berebica	46° 21' 29.13" N 13° 43' 42" E	0,24 km <sup>2</sup>	terenske metode	Rockfall 6.1.
Štampe	2006	podor v vasi Brezno (Radlje pri Dravljah)	46° 35' 47.02" N 15° 19' 49.25" E	5 km <sup>2</sup>	terenske metode	Rockfall 6.1.
Skudnik	2008	gozdnogospodarska enota Kamniška Bistrica	46° 19' 3.99" N 14° 35' 57.16" E	62 km <sup>2</sup>	mejna vrednost naklona	El model
Ivnik	2009	regionalna cesta Podbrdo-Kneža	46° 9' 50.7" N 13° 54' 4.8" E	9 km <sup>2</sup>	terenske metode	RocFall 4.048
Čarman, Peternel	2010	podori Stara gora pri Dvoru, občina Žužemberk	45° 48' 17.24" N 14° 58' 32.52" E	1 km <sup>2</sup>	terenske metode	RocFall 4.048
Peternel	2010	Dvor, Gornji in Dolnji Kot v občini Žužemberk	45° 47' 42,81" N 14° 59' 10,37" E	3,6 km <sup>2</sup>	terenske metode	RocFall 4.048



AVTOR DELA	LETO	OBMOČJE PROUČEVANJA	XY koordinate območja	POVRŠINA OBMOČJA	MODEL ZA OBMOČJA PROŽENJA SKALNIH PODOROV	MODEL ZA OBMOČJA PREMEŠČANJA IN ODLAGANJA SKALNIH PODOROV
Skudnik, Kušar	2011	gozdnogospodarska enota Kamniška Bistrica	46° 19' 3.99" N 14° 35' 57.16" E	62 km <sup>2</sup>	mejna vrednost naklona	Conefall
Rak, Zupančič, Papež, Kozelj	2012	odsek Bohinjske železniške proge Podbrdo-Most v Baški grapi	46° 11' 36.69" N 13° 56' 12.88" E	60 km <sup>2</sup>	terenske metode	terenske metode
Rebernik	2013	Ljubelj	46° 26' 5.49" N 14° 16' 23.26" E	0,14 km <sup>2</sup>	terenske metode	Rockyfor3D (v5.2); Viewshed (ArcMap)
Novak	2014	soteska pri Bohinjju	46° 18' 0.91" N 14° 2' 53.47" E	12,5 km <sup>2</sup>	terenske metode	Rockyfor3D
Peklaj	2014	občina Straža	45° 46' 22.62" N 15° 5' 45.6" E	0,04 km <sup>2</sup>	terenske metode	Steepest Path (ArcMap)
Komac	2015	celotna Slovenija	46° 07' 11.8" N 14° 48' 55.2" E	20 273 km <sup>2</sup>	Newmarkova metoda	/
Guček	2016	gozdnogospodarski enoti Jezersko in Tržič	46° 23' 35.59" N 14° 25' 42.52" E	179,1 km <sup>2</sup>	mejna vrednost naklona	Conefall
Kobal, Gantar	2016	občina Ajdovščina	45° 53' 42.16" N 13° 54' 44.98" E	245,2 km <sup>2</sup>	morfometrična analiza naklona pobočja	Conefall
Rozina	2016	odsek ceste Renke-Zagorje	46° 6' 28.81" N 14° 58' 25.76" E	4 km <sup>2</sup>	terenske metode	RocFall 4.048
Žabota	2017	občina Vipava	45° 49' 1.619" N 13° 59' 22.324" E	107,4 km <sup>2</sup>	morfometrična analiza naklonov pobočja	Conefall