

OCENA IN PRIKAZ NEVARNOSTI ZARADI SNEŽNIH PLAZOV

THE ASSESSMENT AND DISPLAY OF AVALANCHE HAZARDS

UDK 911.2:551.578.48(497.4)

Manca Volk Bahun

Geografski inštitut Antona Melika, Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti, Gosposka ulica 13, Ljubljana, manca.volk@zrc-sazu.si

Povzetek

Modeliranje naravnih procesov je v zadnjih desetletjih postalo učinkovito orodje za njihovo lažje razumevanje, saj nam modeli na podlagi analize preteklih procesov omogočajo opredelitev prihodnjih. Za potrebe ugotavljanja nevarnosti zaradi snežnih plazov je eden takih modelov programsko orodje RAMMS.

Abstract

In recent decades, modelling of natural processes has become an efficient tool which enables us to better understand such processes. On the basis of the analyses carried out for past processes, the models allow the prediction of future ones. RAMMS software is one of the dynamic models for identifying avalanche hazards.

Uvod

Naravni procesi so del vsake pokrajine in vsak dan spreminjajo naše okolje ne glede na prisotnost človeka (Komac, Natek in Zorn, 2008), med njimi pa se v članku osredotočamo na snežne plazove.

Naši predniki so se območjem, ki jih ogrožajo snežni plazovi, izogibali tako pri gradnji kot tudi pri gibanju. Takrat so v visokogorje zahajali le redki, drugače pa je bilo s sredogorjem, kjer so tudi pozimi spravljali les in seno v dolino ter bili tako izpostavljeni snežnim plazovom (Malešič, 2005). Skozi čas se je raba gorskega sveta spremenila in ima danes tudi pomembno rekreacijsko vlogo (Natek, 2011), zato je »gorskim nevarnostim« izpostavljeno vedno več ljudi.

Snežni plazovi so kratkotrajen, krajevno omejen naravni pojav v zasneženih gorskih pokrajinah (Kriz, 2001). Delimo jih po obliki (npr. plazovi s točkasto ali linijsko napoko) in gibanju (npr. tekoči in pršni plazovi), vzrokih za nastanek (npr. spontani in umetno sproženi plazovi), po starosti snega (npr. plazovi novega in starega snega), vlažnosti plazovine (npr. plazovi mokrega in suhega snega) in glede na kraj nastanka (npr. pobočni, žlebasti plazovi) (Volk, 2010).

V Sloveniji prevladujejo manjši snežni plazovi, ki povzročajo škodo predvsem v gozdu, občasno pa poškodujejo tudi infrastrukturo ali zaradi njih umrejo ljudje. Slednje je zelo pomembno, saj moramo upoštevati dejstvo, da med vsemi »naravnimi nesrečami«, ki prizadenejo Slovenijo, prav zaradi snežnih plazov umre največ ljudi, v povprečju kar eden do dva na leto (Pavšek, 2002).

Njihova napovedovanje in analiza nista preprosta, saj je treba upoštevati številne vplivne dejavnike, od vrste

podlage, stanja in debeline snežne odeje do vremenskih razmer, kot tudi človeški faktor (Volk, 2010).

Pri opisovanju snežnih plazov smo večkrat v dilemi, ali zanje uporabiti izraz nesreča ali nezgoda (Đurovič in Mikoš, 2006; Natek, 2011; Mikoš, 2014). Številne snežne plazove lahko le redko opredelimo kot naravno nesrečo, za katero velja, »... da je ogroženo življenje ali zdravje ljudi, živali ter premoženje, povzročijo škodo na kulturni dediščini in okolju v takšnem obsegu, da je ... treba uporabiti posebne ukrepe, sile in sredstva ...« (Mikoš, 2014; 309), saj večina nastane daleč od človeka. Prav tako izraz nezgoda ni vedno primeren, saj so njihovi učinki premajhni. Izraz je namreč primernejši za opisovanje manjših dogodkov brez hujših posledic (Natek, 2011), k čemur pa težko prištevamo dogodke, zaradi katerih vsako leto umrejo ljudje.

Prispevek se osredotoča na pregled metod, ki se uporabljajo za proučevanje plazovne (lavinske) nevarnosti. Na kratko so predstavljene njihove lastnosti, opozarjamo pa tudi na morebitne pomanjkljivosti. Poleg tega posebno pozornost namenjamo dinamičnim oziroma fizikalnim metodam, ki so z razvojem računalniške tehnologije vse naprednejše in natančnejše.

Razvoj modeliranja

Z razvojem tehnologije in védenja o naravnih pojavih so se razvile številne metode za njihovo proučevanje, in sicer od proučevanja zgodovinskih virov do priprave statističnih in numeričnih modelov.

Za boljše razumevanje naravnih procesov, predvsem pa za boljšo varnost, se pri proučevanju naravnih nevar-

nosti in naravnih nesreč uporabljajo številni modeli. Pri snežnih plazovih lahko na primer z njimi predvidimo gibanje, hitrost in obseg pojava (RAMMS, 2013). Pri modelih se moramo zavedati, da gre pri njih za »poenostavitve« naravnih procesov, ki ne morejo povsem simulirati narave oziroma, kot je napisal Boardman (2006, 77): »Od modelov ... ne smemo pričakovati, da bodo [popolnoma, op. a.] posnemali naravo. Mišljeni so, da stvarnost poenostavijo ...«

Prvi poskusi modeliranja snežnih plazov so bili predstavljeni v začetku osemdesetih let prejšnjega stoletja (slika 5). S časom so postajali vse kompleksnejši, kar pomeni, da so upoštevali čim več vplivnih dejavnikov. Preprostejši modeli za načrtovanje protiplazovnih zaščit se uporabljajo že od sedemdesetih let prejšnjega stoletja, v osemdesetih letih pa so se začeli uporabljati statistični modeli ter eno- in dvodimenzionalni numerični modeli. Hitrejši razvoj je modeliranje doživelo po zimi, zelo bogati s snežnimi plazovi, v Alpah leta 1999, saj se je takrat razvoj usmeril predvsem v večrazsežnostne dinamične modele (Rudolf-Miklau in Sauermoser, 2011).

Pri raziskovanju in varstvu pred snežnimi plazovi kot tudi pri pripravi modelov zanje prednjačijo alpske države, predvsem Švica, Francija, Avstrija in Nemčija, pomembne pa so tudi Združene države Amerike in Norveška (Rudolf-Miklau in Sauermoser, 2011).

Metode proučevanja snežnih plazov

Pri analizi nevarnosti zaradi snežnih plazov lahko obravnavamo snežne plazove, ki so se že zgodili, ali pa je naše raziskovanje usmerjeno v napovedovanje prihodnjih plazovnih dogodkov.

V grobem metode proučevanja snežnih plazov delimo na neposredne oziroma kvalitativne ali izkustvene in

posredne oziroma kvantitativne (Zorn in Komac, 2004). Med kvalitativne metode lahko uvrstimo »zgodovinsko metodo« oziroma proučevanje zgodovinskih virov (npr. urbarjev, kronik, časopisnih člankov, fotografij) in morfološko metodo (npr. geomorfološko kartiranje), s katero iščemo sledi, ki jih plazovi puščajo v okolju (npr. poškodovano rastje, razporejenost drevesnih letnic, konkavne reliefne oblike) (Rudolf-Miklau in Sauermoser, 2011). Tako na podlagi dogajanja v preteklosti dobimo vpogled v pojavnost plazov, povratne dobe in vzroke za njihov nastanek, tovrstne podatke pa lahko uporabimo tudi za napovedovanje prihodnjih plazov ali kot kontrolo napovedovanja.

Za napovedovanje uporabljamo predvsem posredne oziroma kvantitativne metode. Te delimo na deterministične, statistične in probabilistične ali verjetnostne (Zorn in Komac, 2004). Med slednje na primer uvrščamo topografske (npr. Alpha-Beta, Laatsch/Zenke/Denkerl, French 1D) in numerične modele (npr. Voellmy-Salm, AVAL 1D, Samos AT, RAMMS) (Rudolf-Miklau in Sauermoser, 2011).

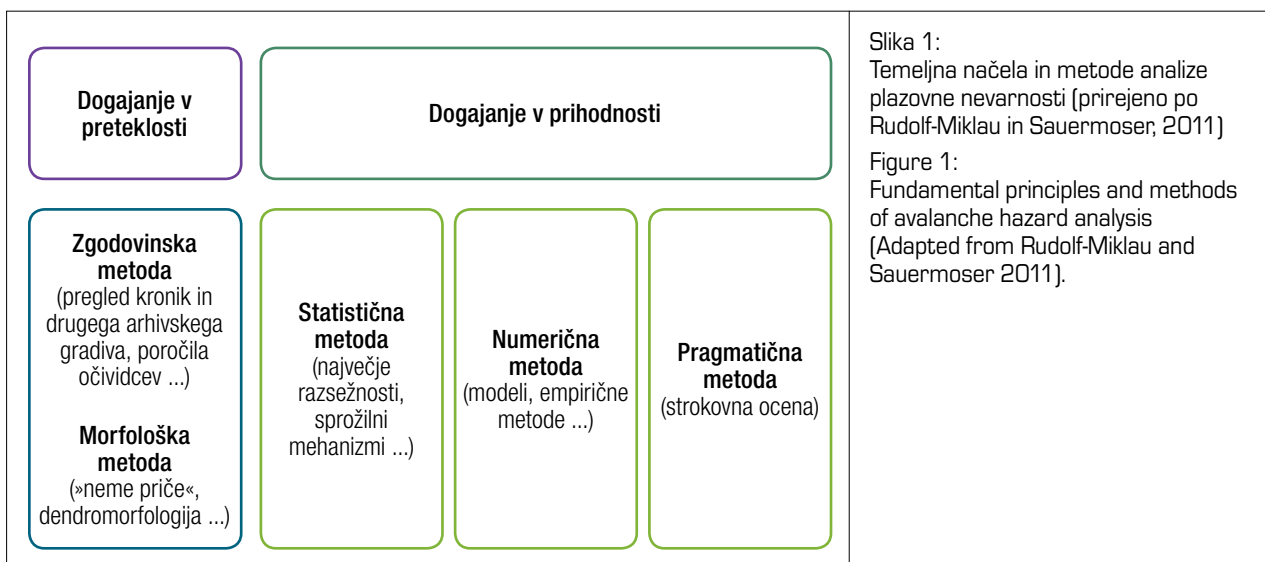
Pragmatična metoda, ki jo omenjamo v nadaljevanju, je kombinacija verjetnostnih in kvalitativnih metod, za katero je značilna tudi subjektivna ocena na podlagi pridobljenih podatkov in preteklih izkušenj (Zorn in Komac, 2004; Rudolf-Miklau in Sauermoser, 2011).

Za lažje razumevanje nekega pojava lahko uporabimo več metod, pri vseh pa se moramo zavedati, da so modeli odvisni od kakovostnih vhodnih podatkov.

Analiza preteklih dogodkov

Zgodovinske metode

Zgodovinske metode so usmerjene v analizo preteklih plazovnih dogodkov in temeljijo na pregledu ter analizi zgodovinskih virov, torej kronik, pričevanj očitvidcev in



pregledu lavinskih biltenov, poročil, sedanjega katastra snežnih plazov ter podobnih dokumentov (Rudolf-Miklau in Sauermoser, 2011).

Metodo uporabljamo takrat, ko nas zanima, kje so se v preteklosti plazovi že prožili, v kakšnem obsegu, kakšni so bili vzroki zanje in kakšno škodo so povzročili.

Težava takega proučevanje je predvsem, da zgodovinski viri navadno obravnavajo le plazove, ki so povzročili škodo ali žrtve, drugi dogodki pa navadno niso bili opisani. Nadaljnja težava je v pridobivanju natančnejših informacij o dogodkih, saj se ti največkrat niso zbirali ali pa so poročila pomanjkljiva. Največ imamo meteoroloških podatkov, toda njihova uporabnost je omejena zaradi redke opazovalne mreže v visokogorju.

Morfološke metode

Te metode temeljijo na iskanju sledi oziroma »nemih prič«, ki so jih plazovi pustili v pokrajini. Očitni sledovi plazovnega delovanja so lijakaste grape (slika 2). Plazovi lahko poleg snega s seboj nosijo tudi drug material, ki se odlaga na čelu plazov. Plazovno aktivnost lahko proučujemo tudi z različnimi datacijskimi postopki (Papež, 2011; Rudolf-Miklau in Sauermoser, 2011).

Snežni plazovi puščajo sledi na rastju, predvsem na drevesnih vrstah, ki se na plazovno aktivnost prilagodijo z načinom rasti, saj so drevesa upognjena v smeri gibanja plazov (Pavšek, 2002). Posledice plazov so dobro vidne tudi na razporeditvi drevesnih letnic (Pavšek, 2002). Z dendromorfološkimi metodami lahko natančno določimo območja, ki so pod vplivom plazovnih aktivnosti (Rudolf-Miklau in Sauermoser, 2011).

Tovrstno proučevanje je še posebno uporabno takrat, ko nimamo zgodovinskih podatkov o dogodkih. Tako lahko na podlagi drevesnih letnic ugotovimo, kdaj je bilo območje še posebno izpostavljeno plazenju (Corona in sodelavci, 2012).

Starost rastja in različne reliefne oblike pomagajo določiti maksimalne obsege posameznih plazov.

Morfološke metode so zelo uporabne na območju gibanja in odlaganja, večinoma neuporabne pa so na območju proženja, ki navadno sega nad gozdno mejo.

Napovedovanje prihodnjih dogodkov

Statistične metode

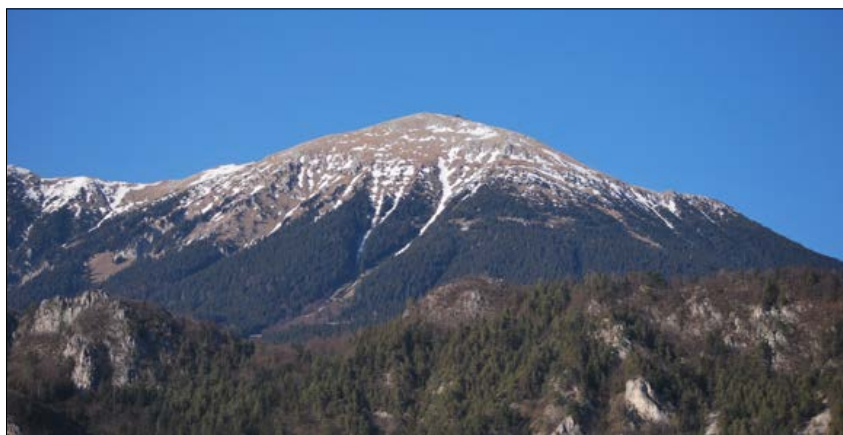
Metode obsegajo analizo sedanjih podatkov, na primer meteoroloških podatkov ali podatkov o resničnih plazovih. Tovrstne analize pokažejo ponavljajoče se trende, ki jih lahko uporabimo kot podlago za napovedovanje prihodnjih dogodkov. Metode zahtevajo ustrezno število podatkov ali dovolj dolgo obdobje opazovanja (Pavšek, 2002; Rudolf-Miklau in Sauermoser, 2011).

Statistične metode so uporabne, ko želimo s statistiko ugotavljati različne vzorce. Na njihovi podlagi lahko plazove razvrstimo glede na čas in vzroke pojavljanja v posamezne skupine (npr. talni plazovi, pršni plazovi). Glavni pogoj za njihovo uporabo je zadostna količina kakovostnih podatkov. Pri ugotavljanju vzorcev nas zanima predvsem, kje se je plaz že sprožil (kraj, nadmorska višina, ekspozicija in naklon), kdaj (kateri del dneva in kateri del snežne sezone), kakšen je bil plaz (dolžina, širina in višina plaznice, vrsta in višina začetne napoke ter vrsta plazov), pri kateri stopnji nevarnosti se je sprožil in kakšne so bile posledice (število udeleženi, poškodovanih in mrtvih ter kakšna je bila škoda) (Mair in Nairz, 2012).

Numerične metode

Z njimi posnemamo dogajanje v naravi, saj z upoštevanjem najrazličnejših scenarijev in vplivnih dejavnikov posnemamo proženje, gibanje ter odlaganje plazovine. Metode sicer zahtevajo umerjanje, nenehen nadzor in kritičnost (Rudolf-Miklau in Sauermoser, 2011), toda z njimi lahko napovedujemo dogodke in najrazličnejše scenarije.

Tovrstni modeli nam lahko pomagajo tudi pri načrtovanju varstvenih ukrepov in pri posegih v prostor (RAMMS, 2013).



Slika 2:

Na južnem pobočju Stola se zaradi vsakoletnih snežnih plazov nekatere grape ne zaraščajo.
(Foto: M. Volk Bahun)

Figure 2:

On the southern slope of Mt Stol, some ravines are not re-growing due to frequent avalanches
(Photo: M. Volk Bahun).

Pragmatične metode

Podlaga pragmatičnih metod je mnenje strokovnjaka oziroma poznavalca krajevnih razmer, metode pa lahko uporabljamo predvsem za preverjanje in potrjevanje rezultatov, ki smo jih pridobili z drugimi metodami (Rudolf-Miklau in Sauer Moser, 2011). Kljub modeliranju je dobrodošel pregled strokovnjaka, ki dobro pozna krajevne razmere in lahko na podlagi izkušenj preveri rezultate.

Strokovne ocene so sicer lahko zelo subjektivne, čemur se pri modeliranju želimo izogniti. Primer sta redukcijska metoda in metoda 3 x 3 (Munter, 2009). Namen metod je objektivno oceniti tveganje in ga na podlagi različnih ukrepov zmanjšati, da to postane za nas sprejemljivejši (Munter, 2009).

Vhodni podatki

Za izvedbo celovite analize plazovne nevarnosti je treba pridobiti številne informacije, ki nam pomagajo tako pri analizi dogodkov kot modeliranju, delimo pa jih v več vsebinskih sklopov (Rudolf-Miklau in Sauer Moser, 2011).

Lavinski kataster

Lavinski kataster obsega temeljne podatke o legi in obsegu plazov, njegov namen pa je podrobnejša prostorska predstavitev nevarnosti. V Sloveniji so ga začeli urejati v petdesetih letih prejšnjega stoletja, in sicer najprej v okviru Hidrometeorološkega zavoda Republike Slovenije ter pozneje Podjetja za urejanje hudournikov (Pavšek, 2002). Kljub nenehnim prizadevanjem kataster ni končan in bi ga bilo treba razširiti (Volk, 2010), saj je prostorsko omejen.

Topografski podatki

Za pripravo modelov so zelo pomembni topografski podatki, ki jih pri modeliranju uporabimo v obliki GIS-slojev. Zelo nam pomagajo conacije plazovitih območij, ortofotografski posnetki, digitalni model reliefa, lidar, razporejenost plaznic, lega že zgrajenih zaščitnih lavinskih elementov in podobno (Pavšek, 2002).

Meteorološki podatki in podatki o snežni odeji

Za analizo in napovedovanje snežnih plazov so zelo pomembni meteorološki podatki. Še posebno nas zanimajo tridnevni podatki o količini novega snega, skupna višina snežne odeje, maksimalna višina snežne odeje, jakost in smer vetra, temperatura in drugo, saj imajo vremenski dejavniki velik pomen pri nastajanju snežnih plazov (Rudolf-Miklau in Sauer Moser, 2011). Podatke pridobivamo v vremenskih postajah, ki pa jih je v Sloveniji za natančno napovedovanje v visokogorju premalo.

Glavni vzrok za pojavljanje snežnih plazov je (nestabilna) snežna odeja, tako da je poznavanje vremenskih dejavnikov še posebno pomembno. Sneži namreč v različnih razmerah, na primer ob vetru, zelo nizkih temperaturah in temperaturah približno 0 °C, zato so tudi posledice različne. Tako je sneg lahko težek in moker, zaradi česar se hitreje seseda in s tem stabilizira, lahko pa je suh, ko pada ob nizkih temperaturah, snežna odeja pa ostane nestabilna tudi več dni. Po končani preobrazbi snežne odeje na proženje snežnih plazov vpliva predvsem temperatura zraka (Volk, 2010).

Pomembni so še natančni podatki o snežni odeji. Zanimajo nas predvsem količina novega snega v določenem obdobju, krajevni vetrovi in jakost vetra (kopičenje snega v zemetih in opasteh ter nastajanje klož), temperatura snežne odeje, slojevitost snežne odeje (debelina plasti in vrsta snega), sprijetost ter trdnost snežne odeje. Značilnosti snežne odeje so še posebno pomembne, saj snežni plazovi nastajajo prav zaradi porušene ravnovesja v njej. Podatki o snežni odeji se pridobivajo na terenu s prerezom snežne odeje, pri čemer se moramo zavedati, da se razmere v snežni odeji krajevno in časovno zelo hitro spreminjajo (Volk, 2010).

Podatki o morfologiji

Pri tem nas zanimajo predvsem naklon, usmerjenost površja, površinske oblike, hrapavost površja, rastje in podlaga. Na nekaterih površinah sneg hitreje plazi kot na drugih, pomembna »sidra« pa so skale in rastje, zaradi katerih se sneg obdrži in ne zdrсне (Rudolf-Miklau in Sauer Moser, 2011). Pri tem nam pomaga digitalni model reliefa ali lidarski posnetki.

Podatki o dogodkih

Pomagamo si lahko s podatki o preteklih dogodkih, saj z njimi lažje preverjamo modelirane rezultate, pridobimo pa jih lahko iz različnih zgodovinskih virov. Če plazovi niso povzročili večje škode na objektih oziroma infrastrukturi ali poškodovali ljudi, so podatki pomanjkljivi (Rudolf-Miklau in Sauer Moser, 2011).

Trenutne lavinske razmere

Pri določanju trenutne nevarnosti se opiramo na lavinska poročila, zelo koristna pa so tudi poročila opazovalcev, na njihovi podlagi pa lahko lažje določimo posamezne parametre, na primer višino in dolžino napoke ter vrsto snega (Rudolf-Miklau in Sauer Moser, 2011).

Ocena ogroženosti

Pri analizi in oceni ogroženosti se moramo najprej osredotočiti na opredelitev naravnih nevarnosti. Pri oceni

ranljivosti se najprej posvetimo proučitvi rabe prostora, tako da pregledamo, kakšne so pozidanost in poseljenost obravnavanega območja, razporeditev cest in drugih komunikacijskih objektov ter gospodarska raba. Sledita ocenjevanje vrednosti nepremičnin in določanje škodnega potenciala, pri čemer upoštevamo tudi kulturno vrednost posameznih nepremičnin. Pri oceni moramo upoštevati že zgrajene zaščitne objekte, in sicer, kako so razporejeni, v kakšnem stanju so in kakšna je njihova življenjska doba (Rudolf-Miklau in Sauermoser, 2011).

Ob upoštevanju vseh navedenih dejavnikov določimo oceno ogroženosti za posamezno območje. Rezultate tovrstnih analiz navadno prikažemo na zemljevidih ogroženosti, ki so uporabni pri prostorskem načrtovanju, vedno bolj pa se uporabljajo tudi v zavarovalnicah (Rudolf-Miklau in Sauermoser, 2011; Zorn, Komac in Kumelj, 2012; Volk Bahun in sodelavci, 2014).

Prikaz plazovitih območij

Kartografski prikaz snežnih plazov in njihovih posledic ima dolgo tradicijo, njihovi uporabniki pa so občine, prostorski načrtovalci, lavinske komisije in obiskovalci gora (Kriz, 2001).

Zemljevidi nevarnosti in ogroženosti

Za pripravo zemljevidov nevarnosti lahko uporabimo neposredne (kvalitativne oziroma izkustvene) in posredne (kvantitativne) metode. Najpogostejša neposredna metoda je kartiranje, ki je na primer uporabna za pripravo lavinskega katastra (Pavšek, Komac in Zorn, 2010).

Z razvojem geografskih informacijskih sistemov so se vedno bolj uveljavile posredne metode, pri katerih na podlagi različnih vplivnih dejavnikov pripravimo scenarije, ki povedo, kakšna je možnost proženja snežnih plazov na nekem območju. Pri nas je pogosto uporabljena

metoda ponderiranja (Zorn in Komac, 2004). Vsi sprožitveni dejavniki namreč nimajo enakega vpliva na pojavljanje snežnih plazov, zato se vsakega izmed njih obteži (ponderira) glede na pomen, izbor uteži pa močno vpliva na določitev kategorije nevarnosti. Da se pri tem čim bolj izognemo subjektivnim ocenam, uteži določimo na podlagi statistične analize preteklih dogodkov in vplivnih dejavnikov (Zorn in Komac, 2008).

Če zemljevidom nevarnosti dodamo še antropogene elemente v pokrajini, dobimo zemljevide ogroženosti (Volk, 2010; Pavšek in sodelavci, 2013), za tovrstne zemljevide pa navadno uporabimo kartografske podlage v merilu od 1 : 2000 do 1: 10.000 (Rudolf-Miklau in Sauermoser, 2011). V mnogih alpskih državah se taki zemljevidi uporabljajo za ceno vrednosti nepremičnin in pri prostorskem načrtovanju (slika 3).

Zemljevid plazovitih območij nam pomaga pri razmejitvi oziroma conaciji obravnavanega območja na območja, primerna za gradnjo in naselitev, ter na območja, ki so primernejša za drugačno rabo prostora (Šegula, 1986; McClung in Schaerer, 2006).

Glavna težava prikazov širših območij je, da se modeli osredotočajo predvsem na območja proženja, ne pa na območja gibanja in odlaganja (Volk, 2010). Za take primere se uporabljajo numerični modeli, ki prikazujejo gibanje materiala.

Prikaz procesov

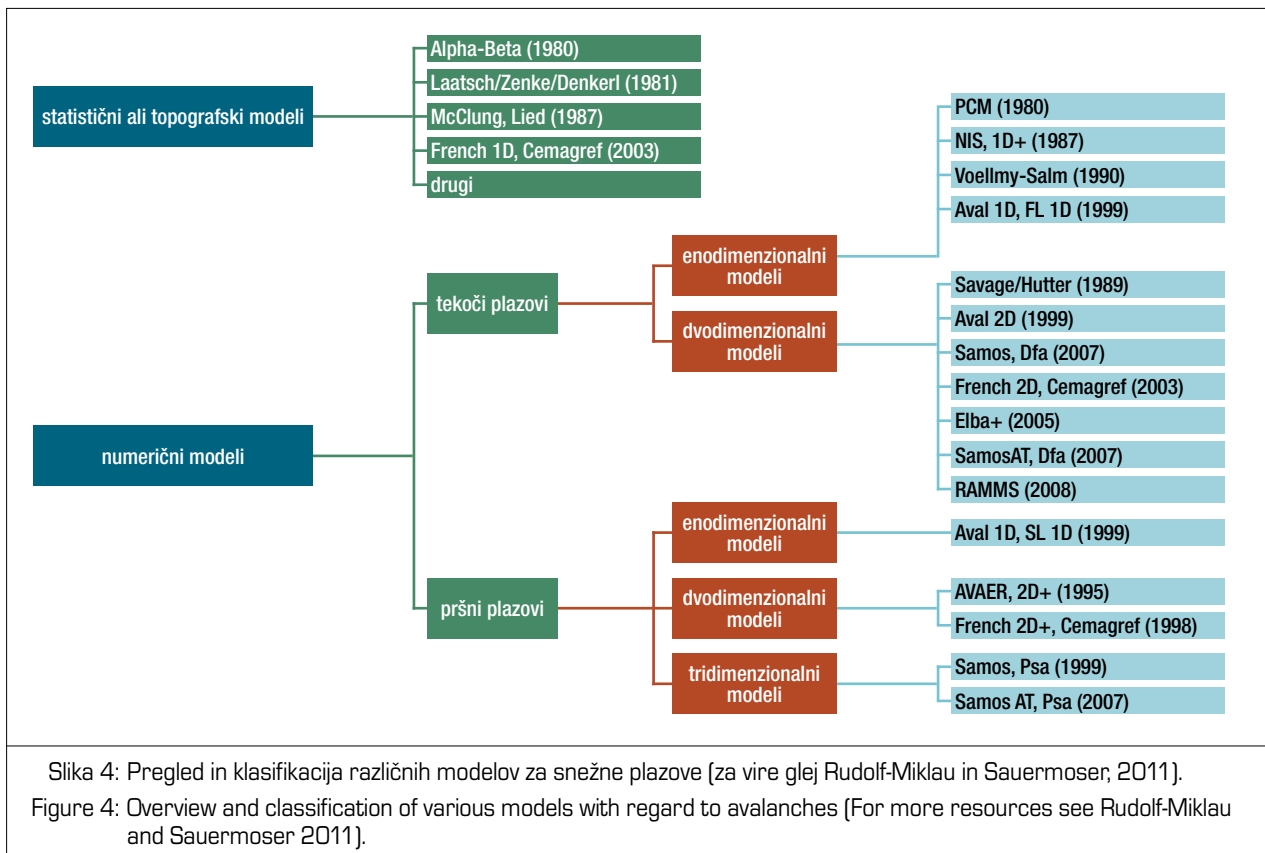
Sneg je snov, ki jo je fizikalno težko opisati, njegovo gibanje in lastnosti snežne odeje pa se spreminjajo že med enim dogodkom. Značilnosti se spreminjajo tudi glede na tip plazu, velikost, gostoto in vlažnost snega, količino sproženega materiala in tip reliefa, po katerem se plazovina premika (Mears, 2015).

Poznamo tako fizikalne kot statistične modele, s katerimi pridobivamo podatke o gibanju plazov, kot so hitrost,



Slika 3:
Preprostejše zemljevide nevarnosti v tujini uporabljajo na smučiščih za opozarjanje na lavinsko nevarnost zunaj urejenih smučišč.

Figure 3:
Abroad, simple hazard maps are used on ski slopes to inform skiers about avalanche hazards outside the regulated ski areas.



doseg, sile, ki jih povzročijo, in drugo. Modeli se razlikujejo tako po temeljnih enačbah kot tudi glede na tip snežnega plazov, ki ga lahko v določenem programu obravnavamo (Sirk, 2011).

Namen tovrstnih modelov je, prikazati način gibanja posameznih plazov, z njimi pa lahko predvidimo hitrost plazovine, smer gibanja, obremenitve oziroma sile na posameznih odsekih, količino in mesto odloženega gradiva ter drugo. Nekateri, na primer program RAMMS, ki ga bomo bolj spoznali v nadaljevanju, nam omogočajo tudi uporabo podatkov o gozdnatosti, saj je gibanje plazovine v gozdu drugačno, in o zaščitnih objektih. Modeli nam na primer povedo, ali so te zaščite zadostne in na pravem kraju.

Številni modeli pri svojih izračunih uporabljajo Voellmy-Salmov model tekočin (Torkar, 2013). Ta zahteva malo vhodnih podatkov, pri interpretaciji pa je treba imeti veliko strokovnih izkušenj, saj zelo poenostavi tok plazovine (Sirk, 2011). Model je nastajal v 50. in 60. letih prejšnjega stoletja in je uvedel notranje trenje ter aktivno stanje toka plazov, masa plazov pa je poenostavljena v masno središče. Do razvoja dinamičnih numeričnih modelov se je Voellmy-Salmov model uporabljal za izračun dosega in pritiskov plazov (Torkar, 2013).

RAMMS (RAPID MASS MOVEMENTS SIMULATION)

Med bolj dovršenimi modeli je program RAMMS oziroma *RAPID MASS MOVEMENTS SIMULATION*, ki je namenjen dvodi-

menzionalnemu dinamičnemu modeliranju premikajočega se materiala, in sicer snega, drobirja ter preperine, na tridimenzionalni podlagi. RAMMS je numerično orodje za simulacijo in izračun največjih obsegov, hitrosti, višine ter sil v premikajočem se materialu. Namenjen je predvsem modeliranju snežnih plazov, skalnih podorov, drobirskih tokov in plitvejših zemeljskih plazov (RAMMS, 2013).

Program so razvili na švicarskem Inštitutu za sneg in plazove (*Institut für Schnee und Lawinenforschung – SLF*). Za razvoj in kalibracijo modela so uporabili podatke in meritve na testnih območjih v Vallée de la Sionne za snežne plazove in Illgraben za drobirski tok ter številne podatke zgodovinskih dogodkov v švicarskih Alpah (RAMMS, 2013).

Temeljni sloj za pripravo modela snežnih plazov je digitalni model višin (DMV), prek katerega lahko poljubno napnemo različne podlage, na primer digitalni ortofoto (DOF) ali topografski zemljevid. Razmere za gibanje plazov v gozdu so drugačne, zato lahko dodamo tudi sloj gozda, ki ga program upošteva pri izračunu trenja. Natančnejši, kot so podatki o reliefu, bolj natančni bodo tudi rezultati (RAMMS, 2013).

Velikost in obliko območja proženja določi uporabnik, zato je priporočljivo, da to delajo ljudje z izkušnjami. Pomagamo si s terenskimi podatki, fotografijami in meritvami (RAMMS, 2013).

Tudi RAMMS kot podlago za svoje izračune uporablja omenjeni Voellmy-Salmov model tekočin, ki temelji na

trenjskih zakonitostih po Chezyju v kombinaciji s suhim trenjem po Coulombu (Torkar, 2013; RAMMS, 2013):

$$S = \mu \rho H g \cos \phi + \frac{\rho g U^2}{\xi}$$

pri čemer so:

- μ : Coulombov koeficient statičnega trenja,
- ρ : gostota tekočine,
- H : višina toka,
- g : gravitacijski pospešek,
- ϕ : naklon pobočja,
- U : hitrost toka,
- ξ : koeficient turbulentnega trenja ali koeficient hitrosti.

Program omogoča uporabo konstantnih parametrov trenja, lahko pa jih tudi spreminjamo. Pri modeliranju uporabljamo koeficient statičnega trenja (μ) in koeficient drsenja (ξ), ki je določen glede na velikost plazju, oblikovanost plaznice, nadmorsko višino in povratno dobo plazju. Avtomatičen izračun vrednosti trenja temelji na topografski analizi (naklon, nadmorska višina in ukrivljenost), gozdnatosti in splošnih podatkih o plazju (povratna doba in velikost plazju) (RAMMS, 2013).

Ko imamo pripravljene vse sloje, lahko območju proženja določimo, kakšna sta gostota snega in debelina snežne odeje, ki se bo oziroma se je sprožila. Z izračunom pridobimo različne rezultate, na primer o višini premikajočega se materiala, hitrosti in silah, poleg tega pa lahko naredimo tudi prečni ali podolžni prerez območja, ki nam na primer prikaže, kje se material kopiči, kakšna je hitrost in kakšne so sile na posameznih odsekih.

Poleg tega program omogoča tudi umeščanje zaščitnih elementov v pokrajino, in sicer pregrade ter preusmerjevalnike, in preverjanje njihove učinkovitosti.

Modeliranje s programom RAMMS

Stanje

Bobnarjeva grapa (slika 6) leži na jugozahodnem pobočju Brane (2253 m) v Kamniško-Savinjskih Alpah. Ima jugozahodno lego in naj bi ime dobila po bobnenju plazov, ki odmevajo po dolini Kamniške Bistrice (Hribi ..., 2014). Plazovi se navadno prožijo v zgornjem delu grape, ki je zaradi lege izpostavljena popoldanskemu soncu (Grilc, 2009). Grapa je ozka z več skalnimi stopnjami, ponekod prekrita z gruščem ali travno rušo. Tudi pobočja nad grapo so strma in gola ali porasla s travo ter ruševjem. Na vrhu se grapa postopoma odpre v širše, proti jugu usmerjeno pobočje. V spodnjem delu se konča v mešanem gozdu na nadmorski višini približno 950 metrov. Plazovina se pahljačasto razlije po manjšem, s travo preraslem vršaju. Plaznica Bobnarjevega plazju ni vnešena v kataster snežnih plazju.

Zima 2008/2009 je bila bogata s snegom, saj je bilo konec februarja v visokogorju Kamniško-Savinjskih Alp še več kot 2,5 metra snega (Agencija ..., 2014). V grapah, kamor veter navadno prenaša sneg, je bilo snega še več.

Dogodek

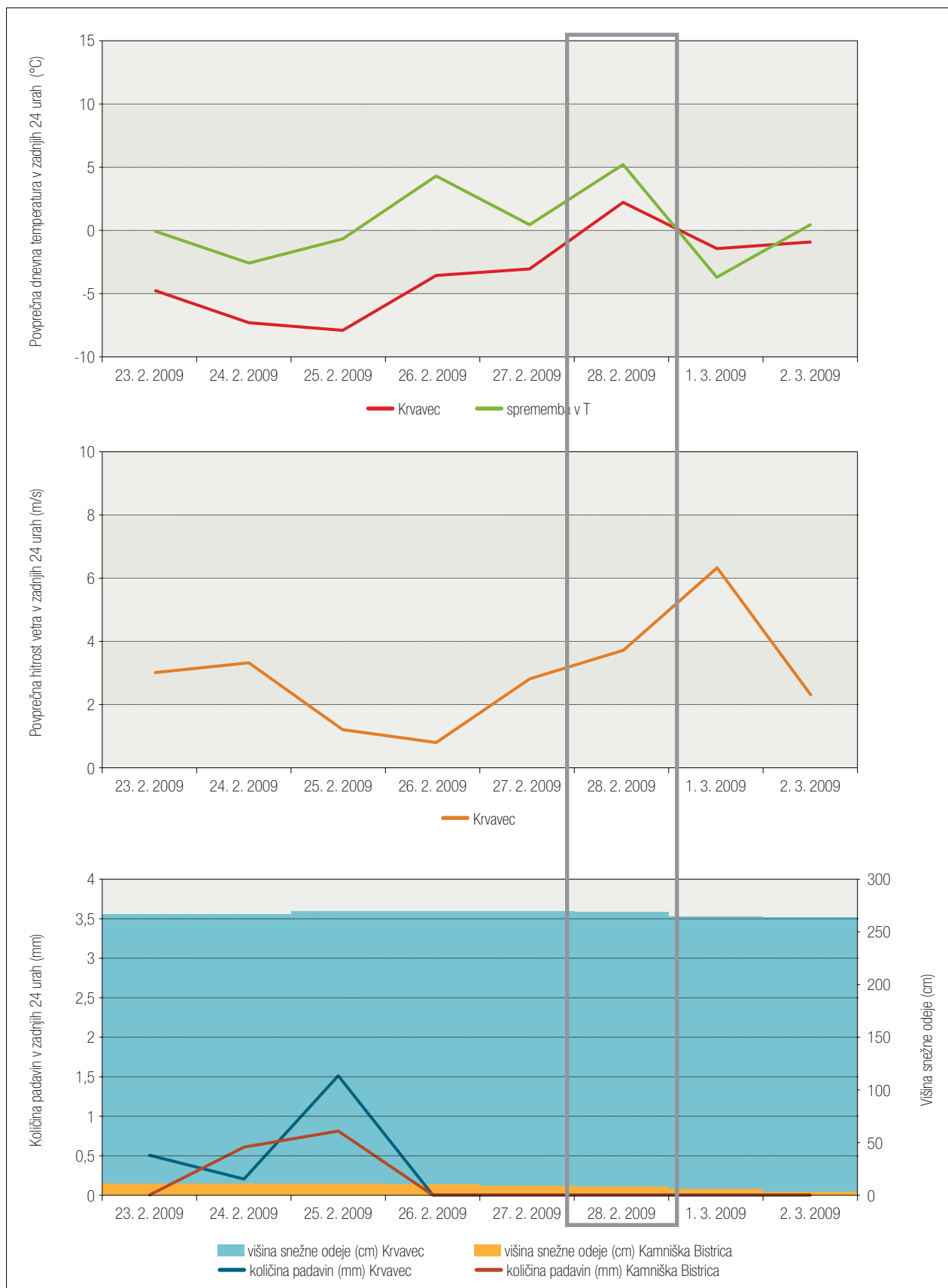
Plaz, ki ga obravnavamo, se je sprožil v soboto, 28. februarja 2009, in je pod seboj pokopal dva alpinista. Zimska alpinistična smer v Bobnarjevi grapi velja za eno izmed »zimskih klasik« in je z 900 metri najdaljša smer na južni strani Grintavcev.

V obravnavanem obdobju je bilo v gorah precej snega, saj je bilo na bližnjem Krvavcu še več kot 2,5 metra (slika 5) (Agencija ..., 2014), zasute pa so bile številne skalne stopnje v grapah. Snežne razmere v tednu pred dogodkom so bile ugodne za plezanje, zato je bil obisk grape ob koncu tedna precejšen (Hribi ..., 2014). Nekaj dni pred dogodkom je na tem območju zapadlo približno deset centimetrov novega



Slika 5: Bobnarjev plaz v Kamniški Bistrici – modelirani dogodek za 28. februar 2009 (levo vrisana plaznica, desno izsek iz modela).

Figure 5: Bobnar avalanche in the valley of Kamniška Bistrica – modelled occurrence for 28 February 2009 (left: avalanche path, right: model section).



Slika 6: Primerjava vremenskih podatkov, in sicer povprečne dnevne temperature zraka, povprečne hitrosti vetra za vremensko postajo Krvavec, količine padavin v zadnjih 24 urah ter višine snežne odeje za vremenski postaji Krvavec in Kamniška Bistrica, v tednu, ko se je zgodila nesreča.

Figure 6: Weather data comparison [average daily air temperatures, average wind velocity for Krvavec weather station, precipitation in the last 24 hours, and snow cover for weather stations Krvavec and Kamniška Bistrica] for the week when the incident occurred.

snega (Agencija ..., 2014), ki pa se zaradi nizkih temperatur ni spremenil in sprjel s podlago. Na vrhu grape se poleg tega zaradi vetra lahko kopičijo klože in opasti, ki se ob odjugu pogosto začnejo rušiti.

Na dan nesreče je bilo vreme sončno in brez padavin, temperature teden dni pred nesrečo pa so bile večino časa pod lediščem. Dva dni pred dogodkom se je nekoliko otoplilo, vendar najvišje dnevne temperature niso presegle 1 °C. Na dan nesreče so se temperature dvignile in temperatura je bila že v jutranjih urah tudi v visokogorju nad lediščem. Zaradi temperaturne inverzije so bile temperature v visokogorju celo višje kot v dolini. Grapa je bila zaradi svoje jugozahodne lege večji del dneva izpostavljena soncu in pozitivnim temperaturam (Agencija ..., 2014). Po zapisih nekaterih planincev (Hribi ..., 2014) je bil sneg že zjutraj ojužen, na zgornjih robovih grape pa so se pojavljale večje razpoke. Čez dan so razmere v snežni odeji postale še bolj nestabilne in v sosednjih grapah so se spontano prožili številni plazovi (Grilc, 2009).

Pozen vstop v tako dolgo in proti jugu obrnjeno grapo je posledično pomenil tudi večjo izpostavljenost nevarnosti.

Model

Na dan dogodka je bila močna otoplitev, zato smo v modelu na območju proženja privzeli, da je bil sneg navlažen, in upoštevali gostoto mokrega uležanega snega (400 kg/m³) (Šegula, 1986). Nismo imeli točnega podatka o višini in dolžini začetne napoke, tako da smo jo določili približno glede na značilnosti terena ter obstoječih zapisov (Hribi ..., 2014; Grilc, 2009) o nesreči. Upoštevali smo 20 centimetrov visoko začetno napoko.

Model je pokazal način gibanja plazovine po grapi. Material se je na skalnih stopnjah upočasnil in nakoščil, nato pa je pot nadaljeval proti vznožju grape. Na dnu grape se je plazovina pahljačasto razlila v gozdu na območju običajnega dosega plazu.

Primerjava dogodka in modela

Glavni razlog za sprožitev plazu je bila nenadna odjuga, ki se je začela dan pred dogodkom. Kot smo omenili, so se v okolici na dan sprožitve prožili številni spontani plazovi. Tudi plaz, ki je odnesel alpinista, se je najverjetneje sprožil spontano, saj so napoke na območju proženja nastale že dopoldne. Dodatna obremenitev snežne odeje obeh alpinistov je sprožitev pospešila.

Model je potrdil, da je bila zaradi oblike površja plazovina kanalizirana in omejena na grapo. V modelu nismo upoštevali, da je bil v grapi pred dogodkom že sneg, skalne stopnje pa so bile zaradi predhodnih plazov in nakopičenega snega predhodno zapolnjene s snegom. Model je pokazal, da je bila plazovina počasna in se je še dodatno upočasnila na skalnih stopnjah, kjer se je del materiala tudi odložil. Pri interpretaciji moramo upoštevati, da je trenje na pobočnem grušču ali snežni površini različno. To pomeni, da je bila plazovina hitrejša in se je verjetno razlila še nekoliko nižje, kot je pokazal model.

Sklepne misli

Naravni procesi nenehno preoblikujejo pokrajino, med njimi pa so tudi snežni plazovi. Če se pojavljajo v običajnih razsežnostih, ne povzročajo večje škode, ko pa je snega več, se poveča tudi njena verjetnost. Z naraščanjem števila planincev in smučarjev, ki se pozimi odpravljajo v gore, se povečuje tudi število nesreč.

S proučevanjem in boljšim razumevanjem pojavov lahko naredimo več pri napovedovanju dogodkov ter s tem za preventivo, ki je pri upravljanju naravnih nesreč zelo pomembna.

S trajnimi zaščitnimi ukrepi so v Sloveniji zavarovani le redki odseki cest, železnic in druge pomembnejše infrastrukture, na primer avtocesta Lipce–Hrušica, cesta na Ljubelj, smučišči Vogel in Kanin ter železniška proga Jesenice–Nova Gorica. Podobni ukrepi so nujni tudi na nekaterih drugih krajih, toda ker so dragi, gradnja pa prepogosto odvisna od politične volje, je postavitev več lavinskih objektov v bližnji prihodnosti malo verjetna. Prav zato je za varstvo pred snežnimi plazovi bistveno prilagajanje oziroma izogibanje nevarnim območjem.

Zaradi naraščajočega obiska vzpetega sveta tudi pozimi je treba več energije usmeriti v preventivne aktivnosti. Pozitivni trendi teh prizadevanj se že kažejo v številu preventivnih tečajev varstva pred snežnimi plazovi.

Koristnih lastnosti zemljevidov nevarnosti, ogroženosti in modelov za naravne nesreče bi se morali bolje zavedati tudi prostorski načrtovalci ter odločevalci. Prilagojeni zemljevidi bi se lahko uporabljali kot didaktični pripomoček pri izobraževanju, kot orodje pri načrtovanju obiska vzpetega sveta ali kot del opozorilnih tabel na izhodiščih priljubljenjših zimskih poti.

Viri in literatura

1. Agencija Republike Slovenije za okolje, 2014. ARHIV – opazovani in merjeni meteorološki podatki po Sloveniji. Agencija Republike Slovenije za okolje. Državna meteorološka služba. <http://www.meteo.si/met/sl/app/webmet/#webmet==8Sdwx2bhR2cv0WZOV2bvEGcw9ydlJWblR3LwVnaz9SYtVmYh9iclFGbt9SaulGdugXbsx3cs9mdl5WahxXYyNGapZXZ8tHZv1WYp5mOnMHbvZXZulWYnwCchJXYtVGdlJnOnOUQUQdSf> (25. 11. 2014).

2. Agencija Republike Slovenije za okolje, 2014. Snežne razmere. Državna meteorološka služba. <http://www.arso.gov.si/vreme/napovedi%20in%20podatki/snegraz.html> [25. 11. 2014].
3. Boardman, J., 2006. Soil erosion science: Reflections on the limitation of current approaches. *Catena* 68, 2–3, Amsterdam. DOI: 10.1016/j.catena.2006.03.007.
4. Corona, C., Lopez Saez, J., Stoffel, M., Bonnefoy, M., Richard, D., Astrade, L., Berger, F., 2012. How much of the real avalanche activity can be captured with tree rings? An evaluation of classic dendrogeomorphic approaches and comparison with historical archives. *Cold Regions Science and Technology* 74–75. DOI: 10.1016/j.coldregions.2012.01.003.
5. Đurovič, B., Mikoš, M., 2006. Ali smo ogroženi, kadar tvegamo? Pojmi in izrazje teorije tveganj zaradi naravnih, geološko pogojenih nevarnosti. *Geologija*, 49/1, str. 151–161. Ljubljana. DOI: 10.5474/geologija.2006.013.
6. Gams, I., 1955. Snežni plazovi v Sloveniji v zimah 1950–1954. *Geografski zbornik* 3. Ljubljana.
7. Grilc, B., 2009. Dve sobotni intervenciji v smeri Bobnar v JZ Brani. *Gorska reševalna zveza Slovenije*. http://www.grzs.si/ftp/akcije/kamnik/bobnar_feb09.PDF [25. 11. 2014].
8. Hribi.net, 2014. Bobnarjeva grapa – Forum. Hribi.net. <http://www.hribi.net/trenutnerazmere.asp?slo=1&gorovjeid=3&sid=1591> [25. 11. 2014].
9. Izumi, M., Nakamura, T., Sack, R. L., 1997. *Snow Engineering – Recent Advances*. Rotterdam.
10. Jamieson, B., Margreth, S., Jones, A., 2008. Application and Limitations of Dynamic Models for Snow Avalanche Hazard Mapping. *International Snow Science Workshop*. Whistler, 2008. http://arc.lib.montana.edu/snow-science/objects/P__8052.pdf [18. 5. 2015].
11. Komac, B., Lapuh, L., 2014. Nekaj misli o konceptu prožnosti v geografiji naravnih nesreč. *Geografski vestnik*, 86-1, str. 37–49. Ljubljana. DOI: 10.3986/GV86103.
12. Komac, B., Natek, K., Zorn, M., 2008. Geografski vidiki poplav v Sloveniji. *Geografija Slovenije* 20. Ljubljana.
13. Kriz, K., 2001. Using GIS and 3D Modeling for Avalanche Hazard Mapping. *Commission on Mountain Cartography, International Cartographic Association*. Peking. http://www.mountaincartography.org/publications/papers/ica_cmc_sessions/2_Beijing_Session_Mountain_Carto/5_Beijing_Kriz.pdf [18. 5. 2015].
14. Mair, R., Nairz, P., 2012. *Lawine. Die 10 entscheidenden Gefahrenmuster erkennen: Praxis-Handbuch*. Innsbruck.
15. Malešič, F., 2005. Spomin in opomin gora: kronika smrtnih nesreč v slovenskih gorah. *Radovljica*.
16. McClung, D., Schaerer, P. A., 2006. *The Avalanche Handbook*. Seattle.
17. Mears, A. I., 1992. *Snow Avalanche Hazard Analysis for Land-use Planning and Engineering*. *Colorado Geological Survey Bulletin* 49. http://mearsandwilbur.com/more_topics.html [18. 5. 2015].
18. Mears, A. I., 2002. *Avalanche mapping and hazard analysis*. Elaborat, Arthur I. Mears, P. E., Inc. Colorado.
19. Mears, A. I., 2015. *Computer Modeling of Avalanche Dynamics*. http://mearsandwilbur.com/more_topics.html#modeling [18. 5. 2015].
20. Mikoš, M., 2014. O izrazih nezgoda, naravna nesreča, naravna katastrofa in naravna kataklizma. *Ujma*, 28, str. 306–310. Ljubljana.
21. Munter, W., 2009. *3x3 Lawinen Risikomanagement im Wintersport*. Garmisch-Partenkirchen.
22. Natek, K., 2011. Temeljni termini v geografiji naravnih nesreč. *Dela* 35, str. 73–101. Ljubljana.
23. Papež, J., 2011. Neme priče pri presoji nevarnosti zaradi erozijskih in hudourniških procesov. *Magistrsko delo, Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani*. Ljubljana.
24. Pavšek, M., 2002. *Snežni plazovi v Sloveniji*. *Geografija Slovenije* 6. Ljubljana.
25. Pavšek, M., Komac, B., Zorn, M., 2010. Uvodnik. Od razumevanja do upravljanja, *Naravne nesreče* 1. Ljubljana.
26. Pavšel, M., Komac, B., Volk Bahun, M., Ortar, J., Zorn, M., Ciglič, R., Ferk, M., 2013. *Zemljevidi nevarnosti za snežne plazove na Gorenjskem*. *Gorenjska v obdobju globalizacije*. Ljubljana.
27. *RAMMS – Rapid Mass Movement Simulation. A numerical model for snow avalanches in research and practice. User Manual v 1.5*. *Avalanche*. WSL Institut für Schnee und Lawinenforschens SLF. Davos, 2013.
28. Rudolf-Miklau, F., Sauermoser, S., 2011. *Handbuch Technischer Lawinenschutz*. Berlin.
29. Sinickas, A., Jamieson, B., 2012. *Statistical Avalanche Runout Models: How Well Can Computers Predict Beta?* *International Snow Science Workshop*. Anchorage. http://www.ucalgary.ca/asarc/files/asarc/Issw2012_BetaPoint_Sinickas.pdf [18. 5. 2015].
30. Sirk, K., 2011. *Ocena nevarnosti snežnih plazov na železniškem odseku Podbrdo–Hudajužna*. *Diplomska naloga, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Univerza v Ljubljani*. Ljubljana.
31. Šegula, P., 1986. *Sneg, led, plazovi: Priročnik za planince, smučarje in druge*. Ljubljana.
32. Torkar, V., 2013. *Primerjava 2D in 3D analize hudourniške pregrade s programom Midas GTS*. *Diplomska naloga, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Univerza v Ljubljani*. Ljubljana. http://drugg.fgg.uni-lj.si/4550/1/GRU3355_Torkar.pdf [18. 5. 2015].
33. Volk Bahun, M., Zorn, M., Ortar, J., Pavšek, M., 2014. *Snežni plazovi in preventiva v Srednjih Karavankah*. *Raziskave s področja geodezije in geofizike*, 2014, str. 103–113. Ljubljana.
34. Volk, M., 2010. *Snežni plazovi v Karavankah*. *Diplomsko delo, Fakulteta za humanistične študije Koper, Univerza na Primorskem*. Koper.
35. Zorn, M., Komac, B., 2004. *Deterministično modeliranje ogroženosti zaradi zemeljskih plazov in skalnih podorov*. *Acta geographica Slovenica* 44-2. Ljubljana. DOI: <http://dx.doi.org/10.3986/AGS44203>.
36. Zorn, M., Komac, B., 2008. *Zemeljski plazovi v Sloveniji*. *Georitem* 8. Ljubljana.
37. Zorn, M., Komac, B., Kumelj, Š., 2012. *Mass movement susceptibility maps in Slovenia: the current state*. *Geografski vestnik* 84-1, str. 99–112. Ljubljana.