

RHDM postopek analize potencialne ogroženosti zaradi odlomne nevarnosti

RHDM procedure for analysis of the potential specific risk due to a rockfall hazard

Blažo ĐUROVIĆ¹, Mihael RIBIČIČ² & Matjaž MIKOŠ³

¹Inštitut za vode Republike Slovenije, Hajdrihova ul. 28c, SI-1000 Ljubljana

²UL, Naravoslovnotehniška fakulteta, Aškerčeva c. 12, SI-1000 Ljubljana

³UL, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova c. 2, SI-1000 Ljubljana

Ključne besede: naravne nevarnosti, prostorsko načrtovanje, podor, odlom, analiza tveganja, nevarnost, ogroženost, tveganost, RHRS, RHDM

Key words: natural hazards, spatial planning, rock collapse, rockfall, risk analysis, hazard, specific risk, risk, RHRS, RHDM

Kratka vsebina

Teoretične osnove in praktična zakonodaja (Zakon o vodah in podzakonski akti) naj bi v prihodnje omogočali določanje in razvrščanje ogroženih območij zaradi različnih naravnih nevarnosti, med njimi tudi podorne in odlomne nevarnosti kot ene izmed pojavnih oblik nevarnosti masnega gibanja. Medstrokovna analiza, vrednotenje in obvladovanje tveganja zaradi nastopa naravnih nevarnosti so dejavniki skladnega prostorskega razvoja v prihodnosti. Zlasti analiza tveganja je bistveni del preventivnega varstvenega delovanja in temelj presoje prostorskih planov, programov in politik.

V skladu z osnovnimi principi analize tveganja je bila za ocenitev stopnje potencialne ogroženosti zaradi nevarnosti odloma skalovja vzdolž prometnic in v širšem zaledju izdelana metoda RHDM (Rockfall Hazard Determination Method). Metoda je izpeljana iz znanega klasifikacijskega sistema RHRS (Rockfall Hazard Rating System) in je prilagojena postopku celovite analize tveganja. Vključuje rezultate simulacije pojava v izbranim računalniškem programom za analizo gibanja podornih gmot v lokalnem merilu ter vpeljuje kriterija klimatskih in seizmoloških pogojev ter je tako bolj primerna za specifične geološke razmere v Sloveniji.

Abstract

Theoretical basis and practical legislation (Water Law and regulation acts) would allow in future the determination and classification of endangered territorial zones due to various natural hazards, among them also due to rock collapse and rockfall hazard as forms of the mass movement hazard. Interdisciplinary risk analysis, assessment and management of natural hazard are factors of harmonious spatial development in future. Especially risk analysis is the essential part of preventive mitigation actions and forms the basis for evaluation of the spatial plans, programs and policies.

In accordance with the basic principles of the risk analysis the Rockfall Hazard Determination Method (RHDM) for estimation of the potential specific risk degree due to a rock fall hazard along roadways and in hinterland is introduced. The method is derived from the Rockfall Hazard Rating System (RHRS) and adjusted to a holistic concept of the risk analysis procedure. The outcomes of the phenomenon simulation with a computer programme for rock mass movement analysis at local scale are included as well as climate and seismic conditions criteria which are newly introduced, thus making this method more adequate for specific geologic conditions in Slovenia.

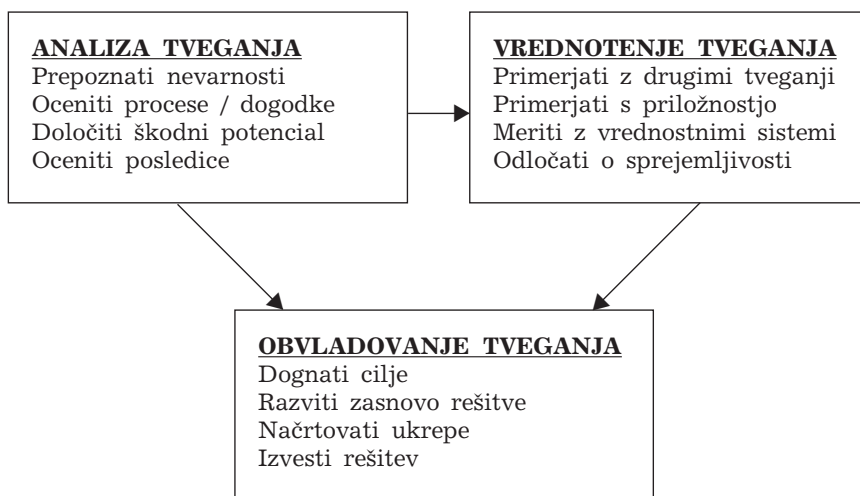
UVOD

Podorni pojavi se v hribovitem oziroma gorskem naravnem okolju pojavljajo razmerno pogosto, verjetnosti in obsega njihovega nastopa ni mogoče zanesljivo napovedovati in zato predstavljajo grozljivo obstoječi rabi prostora (ogrožajo človeška življenja, materialne dobrine in posredno tudi naravno okolje). Vrsta podornega pojava so tudi odlomi kamenja, skalovja ali blokov, ki ogrožajo zlasti objekte transportnega povezovanja krajev (cestni in železniški useki v kamninskem materialu pod naravnimi strmimi skalnimi pobočji), včasih pa tudi gradnje v bližini kamnolomov ipd. Čeprav ne povzročajo take stopnje tveganja na nivoju škodnega potenciala materialnih dobrin kot na primer skalni in gorski podori ali drugi masni premiki, ki včasih popolnoma prekinajo komunikacijske poti, pa lahko kljub temu rečemo, da ponekod, na nivoju škodnega potenciala človeških življenj, ne zaostajajo za drugimi oblikami masnih premikov.

Preventivna oblika ravnanja z naravnimi nevarnostmi in tveganji zaradi njih je zakonsko sprejeta oblika varstva pred naravnimi nesrečami po Zakonu o varstvu pred naravnimi in drugimi nesrečami, ZVNDN (Ur. l. RS, št. 64/94, 33/00, 87/01) in iz njega izhajajočem Nacionalnem programu varstva pred naravnimi in drugimi nesrečami, NPVNDN (Ur. l. RS, št. 44/02) ter Zakonu o

vodah, ZV-1 (Ur. l. RS, št. 67/02, 110/02). Naravna nesreča [ang. *natural disaster*, fr. *catastrophe naturel*, nem. *Naturkatastrophe*, it. *disastro naturale*] pomeni realizirano nevarnost, ki jo spremlja dejanska škoda, medtem ko je potencialna naravna nevarnost [ang. *natural hazard*, fr. *aléa naturel*, nem. *Naturgefahr*, it. *pericolo naturale*] vedno v zvezi s škodnim potencialom, kar pomeni, da je za celovito preventivno delovanje nujna pravilna in postopna presoja tveganja zaradi naravnih nevarnosti.

Moderna obravnava tveganja sestoji iz analize, vrednotenja in obvladovanja tveganja (preglednica 1). Po Kienholzu et al. (1998) je *analiza (ocena, presoja) tveganja* sistematičen postopek označitve in, kadar je mogoče, tudi kvantifikacije verjetnosti nastopa nevarnosti in škodnega potenciala; *vrednotenje tveganja* pomeni presojo o sprejemljivosti z analizo tveganja pridobljenih znanj s pomočjo individualnih ali kolektivnih kriterijev (tj. apliciranje vrednostnega sistema na dejansko stanje) in odgovarja na vprašanje »Kaj se sme zgoditi?«; *obvladovanje tveganja* opisuje ravnanje z znanimi nevarnostmi ter tveganji na temelju izidov analize in vrednotenja tveganja, ki se lahko izvaja *preventivno* (z zmanjšanjem verjetnosti ali škod na nivo sprejemljivega tveganja), *reaktivno* (z ukrepanjem ob nesreči) in *neaktivno* (s preprosto ohranitvijo in nadzorom statusa quo).



Preglednica 1. Trije deli moderne obravnave tveganja (Heinimann et al., 1998).

Table 1. Three parts of a modern risk treatment (Heinimann et al., 1998).

Komunikacija pri tveganju je interaktivna izmenjava informacij in mnenj o tveganjih med udeleženci, oblastjo in strokovnjaki (z izbiranjem med možnostmi na temelju enakopravnega odločanja).

Pravilna identifikacija potencialnih območij nastanka pojavov, presoja nevarnosti in določitev stopnje potencialne ogroženosti prostorskih vložkov, omogočajo implementacijo stabilizacijskih zaščitnih ukrepov še pred nastopom nevarnega dogodka in s tem povečanje varnosti ter tudi znatno zmanjšanje stroškov. Zato je treba na podlagi analize topografskih, geomorfoloških in geoloških parametrov lokacije določiti dovzetnost območja za nastanek podornega pojava (v našem primeru odloma skalovja) ter iz nje s pomočjo napovedi magnitude nevarnosti in dosega pojava (modeliranje procesa z računalniškim programom), upoštevajoč izpostavljenosti posameznih prostorskih vložkov (cestišče s pripadajočimi objekti, vozila, ljudje, objekti izven območja ceste), določiti stopnjo potencialne ogroženosti teh vložkov in celotnega območja.

OPREDELITEV MASNEGA PREMIKA

Analiza tveganja zaradi nevarnosti masnega premika je izrazito medstrokovna dejavnost, ki zaradi uskladitve in poenotenja praks na področju ocenjevanja ogroženosti zahteva natančno in nedvoumno opredeljevanje pojmov, tako tistih v zvezi z obravnavo tveganja, kakor tudi tistih v zvezi s samim naravnim pojavom. V inženirskogeološki in geotehnični literaturi, tako domači kot tuji, ni enotnih opredelitev in razvrstitev pojava in pojavnih oblik masnega premika (masno gibanje + masni transport).

Masno gibanje [ang. *mass (slope) movement*, tudi *landslide*, fr. *mouvement de terrain*, nem. *Massenbewegung*, it. *frana*] je v splošnem pojav, ko pride do premestitve tal in podtalja v odvisnosti od številnih naravnih in antropogenih dejavnikov oziroma, kot je zapisano v opredelitvi UNIDNDR (UN International Decade for Natural Disaster Reduction 1990–2000), kadar se pojavi zdrs in premestitev zemljin in hribinskega materiala vzdolž pobočij zaradi neposrednega učinka gravitacijskih sil.

Skaberne (2001) definira pojav na naslednji način: »Pobočna premikanja so raz-

lična gibanja kamninskih [hribinskih], sedimentnih in preperinskih [zemljskih] mas (gmot) po pobočju pod vplivom težnosti (gravitacije). (V okroglih oklepajih je navedeno drugo izrazje, ki bi ga lahko uporabljali. V oglatih oklepajih so navedeni geomehanski termini.)«

Ribičič (2002) navaja tri tipične vrste geoloških destruktivnih procesov, ki delujejo pod vplivom eksogenih sil: *preperevanje*, *erozija* in *masno gibanje*. Erozijski ali denudacijski sestavlja celoten proces razpadanja kamnin in njihov transport z višjih delov navzdol (Pavšič, 1993), torej lahko rečemo, da preperevanje (fizikalno ali kemijsko) predstavlja primarno fazo, masno gibanje pa sekundarno fazo erozijskega procesa.

V švicarski literaturi najdemo opredelitev, ki ločuje med dvema vrstama prelaganja gmot (povzeto po Kienholzu et al., 1998): »Skupek geoloških/geomorfoloških procesov, ki ga imenujemo *prelaganje gmot*, ima dve pojavni obliki: *masno gibanje* in *masni transport*. Pri masnem gibanju gre za prelaganje materiala z enega na drug kraj zaradi delovanja sile teže in brez pomoči transportnega medija (led, sneg, voda, ...) kot je to slučaj pri masnem transportu.«

Tudi Mikoš (1995) uvaja delitev erozijskih pojavov glede na medij v snežno, vodno, ledeniško in plazno erozijo ter posebej podorno erozijo, kjer za zadnji dve obliki lahko velik del vpliva pripišemo težnosti, zato včasih nastopa tudi poimenovanje gravitacijska (težnostna) erozija.

Potrebno je ločevati med vzrokom, povodom, mehanizmom gibanja, vrsto transportiranega materiala in vrsto transportnega medija. Na primer, preperevanje ne more biti neposredni povod za nastanek gibanja, lahko je le vzrok sprožitve gibanja pod vplivom gravitacije. Sprožitveni pogoj: zunanja sila > (kot notranjega trenja + kohezija). Zaključimo lahko: »Masni premik (masno gibanje + masni transport) je geomorfološki proces prelaganja gmot iz labilnega v stabilno ravnotežje pod vplivom sile teže, z ali brez pomoči transportnega medija in zaradi učinkov stalnih in občasnih dejavnikov, ki povzročajo nenehno prehajanje gmot iz stabilnega, prek indiferentnega v labilno ravnotežje.«

Med vzroki in povodi za nastanek pobočnih procesov ločujejo tudi v geografiji (Zorn & Komac, 2002): »Dejavniki, ki dlje časa

delujejo na potencialno mesto sprožitve in s svojim delovanjem v sistemu krhajo ravnovesje, so *vzroki* za nastanek pobočnih procesov. Tisti dejavnik, ki dokončno podre dinamično ravnovesje v sistemu oziroma sistem sune prek praga v novo stanje, pa je *povod*. Po sprožitvi se na območju sprožitve vzpostavi novo dinamično ravnovesje, ki vztraja toliko časa, dokler *vzroki* ne privedejo novega sistema do novega praga, *povod* pa nato spet čezenj.«

Transportiran material je lahko trdna kamnina, tj. hribina (ang. *rock*) in nevezana kamnina, tj. zemljina (ang. *soil*), lahko pa tudi polvezana kamnina, tj. polhribina (ang. *softrock*). Zemljine dalje delijo po granulometrični sestavi na zemlje (ang. *earth*) v katerih je manj kot 80 % zrn večjih od 2 mm (proda ali grušč), in drobir (ang. *debris*), ki vsebuje več kot 80 % zrn večjih od 2 mm (Skaberne, 2001). Po mednarodnih granulometričnih klasifikacijah (MIT, USCS, ...) sestavljajo grušč (imenovan tudi gramoz, prod, drobir, talus) delci v razponu med 2 in 60 mm z več kot 50% zastopanostjo. Bolj drobne klastične usedline in produkti preperavanja so peski, nato melji in na koncu gline. Najdrobnejši so koloidni delci.

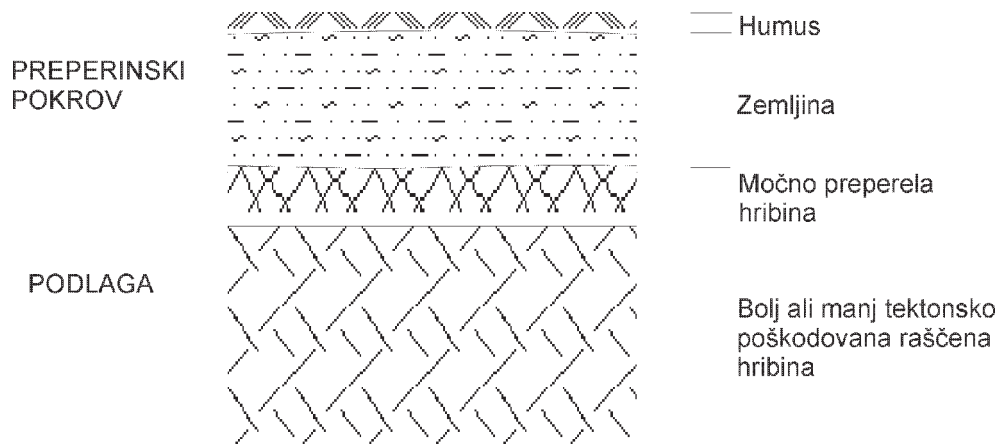
Navedimo še nekaj definicij v zvezi z masnimi premiki (SSKJ, 1994), skupaj s pripadajočimi komentarji:

DROBIR sestavljajo delci, koščki zdrobljene snovi. GRUŠČ so ostrorobi odkrušeni

kosi kamnine. Termin drobir torej vključuje tako grušč kot tudi ostale koščke zdrobljene snovi (kakršnekoli!).

MELIŠČE sestavljata grušč in pesek, ki se nabirata ob vznožju (gorskih) sten in pobočij. VRŠAJ je nizkemu širokemu kupu podoben nanos, ki ga naredi reka, potok ob izstopu iz ozkih stranskih dolin v širšo glavno dolino. MORENA ali GROBLJA je nasutina ledenika. Vršaj je nasip hudourniških, rečnih ali plitvovodnih sedimentov in se torej oblikuje s pomočjo vodne sile, zato ga kot takega ne moremo obravnavati kot produkt masnega gibanja ampak kot odkladnino masnega transporta. Podobno velja za moreno. Material z vršaja ali morene pa lahko nastopa kot transportiran material pri masnem gibanju. Melišče je območje nabiranja kamninskega materiala pod strmimi stenami kot posledice fizikalnega preperavanja in zato ga lahko smatramo za odkladnino masnega gibanja.

TLA nastanejo s preperevanjem in tvorijo podlago za rast rastlin, torej so preperinski pokrov (zemljina + humus; slika 1) in ne, kot lahko zasledimo v literaturi (npr. Kienholz et al., 1998), zgolj zmes vode, zraka in organizmov (ki skupaj tvorijo humus). V Zakonu o varstvu okolja (ZVO-1) se pojavljajo v zvezi tla-voda-zrak: »Deli okolja so tla, mineralne surovine, voda, zrak in živalske ter rastlinske vrste, vključno z njihovim genskim materialom.« ZEMLJA-PRST je zgor-



Slika 1. Značilna zgradba pobočja (Ribičič, 2002).

Figure 1. Typical structure of a slope (Ribičič, 2002).

nji del preperine, USEDLINA ali SEDIMENT pa je s svojega mesta nastanka premaknjena preperina (Pavšič, 1993).

PLAZINA, PLAZIŠČE ali PLAZOVJE je svet, na katerem so pogosto plazovi. PLAZOVINA je plaz kot gmota. PLAZNICA je sled, ki jo naredi plaz na snežni površini. Opozoriti je treba na razliko v izrazu za labilno pobočje, ki ga geotehnika in geologija imenuje plazovit teren (plazovitost), hidrotehnična stroka pa za plazenje tal uporabi zvezo plazljiv teren (plazljivost), plazovitost pa v zvezi z nastopom snežnega plazu.

Problematično je tudi poimenovanje samih pojavnih oblik masnih premikov. Gams (2001) ugotavlja: »Iz tuje in domače literature je razvidno, da so poimenovanja vrst masnih gibanj navadno sestavljena iz dveh prvin: prva določa način in hitrost premikanja gmote, druga pa zrnavostno sestavo plazovine. Tem dvobesednim terminom lahko dodamo še dodatno oznako, npr. glede na obnašanje delov plazovine med plazenjem (npr. rotacijski plaz zemljine). Če želimo opredeliti izraz glede na material, ki se premika kot drobirski tok, dodamo še dodatno oznako (npr. gruščnati drobirski tok, muljasti drobirski tok, muljasto peščeno prodnati drobirski tok).«

Vrste masnih premikov lahko glede na mehaniko in hitrost gibanja delimo na (povzeto po Lateltin, 1997):

PADANJE → **podorni procesi ali podori**: začetno premikanje je kratko plazenje ali prevračanje hribske gmote, ki nato pada prosto, odskakuje, se kotali in drsi po pobočju; med drobcji ni pomembnejše interakcije; gibanje je nenadno in hitro.

Podor je nenadna porušitev kompaktne kamnine ob zalednih razpokah na zelo strmem ali navpičnem naravnem pobočju (red-

keje umetni brežini), medtem ko je odlom skalnih blokov podoben pojav manjših dimenzij. Podorne pojave ločimo od odlomnih po naslednjem kriteriju: pri podoru začetna podorna gmota razpade in podornino (tj. odkladnino podornega pojava) tvorijo posamezni deli osnovne podorne gmote, pri odlomu pa velja predpostavka, da je podorna gmota približno enaka podornini. Za izrazno in kvantitativno opredelitev podornih pojavov so predlagani nekateri termini in kriteriji uvrščanja (preglednica 2).

PLAZENJE → **plazovni procesi ali plazovi**: gibanje plazovine je translacijsko ali rotacijsko (pri rotacijskem plazu imamo porušitev po polkrožni strižni ploskvi, pri translatorni porušitvi pa imamo opravka z ravno drsno površino).

Plaz je premikanje dela površinske zemeljske mase po pobočju, ki ga povzroči delovanje težnosti ob porušni ploskvi (drsini) z zmanjšano strižno trdnostjo.

TEČENJE → **tokovni procesi ali tokovi**: gibanje je prostorsko neprekinjeno, strižne ploskve se oblikujejo le za kratek čas, so gosto razporejene in se običajno ne ohranijo; razporeditev hitrosti mase v gibanju je enaka kakor pri viskozni tekočini; zrak in voda sta pomembna dejavnika.

Inženirsko zanimive so naslednje pojavnosti oblike masnega gibanja:

- ODLOM (kamenja, skalovja, blokov) in PODOR (skalni, gorski)
- PLAZ (zemljinski, hribski) in USAD
- POBOČNI BLATNI TOK in POBOČNI DROBIRSKI TOK (*nastanek in gibanje po pobočju*)

in masnega transporta:

- POPLAVE in VODNA EROZIJA (morskih voda; celinskih voda → *površinska, globinska, bočna*)

POJAV	DIMENZIJA PODORNE GMOTE	
	V (prostornina)	φ (premer, največja dimenzija)
SPROŠČANJE ZEMLJINE (DROBIRJA IN ZEMLJE)	< 100 cm ³	< 6 cm
ODLOM KAMENJA	100 cm ³ do 20 dm ³	6 cm do 3 dm
ODLOM SKALOVJA	20 dm ³ do 2 m ³	3 dm do 2 m
ODLOM BLOKOV	2 m ³ do 200 m ³	2 m do 7 m
SKALNI PODOR	200 m ³ do 1*10 ⁶ m ³	> 7 m
GORSKI PODOR	> 1*10 ⁶ m ³	> 7 m

Preglednica 2. Klasifikacija podornih pojavov (Đurović, 2004).

Table 2. Classification of the rockfall phenomena (Đurović, 2004).

- BLATNI TOK in DROBIRSKI TOK (*gibanje po strugi*)
- SNEŽNI PLAZOVI

OPREDELITEV ANALIZE TVEGANJA

Tveganje za ranljiv prostorski vložek določene vrednosti, ki je izpostavljen nastopu nevarnosti z določeno magnitudo in verjetnostjo nastopa, kartografsko opredelimo kot tveganost (slika 2).

Veljajo naslednji odnosi:

$$T = N(M, P) \cdot I_v \cdot R \cdot V = N(M, P) \cdot \check{S}P$$

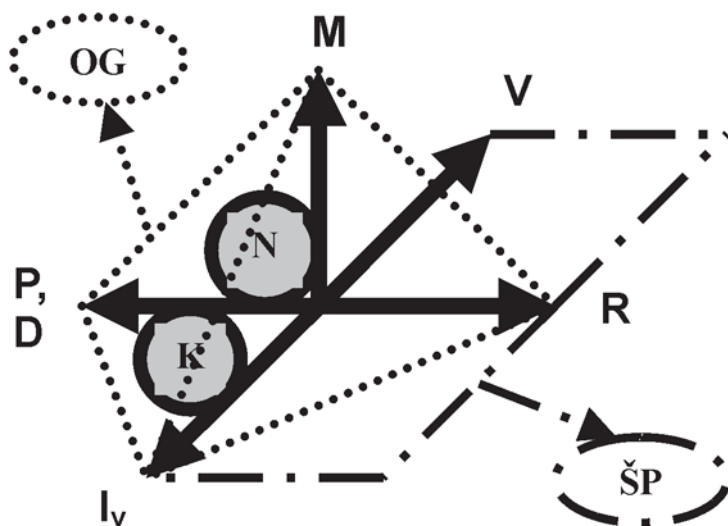
$$OG = N(M, P) \cdot I_v \cdot R$$

$$K = N(P) \cdot I_v$$

Zgoraj prikazane zveze kažejo na nujnost sodelovanja različnih strok. Kot primer vzemimo magnitudo naravne nevarnosti (M), pri kateri pride do izraza matematično modeliranje naravnega pojava; ali pa na primer verjetnost nastopa naravne nevarnosti (P), ki večinoma ni določljiva brez kakovostne hidrogeološke presoje dovzetnosti območja za nastanek naravnega pojava (D), tj. relativne nevarnosti, saj ponavadi nimamo na razpolago dovolj velikih statističnih vzorcev (kakor pri periodičnih nevarnostih kot so poplave, pa tudi snežni plazovi), ki bi zadovoljili potrebo po natančnosti. Kienholz et al. (1998) ločujejo med naslednjimi vrsta-

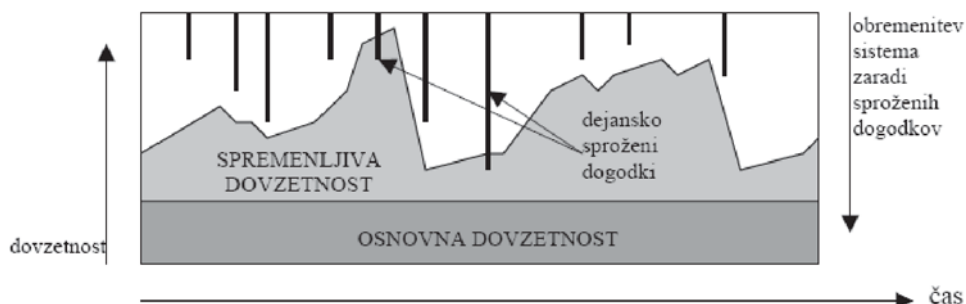
mi nevarnosti: *spremljano* (iz izkušenj, po analogiji s podobnimi območji, z modelnimi preiskavami in izračuni), *pogojno* (ne obstaja v sedanosti, vendar je pričakovana ob spremembi okolja) in *dokazano* (je že delovala in pustila sledi - neme priče, dokumenti). Spremljana in dokazana nevarnost sta močno povezani z dovzetnostjo, ki jo opredeljuje kot pripravljenost ali nagnjenost gmote vode, snega, ledu, zemljin in hribin (v čisti obliki ali mešanici) k premikanju v nižje lege pod vplivom sile teže, kar lahko pripelje do škod. Dispozicijo delijo na *osnovno* (načeloma je to pripravljenost ali nagnjenost k nevarnim procesom; ta ostaja dolgo časa enaka - relief, geologija, podnebje, rastlinska sestava) in *spremenljivo* (pri dani osnovni dispoziciji časovno spremenljiva, v določenem obsegu negotova nagnjenost k nevarnim procesom - vreme, zadrževanje vode, poraščenost) (slika 3).

Očitno je tudi, da pri presoji ranljivosti prostorskih vložkov oziroma ogroženec (R) ne gre brez sodelovanja gradbenega konstruktorja, medtem ko pri izračunu izpostavljenosti prostorskih vložkov (I_v) pride do izraza predvsem poznavanje osnov matematičnega področja verjetnostne analize, zlasti pri obravnavi izpostavljenosti premičnih prostorskih vložkov na transportnih komunikacijah. Na koncu naj omenimo tudi možnost vključitve zavarovalnic v presojo vrednosti ogroženec (V), saj Nacionalni pro-



Slika 2. Zveze med dejavniki analize tveganja, prikazane v prostorskem koordinatnem sistemu.

Figure 2. Relations between risk analysis parameters shown in a spatial coordinate system.



Slika 3. Dovzetnost območja in sproženi dogodki (Kienholz et al., 1998).

Figure 3. Susceptibility of the area and triggered events (Kienholz et al., 1998).

gram varstva pred naravnimi in drugimi nesrečami v zvezi s preventivnim prostorskim delovanjem pravi, da je potrebno »vzpodbuhati fizične in pravne osebe, da bi sklenili premoženjsko zavarovanje pred nesrečami«.

Pomensko ustrezni prevodi tujih strokovnih besed in besednih zvez so ključnega pomena za poenotenje izrazja s področja analize tveganja, ki bi omogočilo boljše sporazumevanje med strokami. Manjkajoči

ustrezniki v spodnji preglednici zgolj opozarjajo na nesmiselnost in neuporabnost dobesednega prevajanja termina, brez potrditve o rabi v tujem jeziku (preglednica 3).

POSTOPEK ANALIZE TVEGANJA

Določitev obsega in stopnje ogroženosti delov posameznih območij je poglavni del-

	SL	EN	DE	FR	IT
M magnituda naravne nevarnosti		magnitude	Magnitude	magnitude	magnitudo
P verjetnost nastopa naravne nevarnosti v točki (x, y, z; t)		occurence probability	Eintretenswahrscheinlichkeit	probabilité d'occurrence	probabilità di occorrenza
D dovzetnost območja za nastanek naravne nevarnosti		susceptibility	Suszeptibilität	susceptibilité	suscettibilità
R ranljivost prostorskega vložka (ogroženca)		vulnerability	Vulnerabilität, Verwundbarkeit	vulnerabilité	vulnerabilità
I_v izpostavljenost ogroženca = verjetnost prisotnosti ogroženca v točki (x, y, z; t)			Präsenzwahrscheinlichkeit		esposizione al rischio
V vrednost ogroženca	worth of element at risk		(Wert vom?) Risikoelement	valeur de l'enjeu	valore degli elementi a rischio
N nevarnost	hazard		Gefahr	aléa	pericolosità
T tveganost	(total) risk		(totales) Risiko	risque (totale)	rischio (totale)
K verjetnost kolizije nevarnosti in ogroženca	impact probability				probabilità di impatto
ŠP škodni potencial			Schadenspotential		
OG ogroženost	specific risk		spezifisches Risiko	risque spécifique	rischio specifico

Preglednica 3. Nekateri osnovni termini analize tveganja v petih evropskih jezikih.

Table 3. Some basic risk analysis terms in five European languages.

ni rezultat analize tveganja. Končni rezultat je stopnja tveganosti za posamezen prostorski vložek. Štirje osnovni koraki so:

1. $OG^i = N(0,1) \cdot I_v \rightarrow$ OPOZORILNA KARTA NEVARNOSTI $N(0, 1)$ oziroma KARTA OBMOČIJ

Delna ogroženost upošteva le časovno-prostorsko komponento lastnosti ogroženec in ne njihove ranljivosti. Poleg tega obravnavamo le prisotnost in ne stopenj nevarnosti.

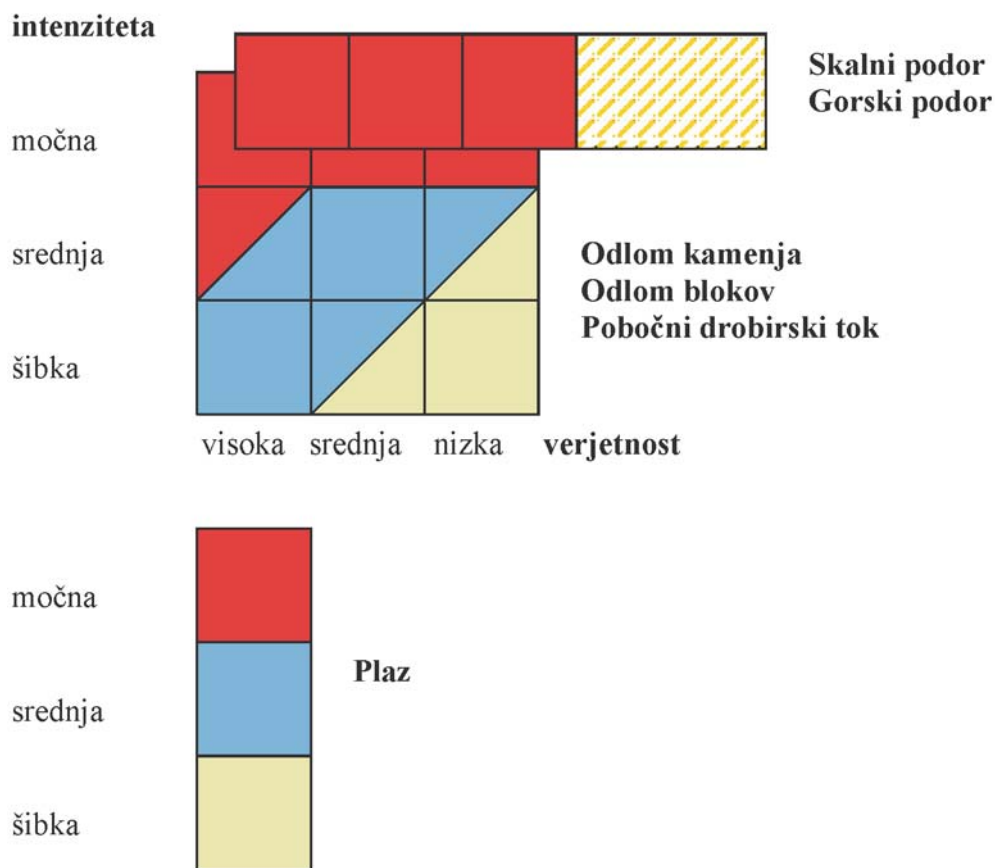
2. $N(M, P) \rightarrow$ KARTA NEVARNOSTI $N(M, P)$

Zaradi enakovrednega ocenjevanja različnih pojavov je potrebno izdelati enotne diagrame nevarnostnih stopenj (slika 4). Za mero nevarnosti vzamemo oba parametra, magnitudo in verjetnost nastopa. Parame-

tra sta predstavljena kot matrična razreda in ne kot metrični vrednosti. Tako ločimo med tremi nevarnostnimi stopnjami, označenimi z rdečo (na sliki 4 temno sivo), modro (na sliki 4 svetlo sivo) in rumeno barvo (na sliki 4 belo sivo). Pri podorih nastopi posebnost v primerjavi z drugimi masnimi gibanji, ker izvedemo preveritev nevarnostne situacije za zelo redke dogodke in take površine se prikažejo v rumeno beli šrafuri.

Primerjava razlik med opozorilno karto nevarnosti in karto nevarnosti je podana v preglednici 4.

Stopnje se določijo za vsako vrsto nevarnosti ločeno. Če je površina izpostavljena več vrstam nevarnosti (npr. pogosti podori na plazljivem zemljišču), se take razmere ustrezno upoštevajo na karti nevarnosti. Pri tem je odločilna najvišja stopnja ogrožanja.



Slika 4. Diagrami nevarnostnih stopenj (Lateltin, 1997).

Figure 4. Hazard level diagrams (Lateltin, 1997).

Praviloma zgolj zaradi samega prekrivanja več nevarnosti ne pride do uvrstitve območja v višji razred.

Po APB-S (2004) **NAČRT OGROŽENIH OBMOČIJ** vsebuje **KARTO OBMOČIJ** z označenimi tremi nivoji obdelave npr. v merilu 1:25.000, **KARTO POJAVOV** z znaki in pokazatelji (»neme priče«) masnih gibanj ter **KARTO NEVARNOSTI** npr. v merilu 1:5.000 do 1:10.000 glede na nivo obdelave. Priloženi so vsi ostali podatki (npr. zgodovina, fotografije, modeliranja, vmesni kartografski produkti).

3. $OG = N(M, P) \cdot I_v \cdot R \rightarrow$ KARTA OGROŽENOSTI

Nastane s prekritjem karte nevarnosti s **KARTO RANLJIVOSTI** prostorskih vložkov (preglednica 5). Ranljivost ogroženca lahko obravnavamo kot verjetno stopnjo poškodb v odvisnosti od magnitude pojava in kakovosti strukture oz. karakteristik ogroženca (matrika!). Obstajajo tri skupine ogroženecv: človeška življenja, materialne dobrine in okolje.

Billot et al. (2003) povzemajo po Bortterju (1999) naslednjo metodologijo. Prostorski vložki se identificirajo v bazi geografskih podatkov: ceste, železnice, stavbe, industrija idr. Vsakemu je dodeljen kazalec, ki označuje zahtevano stopnjo. Ti kazalci tvorijo matriko kategorij objektov. Objekti šibke kategorije (A, B in C) ustrezajo škodi zgolj materialnega reda (neposeljena zemljišča) in objekti najvišje kategorije ustrezajo potencialnim izgubam človeških življenj (urbana območja) (F in G). Vzporedno je ustvarjena *matrika ranljivosti*, ki temelji na sedmih prej navedenih kategorijah (preglednica 6). Tako dobimo dve **karti ranljivosti**.

Stopnjo ogroženosti določa matrični produkt (preglednica 7).

4. $T = N(M, P) \cdot I_v \cdot R \cdot V = N(M, P) \cdot \dot{S}P \rightarrow$ KARTA TVEGANOSTI

Nastane z vključitvijo **VREDNOSTI PROSTORSKIH VLOŽKOV** (bodisi skupine enakovrednih prostorskih vložkov, bodisi posameznega prostorskega vložka) v karto ogroženosti.

OPOZORILNA KARTA NEVARNOSTI	KARTA NEVARNOSTI
Namen	
Najprej osnova usmeritvenega planiranja, grobega prepoznavanja spornih območij, če ni na voljo nobenih že izdelanih kart nevarnosti	Osnova usmeritvenega planiranja in planiranja rabe, kakor tudi projektiranja ukrepov varovanja
Vsebina	
Grob pregled stanja ogroženosti; navedbe o vrsti nevarnosti brez ocene stopnje nevarnosti (brez intenzitet in verjetnosti nastopa nevarnosti); izločanje obsežnejših območij	Natančne navedbe o vrsti tveganja, prostorski razprostranjenosti in stopnji ogrožanja (tri stopnje), podrobna dokumentacija
Natančnost obdelave	
Nizka	Visoka (razmejitev na parcelo natančno)
Merilo	
1:10.000 do 1:50.000	1:2.000 do 1:10.000
Obravnavana območja	
Regije ali celi kantoni	Težišče na zaokroženih poseljenih ali v prihodnosti zaokroženih poseljenih območjih, kakor tudi prometnicah in po možnosti turističnih napravah
Preverjanje	
Periodično v okviru revizij usmeritvenih planov in planov rabe	
Dopolnjevanje	
Ob spremenjeni nevarnostni situaciji (npr. po izvedbi ukrepov varovanja, spremenjenih naravnih danostih)	

Preglednica 4. Primerjava dveh vrst kart nevarnosti kot jih poznajo v Švici (Lateltin, 1997).

Table 4. Comparison between the two types of the hazard map as are known in Switzerland (Lateltin, 1997).

**ANALIZA TVEGANJA NA
PROMETNICAH Z UPORABO IZVORNE
(Pierson et al., 1990) IN PRIREJENE
(Budetta & Panico, 2002; Budetta,
2004) METODE RHRS**

Večina cestnih brežin in pobočij je izvedenih na temelju geotehničnih analiz zgolj cestnega telesa in analiz, ki se večinoma ukvarjajo s skupno stabilnostjo pobočij glede na plazne procese, skalne in gorske podore. Le redko naletimo na analize odlomov kamena, skalovja in blokov. Najbolj razširjena metoda za kvalitativno analizo ogroženosti cestnih odsekov je Rockfall Hazard Rating System RHRS (Pierson et al., 1990), ki so jo razvili na Oregon State Highway Division (ZDA) z namenom varovati cestni promet pred nevarnostjo odlomov (Hoek, 2000). Klasifikacijski postopek je izdelan ta-

ko, da ga je mogoče izvajati razmeroma preprosto, s terenskim ogledom in preprostimi izračuni. V metodi, ki je odvisna od devetih kategorij, so za predstavitev naraščanja ogroženosti uporabljene eksponentne funkcije točkovanja. Seštevek točk, večji od izbrane kritične vrednosti, določa pobočja, ki so posebej nevarna in zahtevajo takojšnja ureditvena dela za omejitev preostale ogroženosti ali nadaljnjo detajlno proučitev. Uporablja se za razvrščanje pobočij vzdolž cestnih odsekov glede na stopnjo ogrožanja vozil.

Izkušnje kažejo, da izvorna metoda RHRS (Pierson et al., 1990) ni primerna za popolno vrednotenje nevarnosti, razen za vrednotenje cestnega tveganja (Chiesurin & Fenti, 2002). Metodo RHRS je priredil Budetta (2004): »Iz izvorne RHRS-metode je dobljena prirejena RHRS-metoda za analizo

OGROŽENOST OG		NEVARNOST N				Legenda:
		N4 – zelo velika	N3 – velika	N2 – srednja	N1 – preostala	
RANLJIVOST R	R4 – zelo velika	OG 4	OG 4	OG 2	---	OG 4 zelo velika
	R3 – velika	OG 4	OG 3	OG 2	---	OG 3 velika
	R2 – srednja	OG 2	OG 2	OG 1	---	OG 2 srednja
	R1 – majhna	OG 1	OG 1	OG 1	---	OG 1 majhna

Preglednica 5. Kombinacijska matrika za izdelavo kart ogroženosti na Južnem Tirolskem v Italiji (APB-S, 2004).

Table 5. Combination matrix for making the maps of specific risk in South Tyrol in Italy (APB-S, 2004).

kategorija objekta	P_m (izguba materialnih dobrin)	P_h (izguba človeških življenj)	P_h (izguba zaradi sekundarnih učinkov)
A	Šibka	Šibka	se ne obravnava
B	Srednja	Šibka	
C	Srednja	Šibka	
D	Srednja	Srednja	
E	Močna	Srednja	
F	Močna	Močna	
G	Močna	Močna	

kategorija	A → F		G
stopnja potrebnega varovanja	nična ali neznatna	visoka	visoka (stopnja obravnave odvisna od primera do primera)
škoda	zgolj materialna	možne so tudi izgube življenj	

Preglednica 6. Matrika ranljivosti (Billot et al., 2003).

Table 6. Vulnerability matrix (Billot et al., 2003).

podornega tveganja vzdolž prometnic. V izvorni RHRS-metodi so na primer nekatere kategorije opisane zgolj kvalitativno in lahko pripeljejo do preveč grobih in subjektivnih ocen, in zato ne dovolj občutljivih. To velja zlasti za naslednje kategorije: učinkovitost zadrževalnega jarka, geološki značaj, vremenske razmere in prisotnost vode na pobočju ter zgodovina pojava. Tako imajo lahko le zelo izkušeni uporabniki kakšno korist od te metode.«

V prirejani RHRS-metodi so natančneje opredeljene, poenostavljene, prirejene ali nadomeščene naslednje kategorije: učinkovitost zadrževalnega jarka, geološke značilnosti, velikost skale/prostornina podornine, vremenske razmere in kroženje vode ter zgodovina dogodkov. Glavna sprememba pa nastopi z uvedbo Slope Mass Rating metode (SMR), ki izboljšuje ocenitev geoloških značilnosti, prostornino potencialno nestabilnih blokov in kroženje podzemne vode. Ostale spremembe se nanašajo na točkovanje dveh kategorij: deleža reakcijske poti in geometrije cestišča v skladu z italijanskimi standardi.

Budetta (2004) še navaja: »EkspONENTNE funkcije točkovanja so uporabljene za

predstavitve naraščanja nevarnosti in ranljivosti, ki se odražata v devetih kategorijah, ki tvorijo klasifikacijo. Rezultirajoče skupno število točk vsebuje bistvene elemente ocene stopnje izpostavljenosti tveganju vzdolž cest,« in razvršča kategorije iz izvorne RHRS-metode na naslednji način: za parametre nevarnosti šteje višino pobočja, geološki značaj, prostornino podornine/velikost bloka, vremenske razmere in prisotnost vode na pobočju ter zgodovino pojava; za elemente ranljivosti vozila pa učinkovitost zadrževalnega jarka, povprečno tveganje za vozilo, odstotek reakcijske poti in širino cestišča. Podobno tudi opredeljuje vrednotenje nevarnosti (kamor uvršča mehanizme proženja in parametre dosega) ter ranljivost vozil na cesti (ki je zanj odvisna od nekaj dejavnikov, povezanih z obravnavano interakcijo med vrsto vozila/podorno gmoto: hitrost in dolžina vozila, razpoložljiva reakcijska pot, prometni volumen, dolžina odseka podornega tveganja vzdolž ceste, število oseb v vozilu in vrsta vozila). »Izpostavljenost tveganju« zaradi podorov in v zvezi s cestami pa izraža s produktom letne verjetnosti nastopa podornega pojava, ver-

nivo nevarnosti	visok	OG2	OG4	OG5
	srednji	OG2	OG3	OG4
	nizek	OG1	OG1	OG1
		šibka	srednja	močna
ranljivost (izguba človeških življenj)				
nivo nevarnosti	visok	OG3	OG4	OG5
	srednji	OG2	OG3	OG4
	nizek	OG1	OG2	OG3
		šibka	srednja	močna
ranljivost (materialne izgube)				

Preglednica 7. Matriki ogroženosti (Billot et al., 2003).

Table 7. Specific risk matrix (Billot et al., 2003).

jetnosti, da je vozilo prostorsko na poti dogodka, ko ta nastopi, verjetnosti, da je vozilo časovno na poti dogodka, ko ta nastopi, in verjetnosti, da je posledično nastopila smrt ene ali več oseb v vozilu.

ANALIZA POTENCIALNE OGROŽENOSTI S POMOČJO METODE RHDM

Zaradi uskladitve z opredelitvami iz obstoječe metodologije določanja podorne ogroženosti prostora (Đurović, 2004 in Đurović & Mikoš, 2004) smo izvorno in prirejeno RHRS-metodo nadgradili v novo metodo RHDM (Rockfall Hazard Determination Method).

Statistični pristopi so zelo kompleksni in zahtevajo veliko podatkov v zvezi s povratno dobo pojava, ki pa jih ponavadi nimamo na razpolago in tako tudi visoka zapletenost izračunov ne ustreza kakovosti vhodnih podatkov. Zato se namesto ocenitve verjetnosti nastopa nevarnosti P odločimo za ocenitev dovzetnosti območja za nastanek nevarnosti D (tj. kvalitativne ocene relativne verjetnosti nastopa pojava). V $T(x, y, z, t)$ je **potencialna ogroženost prostorskih vložkov**:

$$OG_p = N(M, D) \cdot I_v$$

Združevanje kategorij iz izvorne RHRS-metode se izvede ob izločitvi dveh kategorij,

deleža reakcijske poti in *širine cestišča* (glej prilogo). *Delež reakcijske poti* ne sodi k obravnavi nevarnosti zaradi odloma, ampak k nevarnosti naleta vozila na podornino, ki nastopa neodvisno od podornega pojava in je odvisna od npr. megle, *širine cestišča*. Pri kriteriju *delež reakcijske poti* se pokaže tudi preveliko odstopanje oziroma prevelika odvisnost števila dobljenih točk od izbrane smeri potovanja, kar se precej pozna pri skupnem seštevanju točk.

Metoda RHDM izhaja iz prirejene RHRS-metode₂, katere podrobnejša izpeljava, utemeljitev in uporaba na preprostem študijskem primeru je objavljena drugje (Đurović et al., 2004). Zato navajamo le nekaj osnovnih značilnosti posameznih dejavnikov.

1. Modeliranje magnitude nevarnosti M

Ob uporabi RHRS-metode oziroma njenih prirejenih različic je za najbolj kritična območja primerno uporabiti modeliranje z izbranim računalniškim programom za simulacijo pojava, na primer s programom »Rockfall 6.1« (Spang, 2003). Tak program omogoča izračun trajektorij, energijskih razmer vzdolž trajektorij in višine pri odboju gmot ter kakovostnejšo določitev vpliva višine pobočja, učinkovitosti zadrževalnega jarka in poraščenosti pobočja, velikosti oziroma količine podorne gmote.

Seveda obstajajo tudi drugi računalniški programi za 2D simulacijo gibanja podornih

št. dni / leto	Bilje pri Novi Gorici	Celje	Ljubljana	Maribor	Murska Sobota	Novo Mesto	Portorož	Postojna	Rateče
T = število dni z najnižjo temp. ≤ 0 °C	75.3	117.8	89.6	96.3	114.5	105.5	11.9	108.1	163.2
P = število dni s padavinami ≥ 1 mm ali št. dni s snežno odejo ob 7. uri	103.1	107.6	114.8	100.5	93.5	109.2	91	115.4	132.2
V = število dni z nevihto in grmenjem	23.3	35.6	48.1	36.6	29.3	48.7	57.2	32.1	31.8

Preglednica 8. Klimatski podatki za različne slovenske kraje (ARSO, 2004a).

Table 8. Climate data for various Slovenian locations (ARSO, 2004a).

gmot, npr. »CRSP – Colorado Rockfall Simulation Program« (Colorado Geological Survey), »RocFall« (Rocscience) in »PCMas-si« (Geosoft).

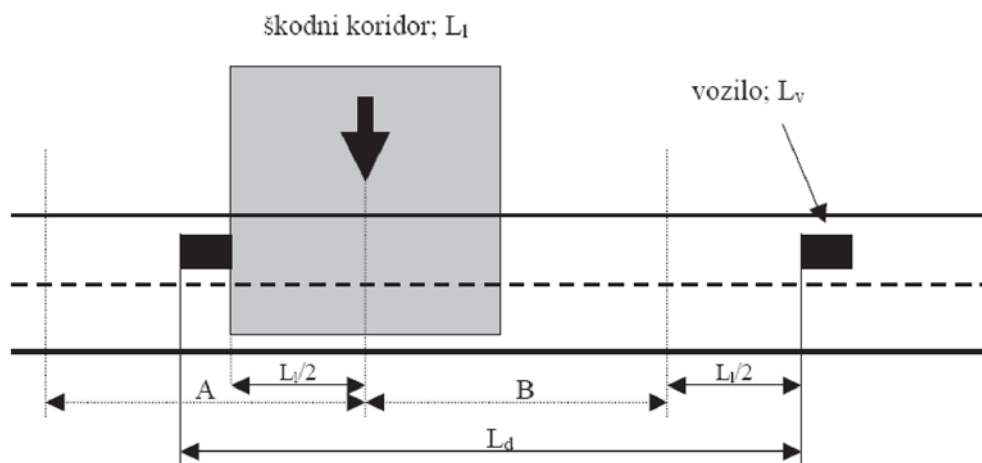
2. Ocena dovzetnosti območja za nastanek nevarnosti D

Dovzetnost območja za nastanek nevarnosti določajo naslednji kriteriji:

- geomehanski značaj pobočja po SMR-klasifikaciji
- pogostost preteklih nastopov nevarnosti

- klimatske razmere
- seizmološke razmere – *potresna nevarnost*

Geomehanska razvrstitev pobočij po SMR-klasifikaciji (Slope Mass Rating) se uporablja za razvrščanje brežin, medtem ko je RMR-klasifikacija (Rock Mass Rating) namenjena zlasti uporabi v predorih in rudnikih (Ribičič, 2002). Uporabimo lahko obstoječe računalniške programe za klasifikacijo kamninskih gmot, npr. »CLASPWIN« (Geosoft). Za analizo obnašanja razpokanih kamninskih gmot pod statično oz. dinamično obremenitvijo pa se uporabljajo nume-



Slika 5. Pomen oznak v enačbi za račun izpostavljenosti premičnega prostorskega vložka (Hungar et al., 1999).

Figure 5. The meaning of the variables in the equation for computing the exposition of a mobile spatial element at risk (Hungar et al., 1999).

rični programi po metodi končnih elementov, npr. program UDEC – Universal Distinct Element Code.

Pogostost preteklih nastopov pojava je odvisna od natančnega popisa dogodkov iz preteklosti (velikost, mesto trka, čas).

Nov kriterij, ki ga uvaja RHDM-postopek, so klimatske razmere. V preglednici 8 so za ozemlje Slovenije navedeni trije osnov-

ni klimatski parametri, ki pogojujejo odlo-

me. Seizmološke razmere so upošteevane s pomočjo temeljne karte potresne nevarnosti Slovenije, tj. karte projektnega pospeška tal za povratno dobo 475 let, ki je izdelana v skladu z zahtevami evropskega predstandarda Eurocode 8 (EC8) (ARSO, 2004b).

KRITERIJ		število točk $y = 3^x$			
		3	9	27	81
M	podorna energija E_p (J) → $y = 3^{\log E_p - 1,477}$	300	3 000	30 000	300 000
	geomehanski značaj pobočja po SMR klasifikaciji → $y_1 = 3^{\frac{80}{SMR}}$	80	40	27	20
D	pogostost preteklih nastopov pojava → $y_2 = 3^{1+(0,334 \cdot f)}$	1 / 10 let	3 / 1 leto	6 / 1 leto	9 / 1 leto
	klimatske razmere → $y_3 = 3^{\frac{T+P+V}{80}}$	ugodne → 80	srednje ugodne → 160	neugodne → 240	zelo neugodne → 320
	seizmološke razmere → $y_4 = 3^{\frac{\log\left(\frac{a_{t,475}}{g}\right) + 1,133}{0,133}}$	0,100g	0,136g	0,185g	0,250g
	$y = 0,5y_1 + 0,1y_2 + 0,2y_3 + 0,2y_4$				
I	$y = 3^{\frac{I}{0,25}}$	0,25	0,5	0,75	1

Preglednica 9. RHDM postopek analize potencialne ogroženosti.

Table 9. RHDM procedure for analysis of the potential specific risk.

	$y = 3^{1,5} = 5$	$y = 3^{2,5} = 15$	$y = 3^{3,5} = 45$	
točkovni interval	[0, 5]	[5, 15]	[15, 45]	[45, 100]
stopnja	1	2	3	4

Preglednica 10. Določitev mejnih točkovnih vrednosti in razvrstitev po stopnjah.

Table 10. Determination of boundary ratings and classification by levels.

3. Izpostavljenost prostorskih vložkov I

Izpostavljenost je verjetnostni pojem in jo pri zanemarljivi dolžini vozila v primerjavi s širino škodnega koridorja, računamo po naslednji enačbi:

$$I = \frac{N_v \cdot (L_v + L_l)}{V_v} \approx \frac{N_v \cdot L_l}{V_v}$$

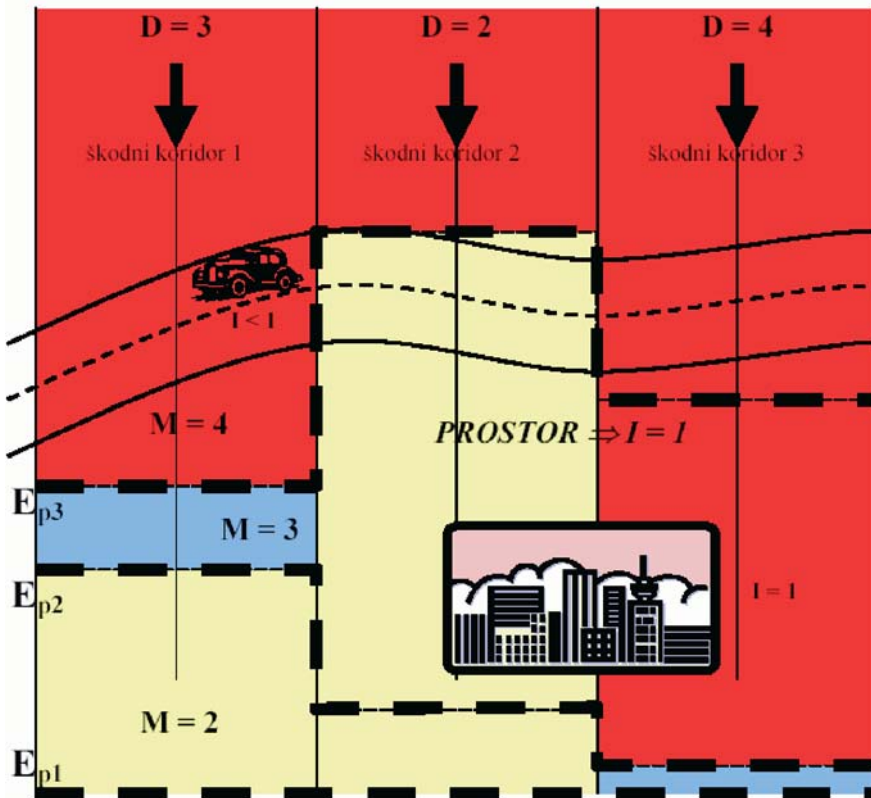
Kadar pa obravnavamo učinkovanje pojava v škodni liniji, tedaj je dolžina vozila

primerljiva oziroma veliko večja od njene širine, in računamo na naslednji način:

$$I = \frac{N_v \cdot (L_v + L_l)}{V_v} \approx \frac{N_v \cdot L_v}{V_v}$$

Izpostavljenost vozil, ki stojijo v koloni na mestu škodne linije ali škodnega koridorja, je enaka 1.

V škodnem koridorju širine L_l obstaja možnost proženja podorne gmote in lahko



Slika 6. Primer razmejitve območij in določitve stopenj potencialne ogroženosti.

Figure 6. An example of the area delineation and determination of the potential specific risk degrees.

pride do trčenja s premečnim prostorskim vložkom povprečne dolžine L_v . L_d je povprečen razmik med vozili v posameznem pasu v odvisnosti od povprečne hitrosti V_v in dnevnega prometnega volumna N_v .

4. Razmejitev območij in določitev stopnje potencialne ogroženosti

RHDM-postopek določitve stopnje potencialne ogroženosti prostora in prostorskih vložkov je sestavljen iz modeliranja magnitude nevarnosti M , ocene dozvetnosti območja za nastanek nevarnosti D in ocene izpostavljenosti prostorskih vložkov I .

Vsakemu kriteriju se podeljuje določeno število točk $y = 3^x$ (preglednica 9). Po Pierson et al. (1990) je posamezni kriterij točkovan z največ $y_{\max} = 100$, po Budetti (2004) pa je zgornja meja števila točk odprta. Zgornjo mejo je pravilno postaviti pri

100 točkah, ker so tudi pri metodah RMR in SMR posamezni vplivni dejavniki omejeni z vrednostjo 100 točk. Seštevek točk za nepremične (objekti) in premečne (vozila) prostorske vložke na nekem območju se torej nahaja znotraj intervala $[3, 300]$, ki je izkustveno razdeljen na naslednje podintervale:

- $[3, 81]$ → zanemarljiva ogroženost
- $[81, 110]$ → šibka ogroženost
- $[110, 190]$ → srednja ogroženost
- $[190, 300]$ → močna ogroženost

V državi Oregon (ZDA) sta mejni vrednosti za uvrščanje v razrede 300 in 500 točk (Pierson et al., 1990).

Mejne vrednosti podorne energije bomo določili s postavitvijo mej intervalov pri določenem številu točk, npr. $y = 3^{1.5} = 5$, $y = 3^{2.5} = 15$ in $y = 3^{3.5} = 45$ (preglednica 10).

Dobimo tri mejne vrednosti podorne energije: $E_{p1} = 0,9$ kJ (ustreza 5 točkam), $E_{p2} = 9$ kJ (ustreza 15 točkam) in $E_{p3} = 90$ kJ (ustreza

POTENCIALNA OGROŽENOST $OG_p (I_v = 1)$			DOVZETNOST D			
			4	3	2	1
			VELIKA	SREDNJA	MAJHNA	ZELO MAJHNA
MAGNITUDA M	4	MOČNA	preostala OG_p			
	3	SREDNJA				
	2	ŠIBKA				
	1	NEZNATNA				

Preglednica 11. Matrika potencialne ogroženosti pri $I_v = 1$ (prirejeno po Lateltinu, 1997).

Table 11. Matrix of a potential specific risk at $I_v = 1$ (modified after Lateltin, 1997).

45 točkam). Točke z isto energijsko vrednostjo linearno povežemo, bolje pa je, če upoštevamo, da je v istem škodnem koridorju energija enaka in naredimo stopničasto povezavo (slika 6). Dovzetnost je v določenem škodnem koridorju povsod enaka. Torej lahko matriko potencialne ogroženosti območja sestavimo iz magnitude nevarnosti in dovzetnosti za nastanek nevarnosti (preglednica 11).

Z matrično obravnavo magnitude in dovzetnosti dobimo tri (pogojno štiri) stopnje podorne (odlomne) potencialne ogroženosti prostora. Pri določitvi potencialne ogroženosti posameznega vložka upoštevamo tudi njegovo izpostavljenost, ki je pomemben faktor pri npr. različnih dolžinah transportnih kompozicij (vlak). Izpostavljenost premikajočih se vložkov (vozila) je manjša od 1, statičnih vložkov (stavbe) pa enaka 1. Pri obravnavi ogroženosti prostora je izpostavljenost vsake prostorske mrežne celice (npr. 25 m * 25 m) enaka in nespremenljiva.

Posamezni koraki v postopku analize potencialne ogroženosti prometnic so:

1. določitev in omejitev območja oz. cestnega odseka
2. dispozijski model
→ *dovzetnost za nastanek nevarnosti*
3. terenski ogled in iskanje »nemih prič«
za umerjanje procesnega modela
4. določitev števila, pozicije bistvenih prečnih profilov pobočja in širine škodnih koridorjev
5. procesni model
→ *magnituda nevarnosti*
6. popis prostorskih vložkov in račun *izpostavljenosti prostorskih vložkov*
7. določitev potencialne ogroženosti prostorskih vložkov po metodi RHDM
→ *potencialna ogroženost posameznih prostorskih vložkov*
8. razmejitev in določitev stopnje ogroženosti prostora na temeljnem topografskem načrtu v merilu 1 : 1000 ali 1 : 5000
→ *karta potencialne ogroženosti prostora*

ZAKLJUČKI

Pri prostorskem načrtovanju potrebujemo za vse naravne nevarnosti enakovredne podlage, zato je zaradi povezovanja različnih strok nujno izdelati 5-jezikovni razlagalni slovar izrazja s področja tveganja in masnega premika (slo., ang., fr., nem., it.;

razlage in skice v slovenščini, v tujih jezikih zgolj ustrezniki z navedbo vira).

Metoda RHDM predstavlja grobo semikvantitativno orodje določanja potencialne ogroženosti prostora in prostorskih vložkov zaradi odlomov skalovja vzdolž odsekov prometnic. Bistvena novost, ki jo prinaša nova metoda, je njena širša uporabnost, preprostost postopka in možnost dopolnitve in nadgraditve, saj temelji na zelo široko postavljenih teoretičnih izhodiščih splošne metodologije določanja podorne tveganosti za prostorske vložke. Predstavlja tudi dobro izhodišče za nadaljnjo kakovostno obravnavo v skladu z enotno metodologijo analize tveganja. Metoda ni omejena zgolj na vozila ali cestišče, ampak na celoten škodni koridor; implementiran je 2D računski model z upoštevanjem gozda in obstoječih zaščitnih pregrad. Prednost metode je očitna predvsem pri iskanju ravnotežja med preprostostjo analize (pojava na eni strani (hitrost ocene, finančna sprejemljivost) in zapletenostjo na drugi strani (vhodni podatki, 3D-modeli, obdelava z orodji GIS). Metoda je enostavna za uporabo pri prostorskem načrtovanju še pred izvedbo detajlnih študij in omogoča prilagajanje natančnosti obdelave finančnim zmožnostim.

Metodo je treba še natančneje umeriti, preveriti robne pogoje in izdelati analizo občutljivosti. Po zgledu na podobne projekte v tujini (Crosta et al., 2001; Borter, 1999) bi jo bilo mogoče umestiti v 4-nivojsko študijo analize tveganosti zaradi nevarnosti različnih pojavnih oblik masnega premika (opozorilna karta nevarnosti → karta nevarnosti → karta ogroženosti → karta tveganosti; obravnava območja površine na primer 4 km² z naseljem, cesto, železnico, vodotokom). Merilo obdelave po metodi RHDM bi bilo na nivoju 4. reda v skladu z obstoječo metodologijo za določanje ogroženih območij po FGG (2004).

LITERATURA IN VIRI

APB-S, Autonome Provinz Bozen-Südtirol 2004: Richtlinien zur Erstellung der Gefahrenzonenpläne (GZP) und zur Klassifizierung des spezifischen Risikos (KSR). - verzija: maj, 2004. 24 str.

ARSO 2004a: www.arso.gov.si/podro-ja/vreme_in_podnebje/napovedi_in_podatki/

ARSO 2004b: www.arso.gov.si/podro-ja/potrosi/podatki/tolmac_pospeska_tal.html

Billot, C., Durler S., & Widmer, B. 2003: Elaboration d'un outil d'estimation qualitative du risque naturel à moyenne échelle. - Conférence SIRNAT-JPRN, Orléans. 7 str.

Borfer, P. 1999: Risikoanalyse bei gravitativen Naturgefahren. - Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern.

Budetta, P. & Panico, M. 2002: Il metodo »Rockfall Hazard Rating System« modificato per la valutazione del rischio da caduta massi sulle vie di comunicazione. - Geologia Tecnica ed Ambientale, 2, 3-13.

Budetta, P. 2004: Assessment of rockfall risk along roads. - Natural hazards and earth system sciences, 4, 71-81.

Chiesurin, E. & Fenti, V. 2002: Proposta di un nuovo metodo per la classificazione del pericolo da caduta massi. - Geologia tecnica & ambientale, 4.

Crosta, G., Frattini, P. & Sterlacchini, S. 2001: Valutazione e gestione del rischio da frana. - Regione Lombardia, Milano.

Đurović, B. 2004: Določanje podorne ogroženosti prostora. - Diplomsko delo. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. 187 str.

Đurović, B., Mikoš, M. & Ribičič, M. 2004: Določanje podorne ogroženosti po prirejeni RHRS-metodi. - Zbornik referatov 7. slovenskega kongresa o cestah in prometu. str. 326-335.

Đurović, B. & Mikoš, M. 2004: Analiza tveganja zaradi nevarnosti masnega gibanja. - Zbornik 15. Mišičevega vodarskega dne 2004.

FGG 2004: Metodologija za določanje ogroženih območij in način razvrščanja zemljišč v razrede ogroženosti zaradi zemeljskih plazov. - Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Poročilo KSH d-78. 185 str.

Gams, I. 2001: Mangartski plaz v luči plazovne terminologije. - Ujma, 14-15, 452-453.

Heinimann, H. R., Hollenstein, K., Kienholz, H., Kruppenacher, B. & Mani, P. 1998: Methoden zur Analyse und Bewertung von Naturgefahren. - Umwelt-Materialien, 85, Naturgefahren. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern. 248 str.

Hoek, E. 2000: Practical rock engineering. Rocscience, Toronto.

Hungr, O., Evans, S. G. & Hazzard, J. 1999: Magnitude and frequency of rock falls and rock slides along the main transportation corridors of southwestern British Columbia. - Canadian Geotechnical Journal, 36, 224-238.

IDNDR (International Decade for Natural Disaster Reduction 1991-2000). www.crealp.ch

Kienholz, H., Zeilstra, P. & Hollenstein, K. 1998: Begriffsdefinitionen Naturgefahren. - Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Eidg. Forstdirektion, Bern. 74 str.

Lateltin, O. 1997: Berücksichtigung der Massenbewegungsgefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten. Naturgefahren, Empfehlungen. - Bundesamt für Raumplanung (BRP), Bundesamt für Wasserwirtschaft (BWW), Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern. 44 str.

Mikoš, M. 1995: Soodvisnost erozijskih pojavov v prostoru. - Gozdarski vestnik, Ljubljana. str. 342-351.

Nacionalni program varstva pred naravnimi in drugimi nesrečami (NPVNDN). www.dz-rs.si/si/aktualno/zakonodaja.html

Pavšič, J. 1993: Osnove geologije za študente gradbeništva (zapiski predavanj).

Pierson, L. A., Davis, S. A. & Van Vickle, R. 1990: The Rockfall Hazard Rating System, Implementation Manual. - Federal Highway Administration (FHWA) Report FHWA-OR-EG-90-01. FHWA, U.S. Department of Transportation.

Ribičič, M. 2002: Inženirska geologija, skripta. - Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za montanistiko.

Skaberne, D. 2001: Prispevek k slovenskemu izrazoslovju za pobočna premikanja. - Ujma, 14-15, 454-458.

SSKJ 1994: Slovar slovenskega knjižnega jezika. - DZS, Ljubljana.

Spang, R. M. 2003: Rockfall 6.1, Rockfall simulation program, Manual. 31 str.

Zakon o varstvu pred naravnimi in drugimi nesrečami (ZVNDN). www.dz-rs.si/si/aktualno/zakonodaja.html

Zakon o vodah (ZV-1). www.dz-rs.si/si/aktualno/zakonodaja.html

Zorn, M. & Komac, B. 2002: Pobočni procesi in drobirski tok v Logu pod Mangartom. - Geografski vestnik, 74-1, 9-23.

PRILOGA

Primerjava različic metod RHRS (Rockfall Hazard Rating System) in metode RHDM (Rockfall Hazard Determination Method)				
izvorna RHRS (Pierson et al., 1990)	število točk y	kriterij	število točk y	kriterij
		priručna RHRS (Budetta & Panico, 2002)		
		RHDM		
<ul style="list-style-type: none"> višina pobočja učinkovitost zadrževalnega jarka velikost skale ali količina podornine / dogodek (podatke se dobi iz: <ul style="list-style-type: none"> opazovanih pogojev ali podatkov o vzdrževanju) <p style="text-align: center;">↓</p>	$y = 3^{\frac{\text{višina}(f)}{25}}$ $y = 3,9,27,81$ $y = 3^{\text{velikost}(f)}$ $y = 3^{\frac{\text{prostornina}(f^3)}{3}}$	<ul style="list-style-type: none"> višina pobočja (H) učinkovitost zadrževalnega jarka velikost oziroma prostornina potencialne podorne gmote (D_b, V_b) ali prostornina podornine / dogodek (V_{fall}) 	$y = 3^{\frac{H}{7,5}}$ $y = 3,9,27,81$ $y = 3^{\frac{D_b}{0,3}}$ $y = 3^{\frac{V_{\text{fall}}}{2,3}}$	<ul style="list-style-type: none"> podorna energija
<ul style="list-style-type: none"> geološke značilnosti zgodovina pojava vremenske razmere in prisotnost vode na pobočju 	$y = 3,9,27,81$	<ul style="list-style-type: none"> SMR frekvenca pojava (f) letna količina padavin (b) in čas trajanja obdobja zmrzali 	$y = 3^{\frac{80}{\text{SMR}}}$ $y = 3^{1+(0,334 \cdot f)}$ $y = 3^{\frac{b}{300}}$	<ul style="list-style-type: none"> SMR frekvenca pojava klimatske razmere seizmološke razmere
<ul style="list-style-type: none"> povprečno tveganje za vozilo (AVR) delež reakcijske poti (%) DSD širina cestišča 	$y = 3^{\frac{\text{AVR}}{25}}$ $y = 3^{\frac{(120 - \% \text{DSD})}{20}}$ $y = 3^{\frac{(52 - \text{širina}(f))}{8}}$	<ul style="list-style-type: none"> povprečno tveganje za vozilo (AVR) delež reakcijske poti (%) D_a širina cestišča (L_c) 	$y = 3^{\frac{\text{AVR}}{25}}$ $y = 3^{\frac{(120 - \% D_a)}{20}}$ $y = 3^{\frac{(27,5 - L_c)}{6}}$	<ul style="list-style-type: none"> izpostavljenost premičnih ogroženec nevarnost naleta vozila na odkladnico (ločena obravnava!)
				$y = 0,5y_1 + 0,1y_2 + 0,2y_3 + 0,2y_4$
				$y = 3^{\frac{I}{0,25}}$
				M
				D
				I