

Vršaj Koroška Bela – Rezultat katastrofičnih pobočnih dogodkov

Koroška Bela alluvial fan – The result of the catastrophic slope events; (Karavanke Mountains, NW Slovenia)

Jernej JEŽ¹, Matjaž MIKOŠ², Mirka TRAJANOVA¹, Špela KUMELJ¹, Tomaž BUDKOVIČ¹ & Miloš BAVEC¹

¹Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, SI-1000 Ljubljana, Slovenija

²Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova cesta 2, SI-1000 Ljubljana, Slovenija

Ključne besede: drobirski tok, vršaj, zemeljski plaz, izvorno območje, sedimentacijski dogodek, geohazard, Koroška Bela, Karavanke, Slovenija

Key words: debris flow, alluvial fan, landslide, source area, depositional event, geohazard, Koroška Bela, Karavanke, Slovenia

Izvleček

Na vršaju Koroška Bela smo v dveh raziskovalnih izkopih opravili popise sedimentov in litološke analize klastov z namenom študija geneze vršaja in ugotavljanja izvora materiala. Vršaj sestavlja več zaporednih plasti diamiktov in sorodnih subaerskih sedimentov, ki so posledica masnih tokov, v nekaterih primerih zagotovo drobirskih tokov. Material v glavnem izvira iz karbonskih in permskih klastičnih in deloma karbonatnih kamnin, ki so na primarnih mestih tektonsko porušene. V diamiktih plasteh se pojavljajo tudi prodniki drugih kamnin iz zaledja vršaja, ki so jih drobirski tokovi na svoji poti erodirali. Potok Bela s svojim zaledjem tudi v prihodnje predstavlja potencialno nevarnost za nastanek drobirskih tokov.

Abstract

The Koroška Bela alluvial fan deposits were investigated to determine the genesis of the fan and the source area of sediments. The alluvial fan is composed of a sequence of diamicton layers, and related subaeric sediments that were deposited by multiple mass flow events, in some cases certainly by debris flows. The predominant sources of sediments are tectonically deformed clastic and partly carbonate Carboniferous and Permian rocks. In diamictons also pebbles of other rocks from the hinterland are present. These were eroded from the channel of Bela during the mass flow events. We estimate the future debris flow hazard along Bela stream as high.

Uvod

Potreba po razumevanju narave in njenih zakonitosti, med katere spadata tudi dinamika in kinematika težnostnih pobočnih premikov, je v zadnjem času vse večja. Študij le-teh je namenjen predvsem zavarovanju prebivalcev in lastnine pred katastrofalnimi pobočnimi dogodki. Neposredna povezava med spreminjajočo se klimo in pobočnimi procesi se odraža v pogostejših naravnih nesrečah, kar nakazuje potrebo po večji previdnosti pri poseganju človeka v občutljivo naravno okolje.

Drobirski tokovi so le ena oblika gravitacijskih pobočnih premikanj. V svetu so pogost pojav in nemalokrat povzročajo tudi nesreče s človeškimi žrtvami (NAKAGAWA et al., 2001). V Sloveniji tem pojavom namenjamo nekoliko večjo pozornost od leta 2000 dalje, ko se je po močnejšem deževju nad vasjo Log pod Mangartom sprožil večji drobirski tok (MAJES, 2000/2001; PETKOVŠEK A., 2000/2001; PETKOVŠEK B., 2000/2001; SKABERNE, 2001a; MAJES et al., 2002; MIKOŠ et al., 2007).

V okviru ciljnega raziskovalnega projekta »Ocena ogroženosti zaradi delovanja drobirskih tokov« so bili na območju Karavank v letih 2006 in 2007 raziskani sedimenti štirih vršajev ter njihova zaledja, med njimi tudi vršaj potoka Bela, na katerem smo izkopali dva raziskovalna izkopa. Sedimenti v izkopih so bili podrobno sedimentološko popisani, vzorci sedimentov litološko analizirani, zaledje potoka Bela pa je bilo geološko pregledano.

Ugotovili smo, da vršaj potoka Bela kot sedimentno telo ni samo posledica kontinuirane fluvialne sedimentacije, pač pa tudi in predvsem posledica nenadnih katastrofičnih tokov pobočnih sedimentov. Izvor materiala za posamezne gravitacijske dogodke je vezan predvsem na mesta z manj odpornimi kamninami oziroma na mesta, kjer so kamnine tektonsko porušene. Heterogena geološka zgradba zaledja dopušča tudi možnost različnih izvornih območij. Sedimenti vršaja so lahko tudi presedimentirani, kar v primeru potoka Bele pomeni, da je izvorni material ledeni-

škega nastanka. Na podlagi popisov sedimentov v izkopih, litoloških analiz posameznih klastov in geološke karte zaledja smo ugotavljali predvsem izvorna območja materiala, obenem pa smo ocenjevali še potencialno ogroženost Koroške Bele zaradi drobirskih tokov.

Zgodovinski podatki kažejo (ZUPAN, 1937, LAVTIŽAR, 1997), da je del vasi Koroška Bela v preteklosti že zasul drobirski tok. Nastal naj bi ob povodnji 13. novembra 1789. Poškodoval je 40 hiš, zasul veliko obdelovalnih površin in porušil več mlinov. Pisni viri (LAVTIŽAR, 1997) navajajo, da se je ob tem dogodku porušil del hriba Čikla, vendar so podatki o izvoru toka precej nezanesljivi. Dokaz za drobirski tok so v debelini več metrov zasuti ostanki starih zgradb v Koroški Beli.

Opredelitev drobirskega toka

Osnovne značilnosti drobirskih tokov povzemamo po Predlogu slovenskega izrazoslovja pomočnih premikanj (SKABERNE, 2001b). Drobirski tok je oblika viskoznega in vztrajnostnega blatnega toka (*slurry flow*). Blatni tokovi so plastični tokovi v katerih so prevladujoče Binghamove sile. To so sile drobnozrnate osnove, ki s pomočjo pornega tlaka vode, vzgona, velikih hitrosti tokov, trkov med zrni in turbulence, uspejo prenašati tudi večje skalne bloke. Tokovi se pojavljajo tako v kopenskih kot v vodnih sedimentacijskih okoljih. Nastanek kopenskih (subaerskih) tokov je pogojen s hipnim povečanjem deleža porne vode v materialu ter predhodnim premikanjem zemeljskih mas, plazenjem. K sprožitvi toka velikokrat pripomore določen sunek, ki ga lahko povzroči tudi potres ali vulkanska dejavnost.

Bistvenega pomena je kohezija materiala, iz katerega tok nastane. Brez potrebne kohezije bi se kljub veliki količini vode tok obnašal kot zrnski tok, za katerega je značilno, da material teče zaradi medzrnskih kontaktov in/ali trkov. V primeru obilnega dotoka vode v koheziiven material je lahko dosežena kritična strižna trdnost materiala (meja židkosti) in plastični tok preide v tekočinskega. Količina vode, ki je za to potrebna, je odvisna od porazdelitve velikosti zrn v materialu in njegove mineralne sestave. V slabše sortiranem in drobnozrnatem materialu je potrebna večja količina vode.

Osnovni reološki parametri drobirskega toka so torej odvisni od štirih faktorjev (PETKOVŠEK A., 2002): viskoznosti, turbulence, drsenja delcev med seboj in medsebojnih trkov delcev. Drobirski tokovi so trifazni sistem, sestavljen iz plinaste, tekoče in trdne faze. V primeru, da predstavlja plinasto fazo zrak in tekočo voda ter predpostavimo, da so njune lastnosti konstantne, je značaj toka odvisen predvsem od lastnosti trdne faze ter relativnega razmerja med trdno fazo (sedimentom), vodo in zrakom. Spremenljive so količina trdne faze, zrnavostna in mineralna sestava ter od njih odvisne lastnosti zmesi, med katerimi je pomembna predvsem plastičnost (PETKOVŠEK A., 2002). Čeprav je obnašanje drobirskega toka v glavnem od-

visno od drobnih delcev, ki dajejo masi sedimenta plastične lastnosti, imajo vpliv tudi večja zrna. Ta običajno predstavljajo več kot polovico utežnega deleža vseh trdnih delcev in odločilno vplivajo na način gibanja toka.

Na svoji poti drobirski tok lahko erodira podlago ter erodirani material vključuje v svojo maso. Tok teče dokler gravitacijska sila še premaguje kohezijsko strižno trdnost materiala (SKABERNE 2001b). Material se po ustavitvi konsolidira v odvisnosti od hitrosti dreniranja pornih vod. Porne vode lahko izpirajo drobnozrnat material tudi v že odloženem sedimentu.

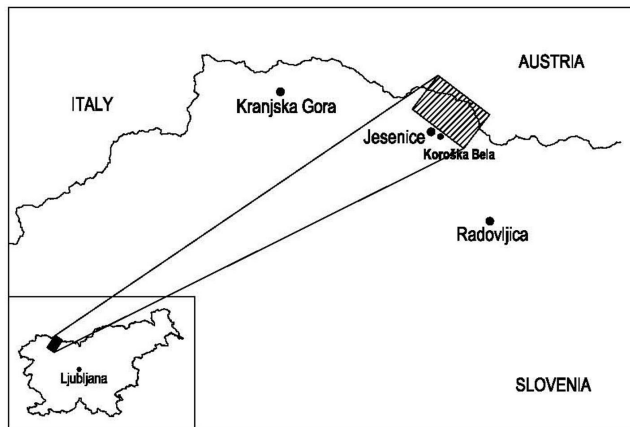
Sediment drobirskega toka imenujemo debrit. Zanj je značilna slaba sortiranost. Količina osnove je lahko od primera do primera precej različna. V sedimentu se lahko pojavlja inverzna gradacija zrnivosti v spodnjih ali proksimalnih delih oziroma normalna gradacija v zgornjih ali distalnih delih plasti. Klasti so kljub slabi sortiranosti sedimenta načeloma usmerjeni (BAVEC, 2000), kar lahko uporabimo pri študiju mehanizma drobirskih tokov (SKABERNE, 2001b).

Subaerski drobirski tokovi se pojavljajo po celem svetu v goratih in vulkanskih območjih. Vezani so predvsem na ekstremne padavinske dogodke. Za človeka lahko predstavljajo hude posledice, predvsem zaradi nepredvidljivosti časa sprožitve, velikih hitrosti (do 10 m/s) ter učinkov daleč od mesta sprožitve (RIBIČIČ, 2000/2001). Zelo težko preprečimo njihov nastanek, zato se je potrebno izogibati gradnji objektov na ogroženih območjih ali pa izvesti ukrepe, ki bi ublažili njihove posledice.

Možnosti za nastanek drobirskih tokov in oceno možnih magnitud drobirskih tokov v izbranih hudourniških območjih Slovenije sta podala SODNIK in MIKOŠ (2006). Obravnava je temeljila na uporabi empiričnih metod, ki pogosto upoštevajo predvsem morfometrične parametre hudourniškega območja in hudourniškega vršaja ter hidrološke značilnosti, geološki parametri pa so upoštevani neposredno le v nekaterih modelih. Kljub vsemu je kraj nastanka drobirskega toka in ocena njegove magnitude izhodišče za modeliranje toka ter oceno dosega in tako možnih posledic v okolju, kar je sestavni del izdelave ocen nevarnosti in ogroženosti zaradi delovanja drobirskih tokov. Na tem področju smo v Sloveniji pridobili prve izkušnje z modeliranjem in izdelavo ocen ogroženosti za primer drobirskega toka v Logu pod Mangartom (ČETINA et al., 2006) in v vasi Koseč nad Kobaridom (MIKOŠ et al., 2006).

Geografska umestitev

Obravnavano območje se nahaja v zahodnih Karavankah v severozahodni Sloveniji (slika 1). Potok Bela izvira kot izvir Urbas na Potoški planini na nadmorski višini 1275 m. Potoška planina je del ozemlja Belščice, ki se na jugozahodni strani grebena Karavank razprostira med Stolom (2236 m) in Vajnežem (2099 m). Potok teče proti jugozahodu in se približno po 3 km pri Jesenicah



Slika 1. Lega preiskanega območja
Figure 1. Location of the investigated area

na nadmorski višini 540 m izliva v Savo Dolinko. Sedimente je potok v obliki vršaja odložil na prehodu iz ozke grape v bolj odprt in ravnejši teren na severovzhodnem robu Savske doline. Skupna površina vršaja od reke Save navzgor je okoli 1,02 km².

Zgornji izkop se nahaja na desnem bregu potoka Bela v proksimalnem delu vršaja, kjer se struga potoka prvič nekoliko razširi. Nadmorska višina izkopa je 651 m, globok je 4 m. Spodnji izkop

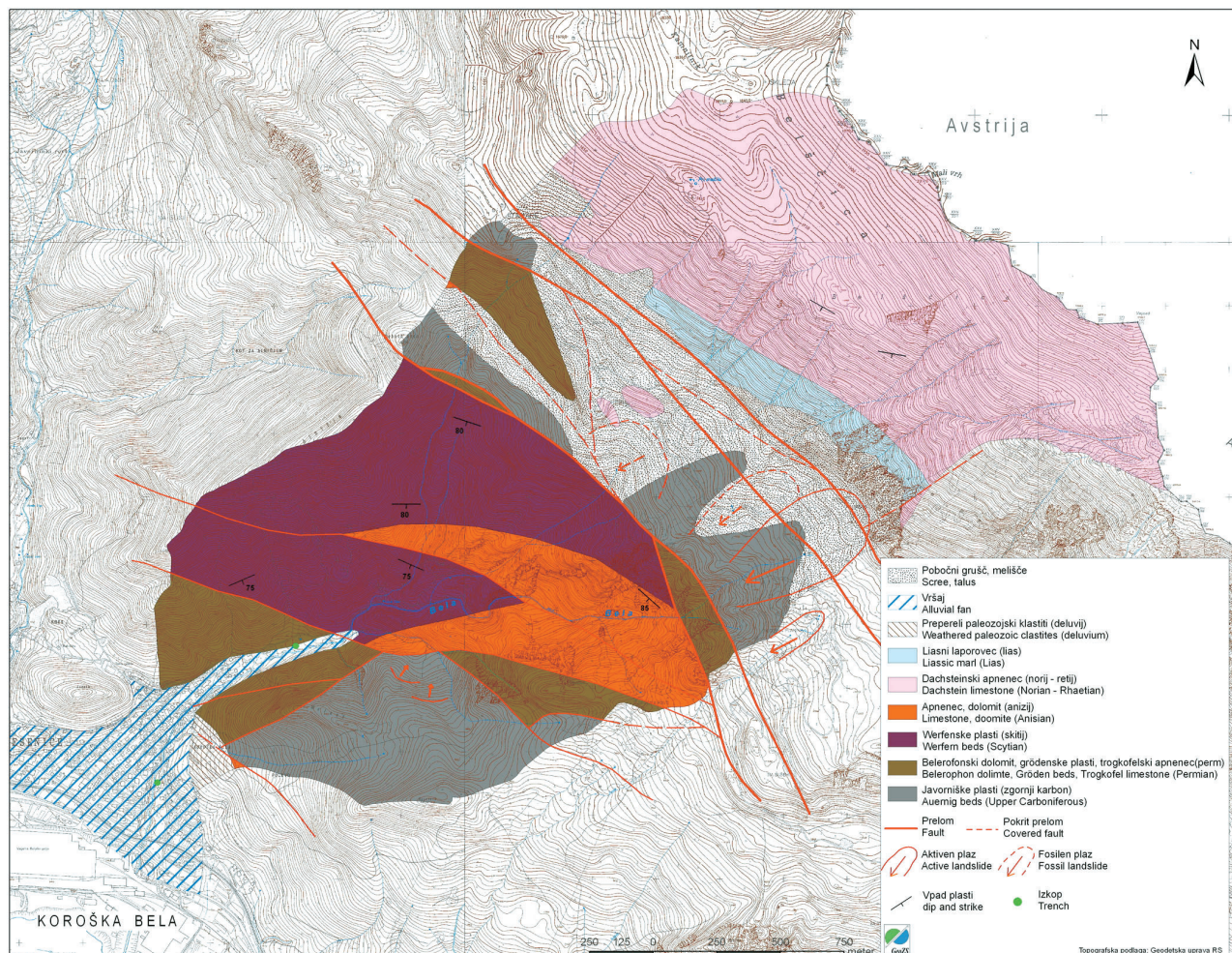
je na levem bregu potoka v srednjem delu vršaja. Nadmorska višina izkopa je 573 m, globok pa je 3,90 m.

Metode raziskav

V sklopu raziskav sedimentov vršaja potoka Bela smo izvedli popis sedimentov v izkopih, vzorčenje, litološke analize materiala ter geološko kartiranje zaledja vršaja.

Položaj obeh raziskovalnih izkopov na vršaju je prikazan na sliki 2. V zgornjem izkopu so bili odvzeti trije vzorci za litološke analize v domnevno treh dogodkovno ločenih plasteh. V spodnjem izkopu smo odvzeli štiri vzorce za litološke analize, v dveh plasteh profila pa so bila opravljena merjenja usmerjenosti daljših osi klastov. Meritve so bile obdelane s programom StereoNet (DUYSTER, 2002) po metodi tridimenzionalne vektorske analize orientacij daljših osi klastov, ki jo je uvedel MARK (1971, 1973).

Za analizo litološke sestave smo odvzeli debeleznate prodnate dele materiala. V laboratoriju smo prodnike oprali in odmuljili na situ kvadratne odprtine 10 mm, nadalje smo določili makroskopsko litološko sestavo prodnikov velikosti nad 10 mm ter vizualno ocenili količino posameznih



Slika 2. Geološka karta zaledja potoka Bela (dopolnjeno po BUSERJU, 1978)
Figure 2. Geological map of the Bela stream hinterland (adopted after BUSER, 1978)

vrst. Nazadnje smo naredili primerjavo litologije klastov s sestavo kamninskega zaledja.

Geološko kartiranje je bilo usmerjeno predvsem v natančnejšo določitev mej med posameznimi litostratigrafskimi enotami ter lociranje prelomov in prelomnih con. Posebno pozornost smo namenili inženirskogeološkemu znakom, ki kažejo na nestabilnost pobočij. Pregledali smo strugo potoka in ocenili količino materiala, ki bi ga morebitni drobirski tok lahko erodiral in vključil v svojo maso.

Geološka zgradba zaledja vršaja

Litolško zgradbo zaledja potoka Bela smo povzeli po Osnovni geološki karti SFRJ, list Celovec (Klagenfurt) (BUSER, 1978). Geološko smo pregledali in kartirali ozemlje na levem in desnem bregu potoka Bela od meje z Avstrijo (grebena Karavank), do naselja Koroška Bela ter med Potoško planino na jugovzhodu in Olipovo planino na severozahodu (slika 2).

Najstarejše kamnine na obravnavanem ozemlju so zgornjekarbonske starosti. Zastopajo jih temno sivi do črni skrilavi glinavci in meljevci, kremenovi konglomerati in peščenjaki. Sestavljajo večji del severnega pobočja Hrastnika, vzhodno od Koroške Bele (slika 2) in večji del Potoške in Olipove planine. Tu so večinoma pokriti z apnenčevim pobočnim gruščem. Po starosti sledijo permske kamnine. Spodnjepermske kamnine so v karbonatnem razvoju, kot rdeč masiven apnenec ter črn apnenec s kalcitnimi žilami. Kamnine iz srednjega perma so v klastičnem razvoju, zastopane s t.i. trbiško brečo in grödenskimi plastmi, med katerimi prevladujejo rdečkasti peščenjaki. Edina zgornjepermska kamnina na obravnavanem ozemlju je belerofonski dolomit. Najstarejše triasne kamnine pripadajo werfenskim plastem. Znotraj teh se menjavajo apnenci, laporovci, meljevci in podrejeno dolomit. Apnenci običajno prevladujejo in so pogosto oolitni. Mlajše od njih so kamnine anizijske stopnje, ki jih v neposrednem zaledju vršaja zastopa le plastnati dolomit. Vršnji del grebena Karavank gradi dachsteinski apnenec norijsko-retijske starosti, nad njim pa leži liasni lapornati apnenec, ki izdanja v spodnjem delu pobočja Belščice. V izkopih na vršaju so bili tudi prodniki eocenskih laporovcev, katerih primarnih izdankov v zaledju vršaja nismo opazili.

V regionalnem strukturnem smislu pripada celotno območje Periadriatski tektonski coni (JELEN et al., 1997, PLACER, 1998), ki je pomembna strukturna enota med Savskim prelomom in Periadriatskim lineamentom. Tektonsko cono gradijo številni SZ–JV usmerjeni prelomi ter nekateri močni vezni prelomi. Košutin prelom je eden večjih znotraj omenjene cone in prečka tudi obravnavano področje. Njegova smer je SSZ–JJV in proti severu postopoma povija na severno stran grebena Karavank ter se priključi Periadriatskemu lineamentu. Prelomna cona Košutinega preloma je na Potoški in Olipovi planini široka tudi do 500 m. Znotraj cone so predvsem karbonske in permske

kamnine tektonsko močno porušene. Trasa preloma je opazna že v morfologiji terena, saj je v pobočju nastala izrazita terasa oziroma izravnava.

Med Košutinim in Savskim prelomom sta dva vezna preloma, ki imata smer približno Z–V. Eden od njiju ločuje paleozojske kamnine od spodnje triasnih (slika 2).

Večina kontaktov med litostratigrafskimi enotami v zaledju vršaja je prelomnih. Številne konjugirane prelome obdajajo razpoklinske, zdrobljene in porušene cone kamnin. Drobnozrnate klastične kamnine so običajno intenzivneje zdrobljene.

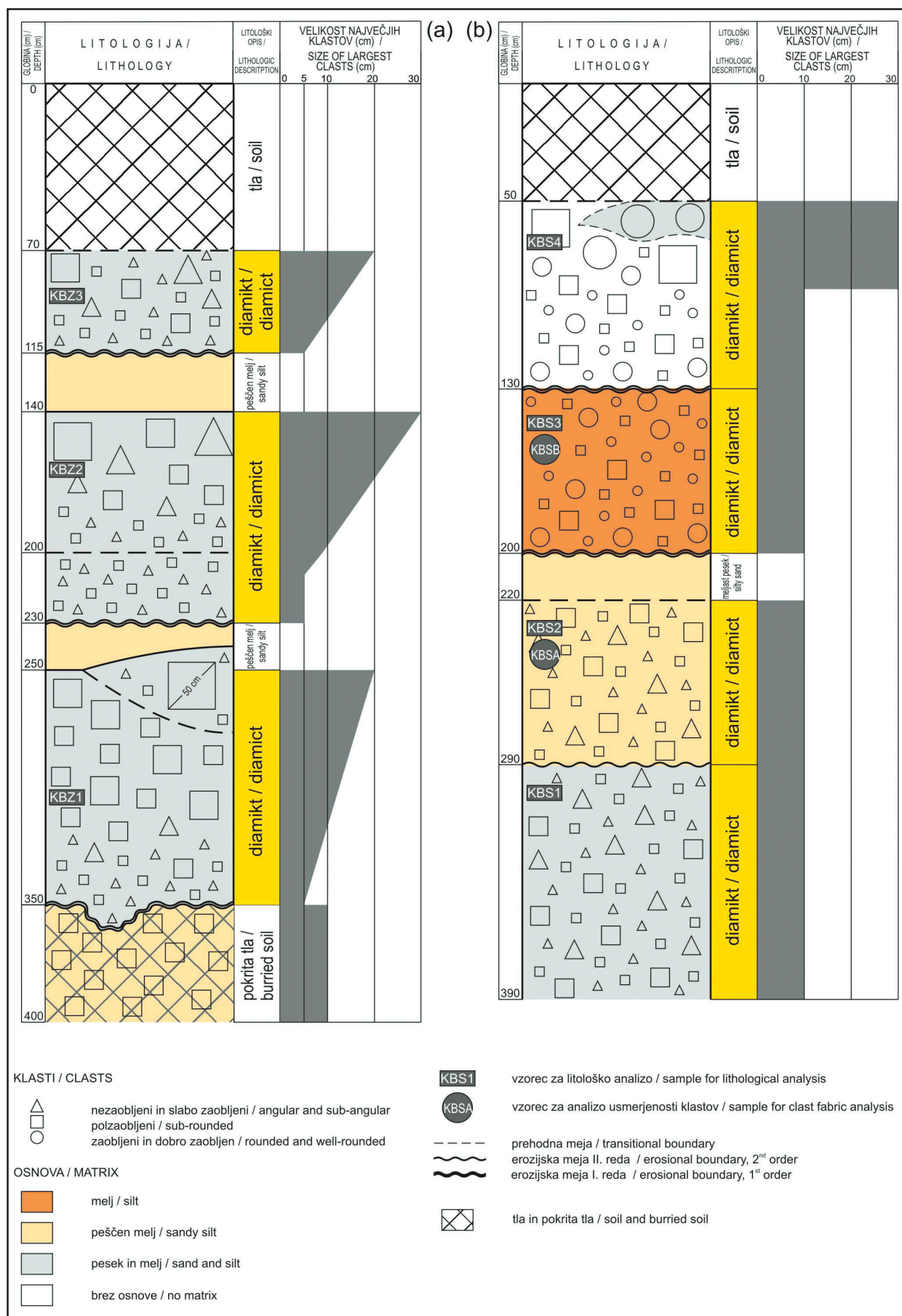
Opis sedimentov v izkopih

Profil v zgornjem izkopu (slika 3) se v spodnjem delu začneja z do 50 cm debelim pedogeniziranim diamiktom. Navzgor sledi erozijska meja nad katero je do 100 cm debela plast diamikta. Diamikt je inverzno gradiran in z ostro mejo ločen od zgoraj ležeče plasti peščenega melja debeline 20 cm. Enako zaporedje se navzgor ponovi še enkrat, le da je plast diamikta debela do 90 cm, plast peščenega melja pa 25 cm. Največji klasti v diamiktni plasti so debeli do 30 cm. Profil zaključuje 45 cm debela plast inverzno gradiranega diamikta.

Zaporedje sedimentov zgornjega izkopa kaže na tri zelo podobne dogodke drobirskih tokov. Dva sedimentacijska dogodka sta se končala z odlaganjem melja v manjših zaježitvah, ki so nastale po ustavitvi masnega toka. Med sedimenti opisanih treh dogodkov ni znakov pedogeneze, zato sklepamo, da so si časovno sledili precej hitro. Dobro razvita tla oziroma pedogenizirana plast pa se nahaja v starejšem dogodku v podlagi opisanih sedimentov (slika 3). Za nastanek takega pedogeniziranega horizonta je potreben znaten čas, ki ga ocenjujemo na nekaj 10.000, morda celo nekaj 100.000 let. Seveda se v tem času na tem mestu sedimenti niso odlagali. Ker je dolina tu sorazmerno ozka in bi se morebitni večji drobirski tok zagotovo razlil po vsej širini, ocenjujemo, da se v tem časovnem obdobju drobirski tokovi v povodju Bele niso prožili.

Profil v spodnjem izkopu (slika 3) je v celoti sestavljen iz diamikta, izjema je plast meljastega peska na globini med 200 in 220 cm, ki kaže na manjšo zaježitev Bele. V diamiktu pod plastjo meljastega peska je slabo vidna erozijska meja, ki horizont deli na dva dela. Lahko gre za dva sedimentacijska dogodka ali pa je ves diamikt rezultat enega večjega sedimentacijskega dogodka in je meja posledica nehomogenosti odloženega materiala. Diamikt nad plastjo meljastega peska je zanesljivo nastal ob dveh različnih dogodkih, kar dokazuje jasna erozijska meja. Tudi zgornja meja meljastega peska je erozijska. V nobeni od diamiktnih plasti ni opazna gradacija. Osnova se v posameznih diamiktnih plasteh spreminja od glinasto meljaste, preko peščeno meljaste, do peščene.

Vzporejanje sedimentacijskih dogodkov med obema profiloma je precej zapleteno in nezanesljivo. Nezanesljivost izhaja iz lastnosti drobirskih



Slika 3. Profil zgornjega (a) in spodnjega (b) izkopa na vršaju Bele v Koroški Beli z označenimi mesti vzorčenja za litološke analize in analize usmerjenosti klastov.

Figure 3. Profile of the upper (a) and lower (b) trench on Bela alluvial fan in Koroška Bela with marked sampling positions for lithological and clast fabric analysis.

tokov, da se značaj sedimenta istega toka vzdolž vršaja spreminja. V diamiktu se spreminjajo zrnovitost in sedimentacijske teksture.

Prvi izkop je lociran na proksimalnem delu vršaja, kjer se običajno zaradi večje energije toka odlaga večinoma debelejši material. Struga Bele je na tem delu razmeroma ozka, zato lahko že sediment manjšega drobirskega toka prekrije vršaj po celotni širini. Večji drobirski tokovi pa bi lahko na tem mestu material celo erodirali. Spodnji izkop je v osrednjem delu vršaja, ki ga verjetno manjši drobirski tokovi niso dosegli. Sedimenti večjih drobirskih tokov pa so se zaradi velike širine v tem delu pahljačasto usmerili v različne dele vršaja.

V zgornjem profilu lahko zanesljivo ločimo sedimente štirih sedimentacijskih dogodkov, medtem ko v spodnjem profilu najmanj treh oziroma štirih. Iz tega sklepamo, da smo z izkopoma zajeli sedimente najmanj štirih in največ osmih ločenih sedimentacijskih dogodkov, ki so posledica drobirskih tokov. Zaradi zgoraj omenjenih sedimentacijskih značilnosti drobirskih tokov, kot so nasipavanje v različnih smereh in možnosti erodiranja, pa to ni ocena dejanskega števila dogodkov.

Izvor sedimentov v vršaju

Rezultati litološkega pregleda prodnikov in klastov so prikazani na grafu (slika 4). Posamezne klaste vsake vzorčene plasti diamikta (slika 3) smo razvrstili v enake litostratigrafske enote (karbon, perm, skit, anizij, karnij, norij-retij, eocen), kot se pojavljajo v zaledju potoka Bela in so prikazane na geološki karti (slika 2).

Pregledani so bili trije vzorci iz zgornjega izkopa (KBZ-1, KBZ-2, KBZ-3) in štirje vzorci iz spodnjega izkopa (KBS-1, KBS-2, KBS-3, KBS-4).

Iz grafa (slika 4) je razvidno, da v štirih vzorcih (KBZ-2, KBZ-3, KBS-1, KBS-2) močno prevladujejo klasti karbonskih in permskih kamnin. Teh je v omenjenih vzorcih po vizualni oceni nad 60 %, v nekaterih celo nad 80 %. Poleg njih vzorci vsebujejo manjši delež prodnikov skitskih in norijsko-retijskih kamnin. Karbonske in permske kamnine se v zaledju Bele pojavljajo skupaj in sicer v širši okolici Potoške planine ter na pobočju Hrastnika

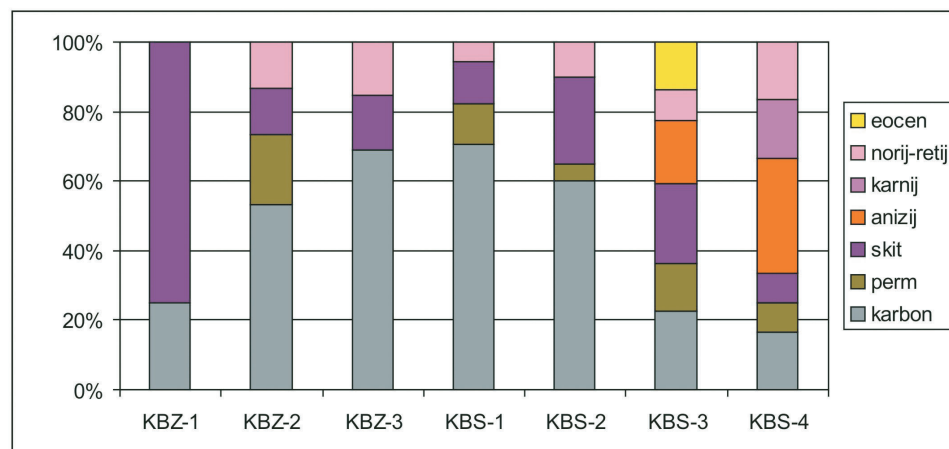
(slika 2). To bi lahko bila tudi izvorna območja drobirskih tokov, ki so odložili štiri opisane diamiktne plasti. Vendar pa se v vzorcih pojavlja tudi 10 – 20 % klastov dachsteinskega apnenca, ki se je v karbonske kamnine pomešal kot pobočni grušč, zato predvidevamo, da je verjetnejše izvorno območje za te štiri drobirske tokove okolica Potoške planine.

V ostalih treh vzorcih je delež karbonskih in permskih kamnin le nekaj nad 20 %. Poleg njih so prisotne še vse ostale triasne kamnine ter v enem od vzorcev celo klasti eocenskih kamnin, ki pa jih na primarnem mestu v zaledju vršaja nismo našli. Glede na zelo heterogeno litološko sestavo teh treh diamiktne plasti težko sklepamo na izvorno območje materiala.

Treba je poudariti, da so bile pri oceni količine klastov in prodnikov upoštevane samo frakcije nad 10 mm in se je zato pretežni mehki del karbona, ki ga zastopata glinavec in meljevec, izgubil. Upoštevati moramo tudi, da se je drobnozrnat material prerazporedil med transportom in bil na vršaju odložen v distalnih delih, ki z izkopi niso bili zajeti. Večino karbonskih kamnin v zaledju Bele sestavljajo skrilavi glinavci in meljevci, zato glavnina karbonskega materiala v vzorcih ni bila zajeta in je realni delež teh kamnin v diamiktne plasteh še bistveno večji. Poleg tega so omenjene kamnine tektonsko močno deformirane, zato je primarna zrnovitost zaradi geomehanske neodpornosti materiala zelo zmanjšana.

Iz naštetega lahko sklepamo, da je bil delež karbonskih kamnin v vsaki od izdvojenih diamiktne plasti precej višji, kot je razvidno iz grafa. Dopuščamo možnost, da so vsi drobirski tokovi nastali v vodonepropustnih karbonskih in permskih kamninah ter so na svoji poti v maso toka vključili še večji ali manjši delež ostalih kamnin, ki se pojavljajo vzdolž struge Bele.

Analiza usmerjenosti daljših osi klastov, ki smo jih merili v diamiktih nad in pod plastjo meljastega peska v spodnjem profilu (slika 3), je v obeh primerih pokazala na smer transporta približno od severa proti jugu. Potok priteče na vršaj v smeri SSV-JJZ, kar v splošnem ustreza izračunani vrednosti. Masni tokovi se običajno po vršaju razlijejo v različnih smereh, zato so lahko osi klastov nekoliko odklonjene od današnje vzdolžne osi vršaja. Rezultati analize usmerjenosti klastov so



Slika 4. Grafični prikaz razporeditve količine prodnikov in/ali klastov v posameznih vzorcih zgornjega (KBZ) in spodnjega (KBS) profila glede na starost kamnin.

Figure 4. Distribution of pebble and/or clast quantity in samples of the upper (KBZ) and lower (KBS) profile according to age.

eliminirali možnost drugih smeri transporta, kot je na primer ledeniški transport po dolini Save.

Diskusija in zaključki

Razkopa in opisi sedimentov v njih so pokazali, da vršaj Koroška Bela sestavlja več zaporednih plasti diamikta in njemu sorodnih subaerskih sedimentov, ki nedvoumno potrjujejo nasipavanje z masnimi, po vsej verjetnosti drobirskimi tokovi. Na podlagi litoloških analiz je mogoče razmeroma zanesljivo sklepati o izvoru materiala. Večina tokov ima svoj izvor v karbonskih in permskih klastičnih in karbonatnih kamninah, ki so v zgornjem delu pokrite s prepustnim apnenčevim gruščem, s tem da je tok na svoji poti do vršaja erodiral še večjo ali manjšo količino ostalih kamnin, ki so prisotne v zaledju. Analize sestave prodnikov v posameznih diamiktnih plasteh so bile opravljene z namenom informativnega ugotavljanja provenience materiala. Z zajetjem večje količine vzorca bi dobili natančnejše podatke o izvoru materiala, vendar smo bili pri odvzemu večjih količin vzorcev v razmeroma ozkih izkopih tehnično omejeni.

Raziskave so dale uporabne in razmeroma zanesljive rezultate, zato ocenjujemo, da je bil pristop k raziskavam pravilen. Z vključitvijo laboratorijskih analiz geomehanskih lastnosti materialov, bi lahko pridobili številne podatke o značilnostih vršajev in posredno drobirskih tokov v širšem alpskem in predalpskem prostoru.

Kot kaže so na območju Karavank predvsem tektonsko porušene klastične in podrejeno karbonatne kamnine karbonske starosti najbolj nestabilne in z vidika ogroženosti zaradi procesov pobočnega premikanja najbolj nevarne. Prav v teh kamninah je na Potoški planini nastal obsežen zemeljski plaz (slika 5), ki je del zaledja vršaja Koroška Bela. Pobočni material je v premikanju že več let, kar dokazujejo deformacije na gozdni cesti, ki poteka preko plazu ter ukrivljena starejša drevesa na plazu. Dolžina plazu je približno 550 m, širina pa do 250 m. Globino ocenjujemo na 5 do 10 m. Ocenjena količina premikajočih zemeljskih mas je tako med 700.000 in 1.400.000 m³. Plaz sestavljajo v coni Košutinega preloma deformirani črni skrilavi glinavci in meljevci, kremenovi konglomerati in peščenjaki, črni masivni apnenci s kalcitnimi žilami ter apnenčev pobočni grušč, ki prekriva prej omenjene kamnine. Odlomni rob plazu se je oblikoval v meliščih pod strmo skalno steno iz dachsteinskega apnenca. Vznožje plazu se nahaja nad več deset metrov visoko strmo skalno stopnjo, preko katere pada kamenje in posamezna drevesa. V zgornjem delu plazu je izvir Urbas, poleg njega se na robovih plazu pojavljajo še manjši izviri in solzila. Vode tečejo vzdolž plazu in razmakajo plazino. Znaki fosilnega plazenja v neposredni povezavi s karbonskimi kamninami so opazni tudi na drugih lokacijah v okolici Potoške planine (slika 2).

Plaz na Potoški planini ima nekaj podobnih lastnosti kot plazovi Stože, Slano Blato in Strug



Slika 5. Lega vršaja Koroška Bela (rumeno) ter plaz na Potoški planini (rdeče).

Figure 5. Location of the Koroška Bela alluvial fan (yellow) and landslide on Potoška planina (red).

(MAJES et al., 2002) tako v obsegu, hidrogeološkem smislu, verjetno pa tudi v smislu materialnih karakteristik. Za vse štiri plazove je značilno, da so v zaledju ali neposredni okolici karbonatne kamnine iz katerih se drenirajo vode, ki razmakajo plazino. Podlaga vseh omenjenih plazov je slabo prepustna. Glede na to, da telo plazu na Potoški planini sestavljajo pretežno skrilavi glinavci ter meljevci, pričakujemo visok delež drobnih frakcij (pod 63 μm) v plazečem materialu, kar je značilno tudi za ostale tri plazove (MAJES et al., 2002). Podobno kot plaz Stože nad Logom pod Mangartom ima tudi plaz na Potoški planini na drobnozrnatih klastičnih kamninah odloženo precejšnjo količino pobočnega grušča.

Za natančnejšo opredelitev nevarnosti plazu za naselje Koroška Bela bi bilo v nadaljevanju treba izvesti podrobno geološko kartiranje plazu in njegove okolice ter raziskati geotehnične lastnosti plazečih zemljin. Na podlagi teh podatkov in ob upoštevanju morebitne večje količine padavin in/ali seizmične aktivnosti bi lahko s precejšnjo zanesljivostjo ocenili možnost nastanka drobirskega toka. Po do sedaj zbranih podatkih ocenjujemo, da predstavlja plaz na Potoški planini ob neugodnih vremenskih razmerah potencialno nevarnost za nastanek drobirskega toka.

Naselje Koroška Bela je eden od številnih primerov, kjer pri načrtovanju gradnje novejših stanovanjskih objektov ni bila upoštevana geološko pogojena nevarnost zaradi procesov pobočnega premikanja (BAVEC et al., 2005). V prihodnje bi morali v alpskem delu Slovenije geohazardu nameniti več pozornosti. Strokovnjaki bi morali načrtno pristopiti k izdelavi kart geološko pogojenih nevarnosti (v skladu z Zakonom o vodah iz leta 2002), predstavniki lokalnih skupnosti pa te podatke skrbno in obvezujoče upoštevati pri prostorskemu planiranju.

Zahvala

Raziskave opisane v tem prispevku (članku) so potekale v okviru dela na ciljnem raziskovalnem projektu z naslovom Ocena ogroženosti zaradi delovanja drobirskih tokov. Terenski del projekta je potekal v Zgornjesavski dolini in med izbranimi hudournišskimi vršaji je bil tudi vršaj Koroška Bela. Projekt sta v celoti podprli in financirali Agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije in Ministrstvo za obrambo Republike Slovenije.

Zahvaljujemo se tudi g. Alešu Klabusu, ki nas je opozoril na zemeljski plaz na Potoški planini.

Literatura

BAVEC, M. 2000: Analiza usmerjenosti klastov kot pomoč pri določanju in primerjavi geneze diamiktov in diamiktov v Bovški kotlini, Logu pod Mangartom in na Stožah = Clast fabric analyses; an additional tool used for genetic interpretation of diamictos in Bovec Basin, Log pod Mangartom and Stože, NW Slovenia. RMZ-mater. geoenviron. (Ljubljana) 47/3–4, 235–243.

BAVEC, M., BUDKOVIČ, T. & KOMAC, M. 2005: Geohazard – geološko pogojena nevarnost zaradi

procesov pobočnega premikanja. Primer občine Bovec = Estimation of geohazard included by mass movement processes. The Bovec municipality case study. Geologija (Ljubljana) 48/2: 303–310.

BUSER, S. 1978: List Celovec (Klagenfurt) Osnovne geološke karte SFRJ 1 : 100.000. Zvezni geološki zavod. Beograd.

BUSER, S. 1980: Tolmač lista Celovec (Klagenfurt) Osnovne geološke karte SFRJ 1 : 100.000. Zvezni geološki zavod. Beograd.

ČETINA, M., RAJAR, R., HOJNIK, T., ZAKRAJŠEK, M., KRZYK, M. & MIKOŠ, M. 2006: Case study: Numerical simulations of debris flow below Stože, Slovenia. Journal of hydraulic engineering (New York, NY) 132/2: 121–130.

DUYSTER, J. 2002: StereoNet: software for displaying and analyzing orientational data. University of Bochum.

JELEN, B., MARTON, E., FODOR, L., BALDI, M., ČAR, J., RIFELJ, H., SKABERNE, D. & VRABEC, M. 1997: Paleomagnetic, Tectonic and Stratigraphic Correlation of Tertiary Formations in Slovenia and Hungary along the Periadriatic and Mid-Hungarian Tectonic Zone (Preliminary Communication). Geologija (Ljubljana) 40: 325–331.

LAVTIŽAR, J. 1897: Zgodovina župnij in zvonovi v dekaniji Radolice. Ljubljana, str.36.

MAJES, B. 2000/2001: Zemeljski plaz Stože pod Mangartom – Analiza plazu in možnosti njegove sanacije. Ujma (Ljubljana) 14/15: 80–92.

MAJES, B., PETKOVŠEK, A. & LOGAR, J. 2002: Primerjava materialnih karakteristik drobirskih in blatnih tokov iz plazov Stože, Slano blato in Strug = The comparison of material characteristics of debris and mud flows from Stože, Slano blato and Strug landslides. Geologija (Ljubljana) 45/2: 457–463.

MARK, D.M. 1971: Rotational vector procedure for the analysis of till fabrics. Geol. Soc. America Bulletin (Boulder, CO) 82: 2661–2666.

MARK, D.M. 1973: Analysis of axial orientation data, including till fabrics. Geol. Soc. America Bulletin (Boulder, CO) 84: 1369–1374.

MIKOŠ, M., FAZARINC, R., MAJES, B., RAJAR, R., ŽAGAR, D., KRZYK, M., HOJNIK, T. & ČETINA, M. 2006: Numerical Simulation of Debris Flows Triggered from the Strug Rock Fall Source Area, W Slovenia. Natural hazards and earth system sciences (Katlenburg-Lindau) 6/2: 261–270.

MIKOŠ, M., FAZARINC, R. & MAJES, B. 2007: Delineation of risk area in Log pod Mangartom due to debris flows from the Stože landslide = Določitev ogroženega območja v Logu pod Mangartom zaradi drobirskih tokov s plazu Stože. Acta geographica Slovenica (Ljubljana) 47/2: 171–198.

NAGAWA, H., TAKAHASHI, T. & SATOFUKA, Y. 2001: An analysis of the debris flow disaster in the Harihara River basin. In: Particulate Gravity Currents. Spec. Publs. Int. Ass. Sediment. 31: 45–64.

PETKOVŠEK, A. 2000/2001: Zemeljski plaz Stože pod Mangartom. Geološko geotehnične raziskave plazu. Ujma (Ljubljana) 14/15: 109–118.

- PETKOVŠEK, A. 2002: Pomen geotehničnih raziskav pri preučevanju drobirskih tokov in prve slovenske izkušnje = The importance of geotechnical research in studying debris flows and the first Slovenian experiences. *Gradbeni vestnik* (Ljubljana) 51: 346–361.
- PETKOVŠEK, B. 2000/2001: Zemeljski plaz Stože pod Mangartom – Geološke značilnosti plaz. *Ujma* (Ljubljana) 14/15: 98–102.
- PLACER, L. 1998: Contribution to the macrotectonic subdivision of the border region between Southern Alps and External Dinarides = Prispevek k makrotektonski rajonizaciji majnega ozemlja med Južnimi Alpami in Zunanji Dinaridi. *Geologija* (Ljubljana) 41, 223–255.
- RIBIČIČ, M. 2000/2001: Zemeljski plaz Stože pod Mangartom – Značilnosti drobirskega toka Stože pod Mangartom. *Ujma* (Ljubljana) 14/15: 102–109.
- SKABERNE, D. 2001a: The catastrophic debris flow in Slovenia. *European Geologist*. 1: 26–28.
- SKABERNE, D. 2001b: Predlog slovenskega izrazoslovja pobočnih premikanj – pobočnega transporta = Proposal of the Slovene terminology on slope movements – slope transport. *Geologija* (Ljubljana) 44/1: 89–100.
- SODNIK, J. & MIKOŠ, M. 2006: Estimation of magnitudes of debris flows in selected torrential watersheds in Slovenia = Ocena magnitud drobirskih tokov v izbranih hudourniških območjih v Sloveniji. *Acta geographica Slovenica* (Ljubljana), 46/1: 93–123.
- ZUPAN, G. 1937: Krajevni leksikon Dravske banovine. Ljubljana, 539–540.