

Geomorfni indikatorji kvartarne aktivnosti Savskega preloma med Golnikom in Preddvorom

Geomorphic indicators of Quaternary activity of the Sava fault between Golnik and Preddvor

PETRA JAMŠEK RUPNIK^{1,*}, LUCILLA BENEDETTI², MILOŠ BAVEC¹, MARKO VRABEC³

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

²Centre Européen de Recherche et d'Enseignement des Géosciences de l'Environnement. UMR 7730 Aix Marseille Université. BP 80, Europôle Méditerranéen de l'Arbois, 13545 Aix-en-Provence Cedex 4, France

³Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Aškerčeva cesta 12, 1000 Ljubljana, Slovenija

*Korespondenčni avtor. E-mail: petra.jamsek@geo-zs.si

Received: November 5, 2012

Accepted: November 5, 2012

Izvelek: Z metodami tektonske geomorfologije smo raziskovali geomorfne značilnosti vzdolž trase Savskega preloma, ki je med pomembnejšimi aktivnimi prelomi na območju Slovenije. Različni geomorfni indikatorji med Golnikom in Preddvorom potrjujejo kvartarno aktivnost preloma. Na podlagi zamika vršajnih vrhov Kokre ocenjujemo povprečno hitrost premikanja ob prelomu na 0,6–4,1 mm na leto za obdobje 365–1 750 tisoč let pred sedanostjo. Ta ocena se v okviru natančnosti ujema z recentno hitrostjo premikov ($1,0 \pm 0,5$) mm na leto, ki je bila izmerjena z GPS, naša ocena dolgoročne povprečne hitrosti premikov na podlagi geoloških meril pa je 1,0–5,0 mm na leto v zadnjih 20–6 milijonov let pred sedanostjo.

Abstract: We investigated geomorphic expression of the Sava fault, one of the most important active faults in Slovenia. Various geomorphic indicators along the section of the fault between Golnik and Preddvor confirm its Quaternary activity. We use offset apices of the Kokra alluvial fan to estimate short-term slip-rate of the fault to 0.6–4.1 mm per year for the period 365–1 750 thousand years BP, which agrees with the GPS-derived recent slip-rate of (1.0 ± 0.5) mm per year,

whereas the long-term slip-rate derived using geological criteria is estimated to (1.0–5.0) mm per year for the last 20–6 million years BP.

Ključne besede: Savski prelom, geomorfologija, kvartarna aktivnost

Key words: Sava fault, geomorphology, Quaternary activity

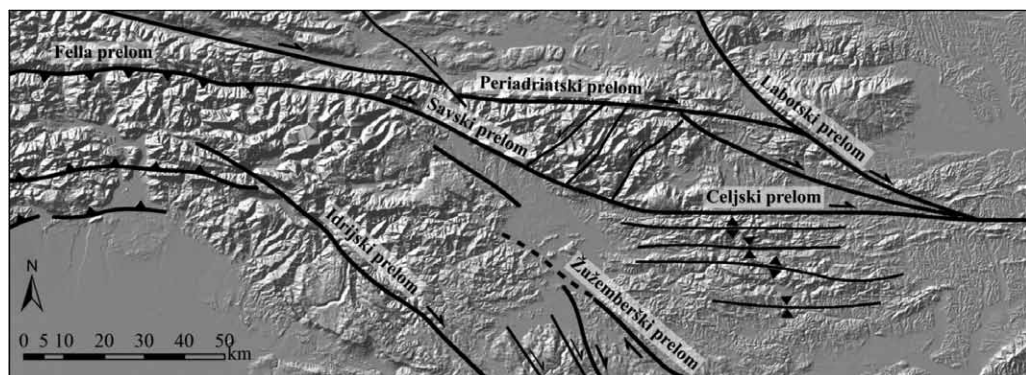
Uvod

Savski prelom je med pomembnejšimi prelomi na območju Slovenije, saj oze mlje države prečka po celotni dolžini (slika 1). Na Z vstopi iz Severne Italije, kjer je poznan kot Belski prelom (Fella fault) s slemenitvijo Z–V, v Zgornjesavsko dolino kot Savski prelom in poteka prek nje do Ljubljanske kotline, kjer je njen severni rob s slemenitvijo SZ–JV. Njegovo nadaljevanje proti vzhodu naj bi bil Celjski prelom s slemenitvijo Z–V, ki prečka Tuhinjsko sinklinalo na njenem severu, poteka po južnem robu Celjske kotline (KAZMER et al., 1996; PLACER, 1996; FODOR et al., 1998) in se po nekaterih interpretacijah nadaljuje do stika s Šoštanjskim in Labotskim prelomom pri Rogaški Slatini in dalje proti E (PLACER, 1996; VRABEC & FODOR, 2006). Tako kot njegova slemenitev se spreminja tudi njegov značaj, saj ima na območju Italije prelom reverzen do desno transpresiven značaj, ki postopoma prehaja v bolj desnozmičnega v Zgornjesavski dolini in med Jesenicami in Preddvorom, kjer slednjič preide nazaj v desno transpresivnega (VRABEC, 2001; VRABEC & FODOR, 2006). Glede na podatke geološkega

kartiranja vpada Savski prelom strmo proti severu (BUSER, 1980; VRABEC, 2001; KASTELIC, 2007).

Savski prelom je najjužnejši prelom v Periadriatskem prelomnem sistemu (VRABEC & FODOR, 2006). Severno je med njim in Periadriatskim prelomom mega strižna leča z zapletenim mehanizmom notranje deformacije rotacije tektonskih lamel (FODOR et al., 1998), južno od njega pa pravokotna ravnica, zapolnjena s kvartarnimi sedimenti – Gorenjski bazen. Zadnje omenjeni je verjetno nastal kot »pull-apart« bazen v sproščujočem preskoku med Savskim in Žužemberškim prelomom na jugu (npr. VRABEC, 2001).

Ugotovljene kinematske faze aktivnosti Savskega preloma si sledijo v naslednjem zaporedju (VRABEC, 2001): desni zmik z glavno fazo premika, desna transpresija in nastanek stiskajočega prevoja med Preddvorom in Stahovico, tenzijske do transtenzijske deformacije ob ugrezanju Gorenjskega bazena ter ponovna transpresija, ki traja še danes. Dolžina skupnega horizontalnega premika ob prelomu je bila na podlagi korelacije različnih oligocenskih forma-



Slika 1. Potek Savskega preloma in poenostavljena tektonska karta območja (prirejeno po VRABEC & FODOR, 2006). Digitalni model reliefa je iz podatkov SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), dostopnih prek Global Land Cover Facility (<http://glcf.umd.edu/index.shtml>).

cij vzdolž preloma ocenjena na 25 km (Hinterlechner – RAVNIK & PLENIČAR, 1967), 40 km (KAZMER et al., 1996) oziroma 65–70 km (PLACER, 1996).

Savski prelom velja za aktiven prelom (POLJAK et al., 2000, 2010; VRABEC & FODOR, 2006), vendar njegova kvartarna aktivnost še ni bila podrobneje raziskana. Kvartarno aktivnost sicer nakazujejo izrazita topografija in v reliefu jasno vidna trasa preloma (VRABEC, 2001; KASTELIC, 2007) ter nekatere deformacije kvartarnih sedimentov (VRABEC, 2001). Potencialno recentno aktivnost preloma nakazujejo tudi hipocentri potresov, ki se pojavljajo na širšem območju (POLJAK et al., 2000, 2010). Študija aktivnih premikov v Periadriatskem prelomnem sistemu v Sloveniji z uporabo GPS-tehnologije je ob zahodnem delu trase Savskega preloma ugotovila aktivne desne pre-

mike s hitrostjo okoli 1 mm na leto (VRABEC et al., 2006).

Kot aktiven prelom regionalnih razsežnosti je Savski prelom verjeten vir seizmičnih dogodkov, vendar iz zgodovinskih zapisov ne poznamo nobenega uničujočega potresa, ki bi mu ga lahko z gotovostjo pripisali. Iz kataloga potresov (ŽIVČIČ, 2009) je v širšem območju Savskega preloma poznanih nekaj potresov z magnitudami med 3 in 4,9. Le-ti so se morda zgodili na Savskem, morda pa na katerem od spremljajočih prelomov, saj hipocentri niso določeni z natančnostjo, ki bi omogočala zanesljivo korelacijo potresov s posameznimi prelomi.

Da bi opredelili kvartarno aktivnost Savskega preloma in s tem pripomogli k boljšemu razumevanju njegove recentne aktivnosti in potencialne po-

tresne nevarnosti, smo geomorfološko analizirali njegovo traso na odseku med Golnikom in Predvorom, iskali geomorfne indikatorje za kvartarno aktivnost preloma in poskusili kvantificirati hitrost premikov ob njem.

TEKTONSKO-GEOMORFOLOŠKA OPAZOVANJA

Geomorfološko kartiranje trase Savskega preloma in tektonsko-geomorfološka opazovanja deformacij ob njem smo izvedli z analizo Temeljnih topografskih načrtov meril 1 : 5 000 in 1 : 10 000 (Javne informacije Slovenije, Geodetska uprava Republike Slovenije, TTN 5 in TTN 10, 1999), Topografskih podatkov merila 1 : 25 000 (Javne informacije Slovenije, Geodetska uprava Republike Slovenije, GKB 25, 2005), digitalnega modela reliefa z ločljivostjo 5 m, izdelanega iz podatkov Digitalnega modela višin (Javne informacije Slovenije, Geodetska uprava Republike Slovenije, DMV 5, 2006), letalskih posnetkov v stereo parih in satelitskih SPOT-posnetkov z ločljivostjo 2,5 m v stereo parih. Opravili smo tudi terenske ogleda zanimivih lokacij. Iz podatkov DMV 5 so bili izdelani topografski profili in karta nagibov površja.

Regionalna geomorfološka izražnost Savskega preloma

Savski prelom je sicer med geomorfološko najbolj izraženimi prelomi na

ozemlju Slovenije, vendar pa je tektonsko-geomorfološko kartiranje njegove trase pokazalo, da le-ta ni povsod jasno vidna. Vz dolž Zgornjesavske doline je trasa preloma slabše izražena, kar bi lahko nakazovalo manjšo aktivnost preloma na tem odseku, še bolj verjeten razlog pa tiči v poledenitvah, predvsem v zadnji ledeni dobi, ko je Savski ledenik lahko izbrisal ves geomorfni tektonski signal, čas po umiku ledenika pa ni bil dovolj dolg, da bi se kasnejši premiki jasno izrazili v površju. Trasa Savskega preloma je nato izjemno dobro geomorfološko izražena na območju med HE Moste pri Jesenicah in Preddvorom, kjer jo definira oster lom v naklonu površja (slika 2). Na tem odseku je prelom očitno segmentiran na posamezne desnozmične segmente. Vzhodno od Preddvora preide Savski prelom v transpresiven stiskajoči prevoj (iz angl. *restraining bend*, po VRABEC, 2001), ki ga sestavljajo od SZ–JV do ZSZ–VJV usmerjeni desnozmični do desnoreverzni prelomi in SV–JZ do V–Z usmerjeni reverzni prelomi in narivi (VRABEC, 2001). Trase teh prelomov so relativno jasno izražene v reliefu med Preddvorom in Godičem. Najjužnejši tak prelom je Cerkeljski pregib (po VRABEC, 2001), ki tvori do 5 m visoko stopnjo v Würmskem prodnem vršaju Kokre. Transpresivni sistem se konča pri Godiču severno od Kamnika, kjer preko doline Kamniške Bistrice poteka več vej Savskega preloma, ki so na tem območju še jasno

so kvartarno aktivni prelomi v večini primerov tudi recentno aktivni, lahko spoznanja o kvartarni aktivnosti uporabimo tudi kot indikacijo recentnih premikanj.

Desnozmčna aktivnost Savskega preloma v daljšem časovnem obdobju je razvidna tudi iz povijanja tokov vseh večjih rek, ki ga prečkajo. Na območju med Jesenicami in Tuhinjem so to Završnica, Begunjščica, Tržiška Bistrica, Kokra, Reka in Kamniška Bistrica (slika 2). Zavoji teh rek nakazujejo med okoli 1,3 km do 5,4 km desnega zmika vzdolž slemenitve preloma. Reke ob prečkanju preloma tudi drastično spremenijo svoj režim iz vrezovanja severno od preloma v akumulacijo (nasipavanje) južno od preloma, zaradi česar je v kvartarju južno od preloma nastal sistem rečnih teras in vršajev. Danes so te reke sicer vrezane v svoje sedimente, kar pa je (najverjetneje) predvsem posledica klimatskih sprememb in z njimi povezanim padcem erozijske baze po zadnjem glacialnem maksimumu, ne moremo pa izključiti niti regionalnega dvigovanja ozemlja. Kljub temu je Savski prelom tudi danes izrazita geomorfološka meja med goratim reliefom Karavank in Kamniško-Savinjskih Alp severno od preloma in nižinskim reliefom Ljubljanske kotline južno od njega. Iz tega sklepamo, da ima Savski prelom tudi pomembno vertikalno komponento premika (ali pa jo je imel v preteklosti).

Geomorfološka analiza med Golnikom in Preddevorom

Na območju med Golnikom in Preddevorom je trasa Savskega preloma geomorfološko zelo dobro izražena. Geomorfološko kartiranje poteka preloma postavlja na kontakt med goratim območjem, v katerega so vrezane številne doline različnih velikostnih razredov, ter pobočjem, ki ga prekrivajo vršaji aluvialnega in koluvijskega izvora. Na tem kontaktu se naklon površja izrazi to lomi. Iz poteka grebenov in vodotokov je razvidno, da je hidrološki relief razvit prečno na aktivni prelom, kar je ugodnejše za ugotavljanje deformacij površja kot v primeru drenaže, razvite vzporedno s prelomom (npr. Zgor-njesavska dolina). Grebeni in doline severno od preloma so usmerjeni večinoma v smeri SV–JZ, nekaj jih ima orientacijo S–J, nekateri pa potekajo tudi v smeri V–Z. S slike 3 je razvidno, da je nekaj strug potokov ob prečkanju trase Savskega preloma rahlo povitih, kot bi bile desno zamaknjene ob prelomu z dolžino premika med 100 m in 200 m. Nekaj potokov sicer takega povijanja ne kaže. Takšen je denimo potok Belica; njegova nedeformiranost je morda posledica močnejšega pretoka, zaradi česar ima potok večjo moč uravnavanja struge sočasno s tektonskimi deformacijami, morda pa je drenažni sistem mlajši od drugih. Analiza vršajev in teras ob Belici bi lahko pokazala zgodovino deformacij ob tem potoku. Nedeformirana sta videti tudi potoka

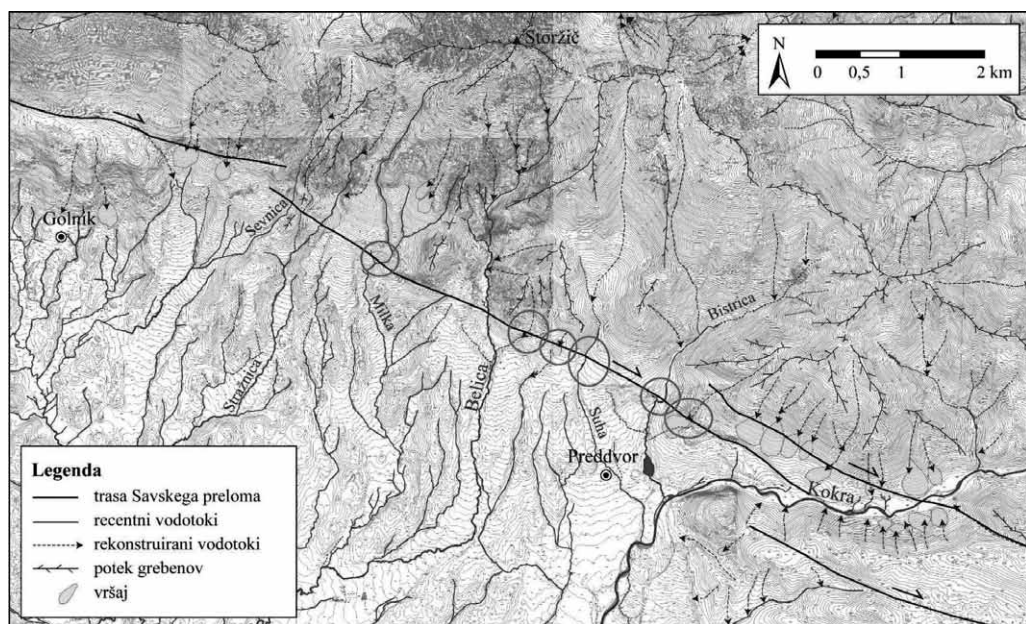
Sevnica in Stražnica, ki prečkata segment Golnik–Preddvor na njegovem SZ koncu. Mislimo, da je tam desnozična deformacija zaradi prenosa premika med prelomnimi segmenti manj lokalizirana in bi bilo potrebno daljše obdobje, da bi lahko tam nastale vidne deformacije površja.

Iz oblike površja so bili rekonstruirani tudi občasni vodotoki, ki se večkrat končajo v vznožju pobočja v obliki manjšega vršaja (slika 3). Prehod iz grape v vršaj se pogosto nahaja na prelomnem kontaktu; enako kot pri stal-

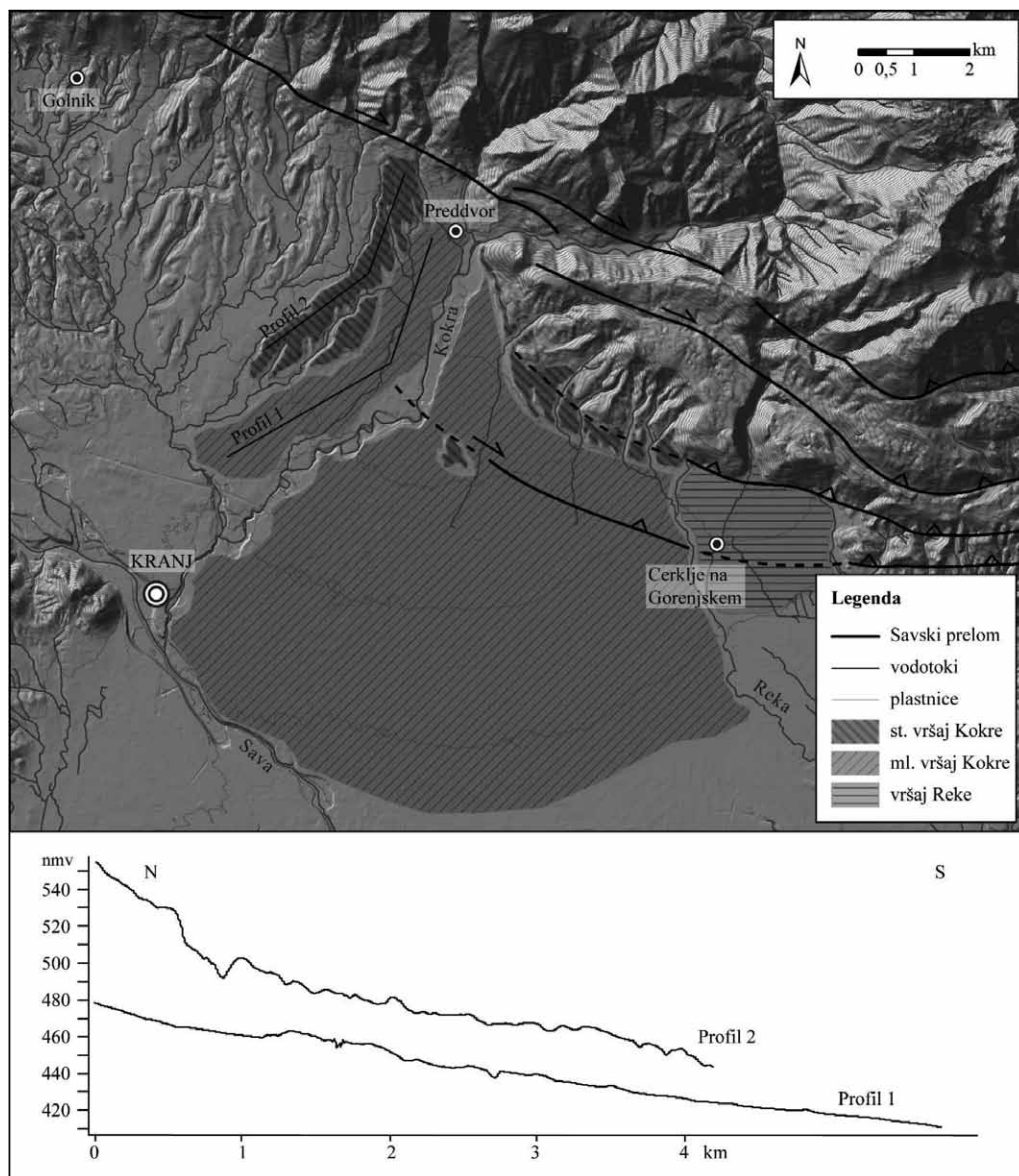
nih vodotokih in njihovih kvartarnih vršajih. Geomorfološko kartiranje teh vršajev še poteka, vendar že njihov obstoj priča o vertikalni komponenti aktivnosti Savskega preloma v kvartarju.

Vršaj Kokre

Med številnimi vršaji, ki so jih ustvarile reke in potoki južno od Savskega preloma na območju Gorenjskega bazena, je vršaj Kokre daleč največji in tudi med najlepše ohranjenimi. Njegova oblika je lepo vidna iz poteka plastnic na dolžini okrog 10 km in širini dobrih 9 km (slika 4). Na površju ohra-



Slika 3. Zamiki strug manjših vodotokov med Golnikom in Preddvorom (označeni s krožnicami) ter manjši recentni vršaji, ki nastajajo ob zaključkih pobočnih grap, po katerih tečejo hudourniki. Vir plastnic in vodotokov so Temeljni topografski načrti meril 1 : 5 000 in 1 : 10 000 (Javne informacije Slovenije, Geodetska uprava Republike Slovenije, TTN 5 in TTN 10, 1999).



Slika 4. Geomorfološka karta vršaja Kokre. Digitalni model reliefa in plastnice z ekvidistanco 25 m so izdelani iz podatkov DMV 5 (Javne informacije Slovenije, Geodetska uprava Republike Slovenije, DMV 5, 2006). Vir vodotokov so Topografski podatki merila 1 : 25 000, GKB 25, podatkovni sloj vode (Javne informacije Slovenije, Geodetska uprava Republike Slovenije, GKB 25, 2005). Topografska profila 1 in 2 sta izdelana iz podatkov DMV 5.

njena pahljačasta oblika vršaja je vidna na obeh straneh današnje reke Kokre, ki se vanj vrezuje. Na svojem V robu je vršaj Kokre prekrit z vršajem Reke, ki ima še lepše ohranjeno površje in je očitno mlajši. Geomorfološki pregled površja V in Z od vršaja Kokre nakazuje prisotnost podobno oblikovane površine tudi vzdolž njegovih bokov, le da ta površina leži približno 15 m nad njim in je manj ohranjena oziroma je močnejše erodirana – torej starejša (slika 4). Podobno višje ležeče površje se nahaja tudi sredi vršaja Kokre in je erodirano z vseh strani. Domnevamo, da bi te površine lahko bile ostanek nekoč enotne površine starejšega vršaja Kokre. Rekonstruirana enotna površina je namreč podobnih razsežnosti kot mlajši vršaj Kokre, zaradi česar sklepamo, da jo je lahko odložila le Kokra, ki je edina dovolj velika reka na tem območju. Topografska profila v smeri padca obeh vršajev (slika 4) namreč kažeta, da imata obe površini enak sedimentacijski padec skoraj na celotni dolžini, le da ima starejši vršaj v zgornjem delu bolj strm profil, zaradi česar bi lahko sklepali, da ga tam dodatno prekriva mlajši koluvij in/ali potočni vršaj.

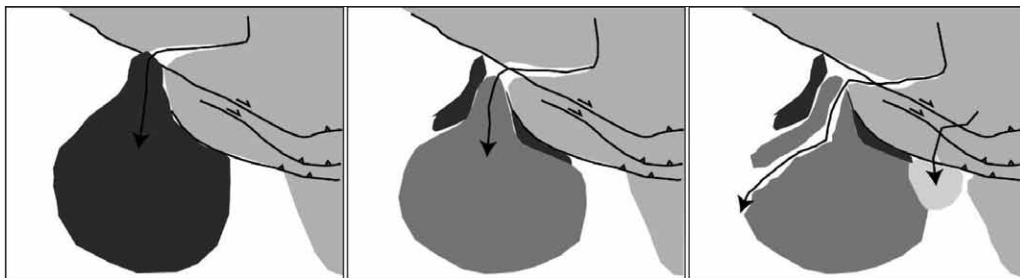
Starost sedimentacije opisanih vršajev je bila opredeljena z relativnimi metodami na podlagi kartiranja kvartarnih sedimentov, morfostratigrafskih značilnosti njihovih površin (ŽLEBNIK, 1971) in značilnosti tal (VIDIC et

al., 1991). Mlajši vršaj Kokre in vršaj Reke sta bila pripisana morfostratigrafski enoti Würm I, medtem ko so bili deli starejšega vršaja Kokre pripisani enotam Riss, Mindel in Günz. Kasnejše absolutno datiranje površja s kozmogenim izotopom ^{10}Be in z analizami paleomagnetizma na različnih lokacijah v Gorenjskem bazenu (PAVICH & VIDIC, 1993; VIDIC & LOBNIK, 1997) uvršča enoto Würm I v časovno obdobje med 50 tisoč in 70 tisoč leti, Riss med 435 tisoč in 515 tisoč leti, Mindel med 780 tisoč in milijon leti ter Günz med milijon in 1 800 milijon leti. Z uporabo morfostratigrafske korelacije te starosti lahko uporabimo tudi za vršaje Kokre, kar povzemamo v tabeli 1.

Domnevamo, da je bila kronologija formiranja površja na območju vršajev Kokre in Reke naslednja (slika 5): a) sedimentacija starejšega vršaja Kokre, b) erozija starejšega vršaja Kokre, c) sedimentacija mlajšega vršaja Kokre, č) sedimentacija vršaja Reke, d) vrezovanje Kokre v mlajši vršaj. V več sto tisoč letih oblikovanja površja ob sočasni aktivnosti Savskega preloma se premik ob prelomu izraža v zamiku vrhov obeh vršajev Kokre. Rekonstruirani položaj vrha starejšega vršaja se nahaja SZ od vrha mlajšega vršaja. Iz njune današnje medsebojne razdalje ocenjujemo premik ob Savskem prelomu v času med odložitvijo starejšega in mlajšega vršaja na 1,0 km do 1,5 km v smeri slemenitve preloma.

Tabela 1. Starost vršajev Kokre in Reke

	Morfostratigrafska enota (Vidic et al., 1991)	Absolutna starost (Vidic & Lobnik, 1997)
Starejši vršaj Kokre	Riss, Mindel ali Günz	435–1 800 · 10 ³ let
Mlajši vršaj Kokre	Würm I	50–70 · 10 ³ let
Vršaj Reke	Würm I	50–70 · 10 ³ let

**Slika 5.** Kronologija sedimentacije vršajev Kokre pod vplivom Savskega preloma (zaporedje od leve proti desni).

HITROST PREMIKOV OB SAVSKEM PRELOMU

Aktivnost Savskega preloma je mogoče ovrednotiti z oceno hitrosti premikov ob njem, za kar je treba poznati dolžino premika in čas, v katerem je premik nastal. Povprečne hitrosti premikov (v nadaljevanju PHP) in recentne hitrosti premikov (v nadaljevanju RHP) ob prelomu lahko ocenimo na podlagi različnih metod. Izbira metode je odvisna od časovnega razpona, za katerega PHP oz. RHP določamo. S premiki, določenimi na podlagi geoloških meril, je praviloma mogoče oceniti PHP za daljše časovno obdobje (*long-term slip-rate*), z geomorfološko določenimi premiki za krajše časovno obdobje (*short-term slip-rate*), z

geodetskimi metodami pa je mogoče določiti RHP. V literaturi so podane različne ocene za dolžino premika ob Savskem prelomu na podlagi zamika geoloških enot (Hinterlechner – RAVNIK & PLENIČAR, 1967; KAZMER et al., 1996; PLACER, 1996) in za RHP, ki je bila izmerjena z GPS (VRABEC et al., 2006). K tem podatkom dodajamo še oceno hitrosti premikov na podlagi geomorfoloških meril, ki jih predstavljamo v tem članku. Pregled vseh meril podajamo v tabeli 2.

Pri določitvi dolžine premika na podlagi geoloških meril avtorji uporabljajo zamik zgornjeoligocenskih vulkanoklastičnih kamnin, manj pa je jasno, kakšna je zgornja starostna meja začetka aktivnosti Savskega preloma.

Do sarmatija (12 milijonov let) na območju osrednje Slovenije prevladuje morska sedimentacija, prevladujoče napetostno stanje pa je tenzija v smeri približno V–Z (npr. FODOR et al., 1998), kar ne omogoča desnih premikov ob Savskem prelomu, ki so vezani na kompresijo v smeri približno S–J (VRABEC, 2001). Tudi po podatkih OGK vzhodno od Kamniške Bistrice prelomi cone Savskega preloma jasno sekajo tam razgaljene srednjemiocenske plasti (PREMRU, 1983), kar postavlja aktivnost Savskega preloma v čas po približno 14 milijoni let. Ob regionalnih prelomih v vzhodnem delu Periadriatskega prelomnega sistema v Sloveniji deformirane srednjemiocenske plasti in veliki zamiki srednjemiocenskih tektonostratigrafskih enot kažejo, da so desnozmične transpresivne deformacije mlajše od srednjega mioцена (FODOR et al., 1998). VRABEC (2001) povezuje nastanek velike prevrnjene gube v neogenskih plasteh Tunjiškega gričevja s transpresivnimi deformacijami v stiskajočem prevoju Savskega preloma pri Kamniku, kar bi glede na starost najmlajših nagubanih plasti omejilo aktivnost preloma na obdobje po sarmatiju. Na podlagi regionalne korelacije je bila glavna faza aktivnosti Savskega preloma vezana na nastop inverzijske faze v Panonskem bazenu in transpresivnega gubanja v Posavskih gubah južno od preloma pred približno 6 milijoni let na prehodu iz miocena v pliocen (VRABEC & FODOR,

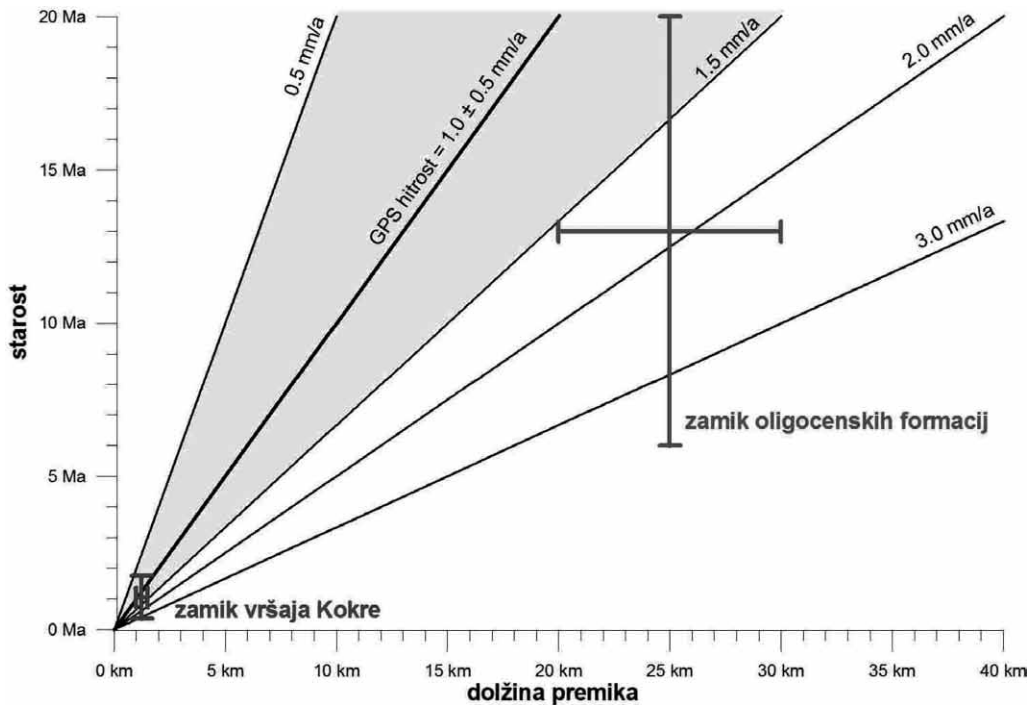
2006). Vendar pa struktura prelomne cone v stiskajočem prevoju Savskega preloma severno od Kamnika kaže, da se je faza velikih premikov ob prelomu zgodila že pred nastopom transpresivnega povijanja ob prelomu (VRABEC, 2001), kar dopušča, da se je aktivnost preloma začela že pred 6 milijoni let.

V svoji oceni smo za skupno dolžino premika ob Savskem prelomu vzeli bolj konzervativno vrednost med 20 km in 30 km, ki je po našem mnenju bolj realna (VRABEC et al., v pripravi). Za časovno obdobje, v katerem se je ta premik zgodil, privzemamo glede na zgornjo diskusijo kot zgornjo mejo 20 milijonov let, kot spodnjo pa 6 milijonov let (tabela 2, slika 6). Ocena dolgoročne PHP za Savski prelom je tako od 1,0 mm do 5,0 mm na leto. Geomorfološko ocenjena kratkoročna PHP na podlagi naše ocene zamika vršaja Kokre je od 0,6 mm do 4,1 mm na leto, RHP, izmerjena z GPS, pa je okrog 1 mm na leto z natančnostjo okoli $\pm 0,5$ mm na leto.

Pri analizi ocenjenih vrednosti je treba upoštevati, da je na ozemlju Slovenije recentna hitrost konvergence med Jadransko mikroploščo in Evrazijo 2–4 mm na leto (npr. WEBER et al., 2010). Ta deformacija je porazdeljena po vseh aktivnih strukturah ozemlja, tako da lahko pričakujemo, da so maksimalne hitrosti premikov ob posameznih prelomih v območju 0,1–1,0 mm na leto.

Tabela 2. Primerjava hitrosti premikov ob Savskem prelomu, pridobljenih z različnimi metodami

Metoda	Avtorji	Zamik	Starost (čas)	Povprečna hitrost premika
Geološko določen premik	Hinterlechner–RAVNIK & PLENIČAR (1967)	25 km	$6-20 \cdot 10^6$ let	1,3–4,2 mm na leto
	KAZMER in sod. (1996)	40 km	$6-20 \cdot 10^6$ let	2,0–6,7 mm na leto
	PLACER (1996)	65–70 km	$6-20 \cdot 10^6$ let	3,25–11,7 mm na leto
	VRABEC (2001)	30–50 km	$6-20 \cdot 10^6$ let	1,5–8,3 mm na leto
Geomorfološko določen premik	ocenjen zamik vršaja Kokre (ta prispevek)	1,0–1,5 km	$(365-1\,750 \cdot 10^3)$ let	0,6–4,1 mm na leto
GPS	VRABEC et al. (2006)		Recentno	$(1,0 \pm 0,5)$ mm na leto

**Slika 6.** Primerjava ocenjenih hitrosti premikov ob Savskem prelomu na podlagi podatkov, uporabljenih v tem članku

Palinspastične rekonstrukcije postkolizijskih deformacij v Alpskem orogenu za zadnjih 20 milijonov let ne kažejo bistveno povečanih hitrosti tektonskih procesov, zato hitrosti premikov ob Savskem prelomu, ki bi bile bistveno višje od današnjih, verjetno niso geološko realistične.

Geomorfološko določena kratkoročna PHP in geodetsko izmerjena RHP se v okviru natančnosti dobro ujemata (slika 6). Natančnejše opredelitve bodo mogoče, ko bomo podrobneje raziskali geomorfološke znake aktivnosti ob Savskem prelomu in jih ustrezno natančno datirali z absolutnimi metodami, prav tako je že v pripravi nov preračun z GPS izmerjenih hitrosti tektonskih deformacij v regiji.

Geološko ocenjena dolgoročna PHP kaže, da so bile hitrosti premikov ob Savskem prelomu v geološki preteklosti verjetno vsaj nekoliko večje kot danes, saj dobimo z RHP primerljivo hitrost le, če uporabimo minimalno dolžino premika 20 km in maksimalni časovni razpon 20 milijonov let (slika 6), če pa uporabimo po našem mnenju bolj realistične vrednosti do 25 km in do 14 milijonov let, dolgoročna PHP naraste na 1,5 mm do 2,0 mm na leto. Manj je verjetno, da je skupni desni premik ob Savskem prelomu 40 km ali več, saj bi v tem primeru dobili za dvakrat do petkrat večje hitrosti premikov, ki pa najbrž niso realistične (tabela 2).

SKLEPI

Oblikovanost površja lahko razodene mnogo informacij o načinu nastanka in razvoja površja ter o dejavnikih, ki so vplivali na procese oblikovanja. Med drugim lahko iz oblikovanosti površja prepoznamo tudi vplive tektonskih procesov. Geomorfološke informacije so ključne pri ugotavljanju kvartarne oziroma recentne aktivnosti tektonskih struktur v regionalnem in tudi v bolj lokalnem merilu.

Na območju med HE Moste in Godičem je Savski prelom dobro geomorfološko izražen. Orientacija geomorfnih indikatorjev prečno na prelom in njihova kvartarna starost omogoča izvedbo tektonsko-geomorfoloških analiz, saj so indikatorji dovolj stari, da se na njih akumulirajo deformacije, hkrati pa so nastale geomorfne oblike ostale ohranjene in jih je mogoče datirati. Naše tektonsko-geomorfološke analize Savskega preloma so pokazale znake za njegovo kvartarno desnozmično aktivnost na območju med HE Moste in Preddvorom ter potrdile njegov desno transpresiven značaj med Preddvorom in Godičem. Večje reke so desno zamaknjene prek preloma za 1,3–5,4 km. Med Golnikom in Preddvorom smo ob prelomu ugotovili 100–200 m dolge desne zamike potokov, na območju kvartarne sedimentacije reke Kokre pa desni zamik vrhov njenih različno starih vršajev za 1,0–1,5 km.

Ocenili smo kratkoročno in dolgoročno povprečno hitrost premikov ob Savskem prelomu. Geološko ocenjena dolgoročna PHP je od 1,0 mm do 5,0 mm na leto za obdobje v zadnjih 20–6 milijonov let pred sedanostjo, geomorfološko določena kratkoročna PHP pa od je od 0,6 mm do 4,1 mm na leto v obdobju 365–1 750 tisoč let pred sedanostjo, kar je v okviru z GPS izmerjene recentne hitrosti premikov ($1,0 \pm 0,5$) mm na leto. V prihodnje nameravamo z natančnim kartiranjem geomorfnihih indikatorjev vzdolž celotne trase Savskega preloma med HE Moste in Godičem in z njihovo datacijo natančneje ovrednotiti kvartarno aktivnost preloma in s tem oceniti stopnjo potresne nevarnosti, ki jo pomeni prelom.

Zahvale

Raziskave so bile financirane iz sredstev Javne agencije za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije prek projektov L1-2383 Seizmotektonski model Ljubljanske kotline, J6-4016 Vzorci prilagajanja človekovih dejavnosti spremembam v okolju po zadnjem glacialnem maksimumu v Sloveniji, programa P1 – 0011 Regionalna geologija in usposabljanja mladega raziskovalca (pogodba št. 1000-09-310068).

Viri

- BUSER, S. (1980): Tolmač lista Celovec (Klagenfurt) L 33-53. Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. Zvezni geološki zavod, Beograd.
- FODOR, L., JELEN, M., MÁRTON, E., SKABERNE, D., ČAR, J. & VRABEC, M. (1998): Miocene-Pliocene tectonic evolution of the Slovenian Periadriatic fault: Implications for Alpine-Carpathian extrusion models. *Tectonics*; Vol. 17, No. 5, pp. 690–709, Washington.
- HINTERLECHNER – RAVNIK, A. & PLENIČAR, M. (1967): Smrekovski andezit in njegov tuf. *Geologija*; Vol. 10, pp. 219–237, Ljubljana.
- KASTELIC, V. (2007): Strukturne razmere v coni Savskega preloma na območju Zahodnih Karavank. = Structural conditions within Sava Fault zone in the Western Karavanke mountains, NW Slovenia. *Geologija*; Vol. 50, No. 2, pp. 323–334, Ljubljana.
- KAZMER, M., FODOR, L., JAZSA, S., JELEN, B., HERLEC, U. & KUHLEMANN, J. (1996): Late Miocene paleogeography of Slovenia and the Southern Alps: A palinspastic approach. 6. *Symposium Tektonik – Stratigraphie – Kristallineologie*; pp. 212–214, Salzburg.
- PAVICH, M. J. & VIDIC, N. (1993): Application of Paleomagnetic and ^{10}Be Analyses to Chronostratigraphy of Alpine Glacio-fluvial Terraces, Sava River Valley, Slovenia. Climate change in continental isotopic records (*Geophysical monograph*; Vol. 78), pp. 263–275, Washington.
- PLACER, L. (1996): O premiku ob Savskem

- prelomu. = Displacement along the Sava fault. *Geologija*; Vol. 39, pp. 283–287, Ljubljana.
- POLJAK, M., GOSAR, A. & ŽIVČIČ, M. (2010): Active tectonics in Slovenia. *Geology of the Adriatic area : International Geological Congress on the Adriatic Area (ADRIA 2006)*, Urbino, 19–20 June 2006, University of Bologna, Department of Earth and Geological-Environmental Sciences, (*GeoActa*; Spec. pub. 3), pp. 15–24, Bologna.
- POLJAK, M., ŽIVČIČ, M. & ZUPANČIČ, P. (2000): The seismotectonic characteristics of Slovenia. *Pure and Applied Geophysics*; Vol. 157, pp. 37–55, Basel.
- PREMRU, U. (1983): Osnovna geološka karta SFRJ, list Ljubljana, 1:100.000. Zvezni geološki zavod, Beograd.
- VIDIC, N. J. & LOBNIK, F. (1997): Rates of soil development of the chronosequence in the Ljubljana Basin, Slovenia. *Geoderma*; Vol. 76, pp. 35–64, Amsterdam.
- VIDIC, N., PAVICH, M. & LOBNIK, F. (1991): Statistical analyses of soil properties on a Quaternary terrace sequence in the upper Sava River Valley, Slovenia, Yugoslavia. *Geoderma*; Vol. 51, pp. 189–212, Amsterdam.
- VRABEC, M. (2001): Strukturna analiza cone Savskega preloma med Trstenikom in Stahovico. Doktorska disertacija. Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo; 94 f., Ljubljana.
- VRABEC, M. & FODOR, L. (2006): Late Cenozoic tectonics of Slovenia : Structural styles at the north-eastern corner of the Adriatic microplate. *The Adriatic microplate: GPS geodesy, tectonics and hazards. NATO Science Series. IV, Earth and Environmental Sciences*; Vol. 61, pp. 151–168, Dordrecht.
- VRABEC, M., PAVLOVČIČ PREŠEREN, P. & STOPAR, B. (2006): GPS study (1996–2002) of active deformation along the Periadriatic fault system in northeastern Slovenia: tectonic model. *Geologica Carpathica*; Vol. 57, No. 1, pp. 57–65, Bratislava.
- WEBER, J., VRABEC, M., PAVLOVČIČ PREŠEREN, P., DIXON, T., JIANG, Y. & STOPAR, B. (2010): GPS-derived motion of the Adriatic microplate from Istria Peninsula and Po Plain sites and geodynamic implications. *Tectonophysics*; Vol. 483, No. 3–4, pp. 214–222, Amsterdam, London, New York.
- ŽIVČIČ, M. (2009): Katalog potresov v Sloveniji. Interna dokumentacija. ARSO – Agencija Republike Slovenije za okolje, Ljubljana.
- ŽLEBNIK, L. (1971): Pleistocen Kranjskega, Sorškega in Ljubljanskega polja. = Pleistocene Deposits of the Kranj, Sora and Ljubljana Fields. *Geologija*; Vol. 14, pp. 5–51, Ljubljana.