

## Identifikacija potencialno aktivnih struktur vzdolž reke Save na podlagi topografskih podatkov in podatkov nivelmanskega vlaka

### Identification of potentially active structures along the Sava river using topographic, and leveling line data

Igor RIŽNAR<sup>1</sup>, Božo KOLER<sup>2</sup> & Miloš BAVEC<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Ulica bratov Martinec 40, Ljubljana, e-mail: igor.riznar@s5.net

<sup>2</sup> Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova 2, Ljubljana, e-mail: bozo.koler@fgg.uni-lj.si

<sup>3</sup> Geološki zavod Slovenije, Dimičeva 14, 1000 Ljubljana, e-mail: milos.bavec@geo-zs.si

*Ključne besede:* nivelmanski vlak, geodinamika, aktivna tektonika, Ljubljanska kotlina  
*Key words:* leveling line, geodynamics, active tectonics, Ljubljana basin

#### Kratka vsebina

S primerjavo geodetskih podatkov nivelmanskega vlaka med Ratečami in Ljubljano ter topografskega profila vzdolž reke Save smo ugotovili razlike v hitrosti vertikalnih premikov, ki jih pripisujemo recentni geodinamiki. Poleg splošnega trenda relativnega dviganja v smeri od juga proti severu smo nakazali segmentacijo območja, ki kaže na obstoj aktivnih struktur v geološki sestavi severnega dela Ljubljanske kotline in Zgornjesavske doline.

#### Abstract

Anomalies in vertical displacement rates related to recent geodynamics were determined between Rateče and Ljubljana by comparing leveling line data with topography of the Sava river longitudinal profile. Beside the general trend showing increase of vertical displacement in the S-N direction, segmentation of the area is noted. The latter suggests that active geological structures exist in the northern part of the Ljubljana basin and in the Upper Sava valley respectively.

#### Uvod

Kvartarna tektonska aktivnost v Ljubljanski kotlini je bila že v preteklosti nakažana z različnimi geološkimi deli. Drobne in sodelavci (1960) so v glinokopu Lokarje pri Vodicach opisali nekaj deset metrov veliko gubo v plasteh gline in proda pleistocenske starosti; Žlebničnik (1971) omenja gubanje sinklinale na Kranjskem in Sorškem polju, ki naj bi se iz terciarja nadaljevalo v pleistocen; Kuščer (1990) opisuje neenakomerne naklone starejših savskih zasipov, ki jih pripisuje stalnem dviganju območij

med Radovljico in Kranjem ter Medvodami in Mednim. Deformacij v würmskem zasipu ni opazil, pač pa v istem prispevku tudi kritično obravnava Premrujevo (1976) pojmovanje neotektonike. Omenjeni avtorji so na podlagi analize kvartarnih zasipov skleпали, da se je ta aktivnost po obdobju »rissa« (MIS 6, op.a.) končala, ter da »würmski« (MIS 5d, op.a.) in mlajši zasipi niso deformirani. Vrabec (2001) je kasneje opozoril na znake, ki bi lahko kazali na subrecentno ozioroma recentno aktivnost nekaterih struktur v Ljubljanski kotlini. V okviru projekta Karta aktivnih prelomov v Sloveniji je v zadnjih

letih potekala identifikacija potencialno aktivnih geoloških struktur na območju Ljubljanske kotline. Na podlagi geoloških in geomorfoloških kriterijev sta Rižnar (2003) in Poljak (2003, v: Bavec et al., 2003) predstavila dva modela potencialno aktivne zgradbe osrednjega dela Ljubljanske kotline. Kasneje je Verbič (2004) na podlagi interpretacije geoloških podatkov in evidentiranih geomorfoloških oblik postavil strukturni stil kvartarnih deformacij med Kranjem in Šmarno goro. Zdi se, da je na širšem območju Vodice in Medvoda tak stil zelo verjeten (Bavec et al., 2004).

Za določitev vertikalnih premikov na določenem območju lahko uporabimo rezultate izmer nivelmanske mreže višjih redov. Namen tega dela je bil oceniti uporabnost podatkov o višinski izmeri nivelmanskega poligona Rateče – Ljubljana za ocenjevanje vertikalnih premikov, preveriti skladnost premikov z anomalijami v reliefu ter oceniti potencial za navezavo ugotovljenih premikov s potencialno aktivnimi geološkimi strukturami.

### **Nivelmanski poligon Rateče – Ljubljana**

Nivelmanske mreže višjih redov, ki so stabilizirane na območju R Slovenije, so bile vključene v izmere I. in II. nivelmana visoke natančnosti (NVN), ki so bile izvedene na območju SFRJ. Nivelmanska mreža I. NVN je bila izmerjena po 2. svetovni vojni. Nivelmanski poligon od Rateč do Ljubljane je bil tako izmerjen leta 1947. Omenjeni nivelmanski poligon je bil ponovno izmerjen leta 1971, ko je na območju R Slovenije potekala izmera II. NVN. V nivelmanskem poligonu od Rateč do Ljubljane imamo stabiliziranih 47 reperjev, ki so bili zajeti v obe izmeri NVN.

Vertikalni premiki reperjev in analiza natančnosti določitve vertikalnih premikov so bili določeni za obdobje od I. do II. izmere NVN. Vertikalni premiki so bili določeni na osnovi spremembe nadmorskih višin točk, glede na izhodiščni reper B.V. 478, ki je stabiliziran v bližini fundamentalnega reperja FR1014 (Črnuče). Natančnost določitve vertikalnega premika posameznega reperja, je bila določena na osnovi natančnosti določitve nadmorskih višin točk v I. in II. izmeri NVN.

### **Kategorizacija reperjev**

Geodetski reperji obravnavanega nivelmanskega poligona so stabilizirani v različne objekte vzdolž železniške proge. Ker smo se želeli izogniti uporabi nezanesljivih podatkov, smo reperje kategorizirali glede na geološko podlago ter stanje objektov v katere so stabilizirani.

Opravili smo pregled vseh nivelmanskih reperjev vzdolž omenjene proge. Reperje smo kategorizirali po vzoru podobne naloge opravljene na območju Krške kotline (Poljak, 1997). Položaj geodetskega poligona je predstavljen na sliki 1.

Ker so vsi reperji stabilizirani v objekte in ne neposredno v matično kamnino, je bilo pri pregledu vsakega potrebno najprej oceniti stanje objekta. V glavnem gre za razmeroma stare objekte, saj je bila velika večina reperjev vgrajena v začetku 20. stoletja, nekateri pa so še starejši.

Reperje smo glede na pričakovano stanje razdelili na pet kategorij.

A – Reper stabiliziran v matično kamnino.

A' – Reper stabiliziran v nedeformiran objekt, ki je temeljen v matično kamnino.

B – Reper stabiliziran v nedeformiran objekt, ki je temeljen v »zemlino« oziroma nevezane sedimente (prod, pesek, težkognetna glina)

B' – Reper stabiliziran v nedeformiran objekt, za katerega ne vemo zanesljivo v kaj je temeljen.

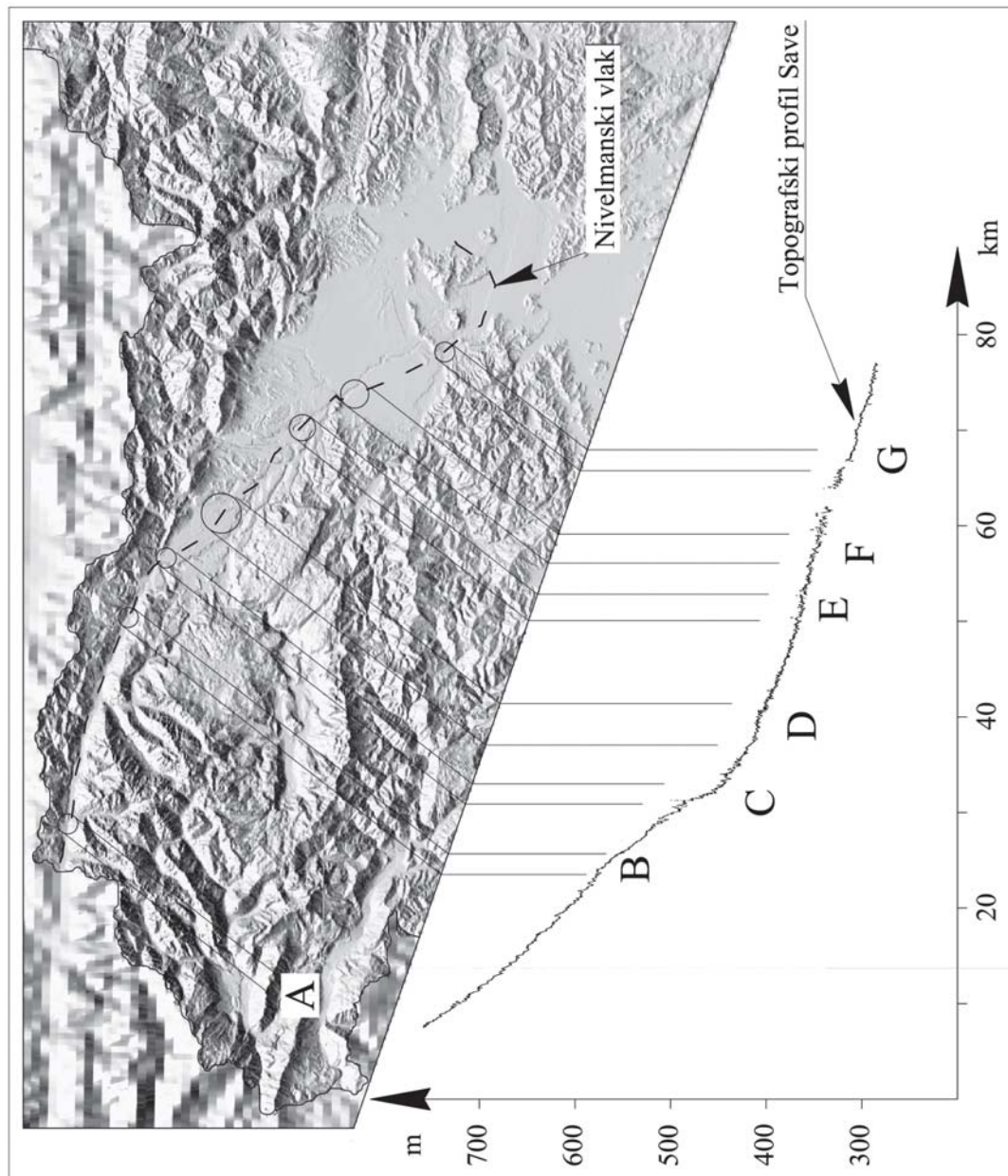
C – Reper stabiliziran v objekte, ki kažejo znake strukturnih deformacij.

Reperje kategorij A smo privzeli kot uporabne za oceno geodinamike in reperje kategorij B kot pogojno uporabne. V kategoriji C so reperji, ki jih glede na današnje stanje objektov ne bi smeli upoštevati, vendar dopuščamo možnost, da so bili v času, ko sta bili izmeri izvedeni še v zadovoljivem stanju.

Nekateri objekti, v katere so bili stabilizirani reperji, so porušeni, tako da o njihovem stanju v času izmer nimamo podatkov. Ne glede na to dejstvo lahko na posameznih mestih z gotovostjo sklepamo v kaj so bili ti objekti temeljeni. To velja predvsem za objekte na prodnih (ali konglomeratnih) zasilnih, kjer je debelina preperine razmeroma majhna (manj kot 1 m). Reperji (predvsem starejši) so stabilizirani v solidno grajene

stavbe, ki so bile v takšnih primerih zagotovo temeljene v matično kamnino oziroma prod. Premiki repera zaradi pogrezanja objekta so v takih primerih, še posebej ko gre za objekte grajene na ravnini, kaj malo ver-

jetni. Če je bil objekt, v katerega je bil stabiliziran reper, porušen na primer leta 1980, ni nujno, da so vse meritve (zadnja je bila izvedena leta 1971) neuporabne. Menimo, da je bilo rezultate meritev teh reperjev kljub



Sl. 1. Položaj nivelmanskega vlaka in projekcija topografskega profila Save (na vertikalno ravnino s slemenitvijo  $128^\circ$ ) z označenimi lokacijami anomalij (A-G).

Fig. 1. Position of the leveling line and projection of the Sava river topographic profile (projected to the  $128^\circ$  vertical plane). Anomalies are marked (A-G).

vsemu smiselno pregledati in oceniti njihovo uporabnost. Vsekakor pa takšni reperji spadajo v najnižjo kategorijo zanesljivosti in jih je smiselno uporabiti le pogojno.

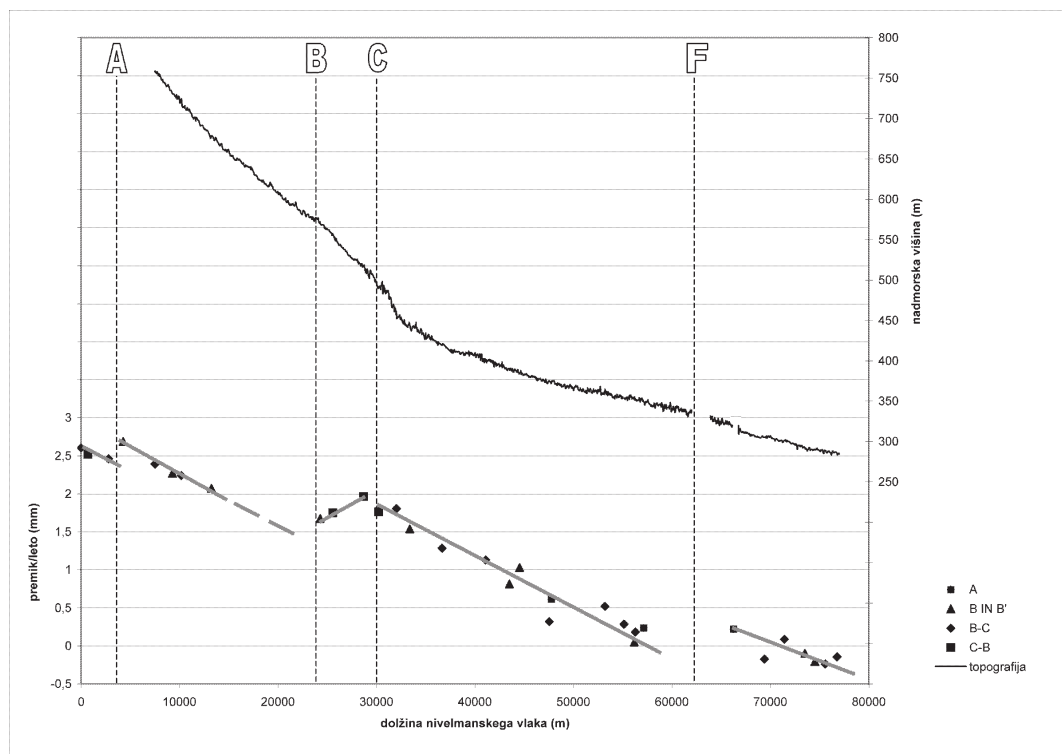
Na osnovi terenskega ogleda smo se odločili, da nekatere reperje označimo z dvojno oznako, na primer B - C. To so objekti, kjer so reperji prekriti z novo fasado. Gre za primere, ko ni jasno ali je bil objekt pred adaptacijo strukturno deformiran, vendar ni nikakršnih znakov, ki bi kazali, da je bilo tako. Takšni reperji so načeloma nezanesljivi, lahko pa bi bili tudi uporabni.

Z oznako C - B smo označili reperje, ki so stabilizirani v objektu na katerih fasadi so vidne razpoke, ki so bodisi posledica nabrekanja fasade oziroma dotrajanosti le-te ali pa gre za objekte, ki so razpokali v zadnjih

letih, ko so tik ob njih obnovili cesto in je fasada razpokala zaradi tresljajev ali potresa.

### Topografski profil vzdolž Save

Topografski profil vzdolž reke Save med njenim izvirom in Ljubljano smo izdelali na podlagi digitalnega modela višin InSAR 25 (© Geodetska uprava RS). Sestavljen je iz 5771 točk. Ob analizi smo morali upoštevati tudi nekatere omejitve, ki nastanejo zaradi napak, povezanih z velikostjo osnovne celice (25 m) in načinom zajema izvirnega podatka. Profil je tako zaradi uporabe neobdelanih podatkov nazobčan, na območju največjih napak pa podatkov nismo upoštevali.



Sl. 2. Primerjava topografskega profila Save in podatkov nivelmanskega vlaka (projekcija na vertikalno ravnino s slemenitvijo  $128^\circ$ ). Nakazana je segmentacija profila na pet odsekov. Oznake A, B in B', B-C in C-B so kategorije reperjev glede na geološko podlago in kvaliteto vgradnje.

Fig. 2 A comparison of the Sava river topographic profile with the leveling line data between Rateče and Ljubljana (both projected to the  $128^\circ$  vertical plane). Segmentation into five sections is indicated. A, B in B', B-C in C-B are categories of bench mark quality regarding the bedrock type and condition of the structure into which the bench mark is stabilized.

Poleg tega smo morali pri interpretaciji upoštevati tudi dejstvo, da uporabljamo podatke radarskega odboja od vodne površine, ki na območju akumulacijskih jezer za elektrarne na Savi odstopa od naravnega stanja. Enako kot v primeru nivelmanskega poligona smo za analizo uporabili projekcijo profila na vertikalno ravnino z azimutom 128°, kar v geološkem smislu približno ustreza t.i. dinarski smeri.

Analiza topografskega profila je pokazala več nezveznosti v običajnem konkavnem rečnem profilu. Od severozahoda proti jugovzhodu si sledijo naslednje anomalije (sl. 2, 3):

- Jesenice (B),
- Moste (C),
- Radovljica (D),
- Naklo (E),
- Kranj (F),
- Medvode (G).

Anomalije v ožini pod Mostami (C) in med Tržiško Bistrico ter Soro je kot »tektonsko pogojene« ocenil že Ilešič (1953), ki je za svojo analizo uporabil bistveno manj kvaliteten vhodni podatek. Anomalija pri Mostah je na topografskem profilu vsekakor najbolj izrazita, vendar pa lahko na podlagi kvalitetnejših vhodnih podatkov, ki smo jih uporabili tu, v profilu opazujemo vsaj šest zgoraj navedenih anomalij, ki razdelijo potek pričakovanega normalnega profila Save na sedem odsekov.

### Dinamika reperjev nivelmanskega poligona

Podatke o izmeri nivelmanskega poligona smo za primerjavo s topografijo Save projicirali na vertikalno ravnino z azimutom 128° (sl. 2, 3). Že hiter pogled v podatke pokaže na več kot očitno recentno geodinamiko. Od letnega dviganja velikostnega reda  $2.55 \pm 0.40$  mm/leto na območju Zgornjesavske doline, ki je določeno glede na izhodiščni reper B.V. 478, se dviganje bolj ali manj zvezno zmanjšuje do območja med Kranjem in Medvodami, kjer se merske točke približajo stabilnemu stanju. Če poskusimo vertikalne premike, dobljene na osnovi izmere nivelmanskega poligona, bolj detajlno analizirati, lahko na prvi stopnji prepoznamo štiri območja nezveznosti (sl. 2), na drugi stopnji, ki pa je že zelo obremenjena s subjektivnimi ocenami, pa celo na sedem območij, ki se

ujemajo z anomalijami v topografskem profilu Save (sl. 3).

### Območja nezveznosti v nivelmanskem poligonu

Prva nezveznost je opazna na začetku poligona med točkami pri Ratečah in Zelencih (A) (sl. 2). Od tod je jasno razpoznaven enakomeren trend pojemanja vertikalnih premikov vse do Jesenic (B). Med Jesenicami (B) in Mostami (C) vertikalni premiki skokovito narastejo. Od Most se pojemanje vertikalnih premikov s primerljivim trendom nadaljuje približno do Kranja, kjer je spet zaznavna anomalija (F). Južno od Kranja se trend hitrosti vertikalnih premikov nekoliko zmanjša. Južno od Medvod beležimo celo minimalne negativne vrednosti vertikalnih premikov, ki pa so statistično nepomembne.

Kot smo omenili, je podrobnejša razčlenitev rezultatov izmere nivelmanskega poligona (sedem območij nezveznosti) močno subjektivna, zato je predstavljena le kot ena izmed možnosti in kot usmeritev nadaljnjega dela (sl. 3). Razlike med nekaterimi odseki so sorazmerno dobro vidne, nekatere nezveznosti v rezultatih nivelmanskega poligona pa so bile definirane s pomočjo primerjave in ujemanja z anomalijami topografskega profila Save. Skupno smo tako prepoznali sedem anomalij. Povprečni statistično pomembni vertikalni premiki na območjih, ki smo jih izdvojili na sliki 3 so:

- Rateče - Zelenci (A):  $2.55^1 \pm 0.40^2$  mm/leto,

- Zelenci (A) - Jesenice (B):  $2.35 \pm 0.25$  mm/leto,

- Jesenice (B) - Moste (C):  $1.80 \pm 0.30$  mm/leto,

- Moste (C) - Radovljica (D):  $1.60 \pm 0.30$  mm/leto,

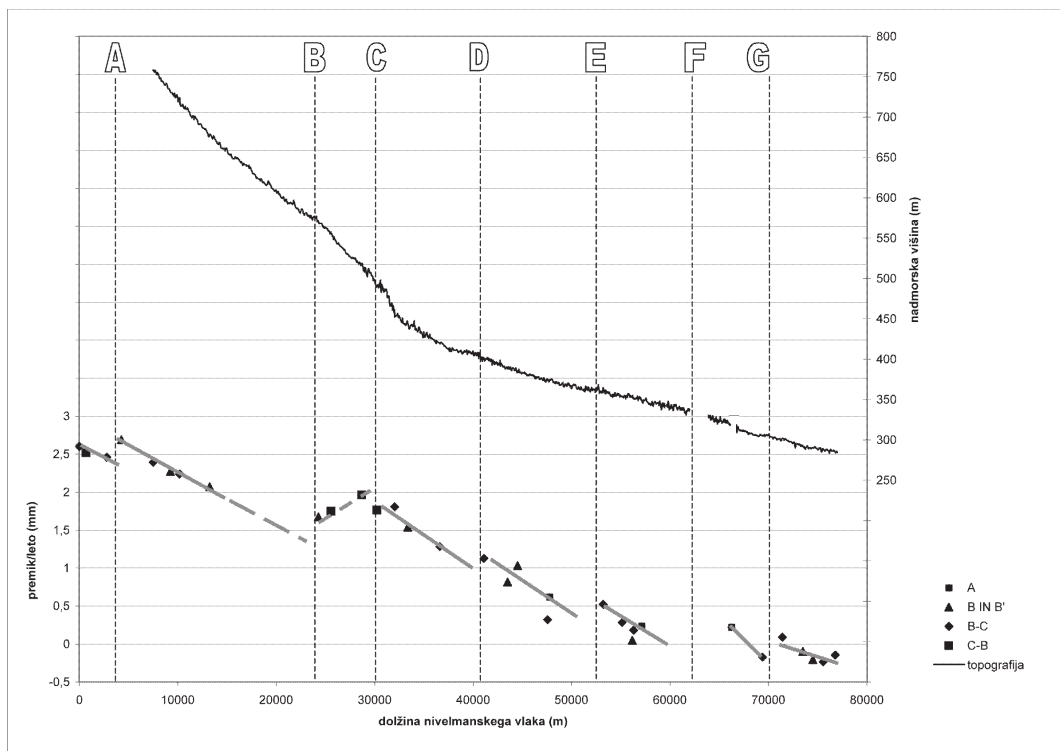
- Radovljica (D) - Naklo (E):  $0.80 \pm 0.30$  mm/leto,

Povprečni statistično nepomembni vertikalni premiki na območjih, ki smo jih izdvojili na sliki 3 so:

- Naklo (E) - Kranj (F):  $0.25 \pm 0.25$  mm/leto,

<sup>1</sup> Povprečni vertikalni premik

<sup>2</sup> Povprečna natančnost določitve vertikalnega premika (1 σ)



Sl. 3. Primerjava topografskega profila Save in podatkov nivelmanskega vlaka (projekcija na vertikalno ravnino s slemenitvijo  $128^\circ$ ). Nakazana je segmentacija profila na osem odsekov. Oznake A, B in B', B-C in C-B so kategorije reperjev glede na geološko podlago in kvaliteto vgradnje.

Fig. 2 A comparison of the Sava river topographic profile with the leveling line data between Rateče and Ljubljana (both projected to the  $128^\circ$  vertical plane). Segmentation into eight sections is indicated. A, B in B', B-C in C-B are categories of bench mark quality regarding the bedrock type and condition of the structure into which the bench mark is stabilized.

– Kranj (F) – Medvode (G):  $0.00 \pm 0.20$  mm/leto.

Na območju od Medvod do Ljubljane znašajo povprečni vertikalni premiki  $0.10 \pm 0.15$  mm/leto in so statistično nepomembni.

### Diskusija

Anomalije v topografskem profilu Save in rezultati izmere nivelmanskega poligona med Ratečami in Ljubljano se prostorsko razmeroma dobro ujemajo. Na podlagi njihove primerjave smo dobili indice o recentni geodinamiki Zgornjesavske doline in Ljubljanske kotline. Nesporno lahko ugotovimo, da se velikost vertikalnih premikov

ozemlja povečuje v smeri od juga proti severu. Z manj zanesljivosti lahko profil med Ratečami in Ljubljano razdelimo na segmente, vendar je jasno da so v dinamiki premikov prepoznavne nezveznosti, ki so po našem mnenju posledica aktivnih struktur.

Vertikalno ravnino z azimutom  $128^\circ$  smo za projekcijo obravnavanih podatkov izbrali iz dveh razlogov. Najprej zato, ker v grobem sledi toku Save in poteku nivelmanskega vlaka, drugič pa, ker poteka prečno na smer struktur, ki sta jih v svojih modelih predvidela tako Poljak (2003, v: Bavec et. al., 2003) kot Rižnar (2003) ter jih je v Verbič (2004) med Kranjem in Šmarno goro ocenil kot potencialno aktivne. Gre torej

za strukture, ki v grobem potekajo prečno na daljšo os Ljubljanske kotline in so bile v omenjenih poročilih ocenjene kot kompresijske (gube, reverzni prelomi). Zbrani podatki bodo uporabljeni za nadaljnje delo. Izkazalo se je tudi, da so vertikalni premiki, ki jih dobimo na osnovi večkrat izmerjenih nivelmanskih poligonov, koristen pripomoček za popolnejše razumevanje geodinamike. Tako bomo poskušali ponoviti geodetsko izmero, ki bo povečala natančnost vhodnih podatkov in tako omogočila popolnejšo identifikacijo aktivnih struktur.

### Zahvala

Delo je nastalo v okviru projekta Karta aktivnih prelomov v Sloveniji, ki ga finančno podpira Agencija za okolje RS pri Ministrstvu za okolje in prostor.

## Identification of potentially active structures along the Sava river using topographic, and leveling line data

### Preface

Quaternary tectonic activity in the Ljubljana basin has been proven in the past (e.g. Drobne et al., 1960; discussed Šifrer, 1961; Žlebnik, 1971; Kuščer, 1990). The authors however concluded that according to the properties of the Quaternary infill, the activity ceased after the "Rissian" (MIS 6) period, suggesting that "Würmian" (MIS 5d) and younger infill is not deformed. Vrabec (2001) noted certain phenomena that could possibly be a consequence of sub-recent or recent tectonic activity. Through the course of the project "Map of active faults in Slovenia" attempts were made to identify active structures in the Ljubljana basin. Two conceptual models of central basin's potentially active structural build-up were introduced (Rižnar, 2003; Poljak, 2003, in: Bavec et al., 2003) followed by a concept (Verbič, 2004), describing the Quaternary deformation structural style in the area between Kranj and Šmarna gora. The concept proved plausible in the broader surroundings of Vodice and Medvode (Bavec et al., 2004).

### Leveling line from Rateče to Ljubljana

During the 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> Yugoslav Leveling precise leveling network in Slovenia was established. The 1<sup>st</sup> Yugoslav Leveling was performed after the World War II and the leveling line from Rateče to Ljubljana was measured in 1947. This leveling line was measured again in 1971 during the 2<sup>nd</sup> Yugoslav leveling. There are 47 benchmarks included into 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> Yugoslav Leveling between Rateče and Ljubljana.

Vertical movements and the precision of definition of vertical movement were determined for the period between 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> Yugoslav Leveling. The vertical movement rate of benchmark is obtained as the ratio between the difference in height and the time interval between the respective measurements. The vertical movement rates of individual benchmarks are calculated with regard to the benchmark B.V. 478 which is stabilized near fundamental benchmark FR1014 (Črnuče). The accuracy of vertical movement rate is determined on the basis of the accuracy of the height above sea level in the 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> Yugoslav Leveling.

### Categorization of the benchmarks

The leveling line benchmarks were stabilized in various buildings along the railway. An inspection and categorization of the benchmarks was performed in order to assess the quality as well as to eliminate uncertain data. Both, the bedrock type as well as the condition of the structures were taken into account for the categorization, similarly to a comparable study performed in the Krško basin area (Poljak, 1997). The position of the leveling line is shown in figure 1.

Since all the benchmarks were stabilized in structures and not in the bedrock itself, the condition of the structures had to be assessed. Most of them are rather old, originating from beginning of the 20th century, some of them are even older.

The benchmarks were accordingly divided into five categories.

A – The benchmarks stabilized in bedrock

A' – The benchmarks stabilized in undamaged structures founded in bedrock

B – The benchmarks stabilized in undamaged structures founded in sediments

B' – The benchmarks stabilized in undeformed structures founded under unknown conditions

C – The benchmarks stabilized in damaged structures

For the assessment of the geodynamics, benchmarks of A category were accepted as relevant and those of B category as conditionally relevant. C category represents benchmarks that should not be accepted considering the present state of the structures in which they are stabilized. There is, however, a possibility that at the time of the measurements (30 or more years ago) those structures were still in good condition and therefore those measurements are still relevant.

Some structures bearing benchmarks are now in ruins and we don't have the data about their condition at the time of the measurements. Regardless to that, we can deduce with a high confidence from geologic data and observations, in what media these buildings were founded. Benchmarks (especially the older ones) were stabilized into well built structures definitely founded in bedrock or gravel. Vertical displacements of the benchmarks due to the consolidation of the ground after they were stabilized, are very unlikely. If the structure bearing the benchmark was ruined after the last measurement that does not imply that all the measurements are not relevant, since the last ones were taken from 1970 to 1971. Such measurements were taken as conditionally relevant and marked as C category.

Some benchmarks are marked with a double sign e.g. B – C. This type of category was applied to benchmarks which were covered with a new façade and no data was available about the eventual structural deformations of the building prior to adaptation. On the other hand we have no data suggesting the opposite. In principle, these data are unreliable but could also be relevant.

Benchmarks designated as C – B were stabilized into buildings where the cracking of the façade was observed as a consequence of recent (after last measurement) degradation of the façade or where cracking is a consequence of proven recent anthropogenic activity in the vicinity (e.g. reconstructi-

on of the road) or as consequence of recent earthquake shocks.

### Topographic line along the Sava River

A topographic line was constructed along the course of the Sava river between its source and Ljubljana. The line was composed of 5771 points obtained from InSAR 25 DEM (© Geodetska uprava RS). Restrictions of the DEM were taken into account. Namely, due to the size of the grid cell (25 m), the line may be irregular to a level that required us to omit the data at two locations (Figs. 2, 3). The reflection of the radar signal due to anthropogenically elevated water surfaces (power-plant accumulations) was also considered. In order to compare the topographic line with the geodetic data both were projected onto a vertical plane oriented at 128° approximately corresponding to the so called "dinamic direction" in geological sense.

Several anomalies of the normal concave river longitudinal profile were recognized. In the NW-SE direction these anomalies were denominated as follows (Figs. 2, 3):

- Jesenice (B),
- Moste (C),
- Radovljica (D),
- Naklo (E),
- Kranj (F),
- Medvode (G).

Ilešič (1953) recognized anomalies at Moste (C) and between Tržiška Bistrica and Sora respectively, even though he had to rely on elevation data of rather poor quality. Using the higher quality elevation data, we were able to define at least six anomalies (listed above) dividing the normal river profile into seven sections of presumably normal concave river profile.

### The dynamics of the leveling-line measuring points

Leveling line data was projected onto a vertical plane oriented in the direction 128° and compared with topography of the Sava river (Figs. 2, 3). A mere glance into the leveling line graph reveals an obvious sign of recent geodynamics in the area. In the Upper Sava valley (NW of Jesenice) the uplift reaches  $2.5 \pm 0.40$  mm/year. Towards the



SE the vertical displacement diminishes more or less continuously to reach a stable state between Kranj and Medvode A closer look, however, reveals certain anomalies within the leveling line. Four areas of discontinuity are rather obvious (Fig. 2) while further division that results in distinguishing seven areas of discontinuity corresponding to the anomalies in the Sava longitudinal profile (Fig. 3) is highly subjective.

### Areas of discontinuity within the leveling line

From the NW towards the SE, the first discontinuity was recognized in the vicinity of Rateče and Zelenci (A, Fig.2). Further towards the SE, the uplift rate continuously decreases until Jesenice (B). Between Jesenice and Moste (C) there is an abrupt increase in the uplift rate which is followed by another section of continuous decrease until Kranj, where another anomaly (F) appears. Further southwards the trend slightly decreases yet south of Medvode first negative values of vertical displacements were noted that are, however, statistically not significant.

As mentioned above, a more detailed subdivision of the leveling line (seven areas of discontinuity) is highly subjective, and is therefore presented only as an alternative option and as a guideline for further investigations (Fig. 3). Several discontinuities are well defined whereas others were determined by comparison with the topographic line. Statistically significant average vertical displacements were obtained at following localities (Fig. 3):

- Rateče - Zelenci (A):  $2.55^3 \pm 0.40^4$  mm/leto,
- Zelenci (A) - Jesenice (B):  $2.35 \pm 0.25$  mm/leto,
- Jesenice (B) - Moste (C):  $1.80 \pm 0.30$  mm/leto,
- Moste (C) - Radovljica (D):  $1.60 \pm 0.30$  mm/leto,
- Radovljica (D) - Naklo (E):  $0.80 \pm 0.30$  mm/leto,

Not significant vertical rate of displacement was measured at:

- Naklo (E) - Kranj (F):  $0.25 \pm 0.25$  mm/leto,
- Kranj (F) - Medvode (G):  $0.00 \pm 0.20$  mm/leto.

Not significant vertical displacement rate were also observed between Medvode and Ljubljana. The average vertical displacement rate for this segment of the leveling line is  $-0.10 \pm 0.15$  mm/yr.

### Discussion

Topographic anomalies of the Sava river longitudinal profile correspond relatively well to anomalies within the leveling line between Rateče and Ljubljana. We interpret the anomalies as indices for active geodynamics in the Ljubljana basin. It is rather clear that the amount of vertical uplift decreases in the direction from NW to SE. Although more ambiguity arises while trying to divide the dynamics into sections, it is not ambiguous that certain irregularities do exist within the general trend.

The data was projected onto a vertical plane oriented in direction 128e for two reasons. As first, this plane follows the general direction of the leveling line and the Sava river flow, and secondly it is perpendicular to structures predicted in models by Poljak (2003, in: Bavec et. al., 2003) and Rižnar (2003) and that were in places assessed as potentially active by Verbič (2004). These structures cross the Ljubljana basin roughly perpendicular to its longitudinal axis, and they were assessed as compressional in the reports mentioned. The results will be used as grounds for further investigations. This work has proved that consecutive levelings can be of use at estimating active geodynamics. Future work will be aimed towards new geodetic measurements and further identification of active structures.

### Acknowledgements

The project Active Faults of Slovenia is financially supported by Environmental Agency of the Republic of Slovenia.

<sup>3</sup> Average vertical displacement

<sup>4</sup> Average accuracy of the vertical displacement measurement ( $1 \sigma$ )

### Literatura-References

Bavec, M., Poljak, M., Demšar, M., Rajver, D., Komac, M., Toman, M., Stojanova, S., Mušič, B., Vrabec, M., Verbič, T. & Rižnar, I. 2003: Izdelava geoloških kart – karta aktivnih prelomov v Sloveniji. Raziskave na območju Ljubljansko – kranjske kotline. Letno poročilo za leto 2003. – Tipkano poročilo, 33 str., 4 priloge, 4 dodatki, Geološki zavod Slovenije.

Bavec, M., Celarc, B., Poljak, M., Demšar, M., Rajver, D., Skaberne, D., Verbič, T., Rižnar, I., Preusser, F. & Culiberg, M. 2004: Izdelava geoloških kart – karta aktivnih prelomov v Sloveniji. Letno poročilo za leto 2004. 1. del: Raziskave na območju Ljubljanske kotline in Raškega preloma. – Tipkano poročilo, 110 str., 4 priloge, Geološki zavod Slovenije.

Drobne, F., Pavlovec, R. & Šercelj, A. 1960: Nekaj analiz ter problematika pleistocenskih sedimentov v Lokarjih pri Vodica. – Kamniški zbornik, 6, 163-194, Ljubljana.

Ilešič, S. 1953: Podolžni profil zgornje Save. – Geografski vestnik, 25, 27-44, Ljubljana.

Poljak, M. 1997: Geološka interpretacija geodetskih meritev v okviru projekta stalnega dolo-

čanja tektonskih premikov v okolici JE Krško. – Tipkano poročilo, 13 str., 12 dodatkov, Geološki zavod Slovenije.

Premru, U., 1976: Neotektonika vzhodne Slovenije. – Geologija 19, 211-241, Ljubljana.

Rižnar, I. 2003: Izdelava geoloških kart – karta aktivnih prelomov v Sloveniji. Raziskave na območju Ljubljansko – kranjske kotline. Letno poročilo za leto 2003. Dodatek 1. – V: Bavec et al., 2003: Izdelava geoloških kart – karta aktivnih prelomov v Sloveniji. Raziskave na območju Ljubljansko – kranjske kotline. Letno poročilo za leto 2003. – Tipkano poročilo, 33 str., 4 priloge, 4 dodatki, Geološki zavod Slovenije.

Šifrer, M., 1961: Porečje Kamniške Bistrice v pleistocenu. – SAZU, 211 pp., Ljubljana.

Verbič, T. 2004: Strukturni stil tektonskih deformacij med Kranjem in Šmarno goro. – Tipkano poročilo, 17 str., 1 priloga, Tomaž Verbič, zasebni raziskovalec.

Vrabec, M. 2001: Strukturna analiza cone Savskega preloma med Trstenikom in Stahovico. – Neobjavljeno doktorsko delo, 94 str., Univerza v Ljubljani.

Zlebnik, L. 1971: Pleistocen Kranjskega, Sorškega in Ljubljanskega polja. – Geologija, 14, 5 -51, Ljubljana.