

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*

*Janova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si*



Visokošolski program geodezija,
Smer Geodezija v inženirstvu

Kandidatka:

Ana Lavrič

Ugotavljanje premikov ob tektonskih prelomih

Diplomska naloga št.: 302

Mentor:

izr. prof. dr. Dušan Kogoj

Somentor:

doc. dr. Simona Savšek

Ljubljana, 25. 9. 2009

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisana ANA LAVRIČ izjavljam, da sem avtorica diplomske naloge z naslovom:

>>UGOTAVLJANJE PREMIKOV OB TEKTONSKIH PRELOMIH<<.

Izjavljam, da prenašam vse materialne avtorske pravice v zvezi z diplomsko nalogo na UL,
Fakulteto za gradbeništvo in geodezijo.

Ljubljana, 3.9.2009

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	528.02(043.2)
Avtor:	Ana Lavrič
Mentor:	izr. prof. dr. Dušan Kogoj
Somentor:	doc. dr. Simona Savšek
Naslov:	Ugotavljanje premikov ob tektonskih prelomih
Obseg in oprema:	83 str., 31 sl.
Ključne besede:	Tektonika plošč, tektonski prelomi, tektonski premiki, geodetske metode, geodetske meritve, tehnologije, raziskave

Izveček

Določitev premikov in deformacij naravnih in umetnih objektov je ena najzahtevnejših nalog geodetske stroke. Problem je povezan z ugotavljanjem stabilnosti in potencialne nevarnosti objektov, ki so posledica delovanja naravnih sil ali nenadzorovanih posegov v prostor.

Diplomska delo obravnava pregled geodetskih metod določevanja oziroma merjenja premikov ob tektonskih prelomih vključno z nekaterimi geodetskimi raziskavami na področju tektonskih premikov v Sloveniji in svetu.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDK: 528.02(043.2)
Author: Ana Lavrič
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Dušan Kogoj
Co-supervisor: Doc. dr. Simona Savšek
Title: Geodetic measurements of movements along tectonic faults
Notes: 83 p., 31 fig.
Key words: Plate tectonics, tectonic faults, tectonic movements, surveying methods, geodetic measurements, technology, research

Abstract

Determination of the movement and deformation of natural and artificial structures is one of the most demanding tasks of surveying profession. The problem is related to the determination of stability and the potential dangers of facilities that are the result of natural forces or uncontrolled interventions in the area. The present work treads of geodetic methods of the determination or measurement of tectonic movements along tectonic faults including examples in the field of tectonic movements in Slovenia and the world.

ZAHVALA

Mentorju izr. prof. dr. D. Kogoju in somentorici doc. dr. S. Savšek se zahvaljujem za pomoč, za vse uporabne nasvete in prijeten odnos pri nastajanju diplomskega dela.

Posebno se zahvaljujem tudi staršem za vso pomoč, potrpežljivost, finančno pomoč in vzpodbudo v času nastajanja diplomskega dela in v letih študija.

Hvala tudi vsem ostalim, ki ste mi vsa ta leta stali ob strani.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	_____	NAPAKA! ZAZNAMEK NI DEFINIRAN.
2	PROBLEM OBMOČJA OPAZOVANJA RECENTNIH PREMIKOV ZEMELJSKE SKORJE	_____	NAPAKA! ZAZNAMEK NI DEFINIRAN.
2.1	Zgradba Zemlje	_____	3
2.1.1	Napetosti v zemeljski skorji	_____	Napaka! Zaznamek ni definiran.
2.2	Tektonika plošč in premiki zemeljske skorje	_____	Napaka! Zaznamek ni definiran.
2.3	Geološka zgradba Slovenije	_____	Napaka! Zaznamek ni definiran.
2.3.1	»Zahteve oz. želje« geologov	_____	Napaka! Zaznamek ni definiran.
2.4	Tektonski prelom	_____	Napaka! Zaznamek ni definiran.
2.4.1	Aktivni tektonski prelom	_____	Napaka! Zaznamek ni definiran.
2.4.1.1	Aktivni površinski prelom	_____	Napaka! Zaznamek ni definiran.
2.4.1.2	Aktivni globinski prelom	_____	Napaka! Zaznamek ni definiran.
2.5	Raziskave premikov zemeljske skorje v Sloveniji	_____	Napaka! Zaznamek ni definiran.
3	GEODETSKE METODE DOLOČANJA PREMIKOV	_____	NAPAKA! ZAZNAMEK NI DEFINIRAN.
3.1	Merske metode za določevanje tektonskih premikov	_____	Napaka! Zaznamek ni definiran.
3.1.1	Horizontalni premiki	_____	Napaka! Zaznamek ni definiran.
3.1.1.1	Metoda izmere	_____	Napaka! Zaznamek ni definiran.
3.1.1.2	Instrumentarij in pribor	_____	Napaka! Zaznamek ni definiran.
3.1.1.3	Izračun	_____	Napaka! Zaznamek ni definiran.
3.1.2	Vertikalni premiki	_____	Napaka! Zaznamek ni definiran.
3.1.2.1	Metoda izmere	_____	Napaka! Zaznamek ni definiran.
3.1.2.2	Instrumentarij in pribor	_____	Napaka! Zaznamek ni definiran.

3.1.2.3 Izračun _____ **Napaka! Zaznamek ni definiran.**

4 OSTALE TEHNOLOGIJE DOLOČANJA PREMIKOV NAPAKA! ZAZNAMEK NI DEFINIRAN.

4.1 Merjenje tektonskih premikov s 3D ekstenziometri
_____ **Napaka! Zaznamek ni definiran.**

4.2 Letalsko lasersko skeniranje _____ 41

4.3 Satelitska radarska metoda interferometrije
_____ **Napaka! Zaznamek ni definiran.**

4.4 Primeri tehnologij
_____ **Napaka! Zaznamek ni definiran.**

4.4.1 Merjenje tektonskih premikov s 3D ekstenziometri TM 71 v Postojnski jami _____
Napaka! Zaznamek ni definiran.

4.4.2 Primer laserskega skeniranja v zahodni Sloveniji (Idrijski in Ravenski
prelom) _____ **Napaka! Zaznamek ni definiran.**

4.4.3 Opazovanje vertikalne komponente recentnih premikov v Julijskih Alpah s PSInSAR
metodo _____ **Napaka! Zaznamek ni definiran.**

5 PRIMERI GEODETSKIH MERITEV STABILNOSTI TAL OB TEKTONSKIH PRELOMIH NA OBMOČJU SLOVENIJE NAPAKA! ZAZNAMEK NI DEFINIRAN.

5.1 Lokalno območje _____ **Napaka! Zaznamek ni definiran.**

5.1.1 Mreža Karavanke _____ **Napaka! Zaznamek ni definiran.**

5.1.2 Ljubljanski centralni sistem _____ **Napaka! Zaznamek ni definiran.**

5.1.3 Mreža Idrija/Kanomlja _____ **Napaka! Zaznamek ni definiran.**

5.1.4 Ljubljanske mikromreže _____ **Napaka! Zaznamek ni definiran.**

5.1.4.1 Mreža Gameljne _____ **Napaka! Zaznamek ni definiran.**

- 5.1.4.2 Mreža Dobravica _____ **Napaka! Zaznamek ni definiran.**
- 5.1.4.3 Mreža Ljubljana _____ **Napaka! Zaznamek ni definiran.**
- 5.1.5 Mreža Krško _____ **Napaka! Zaznamek ni definiran.**
- 5.1.5.1 Geodinamična mreža Krško _____ **Napaka! Zaznamek ni definiran.**
- 5.1.5.2 Mikromreža Libna _____ **Napaka! Zaznamek ni definiran.**
- 5.2 Državno območje _____ **Napaka! Zaznamek ni definiran.**
- 5.2.1 Omrežje SIGNAL _____ **Napaka! Zaznamek ni definiran.**
- 5.3 Regionalno območje _____ **Napaka! Zaznamek ni definiran.**
- 5.3.1 Regionalni geodinamični projekt centralne Evrope ____ **Napaka! Zaznamek ni definiran.**

6 ZAKLJUČEK _____ **NAPAKA! ZAZNAMEK NI DEFINIRAN.**

VIRI **NAPAKA! ZAZNAMEK NI DEFINIRAN.**

KAZALO SLIK

Slika 1 : Notranja zgradba Zemlje _____	3
Slika 2: Meje tektonskih plošč _____	8
Slika 3: Konvekcija v plašču _____	9
Slika 4: Vrste kontaktnih plošč _____	10
Slika 5: Geološka karta Slovenije _____	12
Slika 6: Vrste prelomov _____	16
Slika 7: Najrazličnejši tektonski prelomi ter položaj geodetskih mrež v Sloveniji _____	18
Slika 8: Seizmološka karta Slovenije s 500-letno povratno dobo potresov _____	23
Slika 9: Nadžarišča potresov od leta 792 do danes _____	23
Slika 10: Seizmogena območja na ozemlju Slovenije _____	24
Slika 11: Potresna nevarnost Slovenije – projektni pospešek tal _____	25
Slika 12: Mreža ob prelomu, na različnih tektonskih blokih _____	32
Slika 13: Potek letalskega laserskega skeniranja _____	42
Slika 14: Tektonske drse in TM 71 v Lepih jamah, Postojna 2 _____	46
Slika 15a: 3D prikaz območja Idrijskega preloma pri Kapi in Srednji Kanomlji z digitalnim modelom višin ločljivosti 25 m _____	49
Slika 15b: 3D prikaz območja Idrijskega preloma pri Kapi in Srednji Kanomlji z digitalnim modelom višin ločljivosti 12,5 m _____	49

Slika 15c: 3D prikaz območja Idrijskega preloma pri Kapi in Srednji Kanomlji z digitalnim modelom višin ločljivosti 2 m _____	50
Slika 16: Senčen relief dela Idrijskega preloma: a) surovi podatki laserskega snemanja in b) golo površje po uporabi algoritma za odstranitev gozda, s strukturno-tektonskim vrednotenjem prelomne cone _____	51
Slika 17: Ravenski prelom na 3D prikazu digitalnega modela višin iz (desno) in na fotografiji (levo) _____	53
Slika 18: Območje vzhodnega dela Bovške kotline, kjer so bile izmerjene relativne vertikalne komponente premikov _____	55
Slika 19: Najznačilnejši tektonski prelomi ter položaj geodetskih mrež _____	56
Slika 20: Mreža Karavanke _____	58
Slika 21: Ljubljanski centralni sistem _____	59
Slika 22: Mreža Idrija/Kanomlja _____	61
Slika 23: Mreža Gameljne _____	62
Slika 24: Mreža Dobravica _____	63
Slika 25: Mreža Ljubljana _____	64
Slika 26: Geometrija mreže Krško54 z elipsami pogreškov _____	66
Slika 27: Geodinamična mreža Krško _____	67
Slika 28: Mikromreža Libna pri Krškem _____	68
Slika 29: Omrežje SIGNAL _____	71
Slika 30: Razpored GPS-točk v projektu CERGOP _____	74
Slika 31: GPS-točke v projektu CERGOP-2 _____	75

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

GNSS	Global Navigation Satellite Systems
GPS	Global Positioning System
RTK	Real Time Kinematic
VRS	Virtual Reference Station
EPN	European Permanent Network
CERGOP	Centralnoevropski regionalni geodinamični projekt
SIGNAL	SlovenIja-Geodezija-NAvigacija-Lokacija
EU	Evropska unija
FGG	Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo
MSK	Medvedev-Sponheuer-Karnik
LIDAR	Light Detection And Ranging
DMV	Digitalni model višin
SAR	Sar synetic aperture radar
PS	Permanentni sipalci

1 UVOD

Zemlja je planet Osončja ter prostor, na katerem sta se razvila življenje in človeštvo. Je del vesolja, podvržen njegovim zakonitostim. Te pa so vzrok za stalno spreminjanje našega planeta, spremembe pa niso prijazne za človeštvo. Že od samega začetka si želimo in prizadevamo naravne sile razložiti, napovedati, razumeti. To nam omogoča razvoj znanosti, da te naravne sile razumemo oz. si jih lažje razlagamo.

Slovenija je majhna dežela, ki leži na tektonsko zelo zanimivem področju in z relativno močnimi potresi. Nahaja se v območju aktivnih kontinentalnih tektonskih deformacij zaradi kolizije Jadranske mikroplošče z Evrazijsko ploščo. Raziskave v Sloveniji imajo bogato tradicijo. Po potresu leta 1895 je Ljubljana dobila prvo seizmološko postajo na Balkanu. Slabih sto let pozneje – leta 1967- se je Geodetski zavod v Ljubljani z geodetskimi meritvami prvič vključil v raziskave. To je omogočil hiter razvoj tehnologije, predvsem razdaljemerov, v zadnjih letih pa tudi GNSS sistem. Geodezija s svojimi instrumenti, ki jih uporablja pri meritvah, merskimi metodami in algoritmi za obdelavo podatkov omogoča, da je včasih mogoče že v krajšem časovnem območju sklepati o stabilnosti nekega območja. Tako se v geodeziji srečujemo z določanjem geometrijskih lastnosti objektov in njihovih sprememb. To so naloge določanja položaja in oblike objekta glede na okolico v odvisnosti od časa. Mednje sodijo premiki naravnih objektov, kot so tektonski premiki, zemeljski plazovi, posedanje tal.

Cilj diplomske naloge je pregled geodetskih metod določevanja oziroma merjenja premikov ob tektonskih prelomih. Opisuje tudi problem območja opazovanja teh premikov ter sodelovanje z geologi. Z obravnavanjem Zemlje kot celega telesa je dokazana teorija o tektoniki plošč. Naloga obravnava tudi druge tehnologije in metode raziskav na področju tektonskih premikov v Sloveniji in svetu. Mednje sodi merjenje premikov s 3D ekstenziometri, letalsko lasersko skeniranje ter satelitska radarska metoda interferometrije.

Geodezija kot specializirana veda, ne more uravnavati naravnih sil, jih pa pomaga razložiti in skuša predvideti njihovo delovanje ter tako zmanjšati škodo ter žrtve ob njihovem nenadnem in intenzivnem nastopu.

2 PROBLEM OBMOČJA OPAZOVANJA RECENTNIH PREMIKOV ZEMELJSKE SKORJE

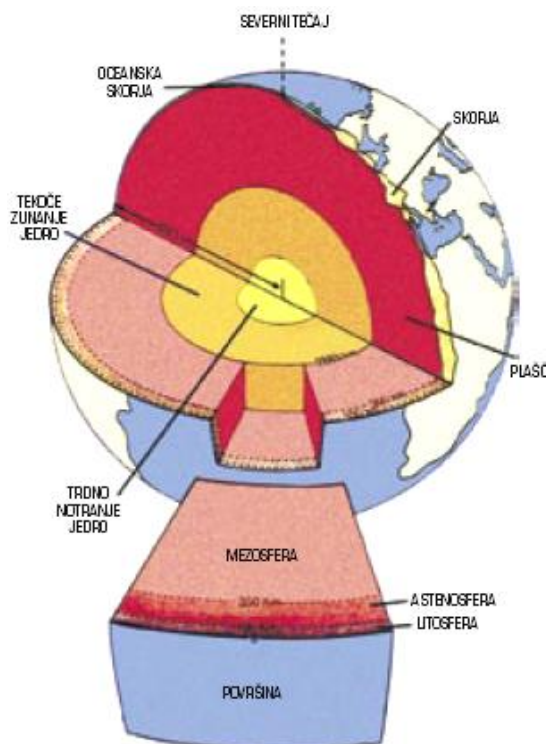
2.1 Zgradba Zemlje

Človek je pridobil s pomočjo meritev v naftnih in raziskovalnih vrtinah, ki segajo le nekaj kilometrov pod površino, informacije o zgradbi Zemlje. Podatki o večjih globinah so pridobljeni s pomočjo gravimetričnih in seizmoloških meritev. Spremljanje in proučevanje potovanja potresnih valov namreč pripomore, da v določenih globinah ugotovimo spremembe v prožnosti posameznih predelov Zemlje. Takšna proučevanja so privedla do spoznanja, da je Zemlja sestavljena iz več lupin (*slika 1*), in sicer:

- jedro,
- plašč,
- skorja.

V največjih globinah je najprej notranje jedro, debelo 1270 km, ki je najgostejši, najtoplejši del Zemlje, sestavljen iz železa in niklja. Zaradi orjaških pritiskov je kljub visokim temperaturam ta plast najverjetneje trdna.

Nad njim je zunanje jedro, debelo 2200 km, ki je tekoče in sestavljeno predvsem iz železa, kisika in silicija. Po nekaterih virih pa naj bi bila njegova zgradba enaka zgradbi notranjega jedra in naj bi se razlikovala le po fizikalnih stanjih (notranje jedro naj bi bilo trdno, zunanje pa tekoče).



Slika 1 : Notranja zgradba Zemlje (Tasič, Vidrih, 2007)

Debela obloga jedra pa se imenuje plašč. Njegov spodnji del (mezosfera) se razteza od 350 km do pribl. 2900 km globine. Sestavljen je iz gostih silikatnih kamnin, magnezija in železa, ki so zaradi velikih pritiskov trdne.

Zgornji del plašča predstavlja astenosfera. To je plast, ki je glede na višje in nižje ležeče najbolj plastična, če že ne poltekoča. Sega od 100 do 700 km v globino. Talina v njej zaradi konvekcije (ki nastane zaradi sproščanja toplote pri radioaktivnih razpadih v notranjosti Zemlje) stalno kroži, zaradi česar se litosfera, ki plava na astenosferi, stalno premika.

Vrhnja, približno 100 km debela plast je litosfera. Na njeno sestavo moramo biti še posebej pozorni, kajti njen spodnji del je fizikalno in kemično še del plašča, njen zgornji del vse do zemeljskega površja pa ima nekoliko drugačne lastnosti, ker ga sestavljajo lažje snovi. So hladnejše in trdnejše. Imenujemo ga zemeljska skorja. Njena debelina se močno spreminja. Pod oceanskim dnem je npr. debela le nekaj kilometrov, pod celinami v povprečju sega 35 km v globino, pod višjimi gorstvi pa še bistveno globlje (pod Pamirjem verjetno celo do 75 km v notranjost). Ker mora biti skorja tako pod oceanskim dnem kot pod kopnim v ravnotežju s poltekočo podlago, je gostota oceanske skorje nekoliko večja od kontinentalne. Ta znaša $2,7 \text{ g/cm}^3$, oceanska pa $3,1 \text{ g/cm}^3$.

Litosfera je del zemeljske zgradbe, ki je v geološki zgodovini Zemlje doživela številne spremembe. V zvezi z njo so mnogi pojavi in procesi, ki še zdaj vplivajo na zemeljsko površje, ter pomembni dogodki v zgodovini zemeljske skorje, katerih posledice vidimo še danes okoli sebe.

2.1.1 Napetosti v zemeljski skorji

Pomembnejša naloga seizmologije in sorodnih geofizikalnih in geoloških ved je ugotavljanje mehanizmov, ki povzročajo potrese. Mednje štejemo tektonske napetosti. Zanimiva je evolucija

napetostnega polja preko daljšega časovnega obdobja (npr. nekaj zadnjih milijonov let) ter njegovo današnje stanje. V preteklosti so bile napetosti lahko drugačne od današnjih.

Nekdanja napetostna stanja nastanejo kot posledica visokih napetosti (razpoke, prelomi, gube). Tektonske napetosti so prisotne v vsej trdni masi Zemlje, spreminjajo se lokalno ter z globinami, različne so si po smereh in velikosti. Med najpogostejšimi metodami za ugotavljanje nekdanjih napetosti je analiza zdrsov ob prelomnih ploskvah. Za prelome je značilen makroskopsko viden strižni premik vzdolž prelomne ploskve, ki pogosto na prelomni ploskvi vodi do nastanka usmerjenih drs in podobnih. Kadar premik ni makroskopsko viden, govorimo o razpoki. Analiza zdrsov ob prelomnih ploskvah temelji na iskanju napetosti, ki pojasnijo smeri premikov ob prelomih. Osnovno idejo sta prva predstavila Bott (1951) in Wallace (1959) (Žalohar, 2003).

Običajno se napetost pripiše večjim vzrokom. Tako govorimo o napetostih zaradi gravitacije, tektonskih, strukturnih in residualnih napetostih.

Napetosti zaradi gravitacije so posledica lastne teže kamnin in naraščajo z globino. Tektonske napetosti so posledica premikanja tektonskih makro- in mikroplošč. Če bi bila zemeljska skorja homogena, bi bile tektonske napetosti približno homogene v regionalnem vsekakor pa v lokalnem merilu. Vendar so v kamninah prisotne številne nehomogenosti, ki povzročajo odstopanja od nekakšnih povprečnih napetosti. Ta odstopanja pripišemo strukturnim napetostim. Residualne napetosti so posledica lokalnega raztezanja in krčenja kamnin zaradi npr. absorbcije ali izgube vode in npr. segrevanja in ohlajanja kamnin. Glavni vzrok prelamljanja v zemeljski skorji so tektonske napetosti, nanj pa vsekakor vplivajo tudi gravitacijske, predvsem pa strukturne napetosti (Žalohar, 2003).

2.2 Tektonika plošč in premiki zemeljske skorje

V preteklosti so dokazani, za sedanjost pa zelo verjetni, horizontalni in vertikalni premiki velikih površin, ki so povezani z ohlajanjem Zemlje kot vesoljskega telesa oziroma planeta in z nastajanjem zemeljske skorje ter geoloških sprememb kamnin.

Današnje razlage premikov zemeljske skorje upošteva predvsem t.i. tektonika plošč, ki se je razvila kot znanstvena disciplina predvsem v zadnjih petdesetih letih.

Tektonika je nauk o zemeljski skorji, o razporeditvi zemeljskih skladov in procesih premikanj. Njeni procesi povzročajo razne mehanične premike Zemljine skorje in omogočajo delovanje notranjih ter zunanjih geoloških sil, preoblikovanja v litosferi. Te tektonske procese delimo na epirogenetske in orogenetske.

Epirogenetska gibanja so počasna in dolgo trajajoča navpična upogibanja zemeljske skorje; skorja se ponekod dviga in ponekod tone. Ob pogrezanju kontinenta povzroča vdiranje morja na kontinent ali transgresijo, v času dviganja kontinenta pa umikanje morja ali regresijo.

Orogonetska gibanja, orogeneza, so tektonski premiki ob tagencionalno oz. bočno delujočih silah, zaradi katerih se nagubajo sedimenti; geosinklinali, se dvigajo nad morsko gladino in izoblikujejo gorstva. Ob tem pa nastajajo prelomi, prihaja pa tudi do premikov plasti. Orogenezo spremljajo tudi magmatske intruzije in vulkanski izbruhi.

Teorija o tektoniki plošč obravnava gibanje litosferskih plošč in delovanje sil med njimi v geološkem času. Po njej je zemeljska skorja sestavljena iz številnih neodvisnih plošč, ki se počasi premikajo na plastični snovi pod njimi–astenosferi. S to teorijo so pojasnili številne geološke pojave, npr. nastanek kontinentov, Atlantskega oceana, potovanje kontinentov (A. Wegener), itn.

Tektonske plošče so 100-150 km debeli velikanski »ločeni« deli, ki sestavljajo zunanjo lupino Zemlje; ki pa se gibljejo po plastični plasti astenosfere tik pod litosfero. Ko so se plošče v geološki preteklosti premikale, so lahko trčile druga v drugo, se podrivale ali narivale ena na

drugo, se razmikale ali pa razlomile v manjše dele. Ob robovih plošč pa se sprožajo potresi in vulkanski izbruhi.

Pred približno 200 milijoni leti je razpadel velikanski kontinent Pangea. Odslej se celine razmikajo v različne smeri. To premikanje je zelo počasno, le nekaj cm na leto. Gre za Wegenerjevo teorijo premikanja kontinentov.

Ta teorija sloni na predpostavki o vodoravnem premikanju lažjih kontinentalnih plošč nad težjo ploščo. S tem so bili pojasnjeni kovekcijski tokovi (fizikalno-kemični dejavnik) v notranjosti Zemlje, oz. v t.i. konvekcijski celici magme, kar se kaže v tektonskih premikih. Veliko prelomov je v notranjosti Zemlje, drugi pa so vidni na samem vidnem površju. Zvezo med tektonskimi premiki in nastankom potresov predstavlja teorija o elastični povratni zvezi-idealizacija, s katero pojasnujemo dogajanje ob prelomih.

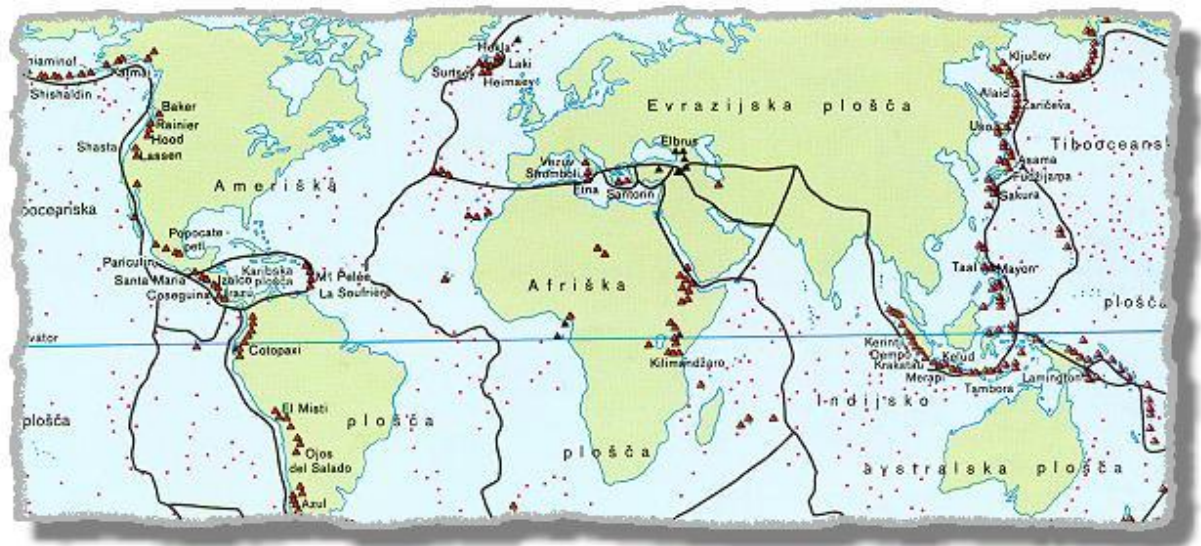
Deformacije-diastrfizem, ki nastanejo ob prelomu so posledice napetosti v notranjosti Zemlje. Te naraščajo, vendar se zaradi velikega trenja med masami kamnin na prelomih ne sproščajo. Velika sila pa premaga trenje in pride do trenutnega zdrsa, ta se pojavi kot potresni val (Jakljič, 1996).

Raziskave morskega dna omogočajo rekonstrukcijo razvoja oceanske skorje. To je skorja, ki je pod oceani, mlajša od 200 milijonov let, debela 5-10 km. Razširjene seizmične cone potrjujejo obstoj velikih gibljivih plošč zemeljske skorje. Če pogledamo mesto nastanka potresa, razpored potresnih žarišč na Zemlji, vidimo, da potresna območja obrobajo glavne tektonske plošče (*slika 2*) (Jakljič, 1996).

Globalna tektonika domneva, da je mogoče pričakovati koncept mase v litosferi na stotine kilometrov daleč od meja plošč. Izenačevanje mas pod površjem zemeljske skorje pomeni, da se prostornina Zemlje ne spreminja, in da je količina nastajajoče skorje na oceanskih hrbtih enaka količini razkrajajoče se zemeljske skorje vzdolž jarkov. To izpodbija verjetnost stabilnih površin.

Večji del gibanj poteka elastično, le na mestih z velikimi gradienti, zaradi tvorbe mikroprelomov, plastično. Lomečo deformacijo je mogoče pričakovati le na aktivnih prelomnicah, zato geologi težko prepoznajo recentne aktivne cone brez naše pomoči, pomoči geodetov (Kne, 2004).

Teorija tektonike plošč seveda še ne rešuje vseh problemov, prinaša pa veliko novih dejstev, ki jih bo treba upoštevati. Med drugim so še vedno različne razlage o tem, od kod izvirajo sile, ki vodijo mogočna gibanja. S pomočjo teh novih dejstev oceanskih raziskovanj, naj bi poskušali razložiti nastajanje oceanskih prostorov in kontinentalnih področij in razvozljati dogajanja, ki so pripeljala do današnja stanja. Teorija o tektoniki plošč je rešila le malo problemov, številna dejstva so nova vprašanja ki majejo tla tej teoriji. Nova dejstva raziskovanj narekujejo nova razmišljanja o nastanku kontinentalnih in oceanskih prostorov. Pomembna dejstva in ugotovitve pa so le še povečala kopico nerešenih geoloških problemov.



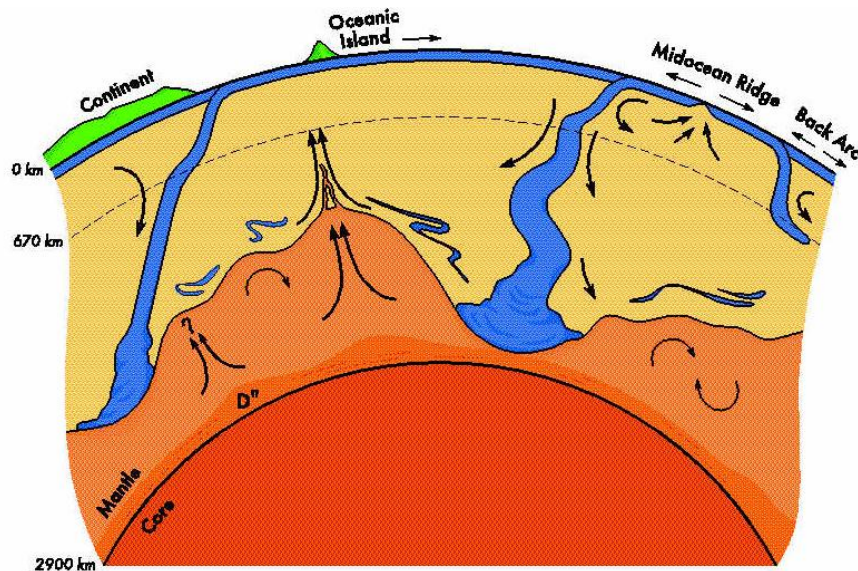
Slika 2: Meje tektonskih plošč (<http://o-4os.ce.edus.si/gradiva>)

Slika 2 prikazuje glavne plošče: Evroazijska, Afriška, Indijska, Pacifiška, Severno-in Južnoameriška, Nazca in Antarktična. Manjše plošče pa so: Arabska, Somalijska, Filipinska, Juan de Fuca, Cocos in Karibska.

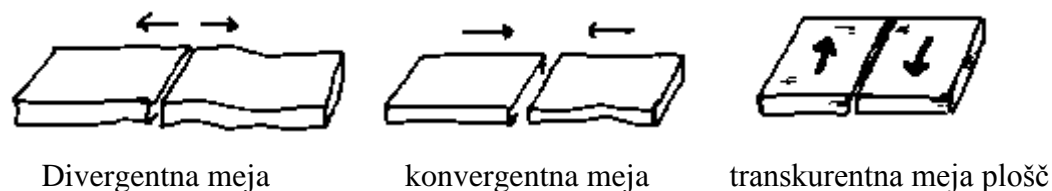
2.2.1 Tektonske deformacije

Geologi verjamejo, da je litosfera zdrobljena na ducat plošč, katere polzijo nad tekočo zemeljsko notranjostjo. Kljub temu, da je ideja o litosfernih ploščah, ki se premikajo po zgornji plasti, predlagana šele na začetku tega stoletja, vse do sedaj ni bila predmet resne znanstvene obravnave. Danes je pojem premikov litosfernih plošč močno ukoreninjen in opravljajo se intenzivna raziskovanja, kako določiti relativne hitrosti, mehanizem, ki nadzoruje njihovo gibanje ter njihove pravilne medsebojne meje.

Današnja znanja o gibljivih silah litosfernih plošč so še vedno neustrezna. Verjetno, da je termična konvekcija v okviru astenosfere, na eni ali drug način, doprinese k gibanju plošč. *Slika 3* ilustrira enega od mogočih konceptov. Ko se plošče premikajo, so možne tri različne vrste kontaktov njihovih mej; striženje, konvergenca in divergenca, kot se vidi na *sliki 4*. V realnosti se pojavljajo tudi kombinacije striženja s stikanjem in širitvijo. Te meje med litosferskimi ploščami dokazujejo njihovo dinamiko.



Slika 3: Konvekcija v plašču



Slika 4: Vrste kontaktnih plošč

Divergentne ali razširjene meje, so značilne po odpiranju skorje in prebijanju materiala plasti, kateri potem čvrsti in formira novo litosfero. Temu fenomenu sledi močna vulkanska aktivnost, zaradi česar nastajajo grebeni značilni za te meje. Primer verjetno najbolj preučene meje te vrste je Srednjeatlantski greben.

Na konvergentnih mejah, ob katerih se dve plošči različnega tipa stikata, je ena od plošč po pravilu močnejša. Gostejša in tanjša oceanska plošča se vedno podriva pod lažjo kontinentalno ploščo. Taka aktivnost vedno povzroči rov ob meji in upogibanje ob robovih kontinentalne plošče. Seizmična gibanja lahko dosežejo desetine metrov horizontalno in nekaj metrov vertikalno.

Pomembna vertikalna gibanja na robovih kontinentalnih plošč, količinsko nekaj decimetrov v nekaj desetletjih, je odkril Tsuboi (1933). In sicer dve vrsti teh premikov; preseizmični in postseizmični. Sudarnost dveh kontinentalnih plošč je glavni proces nastajanja gorstev. Ker se pri koliziji nobena od plošč ne podriva pod drugo, zaradi svoje moči vzdrževanja na površini, prihaja do ogromnih upogibov.

Zadnji tip mejnih plošč so transkurentne meje. Relativno gibanje takih plošč je lahko ali neovirano ali začasno zaustavljeno zaradi sile trenja. Zaustavljeno gibanje je rezultat akumulacijskih napetostih v višku, ki se prej ali slej osvobodi kot zemeljski potres. To je seveda točno tudi v primeru konvergentnih mej, in zaradi tega se največje število zemeljskih potresov zgodi v conah okoli takih mej. Kopičenje napetosti se lahko opazi na površini zemlje kot

deformacija ali vertikalni premik – tj. dvig in pogrezanje tal. Ta fenomen predstavlja osnovo ideje o uporabi geodetskih metod za napovedovanje zemeljskih potresov. V primeru najbolj znanega primera transkurentnega stika mej –useda San Andreas ob obali Kalifornije.

Plastične in elastične deformacije

Kamnine, ki se pod vplivom usmerjenega pritiska prelomijo, so krhke. Obnašajo se elastično, ker ne spremenijo prostornine ali oblike, ampak se, ko pritiska ni več, povrnejo v prejšnjo obliko (teorijo elastične povratne zveze pri potresih). Tiste, ki spremenijo obliko ali prostornino, pa se obnašajo plastično. Prve se pod vplivom usmerjenega pritiska prelomijo, druge pa se nagubajo ali spremenijo obliko in prostornino (Vidic, 2000).

- plastične deformacije - kamnine so plastične globlje od 100 km, v primernih pogojih tudi med 20 in 200 km globine. Plastične deformacije so gubanje, ter spremembe oblike in prostornine kamnine.
- elastične deformacije - kamnine so krhke, zaradi delovanja tektonskih sil se prelomijo. Kamnine so elastične predvsem v zgornjih 20 km Zemljine skorje. Nastajajo prelomi in razpoke.

2.3 Geološka zgradba Slovenije

Geološka zgradba Slovenije je izjemno zanimiva in pestra. Kamnine, fosili in minerali ter geološki procesi, so geološke naravne vrednote (*slika 5*).

Slovenija je majhna država, leži pa na tektonsko zelo zanimivem področju. V geološkem in tektonskem smislu je naše ozemlje zelo zapleteno. Prav geologija je kriva za naravno pestrost Slovenije ter tako tudi razlog za nastajanje potresov. Območje Sredozemlja, južni del Evrope,

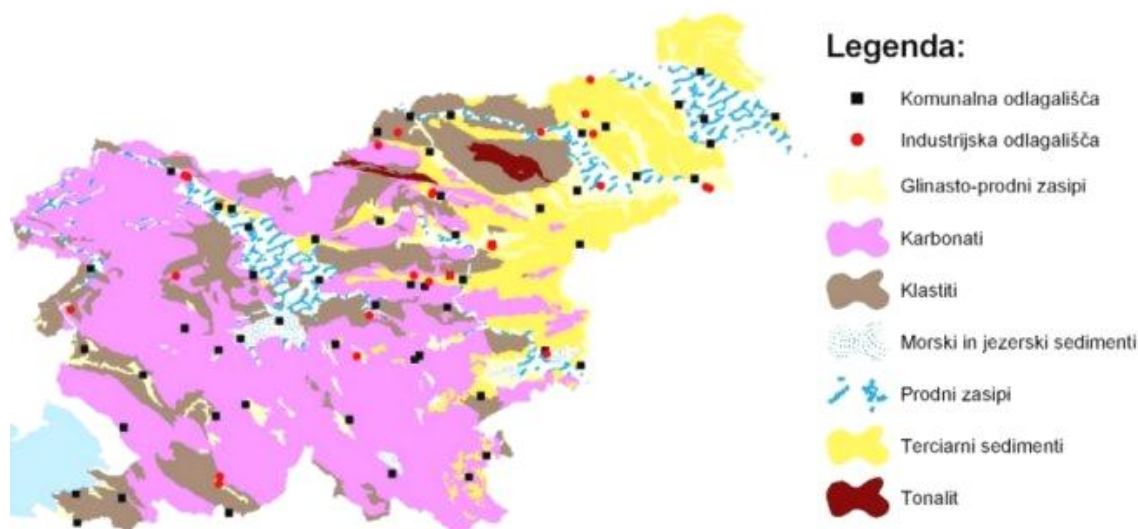
kamor spada tudi Slovenija, je zaradi stika med Evrazijsko in Afriško ploščo eno najlabilnejših območij v Evropi.

Na majhnem slovenskem prostoru se stikajo tri regionalne geotektonske enote:

- na severu in zahodu Alpe,
- na južnem, jugozahodnem in osrednjem delu Dinaridi in
- na severovzhodu Panonski bazen.

Največji del Slovenije zavzema alpsko območje, in sicer njen severni in severozahodni del. Manjši, južni del Slovenije s kraškim površjem pripada dinarskemu območju. Panonski masiv pa je omejen na vzhodni del – Prekmurje.

Alpsko in dinarsko območje v terciarni dobi pripadata nagubanim evropskim gorovjem, t.i. Alpidom. Panonski masiv je po nastanku mnogo starejši. Kot stabilna in odporna gmota pa je vplival na razvoj Alpidov. Zaradi njegovega vpliva so se Alpe razklenile na karpatsko in dinarsko. Zaradi tega pride do prelomov, ob katerih je geološko dogajanje zelo zanimivo.



Slika 5: Geološka karta Slovenije

2.3.1 »Zahteve oz. želje« geologov

Geologija je naravoslovna veda o zgodovini Zemlje in o njenem razvoju skozi davnine do današnjih dni. Spremlja vsa dogajanja, ki so pripeljala do današnje sestave, zgradbe in oblike zemeljske skorje. Geologi se ukvarjajo predvsem s tistimi deli zemeljske skorje, ki so dostopni neposrednim raziskovanjem.

Tektonska geologija se ukvarja z zgradbo zemeljske skorje, ki sestoji iz različnih obsežnih strukturnih enot, te pa spet iz manjših, ki so različne po sestavi in so med seboj v različnem položaju. Take enote sestavljajo magmatske kamnine, metamorfne kamnine in usedline, položaj pa so jim dala različna premikanja ob prelomih, gubanja in drugo. Tektonski geologiji dajejo podatke razen površinskih razmer še rezultati iz vrtin, rudnikov, premogovnikov in drugih objektov pod zemeljskim površjem.

Geologija se ne ukvarja samo z reševanjem teoretičnih problemov, marveč v današnjem času rešuje tudi razne probleme v praksi, zlasti v gradbeništvu in rudarstvu. Pri reševanju teoretičnih problemov daje geolog potrebne podatke in navodila pri različnih gradbenih delih, kot so gradnja cest, predorov, železnic, prekopov, pri melioracijskih in raznih akumulacijskih delih, za vodovode in zajetja, za lokacije visokih stavb, daje podatke o različnih vrstah gradbenega materiala in napotke za podrobna raziskovanja. Praktični geologi pa seveda izkoriščajo ugotovitve teoretičnih raziskovanj. Če daje geolog gradbenikom, rudarjem in drugim, nam geodetom, dobre načrte za izvedbo del, mora poznati razvoj in kamninsko sestavo kamnin, njihove lastnosti, strukturne oblike na ozemlju in dinamične procese, ki še potekajo in bi mogli vplivati na gradbena dela, objekte in druge posege v naravo (Ramovš, 1978).

Poleg gradbenikov in rudarjev tudi geodeti sodelujemo z geologi pri ugotavljanju tektonskih premikov. Kot že vemo, so tektonski premiki počasni, nekaj pod milimeter na leto. Geodeti opravljamo meritve premikov, da bi potrdili teorije geologov ob upoštevanju njihovih geoloških struktur. Rezultati meritev so znotraj merskih napak, te rezultate pa na koncu posredujemo geologom.

Geologi imajo glede geodetskih meritev predvsem naslednje želje:

- V določenem časovnem obdobju izvajati meritve.
- Čim večja natančnost meritev.
- Veliko število referenčnih točk (geodetske mreže).
- Zelo pomemben faktor je stabilizacija referenčnih in merskih točk. Referenčna točka mora biti geološko določena. Pri izbiri lokacije in načrtovanju sodeluje tudi sam geolog. Pomembna je predvsem fizična stabilizacija (zanesljiv material, trda kamnina...).
- Rezultati geodetskih metod naj bodo združeni; premiki naj bodo višinsko, ne samo položajno merjeni. Pomembno je na enem mestu, glede na referenčno točko, združevati čim več teh metod (3D vektor).
- Glede na tip preloma naj bi uporabili naslednje metode meritev. Npr. za normalni prelom nivelman v zanki, za zmični prelom pa terestrično metodo in metodo GPS.

Zelo velik interes, ker je občutljivo območje, kar priča številnost uresničenih in neuresničenih projektov izsuševanja in gradenj, predstavlja za nas in za geologe Ljubljansko barje. Mesto Ljubljana potrebuje Ljubljansko barje za svojo širitev, po drugi strani ga mnogi hočejo ohraniti takšnega, kot je. Ljubljansko barje je območje, ki se vseskozi spreminja. Da se barje poseda, je bilo dokazano že zdavnaj, vzroki pa še vedno niso dovolj raziskani. V barju se mešajo signali kompakcije sedimenta. Napolnjeno je s sedimenti potokov in rek, na površini se vidi kot pogrezanje, ki pa ni nujno tektonsko. Pomembno je še zaradi črpanja vode, ker s tem zmanjšujejo volumen vode. Za spremljanje morebitnih tektonskih premikov so vgrajeni globinski reperji, ki so stabilizirani v “dno barja” oziroma v trdna tla, ki nosijo barjanske sedimente. Globinski reperji so stabilizirani s pomočjo t. i. repernih pilotov (Ježovnik, Jakljič, 2003).

2.4 Tektonski prelom

Prelom je razpoka večje razsežnosti oziroma prelomna ploskev, ob katerih so se zaradi delovanja tektonskih sil kamnine v krilih grude premaknile. Lahko je tudi meja plošč. Premiki so

horizontalni ali vertikalni; iz dvignjene grude nastane pogorje, iz pogreznjene pa tektonski jarki in kotline.

Horizontalni premiki so tisti premiki, ki delujejo v smeri horizontalne ravnine ali tangente na Zemljino površje. Hod preloma je bočni premik (horizontalni premik med dvema blokoma). Počasno in dolgotrajno stiskanje ozemlja, ki ga povzroča premikanje dveh tektonski plošč, povzroči gubanje. Pri gubanju nastanejo gube, ki so: simetrične, izokline, pahljačaste, škarjaste, pokončne, poševne, polegale in potonjene gube. Predstavljajo plastične deformacije kamnin. Na tektonsko aktivnih območjih se pojavijo gube večjih dimenzij in zaradi napredovanja tangencialnih sil se vse bolj polegajo ter narivajo preko manjših plasti. Nastanejo narivi (obrnjen prelom), to je reverzni prelom z večjim premikom krovinskega krila. V zemeljski skorji pa pride največkrat tudi do razlamljanja v vertikalni smeri, kadar so krila preloma razdeljeni bloki, skok preloma pa je vertikalni premik ob prelomu.

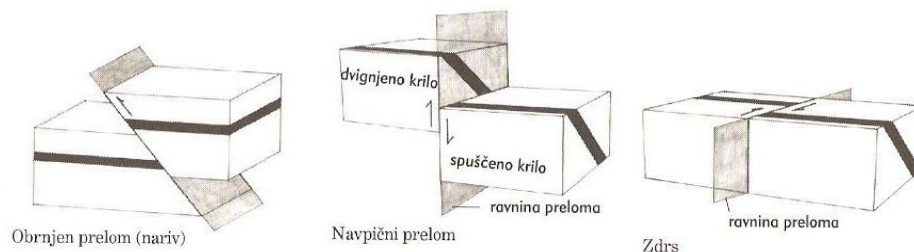
Glede na smer delovanja blokov ločimo naslednje vrste prelomov:

1. Normalni prelom ima navpično ali poševno prelomno ploskev. Pride do spuščanja enega bloka proti drugemu, vendar drugi ostane na svojem mestu.
2. Reverzni prelom. Pri njem se eno krilo dvigne nad drugo, ki ostane v prvotnem položaju. Ta tip se največkrat oblikuje na močno nagubanih terenih, kjer se gube razlamljajo in narivajo ena preko druge.
3. Horizontalni ali transkurentni prelom. Bloki se gibljejo levo in desno, glavni premiki so horizontalni. Ločimo leve in desne horizontalne prelome.

Poleg teh glavnih tipov ločimo še vrsto prelomov kot so:

- rotacijski, kjer se krili sučeta v nasprotni smeri,
- škarjasti, kjer sta krili na enem delu relativno razmaknjeni ob prijemališču in ima več vzporednih prelomov,

- ter valjasti, poševni, težnostni oz. gravitacijski, levi in desni zmični, narivni prelom ter horst.



Slika 6: Vrste prelomov

Prelomi se največkrat pojavljajo v skupinah, te pa gradijo posebne površinske oblike. Pride do združevanja prelomov, in tako ločimo:

- Stopničasto prelamljanje, kjer se opazuje ob več vzporednih prelomih, ob katerem se vsak blok premakne za različen skok. Plošče potujejo vsaka k sebi, proti robom kontinentov.
- Tektonski jarek nastane takrat, ko se kamninski blok spusti ob dveh vertikalnih ali subvertikalnih prelomih. Znan je savski, moravski in renški tektonski jarek.
- Kotlina je eliptična ali okrogla depresija ob številnih (sub)vertikalnih prelomih, npr. Ljubljanska, Celjska, Panonska kotlina itd.
- Horst je tektonsko dvignjena struktura nasprotna tektonskemu jarku, kjer se ob dveh vzporednih prelomih dvigne osrednji del, npr. Gorjanci.

Prelomom določujemo tudi starost. Najstarejši je vedno tisti, ki so ga zajeli vsi kasnejši premiki. Najmlajši pa je tisti, ki ni prizadet od drugih premikov. Starost preloma se določi, če poznamo starost plasti, v kateri se prelom nahaja.

Prelomi so pomembni tudi v rudarstvu in gradbeništvu, ker skozi njih krožijo tople vode, plini, pare. Ob prelomih pridejo na dan termalne in mineralne vode. Lahko pa so neugodni za razvoj podzemeljskih del. Po njih lahko poleg vode potujejo tudi škodljivi plini, ki ovirajo izkoriščanje.

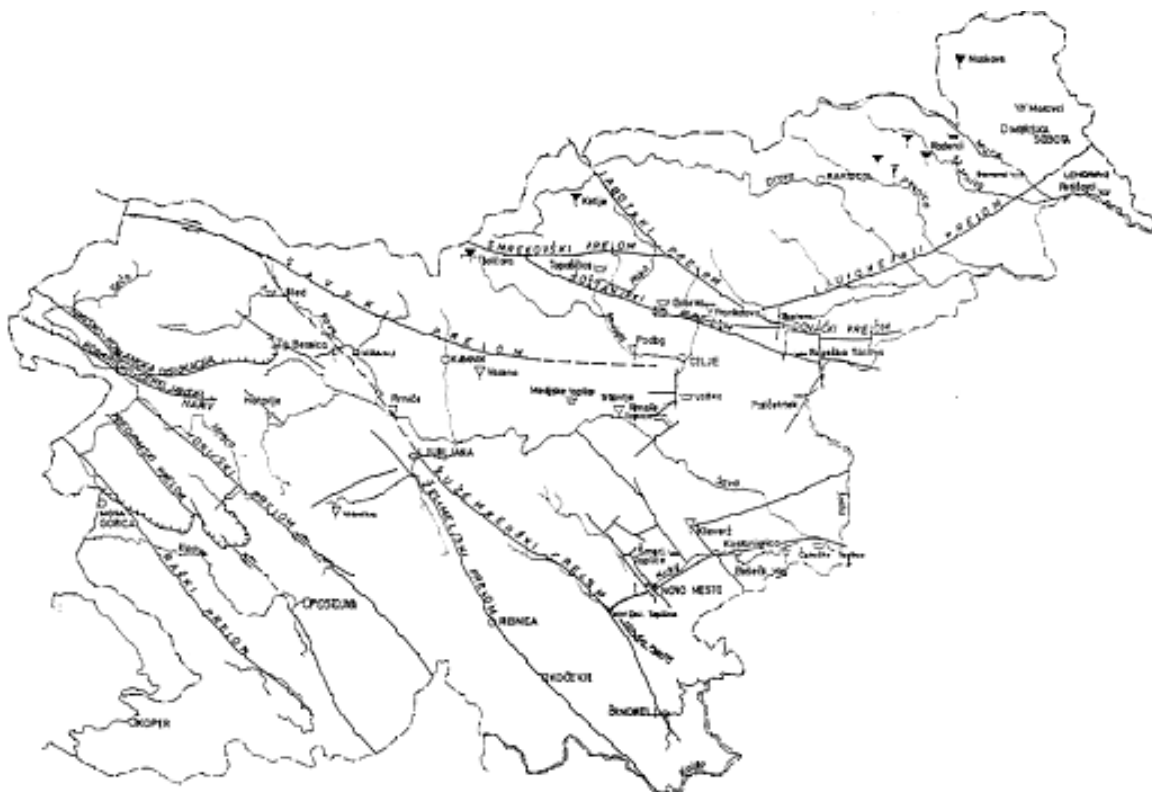
Ozemlje Slovenije seka več kot sto pomembnejših tektonskih prelomov, ki so glede na njihovo smer razdeljeni v štiri skupine:

- v smeri sever-jug (prečnoalpska smer),
- v smeri severozahod-jugovzhod (dinarska smer),
- v smeri severovzhod-jugozahod (prečnodinarska smer) ter
- ob narivnih strukturah, ki potekajo v smeri vzhod-zahod (alpska smer).

Razvrstitev in lega prelomov je posledica smeri delovanja tektonskih pritiskov zaradi premikanja litosferskih plošč v tem delu Sredozemlja. Prelomi segajo do različnih globin. Večinoma so plitvi in segajo do globine 10 kilometrov.

Večji prelomi v Sloveniji (*slika 7*):

- Labotski prelom,
- Šoštanjski prelom,
- Celjski prelom,
- Savski prelom,
- Žužembski prelom,
- Blejski prelom,
- Cerkljanski prelom,
- Idrijski prelom,
- Predjamski prelom,
- Raški prelom,
- Gorjanski prelom.



*Slika 7: Najrazličnejši tektonski prelomi ter položaj geodetskih mrež v Sloveniji
(Kogoj, 2000)*

2.4.1 Aktivni tektonski prelom

Ugotavljanje danes aktivnih prelomov temelji na geodetskih meritvah premikov in na ugotavljanju hipocentrov potresov znotraj določenih prelomnih con.

Aktivni oziroma dejavni prelom je prelom, ob katerem nastajajo tektonski premiki ali so ugotovljeni znaki takih premikov v novejšem geološkem obdobju in je ocenjena verjetnost njihovega nastanka v prihodnje nad izbrano vrednostjo. Dejavnost je ali ni povezana s potresi, pomembnimi z inženirskega stališča.

Aktivna prelomna cona je tridimenzionalno geološko telo, ki ga omejuje mreža aktivnih površinskih in aktivnih globinskih prelomov. Potek aktivne cone se določi šele po trasi aktivnih površinskih in globinskih prelomov. Prikazana je z dvema nivojema, z zgornjim nivojem (mreža aktivnih površinskih prelomov) in spodnjim (mreža aktivnih globinskih prelomov). Sestoji iz mreže sekundarnih strižnih razpok in prelomov, ob katerih pride do seizmičnih in aseizmičnih strižnih premikov vzdolž prelomne cone.

Glede na pogoje nastanka ločimo primarne in sekundarne prelomne cone. Primarne nastajajo v začetku prelomnih deformacij kot posledice začetnih pritiskov. Sekundarne pa nastajajo v končni fazi prelomnih deformacij kot posledica vzpostavljanja novega stanja nehomogenosti, ki nastane zaradi primarnih prelomnih con pri istih pritiskih.

Deformacije in pritiski telesa so posledice sprememb pritiskov in napetosti. Napetost pa je sila na enoto površine, ki nastane v kameninah zaradi zunanjih pritiskov in/ali vzrokov. Napetost, ki nastane v prelomu zaradi vektorske razlike v napetosti na obeh straneh preloma, imenujemo strižna napetost (ang. shear strain).

2.4.1.1 Aktivni površinski prelom

Za aktiven površinski prelom se v strokovni literaturi uporabljajo tudi drugi izrazi kot zmožen prelom (prelom, ki ima značilne možnosti za relativno premikanje na površini ali blizu nje), aktiven in recentni prelom. Je trajna sled ali ožilek površine tal pri različnem premikanju v prelomu pri potresu. Nastane zaradi aseizmičnih in seizmičnih premikov na zemeljski površini ali blizu nje. Seizmični premiki ob prelomih oz. površinski prelomi nastanejo zaradi potresov. Aseizmični pa zaradi stalnih pritiskov zemeljskih mas, ki povzročajo nehomogeno napetostno polje in deformacije. V nastalih prelomih so prisotne strižne napetosti, ki povzročajo stalne polzeče premike (ang. creeping), ne povzročajo pa potresov. Seizmični premiki nimajo obvezno

istega predznaka kot aseizmični. Tako imamo pri kontinuiranem aseizmičnem ugrezanju dvig ozemlja pri potresu in obratno.

Ob aktivnih prelomih nastajajo vertikalni in horizontalni premiki bodisi ob potresih (seizmični premiki), bodisi pri stalnem polzenju brez potresov (aseizmični premiki). Seizmičnih premikov ni mogoče ločiti od aseizmičnih, ker jih imamo tudi na področjih, kjer ni potresov.

Aktivni površinski prelomi se odražajo v reliefu v morfotektonskih znakih, ki jih lahko prepoznavamo na letalskih in satelitskih posnetkih. Glavni morfotektonski pokazatelji aktivnih prelomov in razpok so mlade geomorfološke značilnosti, talne in erozijske značilnosti (Premru, 2005).

2.4.1.2 Aktivni globinski prelom

Aktivni globinski prelom je prelom, ki leži v določeni globini in v katerem nastajajo potresi. Obravnavamo ga kot potresni izvor. Za določevanje globinskega preloma je bila uporabljena posebna metoda (Premru, 2005), ki sestoji iz naslednjih korakov:

1. določanje regionalnih strižnih razpok na satelitskih posnetkih,
2. določanje horizontalnega napetostnega polja,
3. določanje tras aktivnih globinskih prelomov.

Regionalne strižne razpoke se pojavljajo v obliki mreže. Te razpoke so dolge nekaj kilometrov in sestojijo iz dveh divergirajočih snopov vertikalnih do subvertikalnih vzporednih razpok. V naravi je pas širok 0,5 do 1 km. Pojavljajo se v aktivnem tektonskem bloku med aktivnimi prelomnimi conami.

Pri preverjanju na terenu se je pokazalo, da v 0,5 do 1 km širokem snopu potekajo razpoke brez znakov premikanj.

Ker je napetostno polje na površini odraz napetostnega polja v globini, so take hitre spremembe smeri pogojene z globinskimi prelomi, v katerih nastajajo potresi zaradi povečane strižne napetosti v prelomih (Premru, 2005).

Aktivni globinski prelomi predstavljajo le tiste dele prelomne cone, v katerih zaradi večjih strižnih napetosti nastajajo potresi in predstavljajo dvodimenzionalne potresne izvore.

2.5 Raziskave premikov zemeljske skorje v Sloveniji

S sodelovanjem Geodetskega zavoda SRS in Oddelka za geodezijo pri FGG je bila leta 1977 izvedena raziskovalna naloga z naslovom: »Uvod v geodetske meritve recentnih premikov zemeljske skorje v SRS«. Naloga je bila vključno s prvimi meritvami končana leta 1979. Sprva je bila dolgoročno predvidena za zbiranje podatkov za napovedovanje potresov. Te podatke naj bi dobili iz meritev recentnih premikov zemeljske skorje ob prelomnicah (Vodopivec, 1988).

Da bi naloga dosegla zastavljeni cilj, je bil nujen sistemski pristop k njeni izvedbi. Zato je bila prvotno izdelana:

- metodologija geodetskih meritev recentnih premikov zemeljske skorje,
- zasnova organizacije in financiranja sistematičnih geodetskih meritev premikov zemeljske skorje v SRS,
- uskladitev in povezava geodetskih meritev in raziskav z geološkimi in seizmološkimi v okviru SRS,
- določitev hitrosti vertikalnih premikov zemeljske skorje na potresnem območju Ljubljane,
- določitev dolžinskih premikov za določitev bodočih položajnih premikov zemeljske skorje na potresnem območju Ljubljane.

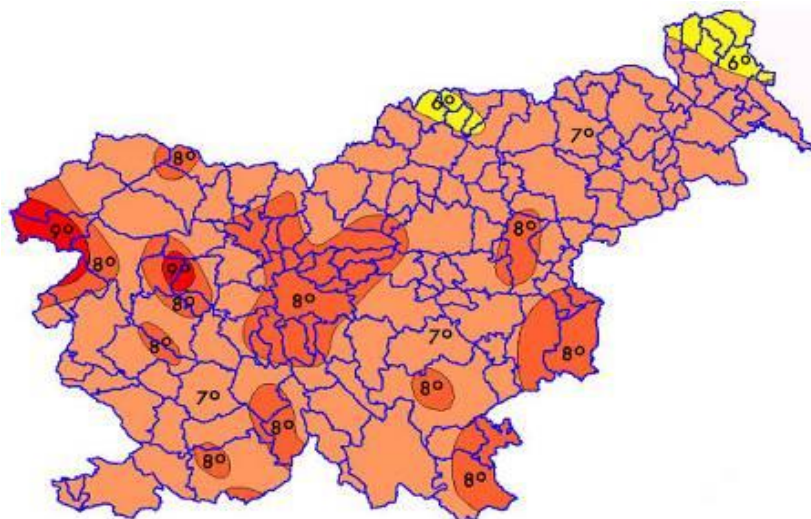
S sistematičnimi meritvami v daljšem časovnem obdobju lahko določimo vektorje recentnih premikov in potrdimo ali ovržemo prehodne domneve.

Na območju Slovenije so na območjih vzdolž tektonskih prelomnic razvite geodetske mreže. Spremembe položaja točk določimo na osnovi terestičnih meritev, v zadnjem času tudi na osnovi GPS opazovanj. Z večletnimi meritvami in opazovanji teh mrež lahko statistično z veliko verjetnostjo ugotovimo že majhne premike posameznih točk. Problem teh meritev pa je zelo visoka cena (Vodopivec, 1988).

Pri izbiri območja opazovanja in projektiranju mrež je pomembno vprašanje ali se ob prelomih pojavljajo premiki, ki so značilni za prelomne cone.

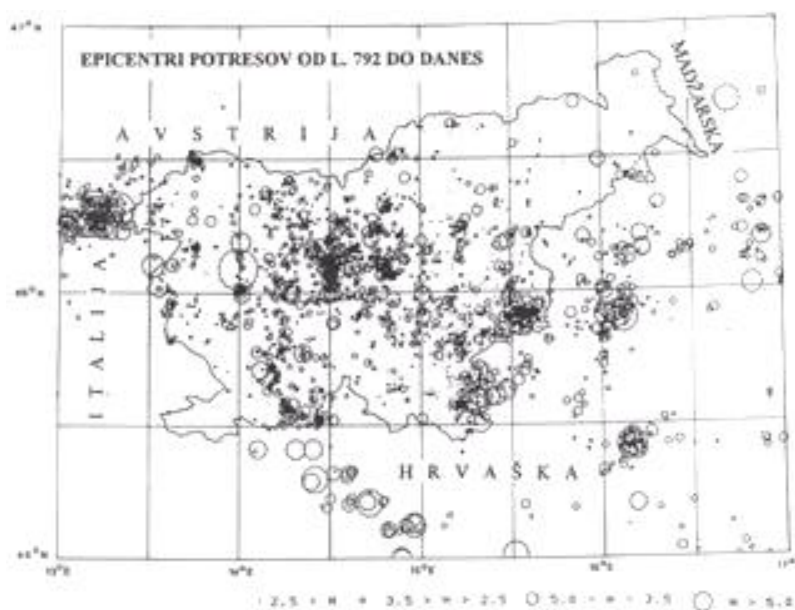
Območja za opazovanje tektonskih premikov so bila določena na osnovi objektivnih kriterijev, določenih po podatkih o geološkem dogajanju, zbranih v zadnjih nekaj sto letih. O vplivu seizmogenih con na recentne premike je ing. V. Ribarič ob izkušnjah takih in podobnih raziskav (SZ, ZDA, Japonska) predlagal, da pridejo v poštev samo cone, kjer je magnituda po Richterju pet ali več (upoštevana parametra: najpomembnejša verjetnost potresnih stopenj – velikost intenzitete MSK in potresna nevarnost). Parametri so bili za območje Slovenije določeni na osnovi podatkov o potresih od leta 792.

Ozemlje Slovenije je bilo izbrano kot območje opazovanja, ker je zaradi geotektonskih razmer potresno ogroženo. Na razmeroma velikem delu ozemlja so možni rušilni potresni sunki, kar je razvidno iz priložene *slike 8*.



Slika 8: Seizmološka karta Slovenije s 500-letno povratno dobo potresov (Uprava RS za zaščito in reševanje)

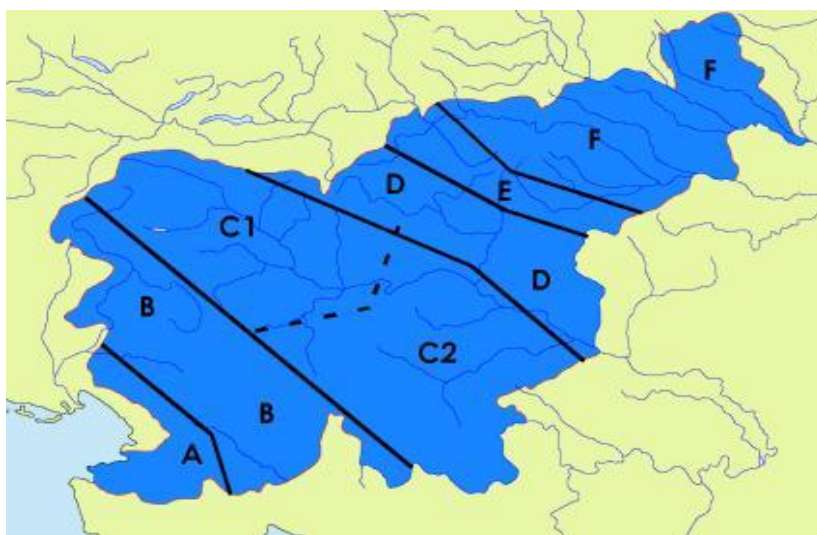
Vsako leto zatrese Slovenijo nekaj deset šibkih do zmernih potresnih sunkov. Iz preteklosti pa poznamo nekaj zelo močnih rušilnih potresov, katerih žarišča so nastala na ozemlju današnje Slovenije ali v njeni sosesčini. Zgodovinski viri navajajo, da je bil v tem obdobju najhujši potres 26. marca. 1511 v Idriji. Leta 1895 je bil rušilni potres v Ljubljani, ki je povzročil veliko škodo in zahteval temeljito obnovo mesta in delno tudi njegove okolice.



Slika 9: Nadžarišča potresov od leta 792 do danes (Uprava RS za geofiziko, 1996)

Po žariščnih globinah (*slika 9*) je bilo največ potresov v razredu od 5 do 10 km, nato sledi razred zelo plitvih potresov (0 do 5 km), tretji po vrsti je razred potresov 5 do 15 km žariščne globine, globlji potresi pa so bili dokaj redki.

Na območju Slovenije so tektonski in neotektonski premiki v različnih smereh povzročili nastanek več seizmogenih območij, kar je razvidno iz priložene *slike 10*, na kateri so s številkami označeni mejni prelomi, s črkami pa seizmogena območja.



Slika 10: Seizmogena območja na ozemlju Slovenije (Uprava RS za zaščito in reševanje)

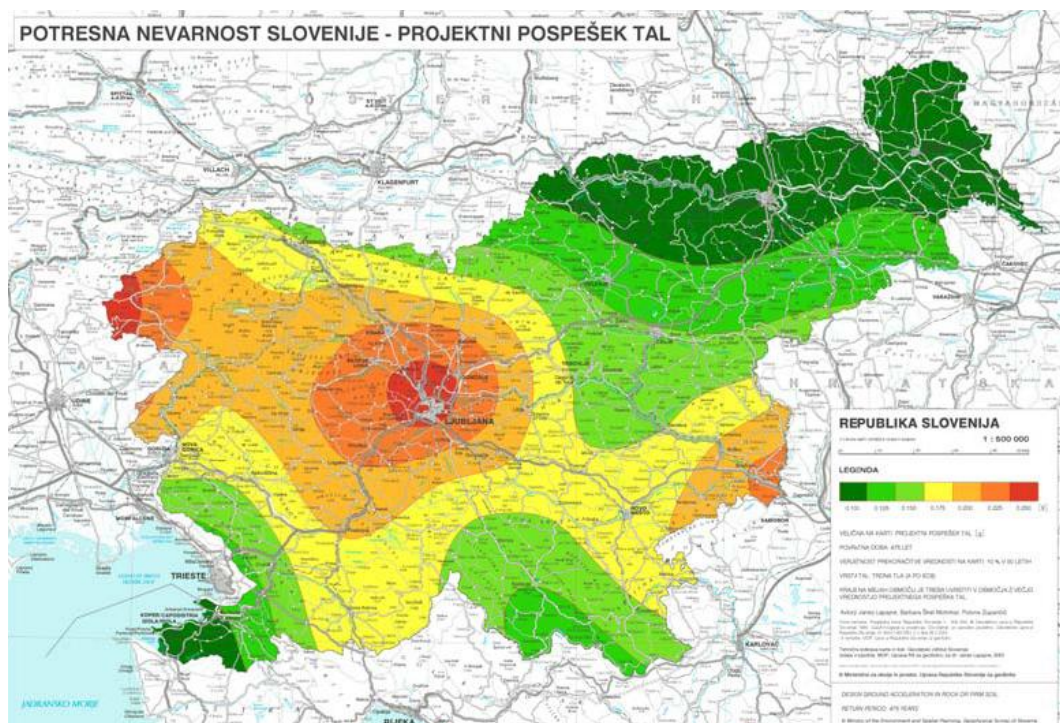
Od JV proti SV si sledijo naslednja seizmogena območja:

- območje Čičarije (A),
- goriško-javorniško območje (B),
- gorenjsko-ljubljansko območje (C1),
- dolensko-notranjsko-belokranjsko območje (C2),
- seizmogeno območje Karavanke-Kozjansko (D),
- koroško-haloško območje (E),
- štajersko-goriško območje (F).

Najaktivnejši seizmogeni območji v Sloveniji sta gorenjsko-ljubljansko in dolenjsko - notranjsko - belokranjsko. Na gorenjsko-ljubljanskem seizmogenem območju je največja možna magnituda (M) 6,2 in največja možna intenziteta (Io) IX. stopnje po MSK-potresni lestvici. Od slovenskih mest so potresno najbolj ogrožena Idrija, Ljubljana, Krško, Brežice, Tolmin, Ilirska Bistrica in Litija.

V Sloveniji prebiva več kot 650 770 ali 33,1 % vseh prebivalcev na območjih, kjer so možni potresi VIII. in IX. stopnje po MSK-potresni lestvici.

Kljub podatkov, ki jih zbirajo in obdelujejo seizmologi, ostajajo uspešne napovedi potresov zelo redke. V Sloveniji in v večini drugih držav se pri predvidevanju potresov opiramo predvsem na ocenjevanje potresne nevarnosti. Potresna nevarnost se oceni s pomočjo podatkov o potresih v preteklosti in tako se pripravijo karte potresne nevarnosti.



Slika 11: Potresna nevarnost Slovenije – projektni pospešek tal (Uprava RS za zaščito in reševanje)

Iz seizmološke karte Slovenije (*slika 8*) ter karte potresne nevarnosti (*slika 11*) se vidi, da so najzanimivejša področja za opazovanje predvsem Ljubljanska kotlina, pas področja doline Idrijca, ki se nadaljuje proti severozahodnem delu Slovenije ter območje jugovzhodne Slovenije.

3 GEODETSKE METODE DOLOČANJA PREMIKOV

Za dobro opravljeno nalogo, ki nam je zastavljena, je predpogoj pravilno oblikovanje problema, ki ga s to nalogo rešujemo. Le ob tem je mogoče določiti metodologijo, s katero je možno pridobiti želene rezultate. Da izberemo pravo metodologijo se poslužujemo simulacij, za katere je potrebno imeti na voljo model. Na osnovi rezultatov lahko metodologijo sprejmemo ali zavrnemo.

Če hočemo določati lego točk in njihove premike na površini Zemlje, uporabimo metodološke meritve v referenčnem sistemu, ki je lahko globalni ali lokalni. Glede na neko začetno točko, ki jo poljubno izberemo, so določeni vektorji premika (Vodopivec, 1988).

Premik je sprememba lege v prostoru. Dobimo ga na podlagi ponovljenih meritev identičnih točk prostorskega modela. Predstavlja ga sprememba koordinat obravnavanih točk. Na osnovi tega izdelamo model hitrosti premika v zemeljski skorji, ki pa je tudi rešitev problema (Jakljič, 1996).

Metode merjenja premikov in deformacij so se od nedavnega delile na geodetske ali absolutne in fizikalne ali relativne metode. Lahko pa metode merjenja premikov delimo tudi glede na uporabljen instrumentarij:

- geodetske metode: pri merjenju uporabimo klasične geodetske instrumente –teodolit, nivelir, elektrooptični razdaljemer...
- fizikalne metode: uporabimo elektronske, optične, mehanske, hidrostatične instrumente... prirejene za merjenje deformacij.

Geodetske metode temeljijo na ugotavljanju skladnosti značilnih identičnih točk v več terminskih izmerah. Ugotavljajo in določajo absolutne premike, ti pa so neodvisni od sprememb na merjenjem objektu. Metode so dolgotrajne in dražje od fizikalnih, ker se zahteva visoka natančnost določitve velikosti premikov in deformacij obravnavanega objekta ali območja.

Fizikalne metode temeljijo na merjenju mehanskih in električnih količin. Določajo relativne premike, ki nastanejo med posameznimi deli merjenega objekta. Instrumenti se premikajo skupaj z objektom. Te metode so hitre in poceni. Problem je potreba po pogosti kalibraciji teh naprav, primerjava odčitkov z absolutnimi metodami ter odvisnost spremembe položaja celega objekta glede na izhodišče.

Premiki nastajajo zaradi zunanjih in notranjih vplivov kot so sila vetra, delovanje temperaturnih sprememb, tektonski in seizmični vplivi, spremembe v višini talne vode, statična in dinamična obremenitev objektov, relogija materiala (Stopar, 1990).

Pri določanju premikov se srečujemo z določanjem premikov naravnih in zgrajenih objektov (gradbeni objekti, večje strojne konstrukcije). Naravni objekti so deli zemeljskega površja, določamo tektonske premike, premike zemeljskih mas (zemeljski plazovi, posedanje tal). Izmerjene deformacije pri zgrajenih objektih služijo, preko sprememb geometrije objektov, kot informacije o lastnostih konstrukcij in materialov, predvsem pa zaradi analize varnosti delovanja (uporaba) objekta. Pri naravnih objektih pa služijo izmerjeni premiki kot informacije o možnih nevarnostih, ki jo predstavljajo za okolico, primernost ekonomske izrabe... (Stopar, 1990).

Z geodetskimi metodami dobimo premike objektov v absolutnem sistemu, glede na okolico, ki je neodvisen od sprememb na merjenem objektu. Vse druge metode so relativne. Rezultati, dobljeni z relativnimi metodami merjenja premikov, so natančnejši od geodetskih metod. Potrebno pa je razlikovati med absolutno in relativno natančnostjo (Stopar, 1990).

Geodetske metode merjenj deformacij in premikov so običajno posredne metode, ker dobimo z merjenjem kotov, dolžin in višinskih razlik koordinate točk. Opazovan objekt idealiziramo z nekaj primernimi karakterističnimi točkami. Tem točkam z ničelno meritvijo določimo prostorske koordinate. Kasnejše meritve primerjamo z ničelno meritvijo. Poleg prostorske komponente moramo registrirati tudi časovno komponento, ki nam podaja pravilno predstavo o dogajanju na objektu (Stopar, 1990).

Omenjeno je že, da so geodetske metode za določanje premikov absolutne metode. Vendar zaradi številnih vplivov površina Zemlje ni absolutno stabilna. Tako tudi geodetske, točke postavljene na takem terenu niso absolutno stabilne. Absolutne vrednosti premikov tal in objektov na njih je mogoče določiti s predpostavko o stabilni okolici. Stabilne točke nam služijo za spremljanje prostorskih premikov kontrolnih točk objekta. Teoretično nobena točka na površini zemlje ni popolnoma stabilna, vendar lahko premike določimo glede na najstabilnejše točke. Za vsak objekt moramo določiti primerno natančnost merjenja premikov. Ta pa je odvisna od pomembnosti in konstrukcijskih lastnosti objekta, hitrosti in velikosti pričakovanih premikov. Pri tem pa uporabimo analizo natančnosti merjenj. Za dosego želene natančnosti je pomembna tudi stabilizacija in signalizacija zunanjih stabilnih in kontrolnih točk na objektu. Način stabilizacije in izbira položaja značilnih točk sta zelo pomembna (Stopar, 1990).

Geodetske metode za ugotavljanje premikov so vsebinsko razdeljene, glede velikosti premikov, na dva nivoja:

- premiki velikosti 2 cm – 10 cm: I. nivo natančnosti in
- premiki velikosti 5 mm – 2 cm: II. nivo natančnosti.

3.1 Merske metode za določevanje tektonskih premikov

Merske metode za določevanje tektonskih premikov lahko razdelimo na geodetske in negeodetske. Za oboje je značilno, da določajo relativne položaje med posameznimi točkami.

Delijo se na:

- geodetske (inženirske) meritve, kjer s pomočjo koordinatnih razlik določimo premike objektov,
- lasersko skeniranje, kjer se izvaja neprekinjeno merjenje premikov zemeljske skorje,
- astronomske in satelitske meritve, kjer se določa globalni položaj točk na zemeljski površini.

Kadar pa uporabljamo klasične merske metode za določanje premikov zemeljske skorje, običajno obravnavamo ločeno horizontalne in vertikalne premike.

Pri določanju premikov lahko uporabljamo vse metode merjenj, ki omogočajo želeno natančnost merjenj. Najpogosteje se uporabljajo metode triangulacije, trilateracije in poligonometrije za določevanje premikov v horizontalni ravnini in geometrični nivelman za določevanje višinskih premikov. (Kne, 2004)

3.1.1 Horizontalni premiki

V geodeziji vektorje horizontalnih premikov točk na terenu določimo s pomočjo posebej vzpostavljenih mrež, kjer z meritvami povežemo večje število točk. Objekt ali območje je predstavljeno z določenim številom točk, ki so trajno označene in stabilizirane, da kakovostno izvedemo meritev v večjem številu ponovitev. Število točk, ki so vključene v mrežo je povezano z lastnostmi objekta in velikostjo ter smerjo pričakovanih premikov. Splošnih pravil ni, je pa potrebno vsak obravnavan objekt obravnavati posebej (Vodopivec, 1988).

Geodetska mreža mora bit projektirana tako, da določamo premike z v naprej zahtevano natančnostjo in zanesljivostjo. Poznati moramo lastnosti objekta, velikost in namen, na kakšnem terenu se objekt nahaja idr. Pozornost je potrebno nameniti izbiri položajev točk na objektu in/ali tleh, ki predstavljajo obravnavan objekt, da nam podajajo informacije o pričakovanih premikih in deformacijah objekta. Položaj predlaga projektant in geodet. Projektant pozna obnašanje objekta ob obremenitvi in mesta pričakovanih premikov in deformacij. Geodet pa pozna instrumentarij, geodetske merske tehnike in pomen geometrije geodetske mreže, da bo zagotovila zahtevano natančnost določitve premikov točk.

3.1.1.1 Metoda izmere

V praksi se srečujemo z razsežnimi geodetskimi mrežami, z obsežno razpoložljivim instrumentarijem. Glede na dosedanje izkušnje je za določanje horizontalnih premikov najbolj uporabna klasična terestrična geodetska izmera. Za metodo izmere se največkrat uporabi triangulacija, trilateracija, ko teh dveh ne moremo uporabiti, se za določitev horizontalnih koordinat geodetskih točk le izjemoma uporabi poligonometrija. Poligonom se skušamo izogniti, ker imajo le ti premalo nadštevilnih meritev. Ko pa uporabimo metodo triangulacije in trilateracije, povečamo število nadštevilnih meritev, kar zagotavlja večjo natančnost in zanesljivost položajev točk v geodetski mreži.

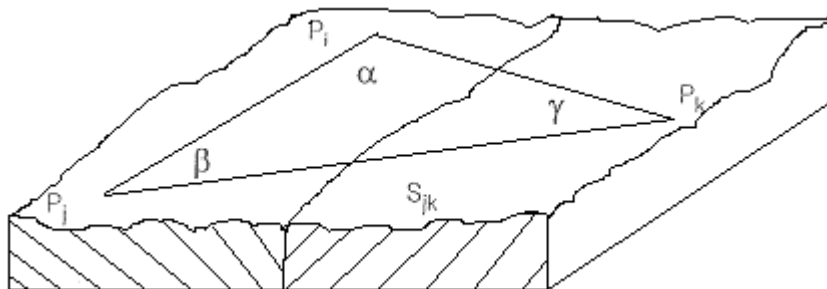
Izmera se izvaja z uporabo klasičnih metod terestrične geodetske izmere in sicer:

- Za izmero horizontalnih smeri je predlagana girusna metoda merjenja. Rezultat meritev so reducirane smeri, ki pa so obremenjene s pogreškom začetne smeri.
- Izmero zenitnih razdalj se opravi sočasno z izmero horizontalnih smeri v obeh krožnih legah. Vedno opravimo meritve v obeh smereh zaradi zmanjšanja vpliva vertikalne refrakcije.
- Izmero dolžin opravimo sočasno z merjenjem horizontalnih smeri in zenitnih razdalj.
- Višino instrumenta in reflektorja izmerimo z žepnim merskim trakom. Mersko vrednost se odčita na milimeter natančno. Priporoča pa se dvakratno neodvisno izmero.

Za določitev premika, najprej opravimo prvo (ničelno) izmero, kasneje v izbranih časovnih intervalih pa še ostale (odvisno od potreb). Po obdelavi teh meritev in izravnavi dobimo definitivne koordinate X' , Y' (prva izmera), X'' , Y'' (druga izmera) itn. Iz teh koordinat lahko izračunamo premike v smeri x in y osi. Vektorska vsota obeh vektorjev pa nam da celoten premik.

Metodo za določanje premikov tektonskih enot na osnovi meritev je razvil in objavil M. Cimbalnik v Pragi leta 1978 in podobno leta 1967 M. Jenko, vendar tega ni objavil. Osnovni model tvorijo tri točke (P_i, P_j, P_k) iste ravnine. Te tvorijo trikotnik. Spremembo lege točke

dobimo, če merimo dolžino (vsaj eno, S_{ik}) in kote vsaj enega trikotnika tako, da sta dve točki (P_i, P_j) medsebojno nepremični, tretja točka (P_k) pa je glede na prvi dve premična. Točka (P_k) je na drugi strani preloma kot točki (P_i, P_j), kar je razvidno iz *slike 12*.



Slika 12: Mreža ob prelomu, na različnih tektonskih blokih

Stabilnost točk (P_i, P_j) je vprašljiva, saj je zelo malo verjetno, da se ti dve točki ne bi medsebojno premikale. Na ti dve točki delujejo sile vzdolž prelomov, pa tudi sile v zemeljski skorji. Verjetnost, da sta ti dve točki nepremični, je obratno sorazmerna razdalji med njima. Zato je ta metoda na velikih razdaljah neuporabna. Problemu se izognemo z merjenjem stranic, azimutov. Tako je ena točka nepremična in je izbrana za izhodišče referenčnega sistema. Nanj je navezana triangulacijska ali trilateracijska mreža, ki pa je orientirana na eni ali več točkah.

Edini dovoljen način izračuna koordinat referenčnih točk in točk na objektu je ocena z izravnavo po metodi najmanjših kvadratov popravkov meritev, saj le tako dobimo optimalne vrednosti izravnanih koordinat točk ter pripadajoče natančnosti določitve koordinat, ki so pomembne količine pri nadaljnji obravnavi morebitnih premikov teh točk. Za izravnavo meritev v posamezni terminski izmeri lahko uporabimo različna komercialna programska orodja kot so Liscad, WinRam, Gem4, Trim....

3.1.1.2 Instrumentarij in pribor

Geodetski instrumenti za terestrično geodetsko izmero so t. i. elektronski tahimetri, ki omogočajo izmero naslednjih količin:

- horizontalne smeri,
- zenitne razdalje,
- poševne dolžine z ali brez upoštevanja meteoroloških popravkov in adicijskih konstant reflektorjev.

Uporablja se precizni instrument in dodatni pribor, ki skupaj zagotavljata visoko natančnost izmere in je namenjen najnatančnejšim meritvam v preciznih terestričnih geodetskih mrežah. Instrument mora biti preizkušen na pooblaščenem servisu skladno s preizkusno metodo in ustrezati deklarirani točnosti. V poročilu o meritvah mora biti priloženo dokazilo o preizkusu, ki pa ne sme biti starejše od pol leta.

Zaradi ustreznega upoštevanja meteoroloških pogojev, v katerih se izvaja izmera, je potrebno med izmero izmeriti meteorološke parametre na stojišču instrumenta. V primeru večjih geodetskih mrež se meri te parametre tudi na ciljnih točki. Na osnovi vseh meritev je smiselno določiti srednje meteorološke parametre na območju izmere in izmerjene vrednosti upoštevati v naknadni obdelavi meritev.

Poleg elektronskega tahimetra uporabimo dodatni pribor, ki služi za centriranje instrumenta in signalizacijo merjenih točk. Za signalizacijo uporabimo precizne merske prizme in reflektorje istega proizvajalca kot je instrument. Lahko uporabimo navadne ali mini precizne reflektorje. V poročilu o meritvah naj bo priložen preizkus določitve adicijske konstante posameznega reflektorja, ki jo je treba upoštevati pri redukciji posamezne dolžine.

Meteorološke parametre pri izmeri dolžin merimo s termometri, barometri in psihrometri. V poročilu o meritvah mora biti navedena natančnost in tip posameznega instrumenta ter način

zajemanja merskih vrednosti na terenu. Potrebno je navesti kdaj (ali na začetku, sredini in koncu posameznega girusa, ali med vsako meritvijo dolžine...), kje (ali pri instrumentu, ali pri instrumentu in vizirani točki...) in na kakšen način odčitamo vrednost meteoroloških parametrov.

3.1.1.3 Izračun

Iz merjenih horizontalnih smeri, merjenih v več girusih, izračunamo aritmetično sredino posamezne reducirane smeri. Ta je vreden podatek za izravnavo.

Prav tako iz merjenih poševnih dolžin v več ponovitvah izračunamo aritmetično sredino posamezne dolžine, ki jo popravimo za vrednost meteoroloških parametrov. Na podlagi valovne dolžine nosilnega valovanja izračunamo lomni količnik za normalno atmosfero, na podlagi izmerjenih meteoroloških podatkov pa dejanski lomni količnik zraka in meteorološki popravek dolžine za meteorološke vplive. Dobljeno dolžino preračunamo v poševno dolžino na nivoju terena t.i. dolžino kamen – kamen. Dolžino popravimo še za geometrične popravke, jo reduciramo na površino referenčnega elipsoida, torej se za redukcijo potrebuje elipsoidne višine točk. Na koncu dolžino izračunamo v GK projekciji in jo moduliramo. To je vhodni podatek za izravnavo.

Uteži merjenih količin se izračuna po pravilih za izračun uteži merjenih količin. Postopek je potrebno podati v poročilu o izmeri in izračunu posamezne geodetske mreže. Za kotne in dolžinske meritve se priporoča uporaba metode a posteriori ocene merjenih količin. Dobimo korekten, realen rezultat, ker je v geodetskih mrežah mnogo nadštevilnih meritev. Nadštevilne meritve izravnamo s posredno izravnavo po metodi najmanjših kvadratov.

Med izmero, pred izravnavo in na osnovi rezultatov izravnave, se ukvarjamo z odkrivanjem grobih pogreškov. Grobo pogrešene meritve moremo evidentirati in jih izločiti med izmero, pred in med izravnavo. Meritev je uporabna, ko med meritvami nimamo grobo pogrešenih meritev.

V poročilu o izmeri in izračunu posamezne geodetske mreže moramo podati način določitve natančnosti merjenih in iskanih količin in dosežene rezultate s pripadajočimi merili natančnosti za posamezno terminsko izravnavo.

3.1.2 Vertikalni premiki

Vzrokov za vertikalni premik neke točke na površini Zemlje je veliko. Najpogostejši so:

- posedanje terena,
- plazenje terena,
- mikrotektonski premiki ob prelomu,
- makrotektonski premiki plošč kontinentov.

Vertikalni premik lahko določimo na podlagi meritev.

Poznamo:

- geometrični nivelman,
- trigonometrični nivelman,
- tridimenzionalne mreže,
- fotogrametrično določanje premikov,
- hidrostatični nivelman,
- določanje višin s pomočjo barometra,
- določanje višin s spremembo zemeljske težnosti,
- določanje višin s pomočjo umetnih satelitov, GPS.

V geodeziji se največkrat uporabljajo prve štiri metode. Geometrični nivelman je najbolj natančna metoda, vendar najbolj počasna in draga. Vedno bolj je uveljavljen trigonometrični nivelman. Sprva je bila natančnost te metode slaba, z razvojem instrumentov, predvsem elektronskih razdaljemerov, pa se je le-ta močno izboljšala, zato je hitrejši in cenejši zlasti na

razgibanem zemljišču. S tem se je uporabnost trigonometričnega višinomerstva zelo razširila. V zadnjem času se povečuje uporabnost GPS tehnologije.

Z meritvami lahko določimo absolutno višino točke (nadmorsko višino) ali relativno višino točke (glede na neko dano točko). Spremembo višine oziroma vertikalni premik dobimo iz razlike dveh merjenj v različnem času.

Za natančno določitev spremembe višine neke točke na terenu mora biti poleg izbrane metode meritev ta točka tudi dobro višinsko definirana. Iz prakse je uveljavljen način stabilizacije višinskih točk s kovinskimi čepi, vzdanimi v vertikalno podlago-reperji.

Reperji morajo biti stabilizirani izven vplivnega območja objekta in stabilni v času meritev, da poznamo njihov premik v prostoru in času. Le stabilni reperji omogočajo stabilni višinski koordinatni sistem. Lokacijo določi geodet s pomočjo geologa. Predlagana je stabilizacija s čepi sodčkaste oblike iz nerjavečega jekla, grajen v dovolj star objekt, ki ni predaleč in ne na preveliki višinski razliki glede na merjen objekt. Druga možnost je talna stabilizacija, kjer je reper vgrajen v ustrezen temeljen temelj. Reperji so vgrajeni v objekt tako, da je na njih možno postaviti invarno nivelmansko lato brez težav, katere dolžina je običajno 3 metre in omogočajo v vseh terminskih izmerah postavitev late vedno na isto mesto. Če je višinska razlika določena z metodo trigonometričnega višinomerstva, je stabilizacija izvedena z nizkimi reperji, da nanj postavimo navadno nivelmansko lato s centimetrsko razdelbo. Včasih uporabimo talne reperje, da nad njimi postavimo stativ z instrumentom oz reflektor in višino izmerimo z žepnim merskim trakom. Stabilizacija se izvede tako, da je reper varen pred uničenjem, nemoteč v okolju in zagotavlja ustrezno stabilnost.

3.1.2.1 Metoda izmere

Ne glede na zahtevano natančnost vedno niveliramo iz sredine. Ko gre za manjšo natančnost določitve višin reperjev uporabimo metodo tehničnega nivelmana, kadar pa gre za veliko natančnost pa metodo geometričnega nivelmana. Niveliramo dovolj nivelmanskih linij med reperji, in sicer obojestransko (»tja in nazaj«), da zagotovimo ustrezno število povezav v višinski mreži, kar zagotavlja dovolj veliko število nadštevilnih meritev. Tako tudi povečamo natančnost izmerjene višinske razlike in zmanjšamo možnost neodkritih grobih pogreškov. Pridobimo pa tudi možnost ocene natančnosti merjenja višinskih razlik na osnovi odstopanj obojestransko merjenih višinskih razlik nivelmanske linije. Nivelmansko linijo niveliramo na primerni podlagi, ki zagotavlja stabilnost izmenišč nivelmanske late med izmero. Izogibati se moramo prečkanju vodotokov, cest in prevelikih višinskih razlik nivelmanske linije.

Pri niveliranju refrakcija predstavlja velik problem. Njen vpliv zmanjšamo z upoštevanjem naslednjih kriterijev:

- Minimalna višina vizure od tal naj znaša 0,6 m oziroma maksimalna 2,8 m.
- Odčitek na lati, ki je postavljena na reper, naj bo večji od 0,2 m in manjši od 2,8 m oz. naj bo mesto čitanja oddaljeno od krajišč late vsaj za 1 % dolžine vizure.
- Niveliramo iz sredine.

3.1.2.2 Instrumentarij in pribor

Pri niveliranju, za določitev višinskih razlik, uporabimo ustrezen/natančen instrument in dodatni pribor, ki zagotavlja ustrezno/visoko natančnost izmere. Na osnovi podatkov proizvajalca se ocenjuje ustreznost instrumenta.

Pred izmero moramo izvesti naslednje:

- Preizkusiti in po potrebi uravnati dozno libelo.

- Če je instrument v prostoru, katerega temperatura je različna od temperature delovnega okolja, moramo instrument prilagoditi temperaturi delovnega okolja. Za vsako stopinjo razlike v temperaturi, je potrebno pred začetkom izmere počakati 2 minuti.
- Instrument se pred vsako izmero preizkusi po deklariranem postopku, ki ga predpisuje proizvajalec instrumenta oz. po Nabauerju ali Forstnerju. Ugotovljena nehorizontalnost vizurne osi mora biti upoštevana pri meritvah.
- Postopek preizkusa nivelirja in velikost nehorizontalnosti vizurne osi mora biti dokumentirana in priložena poročilu o izmeri in izračunu posamezne geodetske mreže.

Pri postavitvi nivelirja upoštevamo:

- Če je možno, stativ postavimo na utrjeni površini.
- Izogibamo se postavitvi na različne plasti asfalta – zaplate, saj lahko s hojo okoli instrumenta povzročimo vertikalni premik noge stativa.
- Pri mehki podlagi (segret asfalt in neutrjena bankina) stativa ne »pohodimo«
premočno, ker se tako lahko izognemo zakasnelemu premikanju stativa.

Pri niveliranju uporabimo invarne nivelmanske late s kodirano razdelbo oziroma klasične invarne nivelmanske late. Pred izmero moramo preizkusiti dozno libelo in jo po potrebi uravnati, pri postavljanju pa pazljivo vrhunimo libelo. Vse nivelmanske late morajo biti preizkušene, poročilo o preizkusu pa mora biti priloženo poročilu o izmeri in izračunu posamezne geodetske mreže in ne sme biti starejše od enega leta.

Pogrešek nepravokotnosti in nehorizontalnosti pete late odpravimo s centrično postavitvijo late. Pogrešek začetka razdelbe lahko eliminiramo, če imamo sodo število stojišč ali pa odčitamo prvi odčitek na lati zadaj vedno na isti lati (reperna lata).

Za stabilizacijo izmenišč uporabimo težje oziroma težke podložke, »žabe« ali klin dolžine 50 cm če niveliramo na neutrjenem terenu. Pri postavljanju late upoštevamo:

- »Žabo«, na katero se položi nivelmanska lata, položimo na trdno podlago in jo pohodimo.
- Na izmenišču moramo nivelmansko lato pazljivo zavrteti.

3.1.2.3 Izračun

Že na terenu se preveri ali so razlike med obojestransko merjenimi višinskimi razlikami manjše od dovoljenega odstopanja. Če so razlike manjše od dovoljenega odstopanja, potem v meritvah ni prisotnih grobih pogrškov.

V posamezni višinski geodetski mreži izberemo vsaj tri dane reperje, s pomočjo geologa in gradbenika. Ti reperji določajo datum višinske geodetske mreže in v času meritev naj bi bili stabilni.

Uteži, ki jih uporabimo pri izravnavi, izračunamo po pravilih za izračun uteži. Kriterije se poda v poročilu o izmeri in izračunu. Nadštevilne meritve izravnamo s posredno metodo izravnave po metodi najmanjših kvadratov. Tako dobimo najverjetnejše vrednosti ocenjenih višin točk s pripadajočimi podatki o natančnosti ocenjenih višin. V poročilu o izmeri in izračunu je potrebno predstaviti tudi način določitve natančnosti merjenih in iskanih količin, pa tudi dosežene natančnosti v posamezni izravnavi višinske geodetske mreže. Za izravnavo izmerjenih višinskih razlik lahko uporabimo različna programska orodja, kot so Liscad, WinVim,...

4 OSTALE TEHNOLOGIJE DOLOČANJA PREMIKOV

4.1 Merjenje tektonskih premikov s 3D ekstenziometri

Pri večjih raziskavah se uporablja 3D merilec premikov oz. ekstenziometer TM 71. Gre za mehansko-optični instrument, ki meri premike v treh oseh (x, y in z) z natančnostjo 0,03 mm, lahko pa merimo premike tudi do 0,01 mm natančno. Merilec deluje na principu Moirejevega optičnega efekta, ki se spreminja, ko se dve prozorni ploščici z natančno vgraviranim vzorcem med seboj premakneta. Vsaka ploščica je z železno palico togo sidrana v eno stran prelomne cone ali razpoke. Premiki povzročajo spremembo interferenčnega vzorca, ki nastane, ko se obe gravuri prekrivata. Dva ločena sistema ploščic, postavljena v vodoravni in navpični smeri, omogočata ugotavljanje premikov v treh smereh. Širina razpoke, na katero se lahko namesti napravo, je do 1,5 m, ker je veliko prelomnih con precej širših, se izvede namestitvev med eno od prelomnih ploskev in kamnino v coni, če le-ta ni preveč porušena, ali pa na eno od stranskih razpok. Izbor lokacij je za uspešnost ugotavljanje premikov ključnega pomena (Šebela in drugi, 2007).

Prednost ekstenziometra TM 71 v primerjavi z drugimi podobnimi napravami je v preprostosti in robustnosti, saj ne vsebuje elektronskih vezij in ne potrebuje vira energije. To omogoča dolgotrajne meritve tudi pod različnimi vplivi okolja. Da se izključi ostale vplive, morajo meritve trajati vsaj tri leta. Odčitavanje premikov pa je potrebno opraviti vsake dva ali v primeru težje dostopnosti vsaj vsake tri mesece. Inštrument TM 71 je bil že uspešno uporabljen v številnih raziskavah v Evropi, Aziji in južni Ameriki.

Procesi, ki jih naprava TM 71 zazna, odražajo napetosti v Zemljini skorji. Za njihovo razumevanje je potrebno poznati deformacijske modele geologije v povezavi s strukturnimi spremembami. Najbolj zanimivi so premiki ob seizmično aktivih prelomih. Pomembna je pravilna interpretacija rezultatov, ki omogoča razločevanje med tektonskimi in površinskimi

deformacijami. Koristna je tudi sočasna uporaba drugih metod, kot so GPS-meritve, ker to zmanjšuje možnost napačne interpretacije rezultatov.

Registrirani premiki vzdolž razpok različnega izvora navadno sestojijo iz dveh elementov:

- a) občasnih sprememb različnih amplitud, povezanih z deformacijami v kamnini zaradi sprememb temperature in vlage itd.
- b) trajnejših trendov premikanj ali nenadnih skokov.

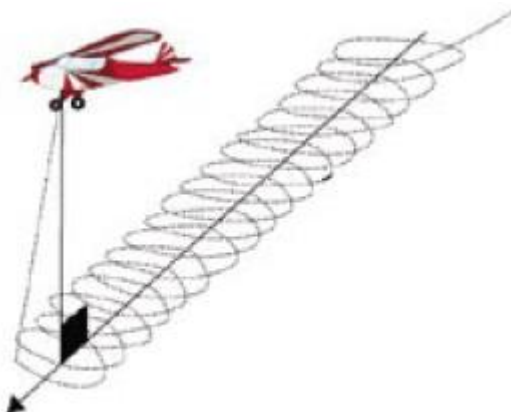
Analize premikov, izmerjenih s TM 71, so pokazale, da ekstremnih premikov, ki spremljajo močnejše potrese, praviloma ne spremljajo nenadni skoki, ampak gre za počasno naraščanje premikov pred potresom in počasno upadanje premikov po potresu kot zakasnitveni efekt (Šebela in drugi, 2007).

4.2 Letalsko laserko skeniranje

Lasersko skeniranje površja je relativno nova metoda, ki se je zaradi številnih odlik v nekaj letih zelo uveljavila v različnih vedah. Zanj se pogosto uporablja tudi kratica LiDAR (ang. Light Detection And Ranging).

Pri LiDAR-ju je na letalu ali helikopterju laserski oddajnik, ki oddaja zelo kratke pulze (do 33.000 pulzov v sekundi), in optično-mehanska naprava, ki zelo hitro odklanja žarek prečno na smer leta, tako da vsak pulz zadane drugo točko na površju v pasu, pokritem s spiralno črto (*slika 13*). Poleg oddajnika se nahajata senzor z majhnim teleskopom, ki zazna odbite žarke, in ura, ki zelo natančno izmeri čas potovanja žarka od letala do tal in nazaj do letala. Z znano hitrostjo laserskega žarka se pretvori čas potovanja v razdaljo od letala. Za določitev koordinat točk laserskega žarka moramo v vsakem trenutku poznati položaj in usmerjenost merilne naprave na letalu. To je omogočil šele razvoj diferencialnih sistemov GPS in inercialnih navigacijskih sistemov, ki so vgrajeni v letalo. V eni ali dveh referenčnih točkah na tleh morajo med snemanjem potekati vzporedne meritve z GPS. Natančnost določitve koordinat točk odbojev, ki se lahko na ta način doseže, je v navpični smeri praviloma boljša od 15 cm in v vodoravni smeri boljša od 25

cm. Relativna natančnost pa je seveda še bistveno boljša. Razdalja med točkami odboja je od manj kot en meter do nekaj metrov (Gosar, 2007).



Slika 13 : Potek letalskega laserskega skeniranja (Gosar, 2007)

Prvi laserski skenerji so merili le razdaljo do prve ovire, ki je odbila žarek. V gozdnih območjih je to običajno vrh drevesne krošnje. Novejši sistemi pa zaznajo večkratne odboje vsakega radarskega pulza. Širina laserskega žarka je na površju tal namreč okoli enega metra. Del tega žarka se v gozdu lahko odbije od listja, del od vej, del pa doseže tla. Posebej pomemben je zadnji odboj, ki najbolj verjetno predstavlja površje. Za prepoznavanje odbojev od tal se uporabljajo dokaj zapleteni algoritmi. Na podlagi nepravilno razporejenih točk odbojev se nato izdelava digitalni model višin (DMV), ki predstavlja topografijo površja s podatki o nadmorski višini v pravilni mreži. Za pridobivanje podrobnih podatkov o oblikovanosti površja in izdelavo DMV se sicer uporabljata stereo letalsko fotografiranje (fotogrametrija) in radarska interferometrija, ki se snema iz satelitov. Čeprav je lasersko skeniranje zaenkrat še precej dražje od fotogrametrije, ki se seveda uporablja predsem za izdelavo topografskih kart, pa ima pri izdelavi DMV številne prednosti, kakor so večja gostota in natančnost podatkov ter preprostejša obdelava. Najpomembnejša prednost laserskega skeniranja pa je vsekakor ta, da v gozdnih območjih edino omogoča izdelavo DMV golega površja, brez vegetacijskega pokrova. Prav to pa je najpomembnejša prednost v tektonski geomorfologiji, saj omogoča odkrivanje aktivnih prelomov

pod strnjenimi gozdnimi področji, o katerih pred tem ni bilo nobenih geoloških podatkov. Ena prvih uspešnih tovrstnih raziskav je bila opravljena v ameriški zvezni državi Washington (Gosar, 2007).

Lasersko skeniranje se je v zadnjih letih zelo uveljavilo v različnih vedah. V gozdarstvu ga uporabljajo za analizo vertikalne strukture gozdnih krošenj in ocene letnih prirastkov, v arheologiji za prepoznavanje arheoloških ostalin v gozdnih območjih, v elektrogospodarstvu za načrtovanje tras daljnovodov, v urbanih območjih za izdelavo 3D modelov naselij in v geomorfologiji za analize sprememb na obalnih in poplavnih območjih ter študij tektonike.

4.3 Satelitska radarska metoda interferometrije

Satelitska radarska interferometrija permanentnih sipalcev (PSInSAR) je moderna metoda, s katero lahko iz parov radarskih satelitskih posnetkov pridobivamo visokoločljive podatke o zemeljski površini. Metoda je prav tako uporabna v geologiji za tektonske premike. Najpomembnejše področje njene uporabe je izdelava digitalnih modelov višin, še posebej na območjih, ki so s "klasičnimi" metodami slabo izmerjena. Natančnost, ki jo pri tem dosežemo, je približno deset metrov v vodoravni (x,y) in nekaj metrov v navpični (z) smeri.

SAR (ang. Synthetic Aperture Radar) je umetno odprtinski radar. Je sistem senzorjev, nameščen na opazovalni osnovi, letalu ali satelitu, ki proti površju oddaja več zaporednih mikrovalovnih signalov. Signali imajo razpon, valovno dolžino med 1 in 10 GHz. Sprejemnik oziroma kratka radarska antena, montirana na isti osnovi, zazna odboje emitiranih signalov od objektov na zemeljskem površju. Deluje po principu Dopplerjevega efekta, ki navidezno poveča dolžino antene. Umetna odprtina predstavlja razdaljo v smeri leta, med trenutkom oddajanja signala in trenutkom, v katerem radar zaznava s površja odbiti signal (Komac, Bavec, 2007).

Opazovanje sprememb površja z to metodo skozi daljše časovno obdobje temelji na zaznavanju sprememb med posnetki. Zelo je oteženo zaradi časovne in geometrične dekorelacije posnetkov

ter atmosferskih vplivov. Metoda detekcije permanentnih sipalcev (ang. Permanent Scatter Technique – PSInSAR) omogoča detekcijo točk na površju Zemlje s stalnim odbojem, kljub drugačnemu ali zamaknjenemu opazovanju z opazovalne osnove. Ta metoda ima zapleten algoritem, ima najboljše rezultate v poseljenih območjih in območjih golih skal. Objekti in kamnine so najprimernejši in najzanesljivejši permanentni sipalci (PS), zaradi koncentriranega odboja emitiranih signalov nazaj proti senzorju. Metoda je zaradi valovne dolžine uporabna le za premike, ki so v smeri potovanja signala, manjši od 28 mm v času med dvema snemanjema. Sledenje se običajno ponovi vsakih 35 dni. Premiki se določijo znotraj opazovanega območja, glede na referenčno točko, za katero se oceni, da ni podvržena večjim premikom. Tako dejansko opazujemo relativne premike. Metoda je uporabna še za zaznavanje vertikalne komponente sprememb na površju. Zaznavanje relativnih sprememb je zanimivo na številnih področjih. Posedki so tako kazatelji pogrezanja območja zaradi rudarjenja, črpanja podtalnice ali nafte iz rezervoarjev, mikro-tektonskih premikov, plazenj... (Komac, Bavec, 2007).

4.4 Primeri tehnologij

4.4.1 Merjenje tektonskih premikov s 3D ekstenziometri TM 71 v Postojnski jami

Postojnska jama je najdaljša kraška jama v Sloveniji. Že od februarja 2004 na dveh lokacijah, Velika gora (Postojna 1) in Lepe jame (Postojna 2), ki sta oddaljeni 260 m, opravljajo redne mesečne meritve tektonskih premikov z dvema ekstenziometroma TM 71.

Merjenje tektonskih premikov s češkimi ekstenziometri so se začela v okviru projekta COST 625 (3-D monitoring of active tectonic structures) in še danes nadaljujejo v okviru slovensko-češkega bilateralnega projekta BI-CZ/06-07-011 (Merjenje aktivnih tektonskih struktur na krasu). Trije inštrumenti so nameščeni na površju, dva inštrumenta pa v Postojnski jami. Podatke predvidoma odčitajo enkrat mesečno. Čeprav je Postojna na sorazmerno tektonsko stabilnem področju, so se

za namestitvev TM 71 v Postojnsko jamo odločili zaradi dobre geološke karte jame, zaradi dobrega poznavanja jame ter zaradi velikega turističnega obiska in splošne prepoznavnosti jame. Analize rezultatov merjenja tektonskih premikov s TM 71 zajemajo tri koordinate x , y in z , kjer $+x$ predstavlja kompresijo opazovanega preloma, $+y$ levi horizontalni zamik in $+z$ vertikalni premik (severni blok se je spustil in južni dvignil). Zabeležili so tudi manjšo rotacijo v vertikali $+y_{xz}$ in horizontali $+y_{xy}$ (Šebela in drugi, 2007).

Rezultati premikov kažejo na manjše premike v vseh treh oseh. Na opazovanem mestu Postojna 1 imajo v povprečju $-0,002$ mm/leto levi horizontalni zamik, v letu 2004 v povprečju $-0,05$ mm. Premiki v osi y v letu 2006 so podobni za oba inštrumenta (Postojna 1 in 2), predvsem gre za dolgo obdobje mirovanja.

Večinoma beležijo manjše premike na obeh inštrumentih TM 71 istočasno. Glede na to, da so bila obdobja nemira in obdobja skoraj brez premikov, lahko sklepamo na tektonske premike. Konec leta 2004 in v začetku 2005 so na osi y (Postojna 1) zaznali večji premik. Na osi y so zaznali $-0,08$ mm horizontalni desni zamik, ki se je obrnil v horizontalni levi premik za $+0,03$ mm. V y osi je ostal permanentni premik za $-0,05$ mm. Oba inštrumenta sta postavljena na isto prelomno cono, vendar na lokaciji Postojna 2 niso zabeležili teko velikega premika kot na Postojni 1. Ekstenziometra sta postavljena v isti prelomni coni, vendar na različnih prelomih ploskvah. Instrumenta sta med sabo oddaljena 260 m, med njima poteka močnejša prečno-dinarska prelomna cona, ki je lahko vzrok za določene razlike v velikosti premikov (Šebela in drugi, 2007).

V prvi polovici leta 2005 so v osi y na Veliki gori zabeležili desni horizontalni zamik za $-0,03$ mm. Podoben premik je bil v istem časovnem obdobju tudi v Lepih jamah. V tem obdobju so zabeležili tri manjše potrese (Cerkno $M = 4,0$ in $M = 3,8$ ter Ilirska Bistrica $M = 3,9$). Zanimiv pa je bil večji premik v oseh z in x na opazovanem mestu Postojna 2, zabeležili so vertikalni premik za $-0,05$ mm in v osi x so opazili premik za $-0,04$ mm. Ta premik se je povrnil na skoraj

predhodno stanje. Oba premika v oseh x in z sta povezana s potresom na področju Ilirske Bistrice, ki je bil od Postojne oddaljen 25 km.

Po daljšem obdobju mirovanja na obeh opazovanih mestih so konec leta 2006 in v letu 2007 zopet začeli beležiti manjše premike v vseh treh oseh, s tem da so nekoliko večji premik zabeležili v Lepih jamah. Najmočnejša bližnja potresna dogodka v tem obdobju sta bila 80 km oddaljeni potres v južni Avstriji in okrog 90 km oddaljeni potres na Hrvaškem. Največji premik je bil velikosti 0,025 mm v Lepih jamah v obdobju konec leta 2006 in v začetku leta 2007. Stanje se je kasneje povrnilo nazaj, skoraj v izhodiščni položaj.

V Postojnski jami, na dinarsko usmerjeni prelomni coni, lahko določijo tudi sledove starih tektonskih deformacij. V JV delu jame tektonske drse kažejo na levi horizontalni zamik, na Veliki gori se opazi reverzni prelom, v Lepih jamah (*slika 14*) pa sta pol metra narazen dve prelomni ploskvi, kjer ob severni ploskvi tektonski drsi kažejo na horizontalni desni zamik, ob južni pa normalni prelom, kjer je severni blok relativno spuščen glede na južnega. Tako so dokazi o 4 različnih tektonskih dogodkih. Današnja merjenja z TM 71 kažejo blag desni horizontalni premik, kar je tudi v skladu z aktivnimi tektonskimi razmerami na dinarskem krasu v JV Sloveniji (Šebela in drugi, 2007).



Slika 14: Tektonske drse in TM 71 v Lepih jamah, Postojna 2 (Šebela, 2007)

V najdaljši slovenski jami opazujejo dinarsko (SZ-JV) usmerjeni prelom, ob katerem beležijo blage premike, povprečno 0,02 mm/leto v horizontalni smeri. Pred in med močnejšimi potresi (npr. potres v Posočju, leta 2004, $M_w = 5,2$) registrirajo močnejše opazen nemir, vendar se je po potresu stanje ob prelomu navadno vrnilo v stanje pred potresom. Registrirani premiki v Postojnski jami so zelo majhni, vendar pa bo merjenje potekalo še vrsto let, tako bodo zanesljive zaključke podali po večletnem opazovanju. Gre za spremljanje mikro deformacij ob aseizmičnem prelomu, kjer je temperaturno stabilno okolje (9-11 °C) kraške jame ter za razumevanje obnašanja preloma pred, med in po potresih (Šebela in drugi, 2007).

V Postojnski jami bodo začeli z odčitavanjem podatkov dvakrat na dan. Do sedaj so podatke pridobivali približno enkrat na mesec. Avtomatsko zajemanje podatkov s TM 71 ekstenziometri nameravajo namestiti tudi v Pološki jami ter predvidoma Kostanjeviški jami. Namen tovrstnih meritev je razumevanje sprememb v napetostih zemeljske skorje ter odnos med potresnimi aktivnostmi in mikro-tektonskimi premiki.

4.4.2 Primer laserskega skeniranja v zahodni Sloveniji (Idrijski in Ravenski prelom)

Metodo so uporabili pri analizi tektonskih značilnosti, prvič je v Evropi uporabljena za raziskavo aktivnih prelomov.

Geološke in seizmološke značilnosti Idrijskega in Ravenskega preloma

Med Dinarskimi prelomi v zahodni Sloveniji je najbolj izrazit Idrijski prelomni sistem, ki se razteza v dolžini več kakor 120 km od Kaninskega pogorja do Gorskega kotarja. Prelom je zelo jasno izražen v obliki ravnega poteka dolin Soče, Idrijce, Kanomljice in Zale ter robov kraških polj (Planinsko, Cerkniško, Loško). Z vidika potresne nevarnosti je Idrijski prelom zanimiv predvsem zato, ker se je na njegovem širšem območju leta 1511 zgodil domnevno najmočnejši

potres na ozemlju Slovenije, in sicer znani »idrijski potres«, za katerega je ocenjena magnituda 6,8 in največja intenziteta X. Drugi močnejši potres z magnitudo 5,6 se je zgodil leta 1926 na jugovzhodnem koncu preloma. Obdobje instrumentalnega opazovanja potresov je pokazalo, da je seizmičnost na območju Idrijskega preloma majhna.

Ravenski prelom poteka vzporedno z Idrijskim prelomom v dolžini 40 km od Bovške kotline prek Krnskega pogorja do Cerknega. Je primer napredujočega zmičnega preloma, ki seka gorato območje z zelo izrazito topografijo, saj je največja višinska razlika površja vzdolž preloma več kakor 1400 m. Ob Ravenskem prelomu sta nastala potresa aprila 1998 in julija 2004, ki sta povzročila veliko škode v Zgornjem Posočju. Podatki so pokazali, da je v obeh primerih prišlo do desnega znika. Katalog potresov kaže, da je bila potresna dejavnost na tem delu Julijskih Alp v preteklosti majhna (Gosar, 2007).

Lasersko skeniranje

Priložnost za letalsko lasersko skeniranje se je ponudila ob razpisu angleške organizacije Natural Environment Research Council (NERC), za snemanja z različnimi metodami daljinskega zaznavanja na območju jugovzhodne Evrope.

Snemanje Idrijskega preloma je potekalo v 2,2 km širokem in 23 km dolgem pasu. Letalo je meritve opravilo v petih vzporednih preletih. V šestih preletih pa so izmerili 2,4 km širok in 17 km dolg pas Ravenskega preloma.

Snemanje so izvedli z letalom Piper Navajo Chieftain, ki je letelo na višini med 600 in 1000 m nad površjem, in laserskim skanerjem Optech ALTM 3033 s frekvenco žarka 33 kHz. Za potrebe obdelave podatkov so med snemanjem potekale zvezne meritve z dvema sprejemnikoma GPS na referenčnih geodetskih točkah (Bovec in Šentviška gora). Te meritve sta zagotovila Geodetska uprava RS in Geodetski inštitut Slovenije. Osnovno obdelavo podatkov so opravili na Univerzi v Cambridgu in kot rezultat posredovali podatke o prvem in zadnjem odboju laserskega žarka in o

jakosti odboja. Povprečna gostota žarkov je bila 1,4 m in ocenjena natančnost višin boljša kakor 15 cm.

Nato so bili izdelani digitalni modeli višin (DMV) z gostoto 2 m (*slika 15c*) in izbrana območja za nadaljnje raziskave. Na Idrijskem prelomu so izbrali območje Kape v Srednji Kanomlji, na Ravenskem prelomu pa območje izvira Tolminke. Ker gre za pretežno gozdna območja, kjer tudi zadnji odboj pogosto ne predstavlja površja (*slika 16a*), so uporabili poseben algoritem, ki omogoča izračun modela površja na podlagi znanih odbojev od tal. Na ta način so uspešno odstranili gozd (*slika 16b*), ne da bi pri tem izgubili topografske podrobnosti golega površja, ki so ključne za geomorfološko analizo. Kakšne podrobnosti v oblikovanosti površja so vidne v digitalnih modelih višin različnih ločljivosti kažejo primerjave prikazov območja Kape v Srednji Kanomlji na *slikah 15a, 15b in 15c*. *Slika 15a* kaže 25-metrski, *slika 15b* 12,5-metrski DMV Geodetske uprave RS, na *sliki 15c* pa je 2-metrski DMV iz laserskega skeniranja. Šele zadnji prikaže vse podrobnosti, kakor so gozdne ceste, grape in rečne terase. Pri laserskem skeniranju se pri bolj razgibanem reliefu včasih zgodi, da del območja med dvema vzporednima preletoma ostane nepokrit. Takšno območje je vidno na grebenu v ospredju *slike 15c* (Gosar, 2007).



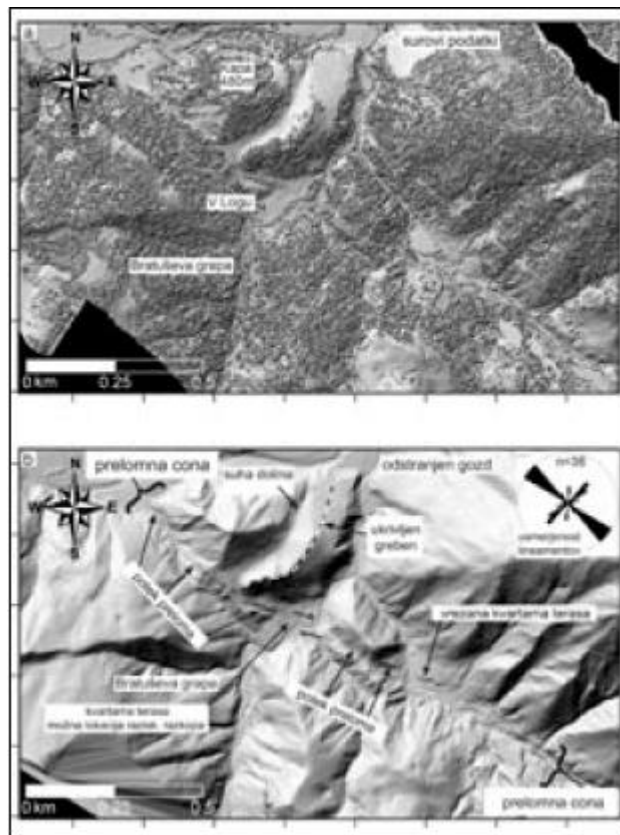
Slika 15a: 3D prikaz območja Idrijskega preloma pri Kapi in Srednji Kanomlji z digitalnim modelom višin ločljivosti 25 m (Gosar, 2007)



Slika 15b: 3D prikaz območja Idrijskega preloma pri Kapi in Srednji Kanomlji z digitalnim modelom višin ločljivosti 12,5 m (Gosar, 2007)



Slika 15c: 3D prikaz območja Idrijskega preloma pri Kapi in Srednji Kanomlji z digitalnim modelom višin ločljivosti 2 m (Gosar, 2007)



Slika 16: Senčen relief dela Idrijskega preloma: a) surovi podatki laserskega snemanja in b) golo površje po uporabi algoritma za odstranitev gozda, s strukturno-tektonskim vrednotenjem prelomne cone (Gosar, 2007)

Rezultati analize na Idrijskem prelomu

Na obravnavanem območju (slika 16b) so bili ugotovljeni naslednji pokazatelji, ki kažejo na tektonsko aktivnost Idrijskega preloma v najmlajšem geološkem obdobju:

- dvojni desni zmik struge potoka Bratuševa grapa za nekaj deset metrov,
- s prelomom prekinjena rečna terasa,
- potok, vrezan v kvartarno rečno teraso,
- zapleten drenažni vzorec,
- “suha” dolina, odrezana od aktivne rečne mreže,

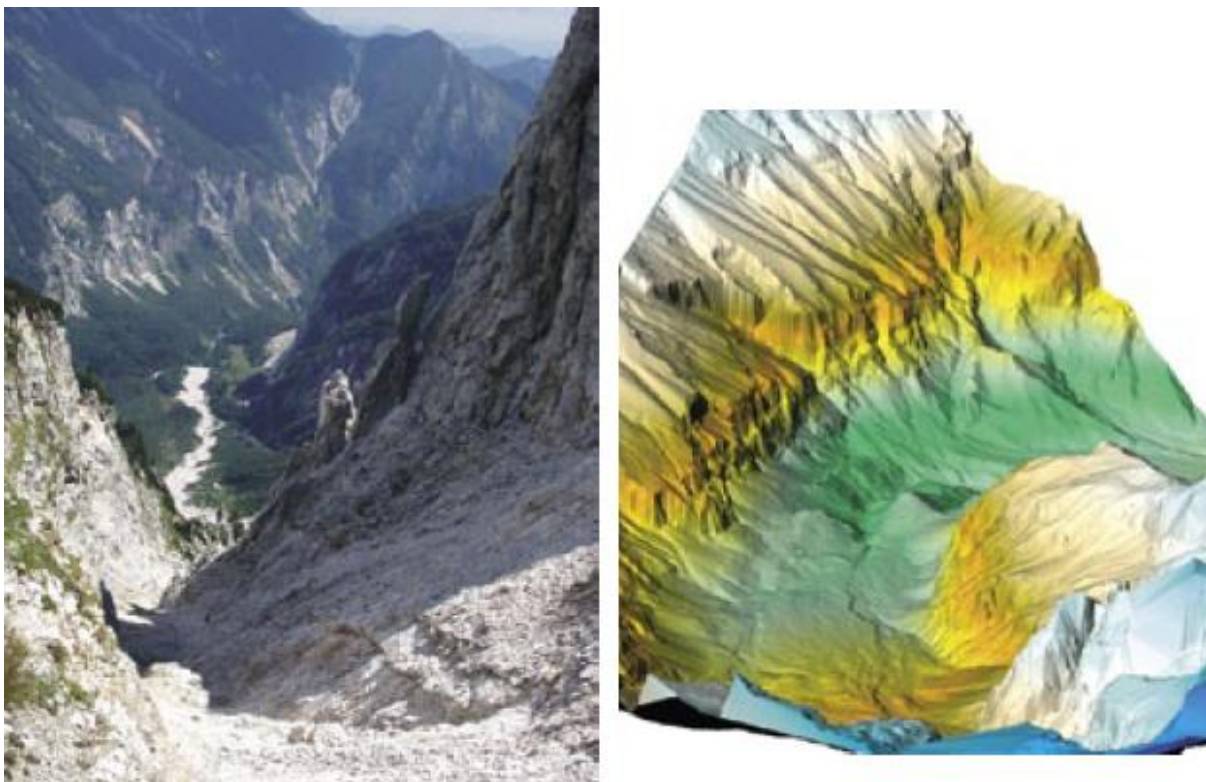
– greben, ukrivljen zaradi desnega zmika in rotacije blokov ob prelomu.

Analiza preloma, ki poteka tu nekoliko ukrivljeno, kaže, da je Idrijski prelom na tem delu segmentiran in da strmo vpada proti severovzhodu. Prelom na tem območju tudi nekoliko spremeni svojo splošno smer, kar pomeni, da lahko poleg vodoravnega zmika pričakujemo ob njem tudi narivne strukture (Gosar, 2007).

Eden od ciljev laserskega skeniranja je tudi določiti območja, primerna za nadaljnje raziskave. Na posnetem območju Idrijskega preloma so kot najprimernejšo izbrali kvartarno rečno teraso v Logu, južno od hriba Kapa (*slika 16*). Rahla upognjenost te terase, ki se pokaže pri ustreznem osenčenju digitalnega modela višin, kaže na možnost, da je v preteklosti prišlo ob prelomu do njenega pretrga, ki pa ga je erozija pozneje izravnala. Območje tega upogiba se ujema z območjem desnega zmika potoka Bratuševe grape. Če bodo te raziskave pokazale, da so kvartarne plasti na obeh straneh preloma premaknjene, bo izkopen nekaj metrov globok in okoli 100 m dolg raziskovalni jarek, v katerem bodo podrobno analizirali in dokumentirali morebitne sledi preteklih močnih potresov in z različnimi metodami datiranja opredelili, kdaj so se zgodili. Pri takšnih paleoseizmoloških raziskavah je v Evropi ustaljena praksa, da se v okviru mednarodnih projektov vključi v analize najboljše strokovnjake za posamezna raziskovalna področja. Ker je izdelava paleoseizmološkega izkopa zelo draga, je namreč treba zagotoviti, da se takšna enkratna raziskovalna priložnost izkoristi v najboljši možni meri (Gosar, 2007).

Rezultati analize na Ravenskem prelomu

Na tem prelomu so bile analize podatkov laserskega skeniranja usmerjene predvsem na območje izvirov Tolminke (*slika 17*), kjer je podroben digitalen model višin golega površja omogočil osvetliti zapletene odnose med tektonskimi procesi, sedimentacijo in erozijo. Ravenski prelom je primer segmentiranega zmičnega preloma, ki se na območju izvirov Tolminke razcepi v več vej. Med njimi je ob sicer desnozmičnem prelomu prišlo do raztezanja (transtenzije), ki je povzročilo nastanek sedimentacijskega bazena. Analiza je pokazala, da dva segmenta nista v stiku in sta



Slika 17: Ravenski prelom na 3D prikazu digitalnega modela višin iz (desno) in na fotografiji (levo), (Gosar, 2007)

medseboj razmaknjena za okoli 300 m. Ugotovljena segmentacija na površju sega verjetno precej globoko, kar kažejo podatki ob potresu 12. aprila 1998 (Gosar, 2007).

4.4.3 Opazovanje vertikalne komponente recentnih premikov v Julijskih Alpah s PSInSAR metodo

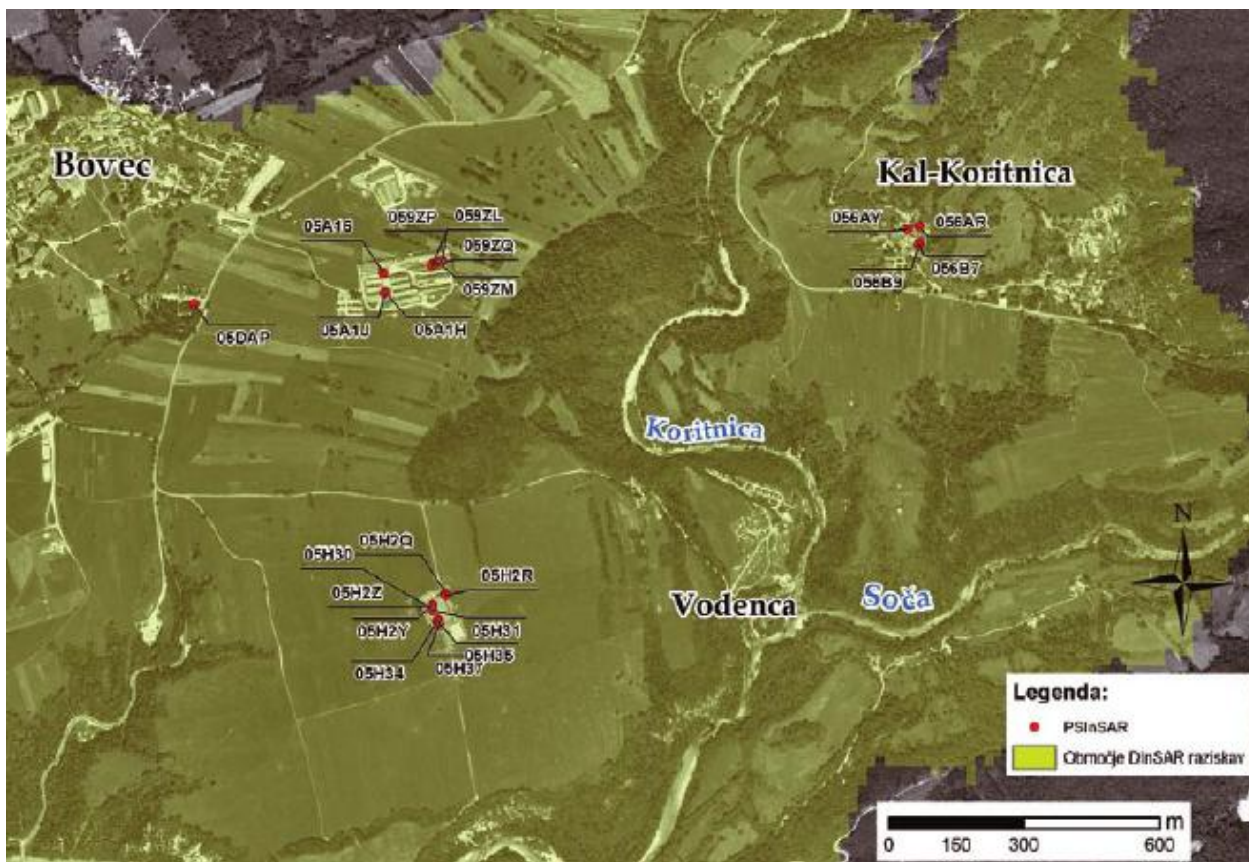
Primarni namen raziskave s to metodo je ugotoviti premike površja s stališča pojavljanja plazenj in obenem preučiti uporabnost podatkov InSAR in metode PSInSAR za ugotavljanje aktivne tektonike povezanih površinskih deformacij. Poudarek je na tektoniki in seizmični aktivnosti območja raziskav.

Območje raziskav sega v severozahodno Slovenijo, pokriva območje Julijskih Alp, najvišje predele Slovenije s polovico Triglavskega narodnega parka ali na širšem območju Južnoalpske narivne meje (*slika 18*). Vsi premiki PS so relativni, saj so merjeni glede na referenčno točko v Tolminu. Ta je ocenjena kot relativno stabilna in sodi med najstabilnejše točke na območju raziskav. (Komac, Bavec, 2007).

Raziskava je z vidika interferometrije permanentnih sipalcev problematična saj zaradi pokritosti z vegetacijo in zaradi globokih dolin nastanejo t.i. sence. Interferometrični podatki so pridobljeni le iz spuščajočih tirnic satelita, se PS nahajajo na ravninah in na osojnih pobočjih. Metoda ima nekaj šibkih točk in možnih sistemskih napak. Ob horizontalnih premikih naj bi na strmih pobočjih dobili navidezne vertikalne premike. V primeru desnega zmika pričakujemo dvigovanje na severnih in spuščanje na južnih pobočjih (Komac, Bavec, 2007).

Relativno dvigovanje južnih Alp glede na njihovo podgorje ni novost. Novost je visoka vrednost predstavljenih meritev, interpretirane pa so skrajno previdno. Za napačno interpretacijo se išče razloge v sistemskih merskih napakah in napakah v algoritmu.

Permanentni sipalci na območju Julijskih Alp, ki kažejo na posedanje ali pogrezanje so posledica počasnih pobočnih masnih premikanj, najverjetneje materiala v pobočnih gruščih (Komac, Bavec, 2007).



Slika 18: Območje vzhodnega dela Bovške kotline, kjer so bile izmerjene relativne vertikalne komponente premikov. Z rdečo barvo so označeni PS. Območje, prikazano na sliki je v večini pokrito s podatki DInSAR analiz (Komac, Bavec, 2007).

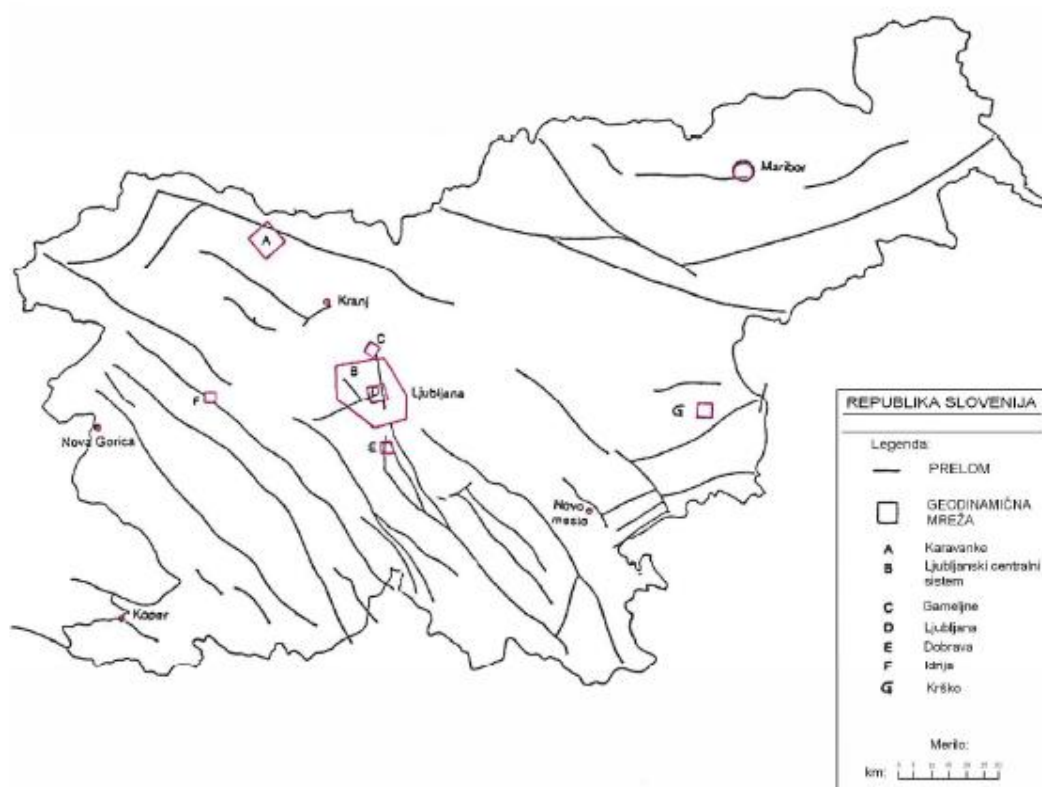
Julijske Alpe se v primerjavi s svojim predgorjem nedvomno dvigajo oziroma je vertikalna komponenta vektorja premikanja obrnjena navzgor. Relativna hitrost dviganja, dobljena z metodo PSInSAR, je ocenjena na 3,35 mm/leto. Konzervativna ocena, ki upošteva vse dvigajoče se PS, je povprečna hitrost dvigovanja ocenjena na slab milimeter na leto. Ocene so bili pridobljene na podlagi statistične obdelave podatkov in brez dejanske terenske ocene PS.

Nadaljevanje raziskav bodo usmerili v analizo horizontalne komponente premikov in geološko oceno kvalitet in pomen posameznih permanentnih sipalcev (Komac, Bavec, 2007).

5 PRIMERI GEODETSKIH MERITEV STABILNOSTI TAL OB TEKTONSKIH PRELOMIH NA OBMOČJU SLOVENIJE

5.1 Lokalno območje

Na ozemlju Slovenije so na najzanimivejših območjih vzdolž tektonskih prelomov razvite geodetske mreže, s pomočjo katerih se na osnovi terestričnih opazovanj oz. meritev ugotavlja sprememba položaja točk v določenih časovnih obdobjih. V zadnjem času se tem klasičnim meritvam pridružujejo in jih dopolnjujejo meritve GPS (Kogoj, 2000).



Slika 19: Najznačilnejši tektonski prelomi ter položaj geodetskih mrež (Kogoj, 2000)

Tako je bilo na celotnem našem ozemlju od leta 1977 do danes stabiliziranih 5 mikromrež (slika 19), ki so namenjene ugotavljanju položajnih premikov ob tektonskih prelomih, in sicer Karavanke, Ljubljanski centralni sistem, Idrija, Ljubljanske mikromreže in Krško.

Dosedanje meritve

Na področjih, najzanimivejših za opazovanje tektonskih premikov, so bile razvite posebne geodetske mreže. Geodetske točke, postavljene po točno določenih pravilih, katerih položaj je pogojen z lego preloma in obliko reliefa, določa geodetsko mrežo. V mreži se na osnovi merjenja kotov, dolžin, višinskih razlik ali koordinatnih razlik določa medsebojni položaj točk v nekem časovnem trenutku. Na osnovi primerjave položaja v različnih časovnih trenutkih je mogoče ugotoviti spremembo položaja točke (Kogoj, 2000).

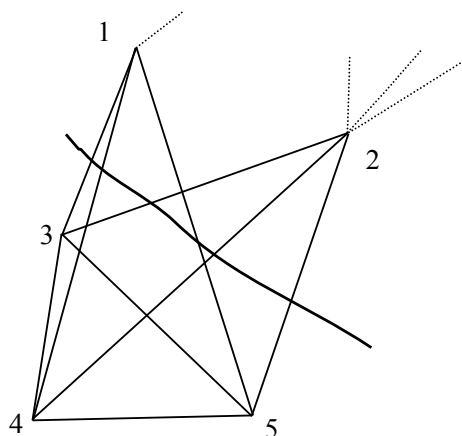
Mreže so bile stabilizirane v različnih letih, tudi število meritev ter časovni interval med meritvami je različen. Mreže so v osnovi triangulacijsko trilateracijske. V vseh se merijo koti in dolžine z največjo možno natančnostjo. V zadnjem času so se klasičnim terestričnim meritvam pridružile tudi GPS. Praviloma so za meritve uporabljeni najnatančnejši geodetski instrumenti, ki so bili v določenem časovnem obdobju dostopni v Sloveniji (Kogoj, 2000).

5.1.1 Mreža Karavanke

Mreža je razvita ob geološkem prelomu, ki deli Dinaride od Vzhodnih Alp. Peradriatični šiv se razprostira od Švice preko Italije do naših krajev. Celotna dolžina preloma presega 600 km, na našem ozemlju pa poteka na območju Karavank. Peradriatični šiv spremljajo vzporedni prelomi (med najvažnejšimi je savski prelom). Po podatkih geologov so prelomi še vedno aktivni (Kogoj, 2000).

Oblika mreže

Mreža zavzema slovenski in avstrijski del. Celotno mrežo sestavlja 10 točk, od katerih so 4 v Sloveniji, ena je na meji, 5 pa jih je v Avstriji (*slika 20*). Že od leta 1977 dalje so meritve potekale usklajeno na obeh delih mreže in so ju povezovale v enotno celoto. Vendar mreža kot celota ni bila obdelana nikoli; obdelava podatkov se je izvajala v glavnem ločeno na slovenski (GZ SRS) in avstrijski strani (TU Dunaj). Obdelavo za slovenski del je opravil GZ SRS (Kogoj, 2000).



Slika 20: Mreža Karavanke (Kogoj, 2000)

Meritve in obdelava podatkov meritev

Prva meritev avstrijskega dela je bila že leta 1975. Mreža je bila prvič v celoti merjena leta 1977, nato pa leta 1980 in 1984. V mreži je bilo merjenih 18 smeri ter 8 dolžin. Zadnja meritev je bila opravljena leta 1995. Opazovanja v letu 1995 imajo prelomni značaj, v celotni mreži je bil namreč izvršen prehod na meritve po metodah GPS, ki so za velike mreže natančnejše in so predvidene tudi v prihodnosti. Poleg GPS izmere mreže so bile ob prehodu na novo metodo izmere v naši mreži opravljene tudi klasične terestrične meritve. Kotne meritve so bile nadomeščene z dolžinskimi, v mreži je bilo izmerjenih 10 dolžin, neodvisno po dvakrat (Kogoj, 2000).

Za določitev najverjetnejših vrednosti premikov je bila uporabljena tako imenovana diferenčna izravnava. Vhodni podatki za izravnavo so razlike med homolognimi opazovanji dveh časovnih obdobj, rezultati izravnave pa so koordinatne razlike med tema obdobjema. Tako se eliminirajo skupne sistematične napake. Na osnovi statistične analize je ocenjena verjetnost dokazanih premikov posameznih točk v mreži (Kogoj, 2000).

Zaključek o stabilnosti

Rezultati dosedanjih meritev in obdelave podatkov kažejo, da so se v obdobju 1977-1995 zgodile nekatere spremembe. Na osnovi podrobne statistične analize je zelo privlačna hipoteza, da je pomik točke 1 – Belščice proti vzhodu po letu 1980 vendarle resničen.

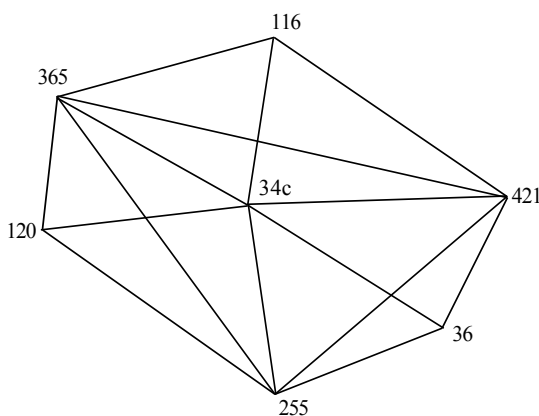
Praktično dokazano pa je zanimivo dosledno orientirano “drsenje” Begunjščice (točka 2) proti jugu. Končni zaključek raziskave je, da je pomikanje Begunjščice za 1 do 2 mm na leto proti jugu zelo verjetno (Kogoj, 2000).

5.1.2 Ljubljanski centralni sistem

Ljubljanski centralni sistem obsega sedem predhodno stabiliziranih geodetskih točk državne geodetske mreže na obrobju Ljubljanske kotline.

Oblika mreže

Ljubljanski centralni sistem je primer geodetske mreže, ki ni bila razvita z namenom ugotavljanja stabilnosti tal. Mreža je okvir triangulacijske mreže mesta Ljubljana, razvite v letih 1955/56. Šest obodnih točk skupaj s centralno točko tvori šesterokotni centralni sistem (slika 21). Dolžine stranic v mreži so od 5 do 10 km (Kogoj, 2000).



Slika 21: Ljubljanski centralni sistem (Kogoj, 2000)

Meritve in obdelava podatkov meritev

Prvotne kotne meritve iz leta 1955 niso bile uporabljene za ugotavljanje stabilnosti področja. Primerjava teh meritev z dolžinskimi meritvami iz leta 1976 (v mreži je bilo merjenih vseh 12 stranic) je pokazala pričakovane deformacije merila državne triangulacijske mreže, samostojni izravnavi obeh meritev pa sum na premike treh točk (421, 255 in 34c). Leta 1985 so bile meritve mreže ponovljene. Merjene so bile dolžine z dodatkom treh diagonal. Z izravnavo so bile dobljene nove definitivne koordinate točk mreže, ki so se primerjale z leta 1976 določenimi koordinatami. Kot metoda za odkrivanje položajnih sprememb se je uporabljala Helmertova transformacija. Izbrane so bile različne kombinacije danih količin, saj na osnovi znanih geotektonskih informacij in zaradi majhne količine merskih podatkov, določenega števila točk ni mogoče grupirati tako, da bi te točke predstavljale relativno nepomemben sistem in bi bile hkrati dovolj oddaljene druga od druge (Kogoj, 2000).

Zaključek o stabilnosti

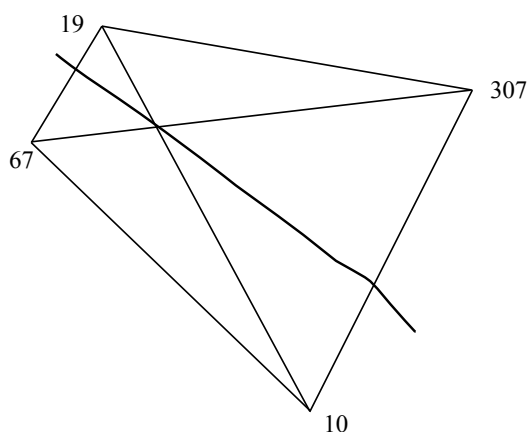
Za obravnavano področje obstaja premalo geotektonskih informacij, prav tako pa je tudi merskih informacij premalo za določitev oz. odločitev o skupini fiksnih (stabilnih) točk in skupini premičnih točk. Ugotovljen pa je nedvoumen premik točke 255 za približno 9 cm (smer SV), kar je rezultat nestabilnosti tal te barjanske točke v obdobju 1976–1985, in verjeten, čeprav še ne potrjen premik točke 421 za nekaj cm (Kogoj, 2000).

5.1.3 Mreža Idrija/Kanomlja

Mreža Kanomlja se razprostira ob enem zanimivejših prelomov v Sloveniji, to je Idrijskem prelomu. Po daljšem iskanju optimalne rešitve je bilo za opazovanje izbrano širše območje Idrije vzdolž doline Kanomlje.

Oblika mreže

Mreža je določena s štirimi točkami in ima obliko klasičnega geodetskega četverokotnika. Te točke so med seboj vidne. Tri točke mreže predstavljajo obnovljene stabilizacije obstoječih točk trigonometrične mreže III. glavnega reda, četrta pa je bila stabilizirana na novo. Dolžine trigonometričnih stranic so približno 7 km, razen ene, ki je krajša (*slika 22*) (Kogoj, 2000).



Slika 22: Mreža Idrija/Kanomlja (Kogoj, 2000)

Meritve in obdelava podatkov meritev

Za ugotavljanje tektonskih premikov je bila opravljena samo ničelna meritev. V letu 1985 so bile v mreži izmerjene vse dolžine. Mreža je bila izravnana. Primerjava s starimi meritvami triangulacije ni bila opravljena. Presoja o stabilnosti točk mreže bo mogoča šele po prvi ponovitvi meritve mreže. Upajo, da bo le-ta kmalu vključena v program raziskav FGG – Oddelka za geodezijo (Kogoj, 2000).

Mreža Idrija/Kanomlja je bila le eden od sedmih geodetskih poligonov za geodinamična opazovanja, osnovanih v letih 1980-1985. Trije od njih, in sicer:

- Vodice – Velika Kepa – Leskovec – Orljek – Vodice na podkumskem prelomu
- Košenjak – Velika Kopa – Basališče ob mislinjskem prelomu
- Ljubljanski grad – Rašica – Rožnik ob domnevnem ljubljanskem prelomu,

so v omenjenem obdobju doživeli tudi prvo ponovitev. Rezultati, doseženi po posebni metodi merjenja dolžin (med 7 in 19 km), so bili sicer vzpodbudni, a žal je kasneje zmanjkalo pobude za nadaljevanje opazovanj. Sedaj že zastareli razdaljemer AGA 710 bi v morebitnih ponovitvah morali nadomestiti – deloma tudi z uvedbo GPS metod (Kogoj, 2000).

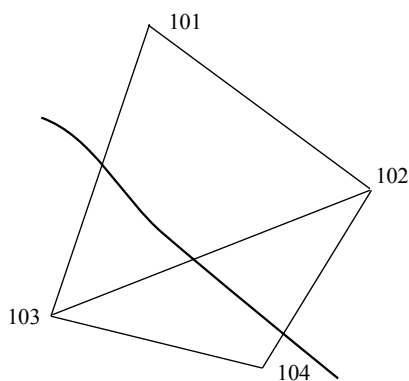
5.1.4 Ljubljanske mikromreže

Analiza potresnih področij v Sloveniji je pokazala, da je najbolj seizmogeno cona prav gorenjsko–ljubljska cona. Na podlagi seizmoloških raziskav je bilo predlagano, da bi se geodetske meritve opravile vzdolž ljubljanskega preloma. Idealno bi bilo merjenje vzdolž celotnega preloma, vendar zaradi številnih objektivnih razlogov to ni bilo izvedljivo. Zato so bile projektirane tri mreže. Predlagano je bilo, naj imajo mreže obliko geodetskega četverkotnika (Kogoj, 2000).

Oblika mreže

5.1.4.1 Mreža Gameljne

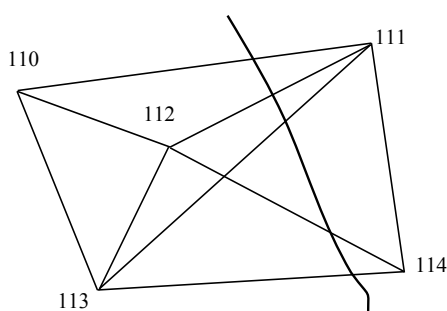
Mreža leži najseverneje, ima obliko četverkotnika z eno diagonalo. Dve točki ležita na različnih straneh preloma (Debeli hrib pod Šmarno goro in Mali vrh na obronkih Rašice), dve pa na ravninskem območju (Blato in Skaručna, ki pa med seboj nista vidni) (*slika 23*).



Slika 23: Mreža Gameljne (Kogoj, 2000)

5.1.4.2 Mreža Dobravica

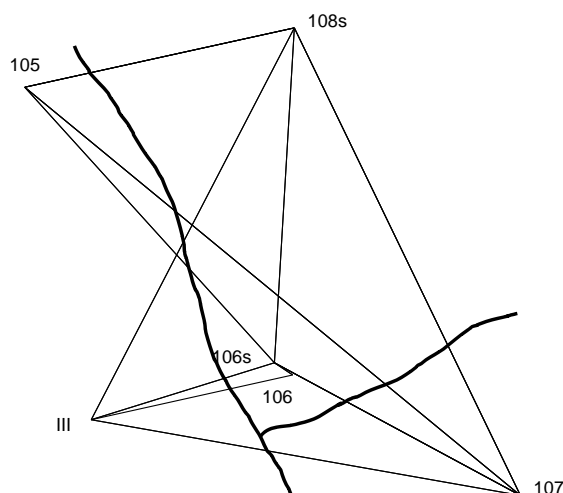
Mreža Dobravica predstavlja južno mrežo, ki je postavljena na obronkih Mokrca. Po nasvetu geologa se opazuje Mišjedolski prelom in vzporedni prelom na planoti zahodno od vasi Dobravica. Mreža ima obliko četrkotnika s centralno točko Dobravica. Dve točki mreže sta pri Sv. Rupertu (111) in na Dolgih njivah (114) pri vasi Sarsko, dve (110, 113) pa sta ob cesti Ig-Golo (*slika 24*). Pomembno za mrežo je diagonala, ki poteka med točkama 111 in 113 (Kogoj, 2000).



Slika 24: Mreža Dobravica (Kogoj, 2000)

5.1.4.3 Mreža Ljubljana

V Ljubljani (centralna mreža) je bil položaj za postavitev mreže zelo neugoden. Mrežo tvori 5 točk, kar omogoča povezavo Golovca (107) s Šišenskim hribom (105) prek Gradu (106) do točk na visokih zgradbah v mestu - Petrol (108) in FGG (III) (*slika 25*). Mreža ima glede na pogoje optimalno obliko. V Ljubljanski mreži se vse točke med seboj dogledajo.



Slika 25: Mreža Ljubljana (Kogoj, 2000)

Dosedanje raziskave

Naloga je bila začeta leta 1978. Prve meritve so bile opravljene leta 1979. Domnevali so, da je štiriletni časovni interval dovolj dolgo obdobje, v katerem je velikost tektonskih premikov na mrežah že zaznavna. Po prvi ponovitvi meritev leta 1983 pa je bilo ugotovljeno, da je potrebno geodetska merjenja razširiti in povečati natančnost. Leta 1987 in 1988 je bila opravljena tretja serija merenj, v letih 1991 in 1992 pa četrta serija. Zadnji meritvi sta bili opravljene v letih 1995 in 1996. Predvidena je ponovna izmera (Kogoj, 2000).

Meritve in obdelava podatkov meritev

V vseh treh mrežah so merjene vse dolžine, zenitne razdalje ter opazovane smeri. Mreže so dodatno orientirane na oddaljene geodetske točke. Definitivne vrednosti koordinat so določene z izravnavo vsake mreže posebej. Uporabljena je bila izravnava z minimalnim številom danih količin, ki definirajo koordinatni sistem. Primerjava rezultatov posameznih serij meritev je bila izvedena z dodatnimi izračuni (prosta mreža, transformacija) (Kogoj, 2000).

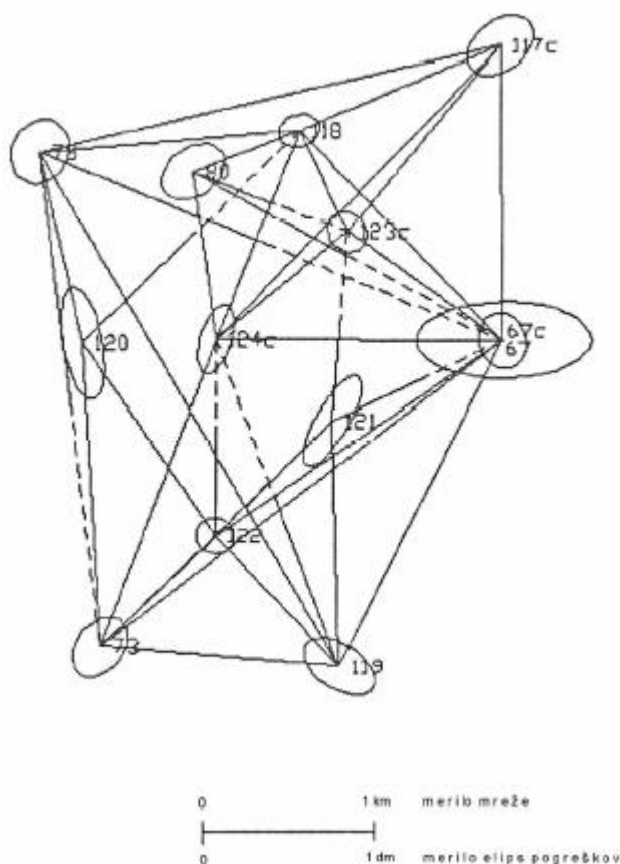
Zaključek o stabilnosti

Iz končnih rezultatov ni mogoče podati jasnih ugotovitev. Velikost vektorjev premikov bistveno ne presega srednje elipse pogreškov določitve položaja posameznih točk mreže, zato s statističnega vidika ne moremo govoriti o dejanskih premikih. Dogajanje v mreži pa kaže določene tendence. Zato bodo potrebne nove meritve (Kogoj, 2000).

5.1.5 Mreža Krško

Ugotavljanje recentnih premikov na osnovi geodetskih meritev na področju Krškega se je začelo v letih 1994/95. Mreža je bila definirana na osnovi državne trigonometrične mreže. Tako je bila mogoča primerjava meritev v državni mreži iz leta 1954 z novimi meritvami. Predpostavljeno je bilo, da bo daljša časovna baza nadomestila manjšo natančnost prvotnih meritev.

Obravnavana trigonometrična mreža Krško54 se razprostira na levem in desnem bregu reke Save na območju mesta Krško. Mreža točk (*slika 26*), stabiliziranih večinoma leta 1954, je bila razvita za namen zgostitve mreže II. in III. reda iz leta 1949. Oblika mreže Krško54 je dokaj pravilna, tudi opazovanja so dobro razporejena. V mreži je bilo opravljenih 67 kotnih opazovanj. Najkrajša dolžina trigonometrične stranice v mreži povezuje točki 118 in 123c in znaša 638 m, najdaljša pa točki 78 in 119 ter znaša 3412 m. Po Pravilniku o tehničnih normativih (Republiška geodetska uprava, 1981) se mreža Krško54 uvršča v trigonometrično mrežo 4. reda. Mreža Krško54 je bila ponovno izravnana, ker so v času brez računalnikov izravnavali postopoma po nekaj točk. Nova izravnava je bila izvedena po posredni metodi kot prosta mreža (Kogoj, 2000).

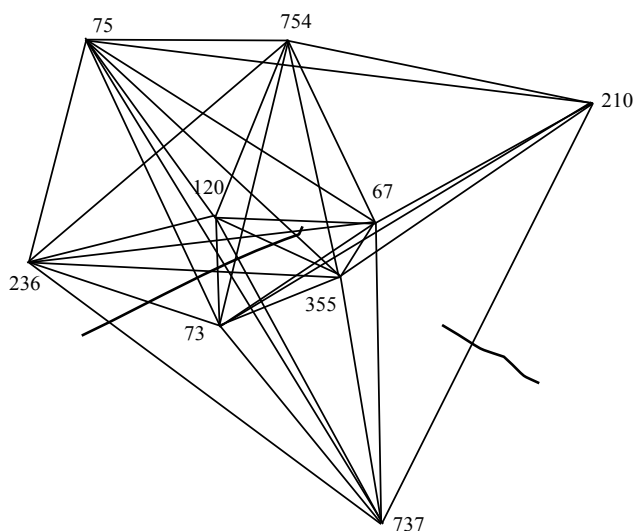


Slika 26: Geometrija mreže Krško z elipsami pogreškov (Kogoj, 2000)

5.1.5.1 Geodinamična mreža Krško

Na širšem območju jedrske elektrarne Krško je bila na osnovi obstoječe državne geodetske mreže definirana geodetska mreža za opazovanje tektonskih premikov. Izbrana je bila GPS metoda izmere. Tako definirano mrežo Krško (slika 27) imenujmo geodinamična mreža. Mrežo, ki je bila razvita leta 1993 (prva izmera), je prvotno definiralo 9 točk (od teh le tri iz mreže Krško54). Leta 1997 ob drugi meritvi je bila mreža dopolnjena s tremi točkami, stabiliziranimi na področju, kjer je bilo s prvo izmero ugotovljeno največje odstopanje novo določenih koordinat mreže od uradno veljavnih koordinat. Mrežo sedaj tvori 12 točk državne geodetske mreže, ki imajo dane koordinate v državnem koordinatnem sistemu. Dodatne točke so bile izbrane tako, da dopolnjujejo geometrijo mreže. Stabilizirane so na območjih, kjer je zagotovljena lokalna geološka stabilnost (Kogoj, 2000).

Metoda izmere je bila relativna statična metoda. Dobljene koordinate so bile v koordinatnem sistemu WGS84, ki pa so bile vključno z informacijami o natančnosti transformirane v državni koordinatni sistem. Te dobljene koordinate so se primerjale z uradno veljavnimi koordinatami identičnih točk državne mreže. Primerjava je bila izvedena s pomočjo Helmertove transformacije. Rezultati GPS meritev geodinamične mreže Krško in njihova primerjava z meritvami iz leta 1954 in 1967 statistično kažejo na obstoj horizontalnih recentnih premikov na območju Krškega. Rezultati primerjav in ponovnega izračuna so določili mikrolokacijo možnega območja največje nestabilnosti in sicer v dveh conah: SZ delu in JV delu glede na orliški prelom. Študija je pokazala, da se plošči, ki se stikata ob prelomu, po vsej verjetnosti razmikata. Dvom v gotovost te trditve vnaša verjetno premajhno število točk, na osnovi katerih so bili premiki računani. Rezultati GPS meritev in njihova primerjava z meritvami iz leta 1954 so pokazali, da je potrebno dogajanje ob orliškem prelomu natančneje raziskati. *Mikromreža Libna*, ki je stabilizirana na tem področju, je namenjena opazovanju stabilnosti kontrolnih točk ob orliškem prelomu (Kogoj, 2000).



Slika 27: Geodinamična mreža Krško (Kogoj, 2000)

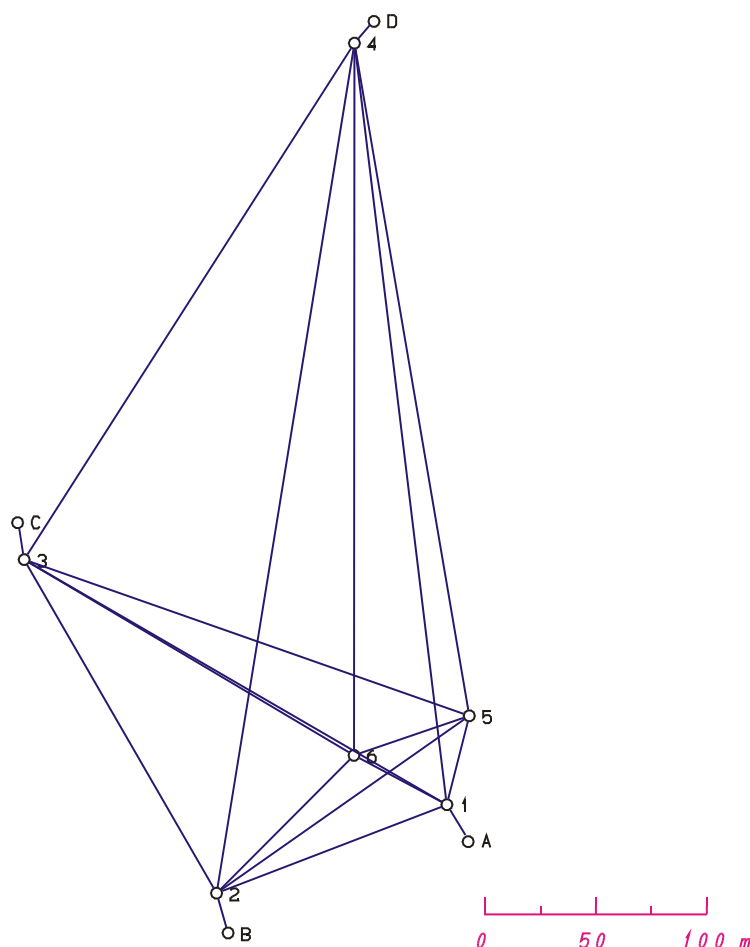
5.1.5.2 Mikromreža Libna

Izhodišče za izbiro lokacije za spremljanje premikov na ožjem lokalnem področju območja Krškega je predhodna geološka študija. Študija kaže, da je najprimernejše vznožje hriba Libne

na SV robu mesta. Zelo verjetna je domneva, da je teren na tem območju iz rečne trase srednjepleistocenske starosti, ki je naknadno porušena zaradi tektonskih premikov. To mikro trigonometrična mreža, ki je stabilizirana na tem območju, je namenjena ugotavljanju stabilnosti kontrolnih točk ob orliškem prelomu (Kogoj, 2000).

Oblika mreže

Obliko mreže, ki jo pogojuje relief ter položaj kontrolnih talnih točk preloma, določa šest točk: 1, 2, 3, 4, 5, in 6 – “vezne” točke. Mreža ima obliko nepravilnega petkotnika (slika 28) (pet obodnih točk 1-5), točka 6 pa je vezna točka, ki poveča zanesljivost mreže. Vse točke se med sabo dogledajo (izjema je povezava 5-6) in predstavljajo geometrično osnovo za določitev položajev talnih točk A, B, C in D. Talne točke so v bistvu ekscentri točk 1, 2, 3 in 4, določenih na osnovi geološke situacije.



Slika 28: Mikromreža Libna pri Krškem (Kogoj, 2000)

Velikost mreže je opisana s površino mnogokotnika obodnih točk, ki znaša približno 4,27 ha. Mreža v Krškem je kombinirana, se pravi terestrična triangulacijsko trilateracijska mreža. Na posamezni točki se opazuje dolžine in smeri proti ostalim točkam mreže. Najdaljša dolžina v mreži je med točkama 2 in 4 in sicer 385 m, najkrajša pa dolžina med točkama 5 in 6, ki znaša 40 m. Oddaljenosti ekscentrov so od 5 do 19 m. Maksimalna višinska razlika je 17 m. Med vsemi točkami mreže je tvorjeno največje možno število povezav, s čimer je zagotovljena zahtevana natančnost določitve najverjetnejših vrednosti koordinat novih točk (Kogoj, 2000).

Meritve mikromreže Libna

V mikromreži Libna je bila opravljena ničelna meritev, najverjetnejše koordinate točk pa določene na osnovi dveh enakovrednih in neodvisnih terenskih meritev in ustreznega izračuna. Posamezna merska serija je obsegala popolno izmero in izračun mikromreže.

Obdelava terestričnih meritev in izravnava

Vhodni podatek kotnih meritev za izravnavo so reducirane sredine girusov opazovanih smeri na posameznih stojiščih. Natančnost merjenja horizontalnih kotov je bila ocenjena z metodo a posteriori ocene uteži za vsako serijo meritev ločeno. Zenitne razdalje so bile uporabljene za redukcijo dolžin na izbrano nivojsko ploskev. Kontrolirane so bile na osnovi izračunane višinske razlike, določene v obeh smereh z metodo trigonometričnega višinomerstva. Koordinate točk so bile določene na nivoju najnižje točke mreže. Dolžine je bilo torej potrebno reducirati na nivo točke 3 (Kogoj, 2000).

Meteorološke parametre so merili s preciznim elektronskim barometrom ter klasičnim psihrometrom. Na osnovi psihrometrijskih meritev na obeh končnih točkah dolžine je bila določena srednja temperatura v času meritve dolžine ter velikost delnega tlaka vodne pare. Srednji zračni tlak je bil določen na osnovi meritev na stojišču instrumenta ter izračunane višinske razlike (Kogoj, 2000).

Merske serije so obravnavane ločeno. Mreža je bila izravnana kot prosta mreža. Predpostavljeno je bilo, da so tako kotne kot tudi dolžinske meritve v posamezni seriji

opravljene z enako natančnostjo. Dolžine so kratke, zato predpostavimo, da na natančnost meritev vpliva predvsem začetni pogrešek, ki je neodvisen od velikosti merjene dolžine. Natančnost grup kotnih in dolžinskih meritev je bila določena s predhodno izravnavo obeh serij meritev z a posteriori metodo ocene uteži po Ebnerju. Tako določene uteži posameznih skupin opazovanj so bile vhodni podatek skupne izravnave obeh serij meritev.

Za določitev ničelnih koordinat značilnih točk ob prelomu so bile meritve serij združene. Mreža je bila izravnana kot prosta mreža z upoštevanjem vseh meritev serije. Zaradi načina stabilizacije ter načina centriranja in glede na lokalno stabilnost točk so bile točke mreže razvrščene v dve skupini:

- Vezne točke mreže 1, 2, 3, 4, 5 in 6:

Centriranje na točke je optično, stabilnost je slaba. Točke v obeh serijah meritev so kot identične točke. Vsaka točka ima določena dva para koordinat.

- Talne točke mreže A, B, C, in D:

Predpostavimo, da točke med obema serijama meritev niso spremenile položajev. Lokalna stabilnost je zagotovljena z načinom stabilizacije, za značilen tektonski premik je časovni interval prekratek. Stabilnost točk potrjuje tudi ločena predhodna izravnavna in transformacija druge meritve na prvo (Kogoj, 2000).

Ocena rezultatov

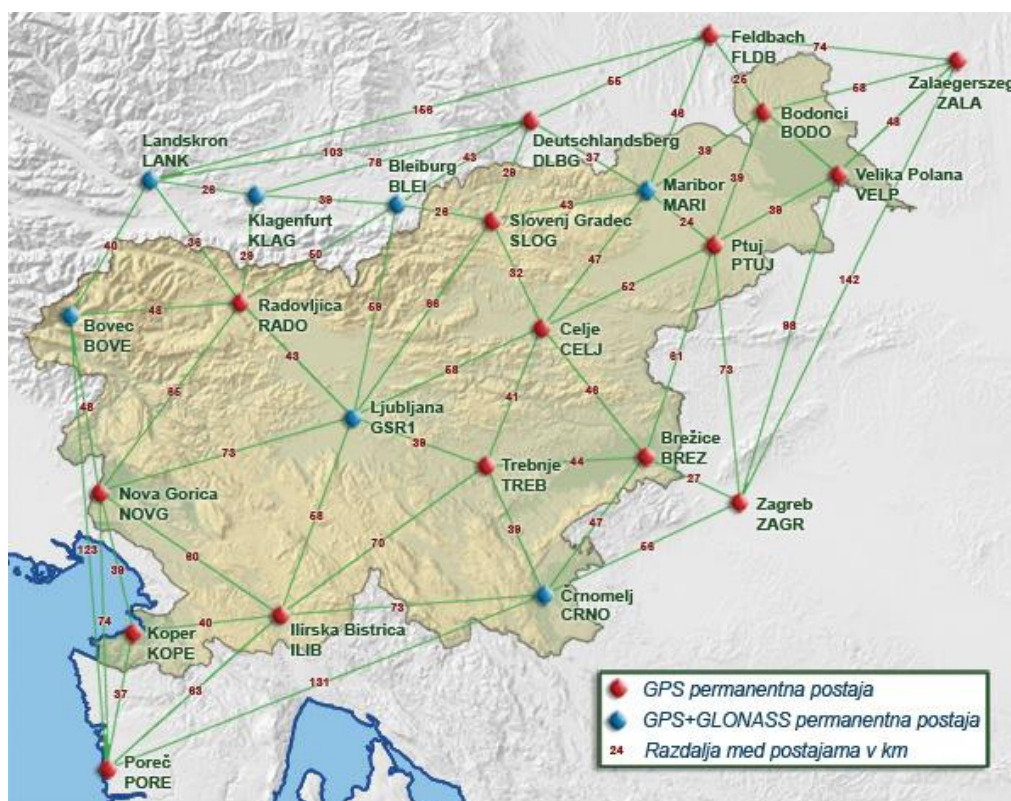
Način stabilizacije točk mreže ter postopek meritev, obdelave podatkov in izravnave so izbrani tako, da so končni rezultati optimalni. Položaj karakterističnih točk ob prelomu je določen z zelo veliko natančnostjo. Polosi standardnih elips so minimalne. Kljub zaradi konfiguracije terena nekoliko slabše oblike mreže so končni rezultati dobri. Kombinacija natančnih dolžinskih in kotnih merjenj to pomanjkljivost mreže odpravlja. Ponovna izmera mreže Libne je predvidena. Obstaja možnost, da zaradi izredno visoke natančnosti meritev že prva ponovitev meritev pokaže morebitne spremembe položajev talnih točk mreže in na osnovi teh izračunane vektorje premikov. Lahko se oceni tudi natančnost določitve vektorja premika – standardni odklon premika (Kogoj, 2000).

5.2 Državno območje

5.2.1 Omrežje SIGNAL

Slovenijo pokriva omrežje stalno delujočih GPS-postaj, omrežje SIGNAL (Slovenija-Geodezija-NAvigacija-Lokacija). Omrežje tvori 15 stalnih GPS-postaj (slika 29) (Bodonci, Bovec, Brežice, Celje, Črnomelj, Ilirska Bistrica, Koper, Ljubljana, Maribor, Nova Gorica, Ptuj, Radovljica, Slovenj Gradec, Trebnje in Velika Polana), razporejenih po vsej državi.

Ljubljanska postaja je vključena tudi v evropsko mrežo stalnih postaj EPN (angl. European Permanent Network). SIGNAL je osnova državne geoinformacijske infrastrukture in predstavlja ogrodje novega slovenskega državnega koordinatnega sistema.



Slika 29: Omrežje SIGNAL (<http://www.gu-signal.si>)

Za uporabnike je pomembno zaradi določitve relativnega oz. diferencialnega položaja lastnega sprejemnika glede na izbrano GPS postajo v omrežju. Tako določen položaj je

neprimerljivo natančnejši kot absolutni položaj, določen brez navezave na omrežje. Za navezavo GPS-meritev na fizično realizacijo koordinatnega sistema potrebujemo dva GPS-sprejemnika. Omrežje torej omogoča racionalnejšo izmero, saj uporabniku nadomešča referenčni sprejemnik; za izmero potrebuje le še premičnega, vlogo referenčnega sprejemnika pa prevzema sistem omrežja SIGNAL (Omrežje SIGNAL).

Omrežje SIGNAL ponuja tudi storitev opazovanja VRS (angl. Virtual Reference System). VRS postaja je računalniško simuliran izvor korekcij, ki nadomešča fizično GPS postajo, in sicer v bližini lokacije uporabnika. V tako generiranih podatkih so upoštevana opazovanja celotnega omrežja in ne le stalne GPS postaje, ki je najbližja lokaciji uporabnika. Ta način omogoča izvedbo zelo natančnih meritev v realnem času tudi na območjih, ki so od posamezne GPS postaje oddaljena za več kot 20 km. Proizvajalec programske rešitve VRS zagotavlja centimetrsko natančnost v primeru, da so stranice trikotnikov med permanentnimi postajami krajše od 70 km (Omrežje SIGNAL).

RINEX storitve omogočajo določitev kakovostnega položaja v okviru kinematične, statične ali hitre statične metode izmere, ki se uporabljajo za določitev položaja najvišje natančnosti. Vse tri metode izmere temeljijo na relativni določitvi položaja glede na dano točko, ki jo v primeru uporabe podatkov omrežja SIGNAL predstavljajo stalne GPS postaje oz. VRS postaja.

RTK/DGPS storitve omogočajo določitev kakovostnega položaja v realnem času v okviru RTK oz. DGPS metode izmere in predstavljata najpogosteje uporabljeni metodi izmere z GPS tehnologijo. Obe tehnologiji temeljita na relativni določitvi položaja glede na dano točko, ki jo v primeru uporabe podatkov omrežja SIGNAL predstavljajo stalne GPS postaje oz. VRS postaja. RTK metoda izmere je relativna metoda izmere na podlagi faznih opazovanj, kar omogoča določitev položaja zelo visoke kakovosti, z natančnostjo horizontalnega položaja do nekaj centimetrov. DGPS metoda izmere je relativna metoda izmere na podlagi kodnih opazovanj, kar omogoča določitev horizontalnega položaja z natančnostjo (RMS) od nekaj decimetrov do enega metra. Razpon natančnosti določitve položaja je pri DGPS metodi izmere zelo velik, saj je dosežena natančnost odvisna od kakovosti uporabljenega sprejemnika, antene, uporabljenih algoritmov za izračun položaja, ipd (Omrežje SIGNAL).

5.3 Regionalno območje

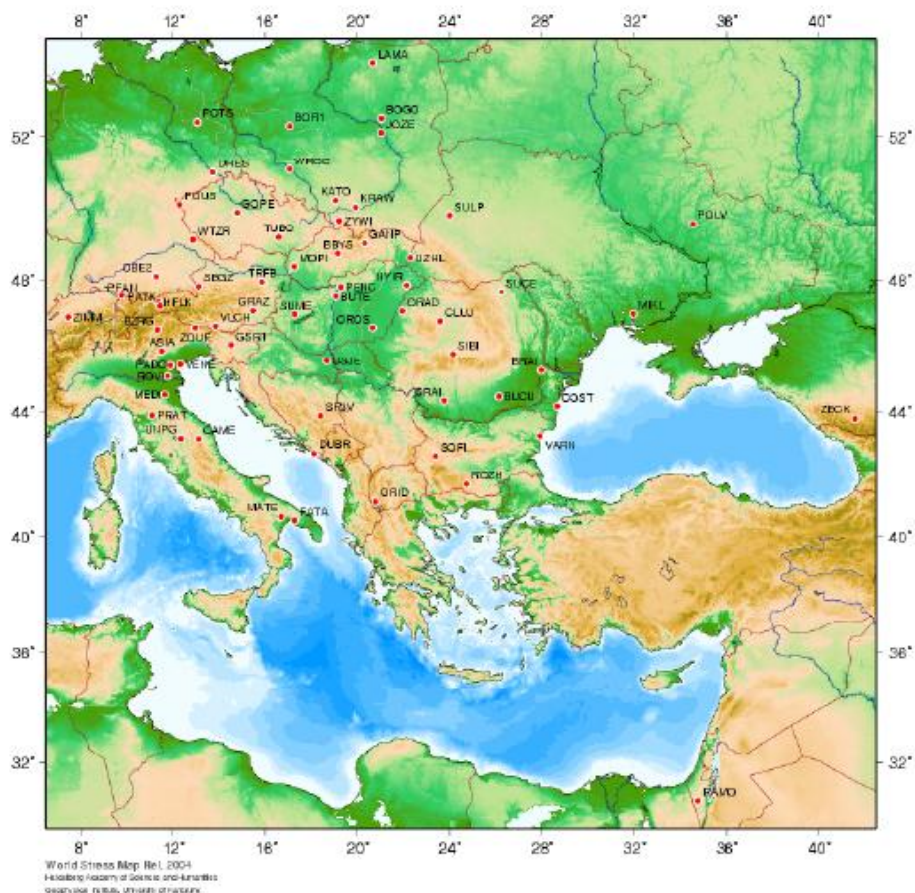
5.3.1 Regionalni geodinamični projekt centralne Evrope

Sodobne merske metode v geodeziji omogočajo mnogo bolj množične in predvsem bolj natančne meritve na velikih področjih. Nekdaj je bila na razpolago le triangulacija, v sedemdesetih letih prejšnjega stoletja pa so se uveljavile nove merske metode, terestrično merjenje velikih razdalj kot satelitske metode z uporabo laserjev in interferometrije. Nove možnosti natančnosti določevanja koordinat je odprla uporaba GPS. Ta je natančnejša od že uporabljenih razdaljemerov (ME 300, ME 500, AGA 700), enostavnejša za uporabo, predvsem pa omogoča, da se vključimo v globalni sistem, česar lokalno ne moremo realizirati. V razmeroma kratkem času so GPS-meritve zasenčile vse druge metode. Tako so razvili GPS-mreže. Prve mreže so služile za kontrolo obstoječih mrež geodetskih točk, kar je bil prvi korak k rešitvi. Iz teh prizadevanj se je oblikoval geodinamični projekt centralne evrope, ki so ga zasnovali J. Fejes, J. Sledzinski, H. Seeger, E- Reinhart. Projekt je zaživel leta 1994.

Projekt CERGOP

Projekt CERGOP je zajel večino evropskih držav: Avstrijo, Italijo, Nemčijo, Hrvaško, Češko, Madžarsko, Poljsko, Romunijo, Slovaško, Slovenijo in Ukrajino. Obseg projekta je prikazan na *sliki 30*.

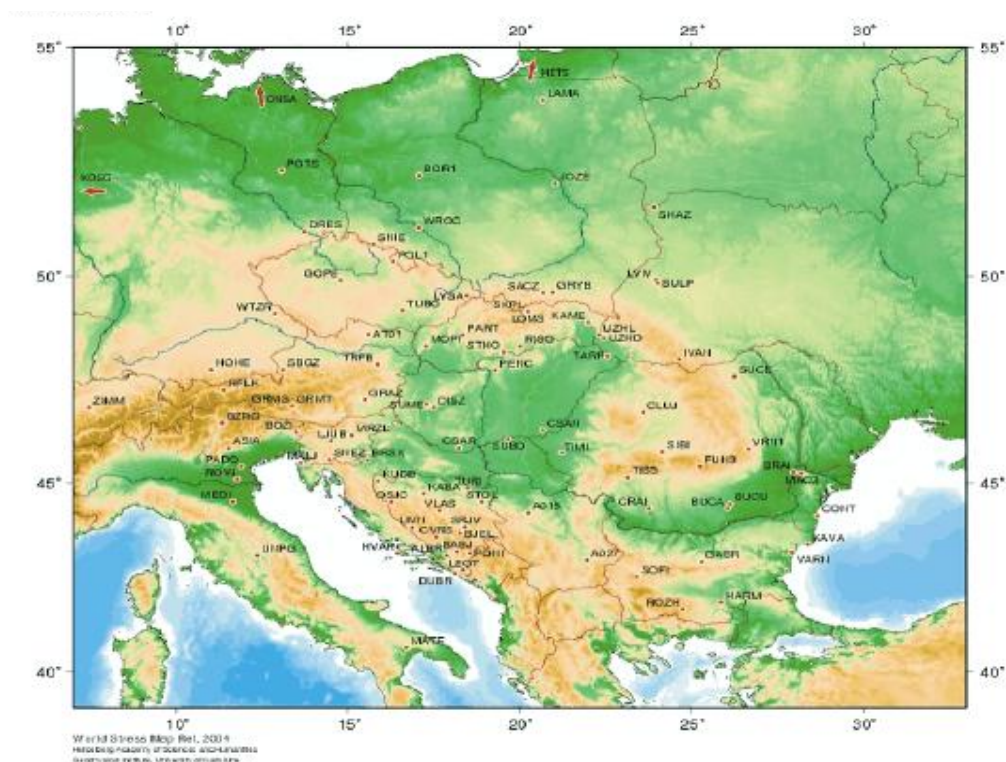
Slovenija je v projektu sprva sodelovala z eno točko. V obdobju treh let izvajanja so bile izvedene tri meritve, ki so dajale zanimive rezultate. Na podlagi teh je Slovenija dobila večje število točk.



Slika 30: Razpored GPS-točk v projektu CERGOP (Vodopivec in drugi)

Projekt CERGOP-2

V obdobju 2003 do 2005 je bil sprejet program novega projekta CERGOP-2. Pridružili sta se novi državi, BiH in Bolgarija. Vključene pa so bile tudi nove GPS-točke (slika 31). Projekt ni vseboval zgolj meritev in obdelave podatkov, temveč tudi podprojekte, ti pa so obravnavali probleme meritev in njihovo uporabo. Nosilka enega podprojekta je bila Slovenija. Gre za projekt »Geodinamika vzhodnega dela Alp in severnega Mediterana« z oznako W.P.10.1. Pri tem projektu so sodelovale tudi Italija, Avstrija, BiH in Hrvaška. Meritve so se izvajale na dodatnih GPS-točkah in so še v obdelavi. Delež k realizaciji projekta so prispevali tudi geologi, ki želijo nadaljevati z delom, saj je triletno obdobje prekratko za proučevanje geodinamike. Upajo na nov projekt, CERGOP-3 (Vodopivec in drugi).



Slika 31: GPS-točke v projektu CERGOP-2 (Vodopivec in drugi)

Oblika in normativi CERGOP GPS mreže

Mreža mora zadovoljevati predvsem sledeče zahteve:

- nekaj točk mora biti stabiliziranih na Evro-Azijski plošči, kot izhodišče za določanje tektonskih premikov ostalih plošč,
- točke projekta CERGOP bodo določene z GPS metodo,
- točke naj bodo enakomerno porazdeljene na razdalji cca. 100 km, skupno število točk ne sme presegati 30.

Da bi zagotovili kvalitetne meritve, morajo biti točke izbrane tako, da bodo zagotovljeni naslednji pogoji:

- nobeno elektromagnetno sevanje ne sme biti bližje kot 20 m in ne v prostoru nad 15° vertikalnega kota,
- ne sme biti elektrovodov v okolici točk,

- antene satelitskih sprejemnikov naj bodo postavljene čim bližje tlem,
- točke naj bodo stabilizirane na čvrsti skali, če pa niso, je potrebno zagotoviti kontrolo njihove stabilnosti,
- natančnost centriranja anten mora biti boljša od 0.5 mm,
- zagotoviti je potrebno dolgo obstojnost stabilizacije in dostopnost z avtom.

Izmera je izvršena v okviru mednarodne kampanje. Podatkovni center je observatorij Lustbuehel pri Gradcu (Avstrija).

Meritve v okviru CERGOP-a pri nas

Slovenija je sodelovala v CERGOP-1 z obdobjimi meritvami na točki LJUB. Te meritve so bile ponovljene vsako leto od 1994 do 1997. V CERGOP-2 se je Slovenija vključila s permanentno postajo GSR1 in štirimi geodinamičnimi točkami. Vključena je bila točka LEND (Lendavske gorice, državna točka 1. reda, 1999), TOSK (Toško čelo, državna točka 3. reda, 2001), ki pa sedaj v novejših meritvah niso vključene.

CERGOP-2 pa je vpeljal nove pristope. Uporabil je permanentne GPS-postaje kot osnovo mreže GPS-točk. V Sloveniji je najstarejša permanentna GPS-postaja GSR1 v Ljubljani. Zaloga meritev, ki obsega 30-sekunde meritve, je izjemno dragocena za bodoče študije. Poleg nje so vključene tudi druge permanentne GPS-postaje. Odprta je možnost, da poleg rešitev vključimo tudi permanentno spremljanje vseh teh postaj v okviru srednjeevropske mreže (Vodopivec in drugi).

Nadaljevanje in možnosti CERGOP-a

CERGOP je mednarodni projekt, ki se financira tudi s sredstvi EU in katerega podatki in izsledki so na voljo vsem državam. S tem se strokovnjakom, ki se ukvarjajo z geodinamiko in sorodnimi disciplinami, odpirajo nove možnosti. V preteklem obdobju dveh projektov CERGOP-a, so strokovnjaki izkoristili te možnosti in izdelali več odmevnih študij. Projekt sam v prihodnosti ne bo več temeljil na podatkih obdobjnih postaj, temveč le na permanentnih GPS-postajah .

Interpretacija podatkov

Podatki, pridobljeni v okviru projekta, so pomembni za preučevanje recentne geodinamike danega območja. Ta obsega zahodni del Evroazijske litosferske plošče in več manjših plošč, ki ležijo med Evroazijsko ter Afriško oz. Nubijsko ploščo. Iz podatkov je razvidno, da se celoten prostor premika proti severu s hitrostjo nekaj mm na leto (Vodopivec in drugi).

Slovenija leži na območju Jadranske plošče (Apenini, Dinaridi, Alpe). Podatki meritev znotraj CERGOP-a kažejo premik proti severu s hitrostjo nekaj milimetrov na leto, s tem, da so hitrosti premika večje v Apeninih in manjše v Dinaridih in v Alpah (Vodopivec in drugi).

Projekt CERGOP se bo nadaljeval. Rezultati so za Evropo pomembni, zato ga financira in vključuje v raziskovalne programe naslednjih obdobj.

Pri izvedenih delih v Sloveniji gre največ zasluga prof. Vodopivcu, avstrijski pomoči, največ pa je prispevala Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo v Ljubljani.

Ker Slovenija v preteklih letih ni oblikovala lastnega projekta, s katerim bi se vključila v CERGOP, si v prihodnosti želi oblikovati ekipo in program, ki bosta z nacionalno podporo lahko ustrezno predstavljala Slovenijo v CERGOP-u

6 ZAKLJUČEK

Slovenija se nahaja v območju aktivnih kontinentalnih deformacij zaradi kolezije Jadranske mikroplošče z Evrazijsko ploščo. Zaradi zapletene zgradbe ozemlja začnemo mehanizme in kinematiko deformacij razumevati šele v zadnjem času. V seizmičnem pogledu Slovenijo uvrščamo med dejavnejša območja na južnem delu Evrazijske plošče. V preteklosti pa tudi danes nastajajo močni potresi.

Diplomska naloga opisuje problem območja opazovanja tektonskih premikov in sodelovanje z geologi. Z obravnavanjem Zemlje kot celega telesa je dokazana teorija o tektoniki plošč. Naloga obravnava tudi geodetske merske metode meritev, in sicer metode horizontalnih in vertikalnih premikov, opisuje uporabljen instrumentarij in pribor, način izračuna in obdelave podatkov. Obravnava tudi druge metode tehnologij in raziskave v Sloveniji. Mednje sodi merjenje premikov s 3D ekstenziometri v Postojnski jami, primer letalskega laserskega skeniranja Idrijskega in Ravenskega preloma ter satelitska radarska metoda interferometrije v Julijski Alpah s PSInSAR metodo. Na območju Slovenije, na lokalnem območju, so meritve stabilnosti tal ob tektonskih prelomih. Gre za 5 stabiliziranih mikromrež, in sicer Karavanke, Ljubljanski centralni sistem, Idrija, Ljubljanske mikromreže in Krško. Državno območje pokriva omrežje stalno delujočih GPS-postaj, omrežje SIGNAL. Omrežje omogoča meritve in pridobitev rezultatov v realnem času s centimetrsko natančnostjo povsod na ozemlju Slovenije. Regionalno območje pa pokriva geodinamični projekt centralne Evrope, t.i. projekt CERGOP, ki zajema večino evropskih držav, tudi Slovenijo. Projekt omogoča sodobne merske metode, ki pa omogočajo bolj množične in predvsem bolj natančne meritve na velikih področjih.

Dejavnosti, s katerimi se danes ukvarja geodezija, lahko bistveno pripomorejo k razjasnjevanju in razumevanju dogajanja na področjih, s katerimi se ukvarja tudi geologija. Geodeti na tem področju sodelujemo veliko z geologi. Določanje stabilnosti nekega območja na osnovi geodetskih meritev je največkrat uspešno, je pa velikokrat povezano s številnimi problemi. To so združevanje oz. primerjava meritev zelo različne kvalitete, kar je posledica izredno hitrega tehnološkega razvoja merske tehnike. Med meritvami je zaradi želje po

čimprejšnjem definiranju rezultatov običajno relativno kratek časovni interval. Nenazadnje se za določanje premikov uporablja enostavne geodetske mreže, ki so cenejše in ne zagotavljajo zadostne kontrole meritev. Izkušnje, ki so pridobljene z dosedanjim delom, so dobra popotnica za nadaljnje raziskave na tem področju.

VIRI

Gregorič, V. 1995. Mali leksikon geologije. Ljubljana.

Gosar, A. 2007. Letalsko lasersko skeniranje (LiDAR) idrijskega in ravenskega preloma v zahodni Sloveniji. Ujma št. 21.

<http://www.sos112.si/slo/tdocs/ujma/2007/139.pdf> (2.5.2009)

Inštitut za raziskovanje Krasa. 2005. Merjenje aktivnih tektonskih struktur na krasu. Znanstvenoraziskovalni center SAZU.

<http://kras.zrc-sazu.si/?q=node/114> (17.6.2009)

Jaklič, S. 1996. Geodetske meritve mikromrež za določitev tektonskih premikov vzdolž Ljubljanskega preloma. Diplomaska naloga. Ljubljana, UL, FGG, Oddelek za geodezijo, Geodetska smer.

Ježovnik, v., Jakljič, S. 2003. Spremljanje posedanja Ljubljanskega barja na področju ilovice. Geodetski vestnik 47/2003-3

http://www.geodetski-vestnik.com/47/3/gv47-3_263-271.pdf (29.4.2009)

Kne, B. 2004. Izmera geodinamične mreže Libna. Diplomaska naloga. Ljubljana, UL, FGG, Oddelek za geodezijo, Geodetska smer.

Kogoj, D. 2000. Geodetske meritve stabilnosti tal ob tektonskih prelomih na območju Slovenije. Geodetski vestnik 44, 1&2: 53-71.

<http://www.geodetski-vestnik.com/44/gv44-12.pdf> (11.2.2009)

Kogoj, D. 2000/2005. Geodezija 2. Zapiski s predavanj. Ljubljana, UL, FGG.

Koler, B., Medved, K., Kuhar, M. 2007. Uvajanje sodobnega višinskega sistema v Sloveniji. Geodetski vestnik 51: 777-792.

http://www.geodetski-vestnik.com/51/4/gv51-4_777-792.pdf (8.2.2009)

Komac, M., Bavec, M. 2007. Opazovanje vertikalne komponente recentnih premikov v Julijskih Alpah s PSInSAR metodo. *Revija Geologija* št. 50/1, 97-110.

Omrežje signal. Ministrstvo za okolje in prostor, GURS.

<http://www.gu-signal.si/>

OŠ Celje, Gradiva. *Geologija. Nemirna Zemlja.*

<http://www.o-4os.ce.edus.si/gradiva/geo/nemirna-zemlja/> (28.4.2009)

Pavšič, J. 2000. *Osnove geologije za študente gradbeništva in rudarstva.* Ljubljana, UL, FGG.

Premru, U. 2005. *Tektonika in tektogeneza Slovenje: geološka zgradba in geološki razvoj Slovenije.* Ljubljana, Geološki zavod Slovenije: str. 326-340.

Ribarič, V. 1984. *Potresi.* Ljubljana.

Ramovš, A. 1978. *Geologija. Zapiski.* Ljubljana, UL, Filozofska fakulteta. Oddelek PZE za geologijo. Biotehniška fakulteta. Oddelek VTO za biologijo.

<http://www.student-info.net/index.php/studentopolis/knjiznica/datoteka/22492> (21.6.2009)

Savšek-Safić, S., Ambrožič, T., Stopar, B., Turk, G., 2003. Ugotavljanje premikov točk v geodetski mreži. *Geodetski vestnik* 47, 1&2: 7-17.

http://www.geodetski-vestnik.com/47/12/gv47-1_007-017.pdf (7.1.2009)

Stopar, B., Vodopivec, F. 1990. *Relativne metode merjenja deformacij.* Učbenik. Ljubljana, UL, FAGG.

Šebela, S., Košťák, B., Mulec, J., Stemberk, J. 2008. Merjenje tektonskih premikov v Postojnski jami. *Raziskave s področja geodezije in geofizike 2007.* Str. 1-26.

http://www.fgg.uni-lj.si/sugg/referati/2008/SZGG2008_Sebela_et_al.pdf (2.2.2009)

Šepetavec, K. 2008. Izmera terestričnih geodetskih mrež na območju Krškega polja. Diplomaska naloga. Ljubljana, UL, FGG, Oddelek za geodezijo, Geodetska smer.

Tasič, I., Vidrih, R. 2007. Zapisi oddaljenih potresov in notranja zgradba Zemlje. Ujma št. 21.
<http://www.sos112.si/slo/tdocs/ujma/2007/155.pdf> (4.5.2009)

Uprava Republike Slovenije za zaščito in reševanje.
<http://www.sos112.si/slo/page.php?src=og11.htm> (25.5.2009)

Vaniček, P., Krakiwsky, E. 2005. Geodezija: Koncepti. Učbenik. Beograd.

Vidic, N. J. 2000. Osnove geologije. Nastanek gorovij in celin.
<http://stari.bf.uni-lj.si/cpvo/geologija/gorovja.html#Deformacije> (27.3.2009)

Vodopivec, F., Kogoj, D. 2005. Nov način stabilizacije geodetskih točk za opazovanje premikov. Geodetski vestnik 49, 1: 1-9.
http://www.geodetski-vestnik.com/49/1/gv49-1_009-017.pdf (23.1.2009)

Vodopivec, F., Kogoj, D., Koler, B., Breznikar, A. 1996. Raziskovalni projekt skupine P0 – 5234 – 0792 – 95. Projekt geodetskega določevanja aktivnih tektonskih prelomnic. Ljubljana, UL, FGG, Oddelek za geodezijo, Katedra za geodezijo.

Vodopivec, F., Kogoj, D., Koler, B., Stopar, B., Breznikar, A., Kuhar, M., Savšek Safić, S., Ambrožič, T., Jakljič, S., Pavlovčič, P. 2000. Raziskovalno delo programske skupine L2 – 1306 – 0792 – 00/44 geodezija in projekt stalnega določanja tektonskih premikov vzdolž orliškega preloma. Ljubljana, UL, FGG, Oddelek za geodezijo, Katedra za geodezijo.

Vodopivec, F., Kogoj, D. 1988. Raziskava horizontalnih premikov v mikro mrežah Ljubljane. Raziskovalna naloga. Ljubljana, UL, FAGG, Oddelek za geodezijo, Katedra za geodezijo.

Vodopivec, F., Kogoj, D., Koler, B., Stopar, B., Breznikar, A., Kuhar, M., Savšek Safić, S., Ambrožič, T., Jakljič, S., Pavlovčič, P. 1999. Raziskovalno delo programske skupine L2 – 1306 – 0792 – 509 - 99/44 geodezija in projekt stalnega določanja tektonskih premikov vzdolž orliškega preloma. Ljubljana, UL, FGG, Oddelek za geodezijo, Katedra za geodezijo.

Vodopivec, F., Bilc, A., Poljak, M., Placer, L. 2007. Šest let CERGOP-a, Centralnoevropski regionalni geodinamični projekt.

http://www.fgg.uni-lj.si/sugg/referati/2007/SZGG2007_Bilc_et_al.pdf (14.1.009)

Žalohar, J. 2003. Wallace-Bottova hipoteza. Ljubljana, UL, Oddelek za matematiko in fiziko.

<http://www-f1.ijs.si/~rudi/sola/zalohar.pdf> (7.5.2009)