

Геол. ан. Балк. пол. Ann. Geol. Penins. Balk.	60	1	491-504	Београд, децембар 1996 Belgrade, Decembre 1996
--	----	---	---------	---

УДК 550.37(497.11)

Оригинални научни рад

ИНЖЕЊЕРСКА ГЕОЛОГИЈА, ХИДРОГЕОЛОГИЈА, ГЕОФИЗИКА  
GÉOLOGIE APPLIQUÉE, HYDROGÉOLOGIE, GÉOPHYSIQUE

**ТЕЛУРСКО КАРТИРАЊЕ ОБЛАСТИ  
ТРСТЕНИК–ВРЊЦИ (СРБИЈА)**

од

Ненада Смиљанића\*

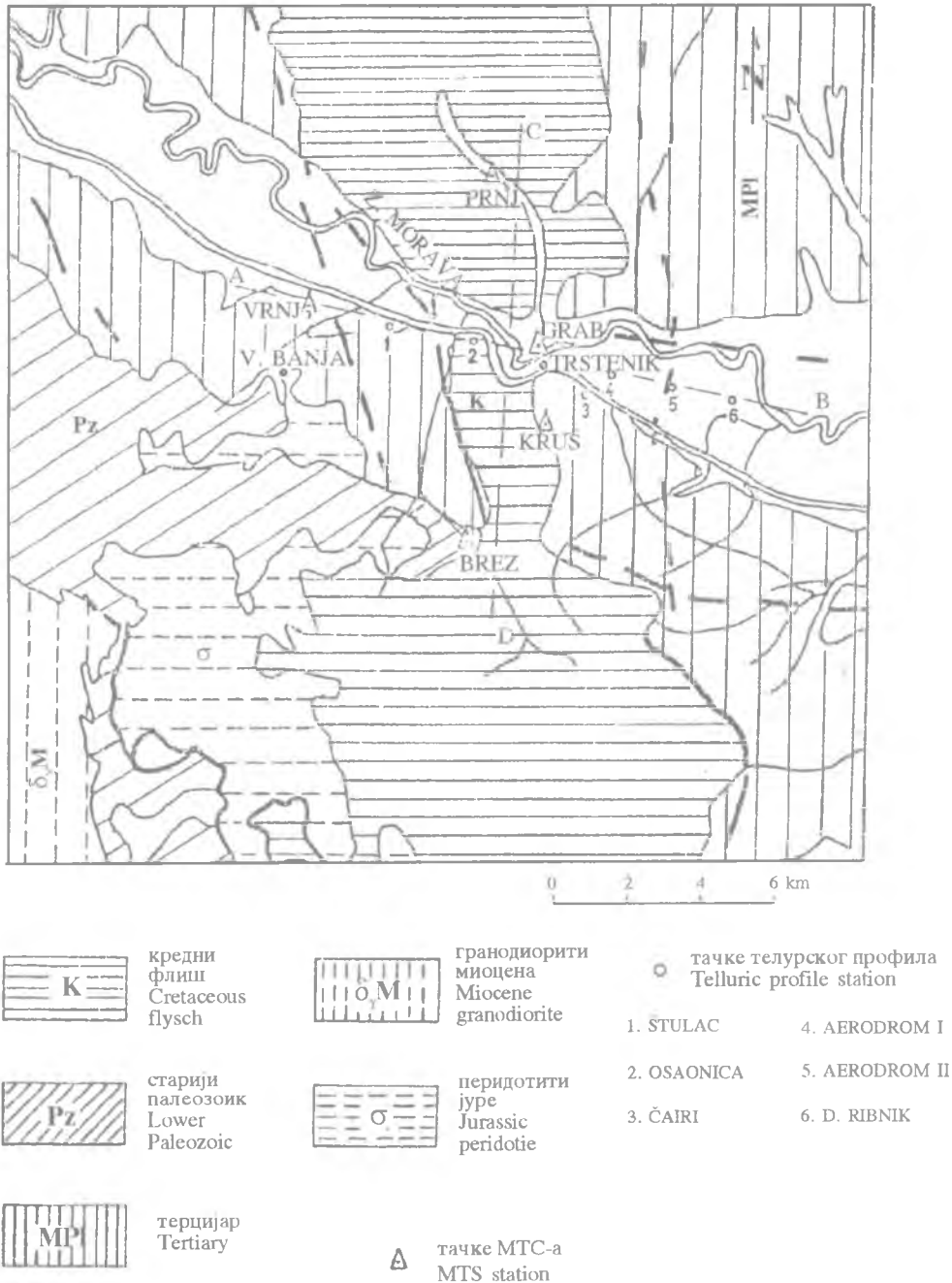
У области шире околине Трстеника, од Врњаца до Доњег Рибника и од Брезовице до Прњавора у долини Љубостињске реке, мереио је природно електрично поље Земље, телурско поље. Одређени су односи овог поља на свим станицама и из њих прерачунати телурски параметри. Телурски параметри су послужили за одређивање расподеле поља у области и картирање геоелектричне структуре. Геоелектрична структура овако добијена је повезана са геолошким структурама познатим на основу геолошког картирања и резултата бушења у Трстенику. Уочава се очекиван утицај разлике отпорности неогених седимената и доњокредних седимената, а такође је праћена промена отпорности подлоге која је према нашим сазињама метаморфна серија. Ова серија, према телурским параметрима, има променљиву отпорност за коју опет претпостављамо да потиче од променљивог састава и/или степена метаморфизма. Уочена је изразита анизотропија отпорности, манифестована великим градијентом на карти телурских параметара, око познатих раседних зона.

**Кључне речи:** Област Трстеник-Врњци, телурско профилирање, картирање, геоелектрична структура, геолошка структура.

**УВОД**

Област истраживања обухвата околину Трстеника од Врњаца (VRNJ) па западу до Доњег Рибника (станица бр. 6) на истоку, затим од села Брезовице (BREZ) на југу до села Прњавора (PRNJ), у околини Љубостиње на северу (сл. 1). Образована су два приближно управна профила са неколико станица око Трстеника; Грабоваци (GRAB), Крушак (KRUS) и станице бр. 3 и 4. Испитивања су изведена 1984 године у оквиру пројекта "Истраживање геотермалне енергије на подручју Трстеника". Приказан је део резултата који се односи на методу телурског профилирања. Основне методе су описане од стране Smiljanić–а (1984). Телурско профилирање и картирање се користи за картирање геоелектричних структура седиментних басена и редовно прати сеизмичка мерења (Nemesi et al., 1985). У мађарском делу Панонског басена ова истраживања су изведена на великом простору са густом мрежом мерења. У нашим теренима ова истраживања су први пример примене ове

\* Геоманетски институт, 11306 Гроцка, Југославија.



Сл. 1. Карта показује места магнетотелурског сондирања (МТС) и телурског профила (ТП). На свим станицама је мерено телурско поље. Геологија према геолошкој карти Србије 1:200.000, делимично допуњено. Старији палеозоик представља метаморфну серију, према новијим сазнањима тријаске и карбонске старости.

Fig. 1. Map showing sites of the magnetotelluric sounding (MTC) and telluric profile (TP). Telluric fields was measured on all sites. Geology according to Geological map of Serbia 1:200.000, partly adapted. Lower Paleozoic consist of metamorphic formations, according to the new evidences are of Triassic and Carboniferous age.

методе. Основни циљ методе је да се картира дубина до електричне базе, слојева високе (специфична електрична отпорност = отпорност) отпорности.

База високе отпорности је релативни појам и може представљати базу укупних седимената у виду кристаласте основе или базу млађих (обично проводнијих) седимената на пример; мезозојска база у неогеним басенима у околини Трстеника изгледа да имамо оба случаја; у Крушевачко-Трстеничком басену високо отпорна основа је подлога неогених седимената, док је у области доњо кредних седимената основа вероватно кристални или метаморфни седименти, у околини Врњаца су вероватно метаморфне стене Копаоника (Grubić, 1995). Отпорности неогених седимената су обично реда  $10 \Omega\text{m}$  док се отпорности кредних флишних седимената могу кретати у широком распону од неколико десетина до неколико стотина  $\Omega\text{m}$ . Отпорности мезозојских флишних седимената се углавном разликују у зависности од учешћа глиновите и карбонатне компоненте, где глиновита компонента значи смањење отпорности а карбонатна повећање.

## ГЕОЛОШКЕ ОДЛИКЕ ОБЛАСТИ

Област околине Трстеника у геолошком смислу припада Вардарској зони према Dimitrijeviću (1974) или Шумадијској зони према Анђелковићу (1967), тако да се централна Вардарска субзона у овој области готово подудара са Шумадијима. Основна сазнања о геолошким одликама ове области а од интереса за разматрање наших резултата могу се укратко резимирати; област велике лабилности кроз веома дуг период (велики део мезозоика и део неогена), средина седиментације од Палеозоика до Неогена са готово цикличним прекидима и интензивним тектонским покретима.

На истоку области се налази неогени Крушевачко-Трстенички басен, на западу је Гружански басен то јест његов јужни обод. У средишњем делу је доњо кредни трог од седимената парафлиша (Dimitrijević i dr., 1995) и то његов део који припада Гледићким планинама (Анђелковић, 1956).

Поменути неогени басени су олигоценске депресије са седиментима од олигоценско-миоцена до плиоценских седимената (види сл. 1) (Анђелковић, 1988). Према ОГК (листове Краљево, Параћин, Врњци и Крушевац) на овом подручју су заступљене и метаморфне стене палеозојске старости, издањују јужно од Врњаца на обронцима Гоча (Ugošević i dr., 1973). Новија сазнања о старости и карактеристикама ових стена даје Grubić (1995), наводећи да се; у широј области Копаоника налазе шкриљаве различито метаморфисане серије које одговарају алпийским сјајним шкриљцима. Он такође наводи да је млађа серија тријаске старости, а старија карбонске. Састав сјајних шкриљаца одређују и њихове могуће отпорности и овде је битно учешће глинене и карбонатне компоненте у горе поменутом смислу. Степен метаморфизма шкриљаца је често од пресудног значаја за отпорност, тако на пример, црни и графитични шкриљци су извапредни проводници са отпорностима око  $1 \Omega\text{m}$  па и мање док су мермери и доломити реда више хиљада  $\Omega\text{m}$ . На западном ободу доњо-кредног трога према Dimitrijević i dr., (1995a) од области јужно од Луковске бање до близу Врњаца констатован је офиолитски меланж у облику низа танких сочива.

## МЕРЕЊЕ И ОБРАДА ПОДАТАКА

У оквиру ових истраживања обављена су комбинована мерења електромагнетског поља Земље (Smiljanić, 1987), овде ћемо детаљније описати мерења телур-

ског, тј. електричног поља Земље. Телурско поље је мерено на свим станицама (приказане на сл. 1) док је електромагнетско поље мерено само на станицама магнетотелурског сондирања (МТС). Станице МТС-а су биле базне станице за станице телурског профила (ТП), мерено је истовремено телурско поље на паровима које су сачињавале по једна станица МТС-а и ТП (Smiljanić, 1985). На овај начин су све станице укључене у вишеструка истовремена мерења телурског поља. Регистрације поља су обављане у више наврата на појединој станици од три до осам регистрација у трајању од 2–3 часа по једној регистрацији, а у периодима повећане геомагнетске активности. Регистравање је обављено у периоду од (10.08.–10.10) 1984. године.

Обрада података се састојала од одређивања амплитуда истовремених појава на паровима станица и рачунања односа тих амплитуда који представља телурски параметар  $J$  (види Smiljanić, 1984). На основу резултата МТС-а (Smiljanić, 1987) оцењено је да је опсег телурског профилирања до периоде варијација ( $T$ ) од око 30 секунди. Овај опсег представља узлазну граиу криве привидних отпорности, што значи да је интензитет телурског поља у њему зависан од сумарне уздужне проводности слојева изнад високо отпорне основе (односа дебљине тих слојева и отпорности).

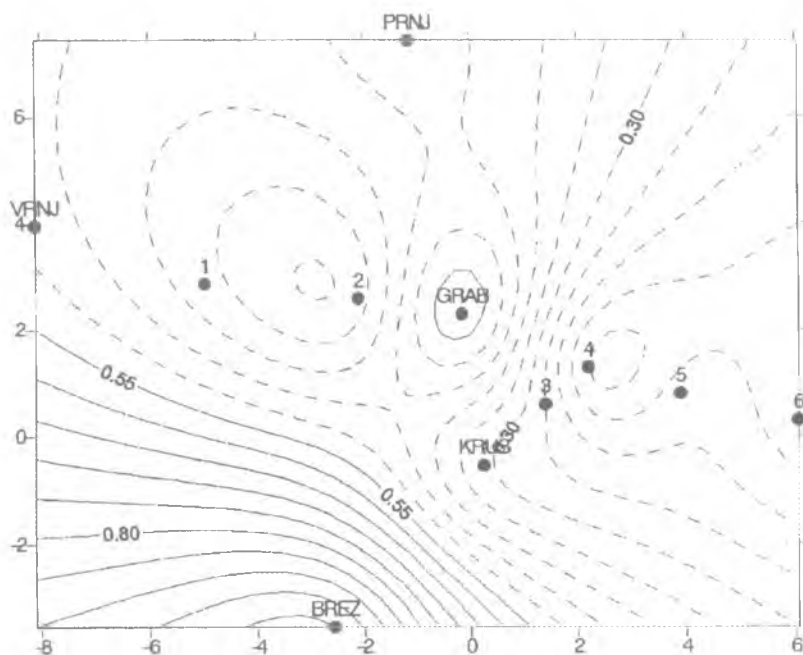
На сл. 2 и 3 су дата места мерења са телурским параметрима,  $J_x$  означава параметар израчунат из односа северних компоненти телурског поља, а  $J_y$  параметар за источне компоненте. Осе на овим сликама показују удаљеност од тачке са координатама ( $x=4829$ ;  $y=7500$ ). Ови параметри су нормализовани за станицу Брезовица (BREZ), јер су регистрације са ове станице биле доброг квалитета и анизотропија привидне отпорности је најмања. Из резултата МТС се уочава да је за место BREZ привидна отпорност око 1000  $\Omega m$ , затим да су привидне отпорности у два управна правца (север– $x$ ) и (исток– $y$ ) о оквиру истог реда величина, од 1000 до 1500  $\Omega m$ , док је на осталим местима МТС-а ова разлика већа за ред величина. Ово указује да је станица BREZ релативно погодна за базну станицу.

Поларизација телурског поља је претежно линеарна за МТ станице KRUS, GRAB и PRNJ, затим за станице ТП (2, 3, 4, 5, 6). За све ове станице главна оса елипсе поларизације је оријентисана приближно у правцу И–З, са одступањима мањим од 10°. Станице МТС-а BREZ и VRNJ имају оријентацију ове осе СЗ–ЈИ и елиптичку поларизацију, док станица ТП 1 има оријентацију осе СИ–ЈЗ и линеарну поларизацију. Оваква природа и оријентација поларизације телурског поља указује следеће: линеарна поларизација указује на изражену анизотропију отпорности а као последицу утицаја геоелектричне структуре у околини места мерења, оријентација осе поларизације може бити дуж пружања структуре или управно на пружање. Ову неодређеност правца пружања можемо разрешити или оријентацијом вектора индукције или независним геолошким подацима, или са оба ова параметра. Општа оријентација геолошких структура видљива на површини, пружање ССЗ–ЈИ структуре доњокредног парафлиша, вероватно проузрукује оријентацију телурског поља управно на овај правац. На овај начин се може успоставити веза геолошке и геоелектричне структуре у општим размерама.

## РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

На основу вредности телурског параметра  $J_x$  израђена је карта расподеле овог параметра (сл. 2). Видимо да су изолиније овог параметра у југозападном делу

области оријентисане у правцу СЗ–ЈИ, да се овај линеарни тренд нарушава уз ТП од места 1 до 6 са израженим минимумом у околини места 4.



Сл. 2. Карта расподеле телурског параметра  $J_x$ . Осе показују удаљења у километрима од тачке са Гаус-Кригеровим координатама ( $x=4829$ ;  $y=7500$ ).

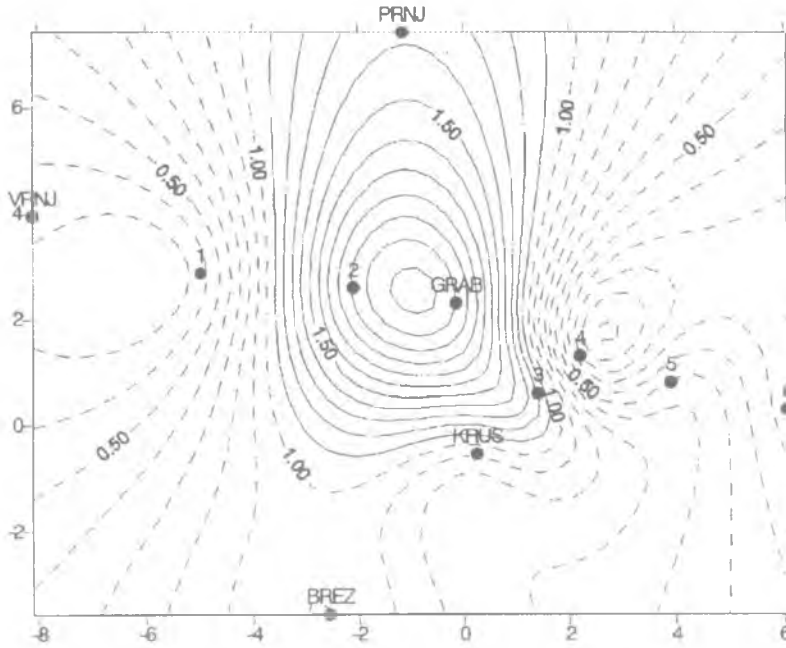
Fig. 2. Map of the distribution of the telluric parameter  $J_x$ . The axes showing the distances in kilometers from point with Gauss-Kraiger's coordinats ( $x=4829$ ;  $y=7500$ ).

На сл. 3 дата је карта расподеле параметра  $J_y$ . Ова карта је сложенијег облика и одликује се израженим минималним вредностима у области места VRNJ и 1 на западној страни и у између 4 и 5 на источној страни, такође се запажа седласта структура између BREZ и KRUS. Запажа се такође позитивна структура која почиње од места KRUS и пружа се на север до PRNJ а ограничена је веома стрмим падовима; на западу између 1 и 2, на истоку између 3 и 4.

За разматрање ових резултата треба имати у виду следеће; да су телурски параметри израчунати за опсег периоде од 10 до 30 секунди, да је телурски ток за овај опсег до дубина од 1 до 10 km. Геоелектричне структуре издуженог (лонгитудиналног) 2–Д облика а веће отпорности од околне средине дају телурско поље изразито виших вредности управно на пружање и линеарну поларизацију у истом правцу. У односу на доњокредни трог ова компонента је у (исток–запад) и параметар  $J_y$ . Такође, код оваквих структура управна компонента је знатно осетљивија на бочне промене сумарне проводности, него компонента у правцу пружања структуре (у овом примеру север–југ).

Телурски параметар  $J_x$  (компоненте поља у правцу север–југ) осетљивији је на промене дубљих структура што у овој области може значити промене сумарне проводности целокупног седиментног пакета укључујући ту и део метаморфне серије у коме не доминирају карбонати.

Високе вредности  $J_y$  за места GRAB, PRNJ и 2 која су у области Гледићких планина и њиховог обода могу потицати од анизотропије отпорности услед набора и краљушги, чије је пружање приближно ССЗ–ЈЈИ, што значи да је главна оса анизотропије параметра  $J_y$  правцу пада ових структура.



Сл. 3. Карта расподеле телурског параметра  $J_y$ . Осе исте као на Сл. 2.

Fig. 3. Map of the distribution of the telluric parameter  $J_y$ . The axis as in Fig. 2.

Интегрални утицај структуре се најјасније огледа на такозваном ефективном телурском параметру који је одговарајући ефективној отпорности. Обе вредности су геометријска средина вредности за обе компоненте. Вредности ефективног телурског параметра  $J_{ef}$  су прерачунате за све тачке а карта је приказана на сл. 4, где се може уочити комбиновани тренд са претходне две слике. Опадање вредности од ЈЗ према ТП као и два минимума на истоку и западу са максимумом око места GRAB. Изгледа да се седласта структура од места 1 до KRUS поклапа са зоном смањене отпорности на дубинама око границе доње креде и метаморфне серије или је присутан пад према СИ високо отпорне метаморфне серије, чију природу нисмо сада у могућности да разјаснимо.

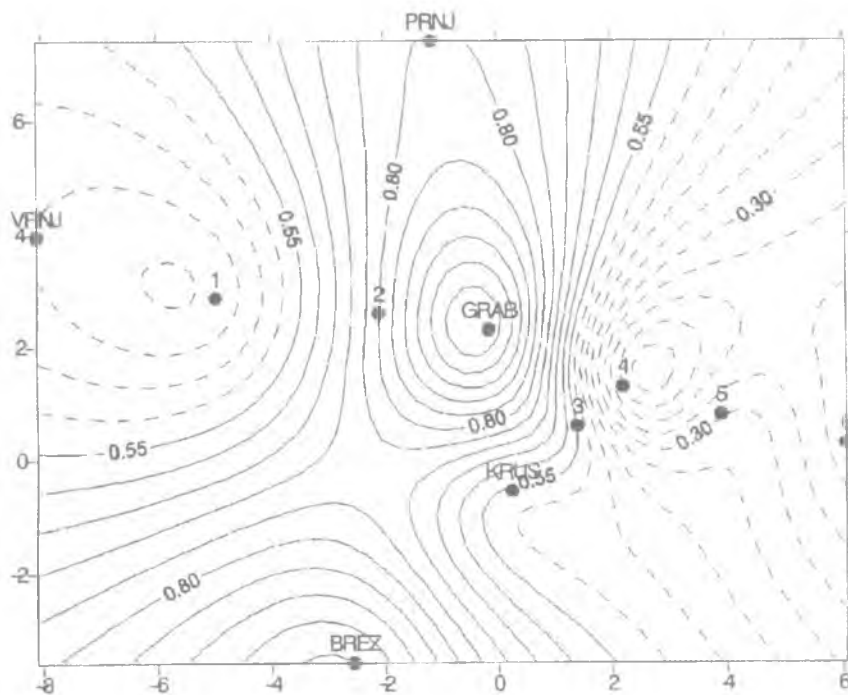
### ГЕОЛОШКА ИНТЕРПРЕТАЦИЈА

Око станице MTS–а BREZ метаморфне стене издајују и отуда су јасне високе отпорности за прве слојеве добијене из MTS а које се крећу од неколико стотина  $\Omega m$ , по тим резултатима дебљина првог слоја се није могла поуздано одредити али је свакако више километара.

Отпорност првих слојева за остале станице MTS–а су следеће; за станицу VRNJ око 15  $\Omega m$  и дебљина од 2 до 3 km, за GRAB око 60  $\Omega m$  сличне дебљине, за

KRUS око  $150 \Omega\text{m}$  дебљине преко 4 km, за PRNJ око  $250 \Omega\text{m}$  и дебљине преко 4 km. Ови резултати су добијени моделирањем ефективних кривих привидне отпорности и могу се поредити са ефективним телурским параметром.

У околини места 3 то јест у кругу фабрике "Прва петолетка" изведена је дубока бушотина до дубине од 1800 m. Према Б. Миловановићу (усмено саопштење) бушотина је до 1200 m бушена кроз доњокредни флиш, од 1200 до 1500 m кроз кредне кречњаке, а од 1500 до 1800 m кроз метаморфну серију (аргилошисти и филити), вероватно серија Гоча. Такође је у метаморфној серији набушена уска тектонизована зона стрмог нада. Према сл. 4 ова тектонизована зона може одговарати великој промени телурског параметра између места GRAB, 3 и 4.



Сл. 4. Карта расподеле телурског параметра  $J_{ef}$ . Осе исто као на Сл. 2.

Fig. 3. Map of the distribution of the telluric parameter  $J_{ef}$ . The axis as in Fig. 2.

Такође између станица 1 и 2 имамо велики градијент телурског параметра што је вероватно последица раседне зоне или навлаке, минимум у области станица VRNJ и 1 је делимично услед неогених седимената али и могуће промене отпорности пренеогене базе. Ова база (нодлога) је вероватно сложеног састава од седимената доње креде можда и меланжа (Dimitrijević i dr., 1995a) а наши резултати указују на дебљину провoдних седимената преко 2 km, отпорности око  $15 \Omega\text{m}$ . На основу ових резултата може се претпоставити да је један значајни део (око 1 km) метаморфне серије испод неогена у околини Врњаца сличних отпорности од око  $15 \Omega\text{m}$ , дакле овде би граница високоотпорне основе била унутар метаморфне серије.

Минимум на источном делу у пределу Трстеника у области је где се вероватно секу раседне зоне дуж Западне мораве и зона Велуће–Куршумлија. Између

станица VRNJ и KRUS имамо издужену депресију која може представљати проводнију зону која се поклапа са раседом Рибница–Стари Трстеник (Djoković i dr., 1995). Изгледа да је на параметру *Jef* најизраженија структура у виду релативне депресије која се поклапа са овим раседом, што би значило да је овај расед у геоелектричном смислу најдоминантнији у овој области.

У области раседних зона првог реда као што је Периадриатички линеаменат Adam et al. (1992) су констатовали изражене промене телурског и магнетотелурског поља као последицу утицаја проводних црних и графитичних пкриљаца. Ови пкриљци су повезани са уском тектонизованом зоном. Нема поузданих података о саставу и степену метаморфизма у дубљим деловима, испод 1 km, у нашој области. Међутим, постоје индикације које указују на проводнију зону и треба спровести детаљнија мерења и реобраду постојећег материјала да би се могли изводити поузданији закључци.

### ЗАКЉУЧАК

Телурско профилирање и одговарајуће картирање даје основне одлике геоелектричне структуре испитиване области. У овом тренутку могу се само дати основне за геолошку интерпретацију геоелектричне структуре. Резултати указују на велики значај метаморфних стена у подлози како неогених тако и мезозојских седимената, изгледа да су присутне промене састава и степена метаморфизма а које се одражавају на расподелу телурског поља. Ове промене су вероватно присутне како у вертикалном смислу тако и латералном (бочном). Постоје индикације да је подлога посебно анизотропна у области раседа.

Утицај различитих отпорности неогених седимената према кредним седиментима се јасно уочава на телурским параметрима.

Утицај подије у виду метаморфне серије присутне у већем делу ове области је препознатљив али још недовољно јасан и не може се на основу постојећих података говорити о детаљним квантитативним односима промене састава подлоге.



Геол. ан. Балк. пол. Ann. Géol. Penins. Balk.	60	1	491-504	Београд, децембар 1996 Belgrade, Decembre 1996
--	----	---	---------	---

UDC 550.37(497.11)

Original scientific paper

ИНЖЕЊЕРСКА ГЕОЛОГИЈА, ХИДРОГЕОЛОГИЈА, ГЕОФИЗИКА  
GÉOLOGIE APPLIQUÉE, HYDROGÉOLOGIE, GEOPHYSIQUE

TELLURIC MAPPING OF TRSTENIK–VRNJCI REGION (SERBIA)

by

Nenad Smiljanić\*

The Earth's natural electric field, telluric field, was measured in the general Trstenik area from Vrnjci to Donji Ribnik and from Brezovica to Prnjavor in the Ljubostinja river valley. Measurements were taken at each station and used in a quantitative estimate of telluric parameters for establishing the distribution of fields in the region and geoelectric feature mapping. The obtained geoelectric feature is correlated with the geologic feature known from geological mapping and drilling data for Trstenik. The expected effect of the resistivity difference between Neogene and Lower Cretaceous deposits is notable; also the resistivity variation can be traced in the basement which is, in our present knowledge, a metamorphic series. The series, according to telluric parameters, has a variable resistivity which seems to originate from the varied composition and/or metamorphic grade. The resistivity is notably anisotropic, manifested in the high gradient on the telluric parameter map, around the known fault zones.

**Key words:** Trstenik–Vrnjci area, telluric profiling, mapping, geoelectric feature, geologic feature.

INTRODUCTION

The prospect is Trstenik surroundings from Vrnjci (VRNJ) in the west to Donji Ribnik (station 6) in the east and from the villages of Brezovica (BREZ) in the south to Prnjavor (PRNJ) near Ljubostinja in the north (Fig.1). Two roughly perpendicular profiles were formed with several stations around Trstenik: Grabovac (GRAB), Kruševac (KRUŠ) and stations 3 and 4. The investigation was carried out in the 1984 under the project "Prospecting for Geothermal Energy Resource in Trstenik Area". The survey results acquired by the method of telluric profiling are presented in this paper. Principal methods are described by Smiljanić (1984). Telluric profiling and mapping are used in plotting geoelectric features of sedimentation basins and always in seismic measurements (Nemesi et al., 1985). Similar investigations in the Hungarian part of the pannonian basin covered a large surface area with a dense network of stations. In Yugoslavia, this is the first

---

\* Geomagnetic institute, 11306 Grocka, Yugoslavia.

example of the method's application. The purpose of the method use is mapping the depth to the electric base, beds of high (specific electric resistivity = resistivity) resistivity.

The base of high resistivity is a relative notion that can be the basement of deposits in the form of crystalline basement or the basement under the newer (usually more conductive) deposits, e. g. the Mesozoic basement in Neogene basins.

Trstenik area seems to have both cases: the highly resistant basement underlies Neogene deposits in Kruševac–Trstenik basin, where—as Lower Cretaceous deposits lie over the likely crystalline or metamorphic rocks, and near Vrnjci there are probably metamorphic rocks of Kopaonik (Grubić, 1995). Resistivities of Neogene deposits are normally of 10  $\Omega\text{m}$  order, and those of Cretaceous flysch deposits vary within a wide range from tens to hundreds of  $\Omega\text{m}$ . Different resistivities of Mesozoic flysch deposits are mainly dependent on clay and carbonate components, the clay component decreasing and the carbonate increasing the resistivity.

## REGIONAL GEOLOGY

Trstenik area geologically belongs to the Vardar Zone, according to Dimitrijević (1974) or the Šumadija Zone, according to Anđelković (1967). The central Vardar subzone is thus almost equivalent to the Šumades. A general knowledge of the regional geology, useful for consideration of the presented results, can be summarized as follows: An area of high lability through a long period (most of Mesozoic and part of Neogene), almost cyclic depositional environment and intensive tectonic movements from the Paleozoic to the Neogene.

The eastern part of the region is occupied by Neogene Kruševac–Trstenik basin and the western by Gruža basin or rather its southern margin. The central area is a Lower Cretaceous trough of paraflysch deposits (Dimitrijević et al., 1995b) which belongs to Gledićske Planine (Anđelković, 1956).

The mentioned Neogene basins are Oligocene to Miocene to the Pliocene (see Fig. 1) (Anđelković, 1988). The Base Geologic map (Sheets Kraljevo, Paraćin, Vrnjci, Kruševac) shows paleozoic metamorphic rocks cropping out south of Vrnjci on Goč slopes (Urošević et al., 1973). A more recent information on the age and character of these rocks is given by Grubić (1995), who states that schistose rocks of varied metamorphism, equivalent to Alpine schistes lustrées, are present in the general Kopaonik region. He also states that the younger series is Triassic and the older one Carboniferous. The composition of schistes lustrées and the rates of clay and carbonate components in them define their likely resistivities. Resistivity of rocks mainly depends on the metamorphic grade of schists; thus, for instance, black and graphitic schists are excellent conductors of about 1  $\Omega\text{m}$  or less, whereas marbles and dolomites have resistivities of thousands of  $\Omega\text{m}$  order. The western margin of the Lower Cretaceous trough, according to Dimitrijević et al., (1995a), includes ophiolitic melange in the form of a string of thin lenses south of Lukovska Banja to near Vrnjci.

## MEASUREMENTS AND DATA PROCESSING

The investigations included combined measurements of Earth's electromagnetic field (Smiljanić, 1987). This work considers telluric measurements, the Earth's electric field.

Telluric field was measured at each station (denoted in Fig.1), whilst electromagnetic field was measured only at magnetotelluric sounding stations (MTS). MTS were the base stations for telluric profile (TP); simultaneously, telluric field was measured in pairs of stations (MTP and TP) (Smiljanić, 1985). Thus, all stations were used in multiple simultaneous telluric field measurements. Field recording was performed several times at each station: three to eight recordings, 2–3 hours each, during the increased geomagnetic activity. The period of recording was from 10 Aug. to 10 Oct. 1984.

Data processing included determination of the simultaneous occurrence amplitudes at each pair of stations and estimation of the amplitude ratio which is the telluric parameter  $J$  (see Smiljanić, 1984). The range of telluric profiling to the variation period ( $T$ ) of about thirty seconds was estimated on MTS records (Smiljanić, 1987). This range is the rising branch of the apparent resistivity curve, which means that the telluric field intensities within it depend on the summary longitudinal bed conductivities over the highly resistant basement (bed thickness to resistivity ratio).

Figures 2 and 3 show measuring points and telluric parameters:  $J_x$  is the parameter calculated from the telluric field north components,  $J_y$  is the parameter of east component. The axes show distances from the point having coordinates  $x=4829$  and  $y=7500$ . The parameters are normalized for Brezovica (BREZ) station, because records from this station were good and the anisotropy of apparent resistivity the lowest. The MTS data show that the apparent resistivities in two normal directions (north– $x$  and east– $y$ ) are of the same order of magnitude, from 1000 to 1500  $\Omega\text{m}$ , whilst this difference is greater by one order at other MTS stations. This indicated BREZ station as relatively suitable for a base station.

The polarization of telluric field is prevalingly linear for MT stations KRUS, GRAB and PRNJ, and for TP stations (2, 3, 4, 5, 6). The polarization ellipse main axis for all these stations is roughly oriented E–W, the deviations being less than  $10^\circ$ . MTS stations BREZ and VRNJ have these axes in the NW–SE direction and elliptical polarization, whilst TP station 1 has the axis direction and NE–SW and linear polarization. This nature and directions of the telluric field polarization indicates the following: linear polarization is a sign of a marked resistance anisotropy as a result of the geoelectric feature influence around the measuring place; polarization axis direction may coincide with the feature's strike or be perpendicular to it. This indeterminate direction can be solved either by the induction vector direction or by independent geological data, or both. The general trend of geologic features visible on the surface, the NNW–SSE trend of Lower Cretaceous paraflysch structure, is probably responsible for the telluric field direction perpendicular to it. Thus, the relation between a geologic and the geoelectric features can be established on a large scale.

## RESULTS AND DISCUSSION

Values of telluric parameter  $J_x$  were used to map its distribution (Fig. 2). One can see that  $J_x$  isolines extend NW–SE in the southwest of the region, that this linear trend is disturbed from TP 1 to TP 6 with a marked minimum near point 4.

Figure 3 shows the distribution of  $J_y$  parameter. It is more complex than the former and shows marked minimum values in the area of VRNJ and point 1 on the western side

and between points 4 and 5 on the eastern side, and a saddle-like structure between BREZ and KRUS. Also a positive structure is observed, beginning from KRUS point northward to PRNJ, limited by steep slopes: between 1 and 2 in the west and between 3 and 4 in the east.

For consideration of these results, one must remember that telluric parameters are calculated for the period range from 10 to 30 seconds and that the telluric current for this range is to depths from 1 to 10 km. Geoelectric features of longitudinal 2-D shape and higher resistivity than surrounding rocks give a telluric field of notably higher values perpendicular to the strike and linear polarization in the same direction. In relation to the Lower Cretaceous trough, this component is  $y$  (east-west) and parameter  $J_y$ . Also, with similar features, the perpendicular component is much more sensitive to lateral variations summary conductivity than component in the feature strike trend (in this example, north-south).

Telluric parameter  $J_x$  (field components in north-south direction) is more sensitive to variations of deep structures, which in the given region may mean composite conductivities of the entire deposit including part of the metamorphic series where carbonate is not prevailing.

High  $J_y$  values for stations GRAB, PRNJ and 2, all in Gledićske Planine and their margin, may result from the resistivity anisotropy due to folds and overthrusts in approximately NNW-SSE direction, which means that the main axis of parameter  $J$  anisotropy is on the dip of these structures.

The integral influence of a structure is best reflected on the so-called effective telluric parameter which is equivalent to effective resistivity. Either value is the geometrical mean of values for respective component. The values of effective telluric parameter,  $J_{ef}$ , are recalculated for each point, and the resulting map is shown in Fig. 4, where the combined trends from preceding two figures can be recognized: declining values from SW to TP points and two minima, in east and west, and the maximum around GRAB station. The saddle-like structure from point 2 to KRUS seems to coincide with the reduced resistivity zone at depths around the boundary between Lower Cretaceous and the metamorphic series, the nature of which has not been explained, dips to NE.

## GEOLOGICAL INTERPRETATION

Metamorphic rocks crop out around MTS BREZ; hence the high resistivities of the highest-lying beds measured at MTS in hundreds  $\Omega\text{m}$ . The thickness of the uppermost bed could not be reliably estimated, but is certainly several kilometres.

Resistivities of the highest beds at other MTS are the following: about 15  $\Omega\text{m}$  for the thickness from 2 km to 3 km at VRNJ; about 60  $\Omega\text{m}$  for similar thickness at GRAB; about 150  $\Omega\text{m}$  for the thickness over 4 km at KRUS; about 250  $\Omega\text{m}$  for the thickness over 4 km at PRNJ. These values are obtained by modelling curves of effective apparent resistivities and can be compared with the effective telluric parameter.

A deep hole (1800 m) was drilled near point 3, in Prva Petoletka Factory yard. According to B. Milovanović (oral communication), down to 1200 m the hole was drilled through Lower Cretaceous flysch, from 1200 m to 1500 m through Cretaceous limestones, and from 1500 m to 1800 m through a metamorphic series (argillaceous schists and

phyllites), probably the Goč series. Within the metamorphic series, a narrow tectonized zone in a steep dip was penetrated. This zone may correspond in Fig. 4 to the great change in telluric parameter between GRAB and points 3 and 4.

Also, the high gradient of the telluric parameter between stations 1 and 2 is a likely result of a fault zone or a nappe; the maximum around stations VRNJ and 1 is partly due to Neogene deposits or possibly also to the resistivity change before the Neogene basement. The basement is probably composed of Lower Cretaceous deposits and perhaps melange (Dimitrijević et al., 1995a); the measured resistivity of about  $15 \Omega\text{m}$  indicates a thickness of over 2 km of conductive deposits. The obtained results lead to the inference that a significant part (about 1 km) of the metamorphic series under Neogene deposits near Vrnjci has similar resistivities of about  $15 \Omega\text{m}$ ; hence the boundary of the highly resistant basement could be within the metamorphic series.

The minimum near Trstenik, eastern part of the region, probably marks the intersection of two fault zones: along the Zapadna Morava and Veluče–Kuršumlija. An elongated depression between VRNJ and KRUS may be a more conductive zone coincident with the Ribnica–Stari Trstenik fault (Đoković et al., 1995). The best marked by parameter Jef seems to be the structure in the form of a relative depression, coincident with the fault, which would mean that the fault was the most dominant in the region in the geoelectric terms.

In the region of major fault zones, such as Periadriatic lineament, Adam et al. (1992) notes pronounced variations in the telluric and magnetotelluric fields as a result of conductive black and graphitic schists effect. The schists are linked by a narrow tectonized zone. No information is available on the composition and metamorphic grade at depths greater than 1 km for the given region. There are, however, indications of a more conductive zone which should be surveyed and for which the available data should be reconsidered for a reliable conclusion.

## CONCLUSION

Telluric profiling and respective mapping give the general character of the geoelectric features in the investigation area. At present, only basic data are provided for a geological interpretation of the geoelectric feature. The survey results indicate the importance of metamorphic rocks in the basement under Neogene and Mesozoic deposits; the likely varied composition and metamorphic grade are reflected on the telluric field distribution. The variations are probably present both in vertical and lateral directions. The basement seems to be particularly anisotropic in the fault zone.

The effect of different resistivities between Neogene and Cretaceous deposits is clearly indicated by telluric parameters.

The effect of the basement, a metamorphic series in most of the region, is recognizable, but not clear enough to suggest the quantitative rates of the basement composition.

## ЛИТЕРАТУРА – REFERENCES

- Adam A., Duma G., Berger J. and Horvat J., 1992: Tectonic and geoelectric features of the Periadriatic–lineament (S–Austria) with a generalization. *Acta Geod. Geoph. Mont. Hung.*, Vol. 27, 1, 47–64, Budapest.

- Анђелковић М. (=Anđelković), 1956: Геолошки састав и тектоника Гледићких планина.– Геол. ан. Балк. пол., 24, 31–185, Београд.
- Анђелковић М. (=Anđelković), 1967: Шумадијска зона.– Ibid., 33, 1–37, Београд.
- Анђелковић М. (=Anđelković), 1988: Палеографско–стратиграфски развој олигоценских и миоценских слатководних басена јужне и југозападне Србије – Ibid., 52, 51–100, Београд.
- Dimitrijević M.D., 1974: Dinaridi– jedan model na osnovama "Nove globalne tektonike".– Metalogenija i koncepcije geotektonskog razvoja Jugoslavije, 119–153, Beograd.
- Dimitrijević M. i Dimitrijević M.Đ., 1995a: Kreda šire okoline Kopaonika.– Savetovanje Geologija i metalogenija Kopaonika, 111–121, Kopaonik–Beograd.
- Dimitrijević M., Karamata S. i Dimitrijević M.D., 1995b: Ofiolitski melanž šire oblasti Kopaonika.– Ibid., 105–110, Kopaonik–Beograd.
- Doković I., Marović M., Radovanović S., Trivić B., Čupković T. i Kovačević V., 1995: Recentni rupturni sklop u Kopaoničkoj oblasti. Ibid., 73–78, Kopaonik–Beograd.
- Grubić A., 1995: Sjajni škriljci u Kopaoničkoj oblasti – Ibid., 159–168, Kopaonik–Beograd.
- Nemesi L., Hobot J. and Varga G., 1985: Telluric and magnetotelluric information about the geological structure of Transdanubia – Acta Geodet. Geophys. et Montanist. Hung., 20, 135–150, Budapest.
- Smiljanić N., 1984: Primena metode magnetotelurskog sondiranja u istraživanju geotermalnih resursa – Geološka istraživanja u privrednom i prostornom razvoju Beograda, Knj. 2, 484–497, Beograd.
- Smiljanić N., 1985: Magnetotelurska ispitivanja u okviru Projekta istraživanja geotermalne energije na području Trstenika.– Fond Geomagnetskog instituta, Grocka–Beograd.
- Smiljanić N., 1987: Magnetotelursko sondiranje u okviru geotermalnih istraživanja šire okoline Trstenika – Savetovanje Komiteta za geofiziku, Niška banja.
- Urošević M., Pavlović Z., Klisić M., Malešević M., Stefanović M., Marković O. i Trifunović S., 1973: Tumač za OGG 1:100.000, list Vmjci – Savezni geološki zavod, Beograd.