

Narodna in univerzitetna knjižnica
v Ljubljani

7. // 273213

Observatory

Ljubljana

**SEIZMIČNOST IN SEIZMOTEKTONIKA
KOZJANSKEGA**

VLADO RIBARIČ

AGO LJUBLJANA

LJUBLJANA 1977

1871
1872
1873
1874
1875
1876
1877
1878
1879
1880
1881
1882
1883
1884
1885
1886
1887
1888
1889
1890
1891
1892
1893
1894
1895
1896
1897
1898
1899
1900

KOZJANSKO - GEOFIZIKALNE RAZISKAVE II. FAZA

Seizmičnost in seizmotektonika
Kozjanskega ter določitev etalon-
skega področja za potresno mikro-
rajonizacijo.

Avtor :

Vlado Ribarič, dipl. inž.
Astronomsko-geofizikalni
observatorij Ljubljana

Datum : 1.X. 1977.

+ 273213

UDK: 550.34:550.348.037

550.34

KOZJANSKO - GROPTIVAJNE IZISKAVANJE
|| 273213

Seznamski in sestavski deli
Kozjanskemu ter dobitni etalon-
skemu področju na področju mikro-
raziskav.

19. VI. 1979



0 VI | 2-24

AVTOR:
Vlado Ribarič, dipl. inž.
Astronomsko-geofizični
opazovalni ljubljanski

Datum: 1. X. 1977.

I. Osnovne seizmogenetske značilnosti Kozjanskega

1.1 Uvodni pregled

Področje Kozjanskega zajemajo vzhodni deli Posavskih gub in ga omejujejo neotektonske strukture z razmeroma intenzivnimi recentnimi premiki. Med te strukture sodita predvsem področje Krškega polja in Gorjancev na jugu ter področje Zagrebške gore na jugovzhodu. Smrekovski in Donački prelom na severu opredeljujeta mejno cono med terciarnim gričevjem na jugu in Pohorjem kot delom Centralnih Alp na severozahodu, vmes pa teče še Labotski, oziroma Ljutomerski prelom.

Bohor in Orlica na jugu, dolina Savinje na zahodu omejujeta področje, ki sicer geografsko ni natančneje opredeljeno, temveč ima naziv po kraju Kozje na vzhodnih obronkih Bohorja.

Tektonska struktura te regije je dokaj zamotana in nepregledna. Posamezne seizmične pojave je težko pripisati premikom ob povsem določenih prelomnicah, zlasti še, ker je stopnja natančnosti določevanja parametrov žarišč premajhna za natančno opredelitev, oziroma identifikacijo aktivnosti preloma.

Nekateri avtorji, kot na primer U. Premru (1976), so podrobno obdelali posamezne neotektonske faze tega področja in podali njihovo klasifikacijo. Drugi so v generalizirani obliki podali značilnost splošnih struktur področja, ne da bi prešli v detalje, ki so za seizmogenetsko klasifikacijo potrebni, zlasti pa še za sklepanje o mehanskih modelih žarišč (M. Arsovski, M. Feigel (1973)).

1.2 Osnovne seizmogene značilnosti Kozjanskega

M. Arsovski in M. Feigel (1973) podajata poenostavljeno in dokaj grobo shemo neotektonike Slovenije in uvrščata zahodno obrobje Kozjanskega v cono XIX-Laško depresijo, ki je povezana z znanim Laškim sinklinorijem. Po značaju odnosa neogenskih plasti do starih formacij smatrata oba avtorja, da gre za tipično graben sinklinalo.

Ta ima obliko tektonskega klina, ki se v smeri proti vzhodu razširja proti Panonskemu bazenu. Neogene plasti, ki grade ta blok so intenzivno dislocirane. Značilno je, da se aktivnost prelomov obrobja nadaljuje še dandanes. Na tem področju najdemo termalne vrelce (Laško, Rimske Toplice, Trbovlje, Podčetrtek), vendar njihova eksistanca ni vezana na seizmično aktivnost neposredno, saj je v Sloveniji več območij z izvori termalnih voda, ki so povsem aseizmična (n. pr. Radenci).

Arsovski in Feigel citirata v nadaljevanju, da so prelomi obrobja Laške depresije lahko seizmogeni, čeprav v njih ne opazimo seizmičnih pojavov. Ta ugotovitev je zmotna, saj so nekateri deli obrobnih prelomov Laške depresije seizmični. Res je, da se v njih ne akumulira veliko energije, dajejo pa le podlago za uvrstitev med področja s šibkejšo seizmičnostjo. Celotna struktura Laške depresije se skupaj z okolišnjimi strukturami dviga.

K. Grad in M. Pleničar (1963) opredeljujeta lokacijo Laško, ki je potencialna seizmogena cona zahodnega obrobja Kozjanskega kot področje ob stiku terciara laške sinklinale in starejših sedimentov. Oboje loči prelomna cona, ki jo dokazuje tudi termalna voda v Laškem. Prelomi so bili ugotovljeni še z rudarskimi deli v premogovniku Laško. Pri teh prevladuje alpska smer (vzhod-zahod). Terciarni sedimenti so pretežno laporni in deloma peščeni ter zaradi svoje sestave hitro preperevajo. V seizmičnem pogledu so manj varni kot pa sosednje starejše kamnine. Potresno ogroženo področje se nahaja potemtakem v območju terciarnih sedimentov, posebno pa še v neposredni bližini preloma. Avtorja seveda ne opredeljujejta preloma in njegove lege, saj bi to lahko določili le z lokalnim omrežjem seizmoloških postaj, razporejenih v perimetru 20-30 km in to vsaj 5-6 postaj, da bi lahko dobili ustrezne enačbe sistema z določeno preodrejenostjo, s katerim bi izračunali še napake koordinat, epicentrskega časa in žariščne globine.

K. Grad in M. Pleničar (1963) obravnavata še nekatera področja Kozjanskega in njegovega obrobja: „Območje Konjice-Vitanje-Sp. Dolič leži ob znanem Labotskem prelomu, ki loči centralne Alpe od mejne cone med Alpidi in Dinaridi. Ti so vzhodni podaljšek

karavanškega niza. Labotski prelom je po njunem mnenju ali reverzni prelom ali pa celo narivna linija Karavank na Centralne Alpe. Na ta nariv kaže Konjiška gora, ki ima precej strmo severno pobočje (enako tudi Boč pri Poljčanah, op. avt.). Pod njo, ki je zgrajena iz triadnih in paleozojskih sedimentov, vpadajo oligocenski sloji. Vzdolž preloma se menjajo klastične in karbonatne, deloma že metamorfne kamnine Pohorja. Zaradi bližine potresno že precej varnega območja Pohorja in neznatnih množin kvartarnih sedimentov, to potresno ozemlje ni seizmično zelo nevarno."

Območje Konjice-Vitanje-Sp. Dolič je v seizmičnem pogledu okarakterizirano z neznatno seizmičnostjo, čeprav imamo na voljo dokaj dvomljivi zgodovinski zapis o potresu z dne 4. maja 1201, ki naj bi dosegel jakost 8° MCS, oziroma $M=5,40$. Porušil naj bi Vitanjski grad, žički samostan in na zgornjem Štajerskem podrl še grad Katschberg pri kraju Murau. Vprašanje je, če gre za isti potres, kakor tudi ali je pojav na območju Vitanja res dosegel $M=5,40$.

Kasnejša seizmična zgodovina tega območja, ki sodi v kvadrant 74 datoteke o potresih v Sloveniji, beleži namreč s te cone le še dva šibka potresa in to z dne 15. avgusta 1899 z intenziteto $3,5^{\circ}$ MCS in z dne 20. maja 1909 z intenziteto $4,5^{\circ}$ MCS.

Podobno situacijo najdemo tudi v bližnjih conah, kar bi utegnilo dokazovati, da je seizmičnost te cone zelo majhna, oziroma, da gre v primeru pojava iz leta 1201 dejansko za efekte, ko je zaradi vpliva boljše dokumentiranega pojava iz Avstrije odpovedala konstrukcija Vitanjskega gradu in/ali žičkega samostana.

Naglaševati ta problem zgodovinske narave v primeru seizmotektonskih prilik na Kozjanskem verjetno ne bo potrebno, pač pa si oglejmo situacijo na področju Rogatca pod Donačko goro v vzhodnem obrobju Kozjanskega.

Severno od Rogatca poteka Donački prelom, pri katerem je prišlo do izbruhov andezita in andezitnih tufov v terciaru. Ob tem prelomu potekajo južno še vzporedni prelomi, ki jih prekrivajo terciarni sedimenti. Eden od teh prelomov je Obsotelski prelom, ob katerem si je utrla svojo pot Sotla od Trličnega do Erjavice pri Rogaški Slatini. Donački prelom se nadaljuje proti vzhodu vse

Se izrazitejša situacija je prisotna pri obravnavanju prelomov do področja zahodno od Varaždina, oziroma do Varaždinskih toplic. Področje Podsreda-Kozje-Pilštajn označuje dinarsko usmerjen prelom, ki poteka po dolini Bistrice. Ob njem se na površini stikajo terciarni peski in triadni dolomiti.

Obsežna in temeljita klasifikacija neotektonskih formacij vzhodne Slovenije, ki jo je podal U. Premru (1976), obsega tudi področje Kozjanskega. Premru je neotektonsko aktivnost interpretiral na osnovi fotogeološke obdelave letalskih posnetkov in na podlagi singenetske sedimentacije v nastalih geotektonskih jarkih določil čas njihove aktivnosti med spodnjim pliocenom in današnjim časom. Premru razlikuje v vzhodni Sloveniji šest neotektonskih prelomnih sistemov v zonalni, meridionalni in dinarski ter prečno dinarski smeri, nato še transkurentne in obročaste prelome. Tektonska dogajanja deli na dva neotektonska ciklusa. Prvi se je pričel v srednjem pliocenu po spodnjepliocenski penepelenizaciji in tektonskem mirovanju in se končal ob koncu starejšega pleistocena. Drugi se je začel s srednjim pleistocenom in traja v najnovejši 19. fazi holocena še danes.

Premru zapaža pravilno, ko trdi, da moramo pripisati seizmične aktivnosti od 8. stoletja, ko že razpolagamo s prvimi podatki o potresih, pa do danes različnim mlajšim holocenskim fazam in ne samo 19. fazi. Vzrok potresom v današnjem času niso močni ali izraziti prelomi, ampak ostanki labilnih con, ki so jih zapustili močnejši prelomi v dobi vrhunca svoje aktivnosti med srednjim pliocenom in začetkom pleistocena. Labilne cone so se pri tem umirjale v obliki pogrezanja skozi ves kvartar. Umirjanje še danes ni končano.

Brežiški, Obsoteljski in Vojniški prelomi so dejansko danes aktivni in utegnejo po svojih linearnih dimenzijah biti funkcionalno povezani z maksimalnimi magnitudami potresov, ki jih lahko generirajo, pri ostalih prelomih iz starejših neotektonskih obdobjih pa bi verjetno to korelacijo le težko našli, kar govori v prid Premrujevi tezi. Celjski prelom na primer, bi po svojih linearnih dimenzijah moral proizvajati potrese z magnitudami od $M=6,5$ do $M=7,0$, toda teh na celjskem področju ni.

Še izrazitejša situacija je prisotna pri obravnavanju prelomov iz srednjega in zgornjega pliocena, kjer bi na primer Bohorski in Impolski sistem 5. faze iz konca srednjega pliocena morala - če bi danes bila aktivna - natančneje: aktivna v celoti, povzročati potrese z večjimi magnitudami, kot smo jih v minulih tisočletjih kdarkoli lahko opazovali na tem področju Evrope.

Če ti prelomi stvarno obstojajo v konfiguracijah, ki jih je prikazal Premru, govori to v prid njegovi tezi, da so deli teh prelomov lahko še vedno aktivni in postopno težijo za uravnovežitvijo.

1.3 Prelomne cone in maksimalni potresi

Problem verjetnostne določitve maksimalnega potresa na osnovi statistično verjetnostnih metod s pomočjo teorije ekstremnih vrednosti (Gumbel, Epstein, Lomnitz i. dr.) predstavlja le enostransko rešitev. Ta ni vezana za realno sliko potencialnih prelomnih con, zlasti še ne, če gre za regije z izrazito sporedično seizmičnostjo, kot je primer na Kozjanskem. Opazovalni nizi potresov na Kozjanskem so najprej diskontinuirani, v zgodovinskih obdobjih pomanjkljivi in končno še omejeni na majhne magnitude.

Uporaba teorije verjetnostnih opredelitev ekstremnih vrednosti magnitud je zatorej že iz tega razloga neprimerna. Slednje potrjujejo podatki v naslednjem poglavju.

Ker so opredelitve spektralnih karakteristik žarišč spričo pomanjkljivih registracij močnejših potresov s tega izvornega področja nemogoče in ker je zaradi razmeroma redke naseljenosti cone tudi določitev makroseizmičnih površin pomanjkljiva, smo se odločili za primerjavo linearnih dimenzij prelomov in magnitud potresov.

Don Tocher (1958) in K. Iida (1965) sta pokazala, da veljata za odnose med magnitudami, določenimi na temelju prostorskih seizmičnih valov, m_b in linearnimi dimenzijami aktivnih delov prelomov odnosa :

$$m_b = 5,65 + 0,98 \log_{10} L, \quad (\text{Don Tocher, 1958})$$

kjer je L dolžina preloma v kilometrih.

Zgornja formula velja za potrese z $m_b \gg 6 \frac{1}{4}$, kar pa spričo

statistične porazdelitve potresov po magnitudah na območju Kozjanskega ni uporabljivo. Seizmogene cone z možnostjo pojava m_b večje od 6,25 leže namreč že na območju Zagrebške gore.

K. Iida je na osnovi proučevanja močnejših potresov z m_b večjo od 6 podal odnos :

$$m_b = 6,07 + 0,75 \log L \quad (\text{Iida, K., 1965}),$$

ki pa prav tako z istega razloga ni uporabljiva za področje Kozjanskega.

Empirični postulat, ki ga postavljamo, uvršča možne potrese na območju Kozjanskega v področje $m_b = 5,5 \pm 0,3$ in to ne glede na časovni interval, v katerem bi naj tak dogodek nastopil, torej za $T = \infty$.

Glede na tako predpostavko moramo uporabiti linearni odnos med L in m_b , ki je veljaven za navedeno območje magnitud. Po F. Pressu (1967) pišemo :

$$m_b = 1,06 \cdot \log L + 0,23 \quad (\text{Press, F., 1967}),$$

ki velja za m_b manjše od 7, deformacije velikostnega reda 10^{-4} in za padce napetosti v prelomih conah okoli 100 barov. L je v cm!

Ta odnos bomo primerjali s sliko neotektonskih tvorb, ki naj bi bile aktivne, v kasnejšem poglavju pa še z realno situacijo po posameznih kvadrantih Kozjanskega.

Pomembno je seveda podčrtati, da deli prelomov, ki so aktivni, vsekakor niso vedno dostopni interpretaciji in obratno: veliko je prelomnih tvorb, ki so dokazane, niso pa aktivne in predstavljajo relikte tektonskih motenj iz daljše zgodovine geološkega razvoja.

1.4 Dimenzije prelomov in njihova identifikacija

Poleg omenjenega dela U. Premruja (1976) posežemo še po podrobnejši študiji U. Premruja, O. Bascha in K. Šikića (1972) namenjeni geološkim preiskavam širše okolice Krškega.

Tektonska strukturna karta naj bi vsebovala tudi aktivne prelomne cone iz različnih faz (po Premruju). Dimenzije prelomnih con so v mejah od 4 do 16 km (po karti 1:200.000), ki je priložena študiji.

Grafična predstavitev teh aktivnih con seveda ni zasnovana na meritvah in natančnem vnašanju segmentov aktivnih delov prelomov v pregledno karto splošnega informativnega značaja.

Prelomi z aktivnimi sektorji dolžine 4 km bi po Pressovi formuli dali namreč magnitude 6,16, večji prelomi, kot je meridionalno potekajoči prelom pri Brežicah pa pri $L=16$ km celo $m_b = 6,80$. To pa je vrednost, ki v zgodovinsko dokazljivem času v tej regiji nikoli ni bila opazovana.

Slednje govori še bolj v prid tezi, da se ob prelomih na Kozjanskem in v njegovem obrobju aktivirajo le manjši deli prelomov z dimenzijami 1 - 1,5 km, v statističnem smislu pa seveda še manjši z linearnimi dimenzijami, ki so manjše od 1 km.

Interpretacija takšnih "razpok" na površini v večini primerov ni možna, zato si z namenom bolj kvantitativnega opredeljevanja geometrijske konfiguracije prelomnic zatečemo k posredniku-magnitudi potresa.

Statistična porazdelitev magnitud, ki so zvečine opredeljene z makroseizmičnimi metodami, je na Kozjanskem naslednja:

Privzeto je področje, ki ga omejujejo koordinate

$46^{\circ} 15' N$ in $15^{\circ} 15' E$ ter $46^{\circ} 15' N$ in $15^{\circ} 45' E$ na severu in $45^{\circ} 57' N$ in $15^{\circ} 15' E$ ter $45^{\circ} 15' N$ in $15^{\circ} 45' E$ na jugu.

To področje zajema 15 kvadrantov po $0,1^{\circ} \times 0,1^{\circ}$ geografske širine in dolžine s površinami po $85,48 \text{ km}^2$, $85,64$ in $85,79 \text{ km}^2$, glede na variacijo geogr. širine. V času od 8. stoletja n.e. do vključno 1976. leta je na površini 1285 km^2 evidentirana naslednja razporeditev potresov po Richterjevih magnitudah m_b in po Pressu določene linearne dimenzije prelomov, ki odgovarjajo posameznim srednjim magnitudnim intervalom:

Tabela 1 Distribucija magnitud potresov na Kozjanskem in njim pripadajoče karakteristične dimenzije prelomov (8. stol.-1976).

| | Število pojavov z magnitudnimi intervali | | | | | |
|--------------|--|---------|---------|---------|---------|---------|
| $\Delta M =$ | 1,0-1,5 | 1,5-2,0 | 2,0-2,5 | 2,5-3,0 | 3,0-3,5 | 3,5-4,0 |
| N= | 12 | 30 | 38 | 15 | 7 | 5 |
| L (km) | ... | ... | | 0,002 | 0,007 | 0,02 |
| $\Delta M =$ | 4,0-4,5 | 4,5-5,0 | 5,0-5,5 | | | |
| N= | 6 | 2 | 2 | | | |
| L(km) | 0,06 | 0,183 | 0,544 | | | |

novi formulo :
Sledeč torej modelu F.Pressa pridemo do presenetljivih zaključkov, po katerih so aktivne seizmogene cone stometrskega ali celo kilometrskega merila le pri potresih nad magnitudami $M=4,5$, dočim so pri manjših magnitudah zanje značilne dimenzije desetimetrov in manj, vse dokler ne pridemo do mikrofraktur, znanih iz geomehanike.

1. Sklep : Primerjava med dimenzijami prelomnih con na Kozjanskem in opazovanimi magnitudami daje, sledeč modelu F.Pressa, podlago za ugotovitev, da je le neznaten del prelomov z majhnimi dimenzijami v tej geološki epohi angažiran pri ustvarjanju potresov. Večina tvorb je umirjenih, dokazuje pa, da so v geološki preteklosti na tem območju obstajali potresni pojavi z velikostnim redom nad $M=7$, podobni tistim, ki jih danes opazujemo v Anatoliji in v Iranu.

2. ELEMENTI SEIZMIČNOSTI

Seizmičnost je podana kot količina v neki časovni enoti na neki določeni površini sproščene potresne energije. Namesto površine lahko vzamemo tudi prostorninsko enoto, če bi natančneje opredelili prostorsko razvrstitev hipocentrov. Primerjava med elementi seizmičnosti posameznih con je značilna mera tektonske aktivnosti in s tem intenzivnosti gorotvornih procesov, ne nazadnje pa tudi podlaga za ocenitev seizmičnega rizika.

Določitev elementov seizmičnosti Kozjanskega je obsegala nekaj pripravljalnih faz :

- a) zbiranje in obdelava zgodovinskega gradiva iz katalogov potresov za ozemlje Slovenije (Ribarič, 1963, 1966, 1970).
- b) obdelava gradiva s časov organiziranih makroseizmičnih in mikrosezizmičnih opazovanj.
- c) Izračuni žariščnih globin, magnitud in energij posameznih potresov in njihova statistična obdelava.

Pri izračunih hipocentriških globin so uporabljane znane makroseizmične metode (Sponheuer, Blake, Šebalin) in opredeljena ter izbrana tista vrednost, ki je najbolje odgovarjala rezultatom z minimumom sipanja ob uporabi različnih metod. V primeru manj natančno določenega polja izoseist je avtor uporabil N.V. Šebali-

ново formulo :

$$I_0 - I_n = 3,6 \cdot \log R_n/h \quad (\text{N.V. Šebalin, 1959})$$

kjer je I_0 intenziteta pojava v epicentru, I_n povzeta intenziteta n-te izoseiste, R_n polmer n-te izoseiste in h globina hipocentra. R_n in h sta izražena v kilometrih.

Za makroseizmično določitev magnitude je uporabljen V. Kárnikov obrazec :

$$M = 0,66 \cdot I_0 + 1,7 \log h - 1,6, \quad (\text{V. Kárnik, 1959})$$

za izračun energije po privzeti formula :

$$\log E = 11,5 + 1,5 \cdot M.$$

Ti odnosi imajo v svetovni literaturi dokaj različne oblike. Vsi do neke mere opredeljujejo velikostne razrede pojavov. Zato je pomembno v tem primeru to, da so v vsem področju vsi pojavi obravnavani na enak način in z uporabo enakega formalnega kriterija.

2.1 Sproščena seizmična energija

Vsota seizmične energije na Kozjanskem od 1.III.1881 do konca leta 1974. znaša

$$E_t = 3,499273 \cdot 10^{19} \text{ erg / leto.}$$

pri tem pa je upoštevanih

$$n = 119 \text{ pojavov}$$

Glede na to, da je obravnavana površina $F=1285 \text{ km}^2$ dobimo za mero seizmičnosti za časovni interval blizu $T=94$ let naslednjo karakteristiko srednje sprostitve seizmične energije v coni Kozjansko, ob uporabi formule :

$$S = \sum_{i=1}^n E_i / \Delta\varphi \cdot \Delta\lambda \cdot \Delta t,$$

oziroma deformacijske sprostitve (strain release) po Benioffu:

$$S_d = \sum_{i=1}^n E_i^{1/2} / \Delta\varphi \cdot \Delta\lambda \cdot \Delta t.$$

Analogni podatki za celotno Slovenijo so naslednji :

$$E_{t,S} = 5,268943 \cdot 10^{22} \text{ erg,}$$

Skupno število upoštevanih pojavov je v primeru ozemlja Slovenije 2544. Upoštevano je 2185 opazovalnih let in površina $F = 20.251 \text{ km}^2$.

Z uvrščanjem vrednosti v prej citirane formule dobimo za

a) Kozjansko (v srednjem) :

$$S = 1,246330 \cdot 10^{13} \text{ erg/km}^2/\text{leto},$$

ob upoštevanju teoretično normirane opazovalne periode 2185 let, ki jo vzamemo za merilo za vso Slovenijo, stvarna opazovalna perioda pa je bila le 94 let.

b) Slovenija (v srednjem) :

$$S_s = 1,190763 \cdot 10^{15} \text{ erg/km}^2/\text{leto}.$$

To pomeni, da je razmerje med srednjo vrednostjo sproščene energije v površini 1 km^2 in enega leta za vso Slovenijo ter isto za Kozjansko, enako kakor 1:95,54.

Če pa primerjamo stvarni opazovalni dobi, to je $T=94$ let za Kozjansko in $T=2185$ let za celotno Slovenijo, razlika ni več tako drastična.

Dobimo za Kozjansko:

$$S = 2,896989 \cdot 10^{14} \text{ erg/km}^2/\text{leto},$$

oziroma glede na celotno Slovenijo le za 4,11 krat manjšo vrednost.

Redukcija na isti opazovalni interval za vso Slovenijo in za Kozjansko bi dala še bolj izenačen rezultat, katerega težino bi podčrtala le pojava ljubljanskega potresa iz 1895. leta, brežiškega iz 1917. leta in nekaterih šibkejših pojavov v preteklih desetletjih.

Toda takšna redukcija bi pomenila novo časovno obdelavo vseh kvadrantov Slovenije, kar ja pa izven okvirjev naše teme.

Strain release po Benioffu, oziroma karakteristika sproščanja deformacij je prav tako merilo tektonske aktivnosti, ki je glede na fizikalno sliko bliže Benioffovi predstavi tektonskih procesov.

Primerjava da:

| Naziv kvadranta | Naziv kraja | Vredn. energije (erg) |
|-----------------|-------------------|--------------------------|
| 133 | Sentjur pri Celju | $1,548439 \cdot 10^{10}$ |
| 181 | Brestanica-Senovo | $1,566599 \cdot 10^{10}$ |

a) : $S_d = 2,1068 \cdot 10^3 \text{ erg}^{1/2} / \text{km}^2 / \text{leto}$, in

b) : $S_{d,s} = 5,1875 \cdot 10^3 \text{ erg}^{1/2} / \text{km}^2 / \text{leto}$ za Slovenijo

kot celoto.

Razmerje med poprečja deformacijskih sprostitvev v Sloveniji kot celoti in Kozjanskem, ponovno kot celoti, je za faktor 2,46 večje v Sloveniji.

Kritično razmatranje zgornjih podatkov daje podlago za določene pripombe. Najprej imamo v Sloveniji cone, ki so blizu aseizmičnim in so torej praktično povsem neaktivne. Drugo, kar je pomembno, da omenimo, je dejstvo, da so cone glavnega sproščanja seizmične energije, oziroma deformacijskih sprostitvev, torej te, ki bistveno vplivajo na izide zgornjih rezultatov, tiste, ki opredeljujejo nivo seizmičnosti.

Zato je pomembneje primerjati cone, ali kvadrante z maksimalnimi vrednostmi sprostitve seizmične energije v Sloveniji in na Kozjanskem.

2.2 Primerjave energetskih maksimumov

Če vzamemo za kriterij maksimumov na Kozjanskem velikostni red sprostitve seizmične energije 10^{19} ergov, opredelimo dve seizmogeni coni, ki sta presegli to vrednost: To sta cona 133 -področja Šentjur pri Celju in cona 181 - Brestanica, Senovo.

Minimum v tem področju z velikostnim redom 10^{14} ergov je najti v conah :

156- jugovzhodno od Laškega,

182- Podsreda in

183- Bizeljsko

Vrednosti sprostitvev seizmične energije v opazovalnem obdobju 94 let so v conah z maksimumu in minimumi definirane tako :

Tabela 2 Maksimalne in minimalne vrednosti sproščene seizmične energije na Kozjanskem

| <u>Naziv kvadranta</u> | <u>Naziv kraja</u> | <u>Vsota energije (erg)</u> |
|------------------------|--------------------|-----------------------------|
| 133 | Šentjur pri Celju | $1,648439 \cdot 10^{19}$ |
| 181 | Brestanica-Senovo | $1,566599 \cdot 10^{19}$ |

| Naziv kvadranta | Naziv kraja | Vsota energije (erg) |
|-----------------|------------------------|--------------------------|
| 156 | jugovzhodno od Laškega | $4,786301 \cdot 10^{14}$ |
| 182 | Podsreda | $8,933672 \cdot 10^{14}$ |
| 183 | Bizeljsko | $6,111321 \cdot 10^{14}$ |

Maksimalni gradient, t.j. razliko med maksimalno sproščeno energijo v nekem kvadrantu Kozjanskega in minimalno energijo v nekem drugem kvadrantu tega območja, najdemo na relaciji med kvadrantoma 133 in 156. Prvi vsebuje tudi epicenter iz 1.1974. Razlika med sproščeno energijo je $\Delta E = 1,648391 \cdot 10^{19}$ ergov.

Če vpeljemo odnos razlike med sproščeno energijo ΔE in razdaljo med centroma kvadrantov, ki teoretično predstavlja neko linearno mero za naš seizmični model, dobimo :

$$\text{grad } S = \Delta E / \Delta L = 1,221 \cdot 10^{18} \text{ erg/km,}$$

kar je nedvomno mera, ki se da korelirati s stopnjo seizmične aktivnosti.

Stvarno beleži U. Premru (1976) prelom iz mlajšega holocena na tem mestu, dočim v coni 156 ni opaziti prelomov, niti v ostalih mlajših tektonskih fazah.

Gradienti S -seizmičnosti, v tem primeru lahko pri definiranih enakih površinah in enakih opazovalnih obdobjih vsote E_j posameznih potresov v določenih kvadrantih opišemo preprosto z E_j torej grad $S_j = E_j - E_k / L_{jk}$ so mere za tektonsko aktivnost, ki jih primerjamo s tistimi z drugih področij Slovenije.

Enostavni računi pokažejo na primer za idrijsko cono vrednosti gradientov grad $S = 10^{21}$ erg/km, podobno pa tudi za centralno gorenjsko seizmogeno cono, kar je 10^3 več kot v maksimumu področja Kozjanskega.

Podatki, ki bi jih dobili na osnovi preciznih nivelmanov v navedenih območjih, bi utegnili korelirati s temi vrednostmi, seveda pa med njimi ne bi veljal linearen odnos.

Drugi pomembni parametri seizmičnosti so grafikoni ponovljivosti seizmičnih dogodkov glede na magnitude in intenzitete pojavov. Funkcionalni odnosi med frekvencami pojavov na Kozjanskem in magnitudnimi razredi obeh veličin M in I_0 so podani v naslednjih tabelah:

Tabela 3 Frekvenca izglajenih vrednosti intenzitet I_0 MCS za Kozjansko (kvadranti 132-183, T=94 let), 14 kvadrantov

| Intenzitete I_0 (MCS) | $(I)^\circ$ | | | | | | |
|----------------------------|-------------|----|----|---|---|---|---|
| | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| $N_{(I)}$ | 46 | 42 | 17 | 7 | 7 | 1 | 0 |

Za funkcionalni odnos tipa:

$$\log (N_{(I)}/T) = a - b \cdot I_0 \text{ dobimo naslednjo}$$

empirično enačbo, ki ima svoje fizikalne omejitve pri $I = 3^\circ$ MCS zaradi dvomljivosti zapažanja pri šibkejših pojavih in med 6-7 $^\circ$, kjer je ob danih okoliščinah včasih bilo težko opredeliti, če je pojav še 6 $^\circ$ MCS ali že 7 $^\circ$ MCS (kvaliteta objektov, slaba naseljenost in pd.).

Enačba glasi :

$$\log (N_{(I)}/T) = 0,88764 - 0,31528 \cdot I_0$$

in ima koeficient korelacije podatkov:

$$r = - 0,9517.$$

Za grafikon ponovljivosti uporabimo pogosteje rabljen odnos:

$$\log (N_{(M)}/T) = A - B \cdot M$$

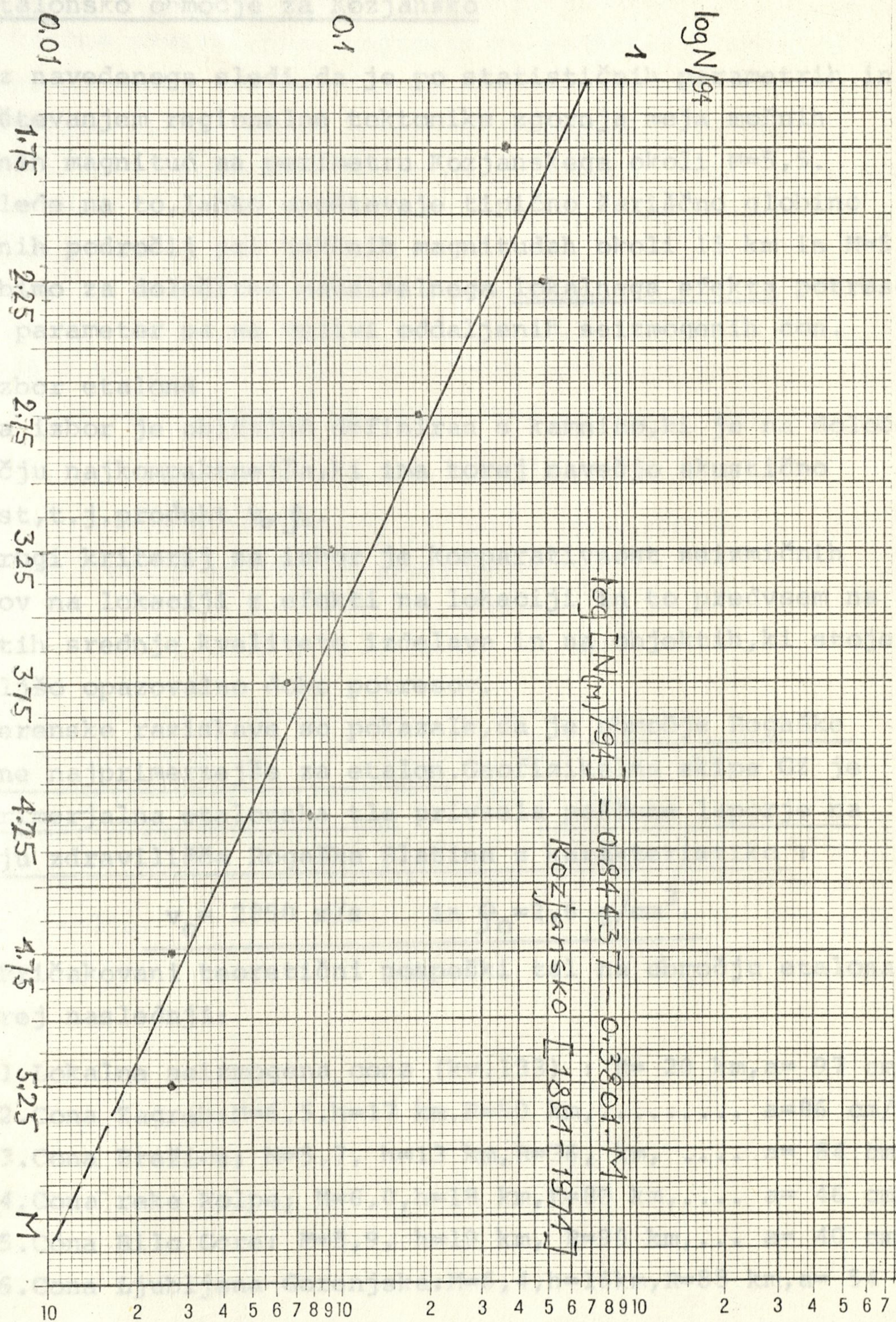
in za podatke o magnitudah s podobno razporeditvijo, kot pri tabeli 3 najdemo, upoštevaje magnitudne reprezentativne vrednosti $M=2,25, 2,75, 3,25$ itd. do $M=4,75$ in $5,25$:

$$\log (N_{(M)}/T) = 0,84437 - 0,3801 \cdot M$$

pri čemer je koeficient korelacije enak :

$$r = - 0,9597.$$

Pri obeh odnosih, ki sta seveda medsebojno povezana z vrednostmi hipocentričnih globin, je korelacijska zveza zelo dobra in, kar je razumljivo, negativna.



$a = 1000 e^{0.5 \cdot M} / (R + 25)^{1.32}$ (Donovan)

3. Etalonsko območje za Kozjansko

Iz navedenega sledi, da je po statističnih parametrih in z upoštevanjem regionalne tektonike zgornja meja možnih lokalnih magnitud na perimetru Kozjanskega okoli $M=5,5$.

Glede na to, lahko upošteva je tipično žariščno globino izvornih področij pri takšnih magnitudah okoli 15 km in $M=5,5$ uporabimo za določitev maksimalnega lokalnega efekta potresov, drugi parameter pa so vplivi oddaljenih seizmogenih con.

3.1 Izbor etalona

Ta izbor je običajno definiran s kamnino, ki je na določenem področju najkompaktnejša, ki ima torej največjo akustično trdnost, t.j. produkt $v_0 \cdot \rho_0$.

Drugi kriterij za izbor je komparativnost seizmičnih vplivov na lokaciji z efekti na lokaciji in to predvsem na objektih srednje kvalitete izdelave in na objektih, ki stoje že daljšo opazovalno dobo potresov.

Terenske raziskave so pokazale, da je območje Rogaške Slatine najprimernejše za etalon. Geofizikalna ekipa GZ je kot primerjalna etalonska tla privzela peščene laporje na območju zdravilišča Rogaška Slatina z karakteristiko :

$$v_0 = 2850 \text{ m/s} \quad \text{in} \quad \rho_0 = 2,6 \text{ g/cm}^3.$$

Pričakovani teoretični pospeški tal na območju etalona so torej naslednji:

1. Lokalna seizmogeni cona (kv.133) : $R=20 \text{ km}, a=97 \text{ cm/s}^2$
2. Cona Zagreb: $M=6,5, h=17 \text{ km}, R=50 \text{ km}, \dots a=86 \text{ cm/s}^2$
3. Cona Brežice; $M=5,7, h=13 \text{ km}, R=36, \text{ km}, \dots a=84 \text{ cm/s}^2$
4. Cona reke Kolpe; $M=6,0, h=18 \text{ km}, R=80 \text{ km}, \dots a=46 \text{ cm/s}^2$
5. Cona Bilo Gore: $M=5,9, h=19 \text{ km}, R=90 \text{ km}, \dots a=40 \text{ cm/s}^2$
6. Cona Ljubljana-Gorenjska: $M=6,4, h=16 \text{ km}, R=88 \text{ km}, a=54 \text{ cm/s}^2$

Zgornji teoretični pospeški za etalonska tla v Rogaški Slatini, ki so podrobneje opisana v Geofizikalnih raziskavah (II.faza), so pridobljeni na osnovi obrazca :

$$a = 1080 e^{0,5 \cdot M} / (R+25)^{1,32} \quad (\text{Donovan}),$$

ki velja za osnovno steno ž 6 m prekritja srednjih tal, to pa je približno ekvivalentno razpokanemu peščenemu laporju. Navedeni pospeški tal na etalonu Rogaška Slatina dobro opisujejo stvarno situacijo, po kateri v dvestoletni zgodovini zdraviliških in sosednjih objektov na območju tega kraja nikoli niso zabeležili efektov potresov, ki bi na tleh, podobnih etalonskim presegali jakost

$$I = 5,2-5,5^{\circ} \text{ MCS.}$$

Teoretični nivo za izračun pozitivnih vrednosti prirastov n_1 in n_2 glede na etalonska tla ima torej računsko osnovo

$$I_{\text{et}} = 5,35^{\circ} \text{ MCS,}$$

na katero je treba prištevati priraste intenzitete na vseh lokacijah z nižjo akustično impendanco.

4. Sklep

Z geofizikalno in specifično seizmološko situacijo so podani osnovni elementi za potresno mikrorajonizacijo področja Kozjanskega in dane izhodiščne vrednosti za podrobnejšo študijo seizmičnosti, geofizike terena ter inženirske seizmologije s ciljem seizmično varne gradnje na tem delu našega ozemlja.

Literatura

- 1) Arsovski M., Feigel M.: Neotektonika SR Slovenije, Izvještaj OIS 73-2, IZIIS, Skopje, 1973.
- 2) Grad K., Pleničar M.: Študija splošnih regionalnih geoloških značilnosti s posebnim ozirom na slovenska potresna območja, (Rokopis), Ljubljana, 1963.
- 3) Karnik V.: Seismicity of European Area, Pt. I, II, Praha, 1968-71.
- 4) Liebermann R.c., Pomeroy P.W.: Source dimensions of small earthquakes as determined from the size of the aftershock zone, B.S.S.A., 3, 60, 1970.
- 5) Premru U., Basch O., Šikić K.: Geologija širše okolice Krškega, Študija za NE Krško, Arh. Geol. Zavoda, Ljubljana, 1972.
- 6) Premru U.: Neotektonika vzhodne Slovenije, Geologija, Razprave, Poročila, 1976, Ljubljana, 1976.
- 7) Press F.: Dimensions of the source region for small shallow earthquakes, VESIAC Rep. 7885-X, 1967.
- 8) Ribarič V.: Študija seizmičnosti ozemlja SR Slovenije s posebnim ozirom na dinamične vplive potresov na gradbene objekte. I, II, III. del (rokopis), Ljubljana, 1963, 1966, 1970.
- 9) Šebalin N.V.: Opređenje glubiny očaga po makrosejsmičeskim dannym s učetom vlijanija sloja ponižennoj skorosti, Trudy IFT No. 5 (172), Moskva, 1959.
- 10) Savarenskij E.F.-Gubin N.E.-Harin D.A.: (red.): Zemljetrjasenija SSSR, AN SSSR, Sovet po sejsmologii, Moskva, 1961.
- 11) Tocher D.: Earthquake energy and ground breakage, B.S.S.A, 48, 1958.

Podatki o seizmičnih elementih so črpani iz datoteke AGO, arhiva BCIS, CSEM, USCGS in iz razpoložljivih materialov Geofiz. zavoda v Zagrebu ter Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik na Dunaju.

Intenzitete lo v MCS skali

- 5,0-5,4 ○
- 5,5-5,9 ⊙
- 6,0-6,4 ⊖
- 6,5-6,9 ⊕
- 7,0-7,4 ⊕
- 7,5-7,9 ⊕
- 8,0-8,4 ⊕
- 8,5-8,9 ⊕
- 9,0-9,4 ⊕
- 9,5-10,0 ⊕



Map showing various locations and regions in Slovenia, including: RAYNE, STOVENJ GRAD, VELENJE, TRBOVLJE, HRASNIK, ZAGORJE, SLOVENSKE KONJICE, BOČ, SLOVENSKA BISTRICA, PRAGERSKO, KIDRIČEVO, POUČANE, POLJČANE, CEČE, REČICA, LAŠKO, SENOVOLJE, KRB, KRŠKA, ZAGREB, SAMOBOR, RUDE, STUPNIK, ZAGREB.

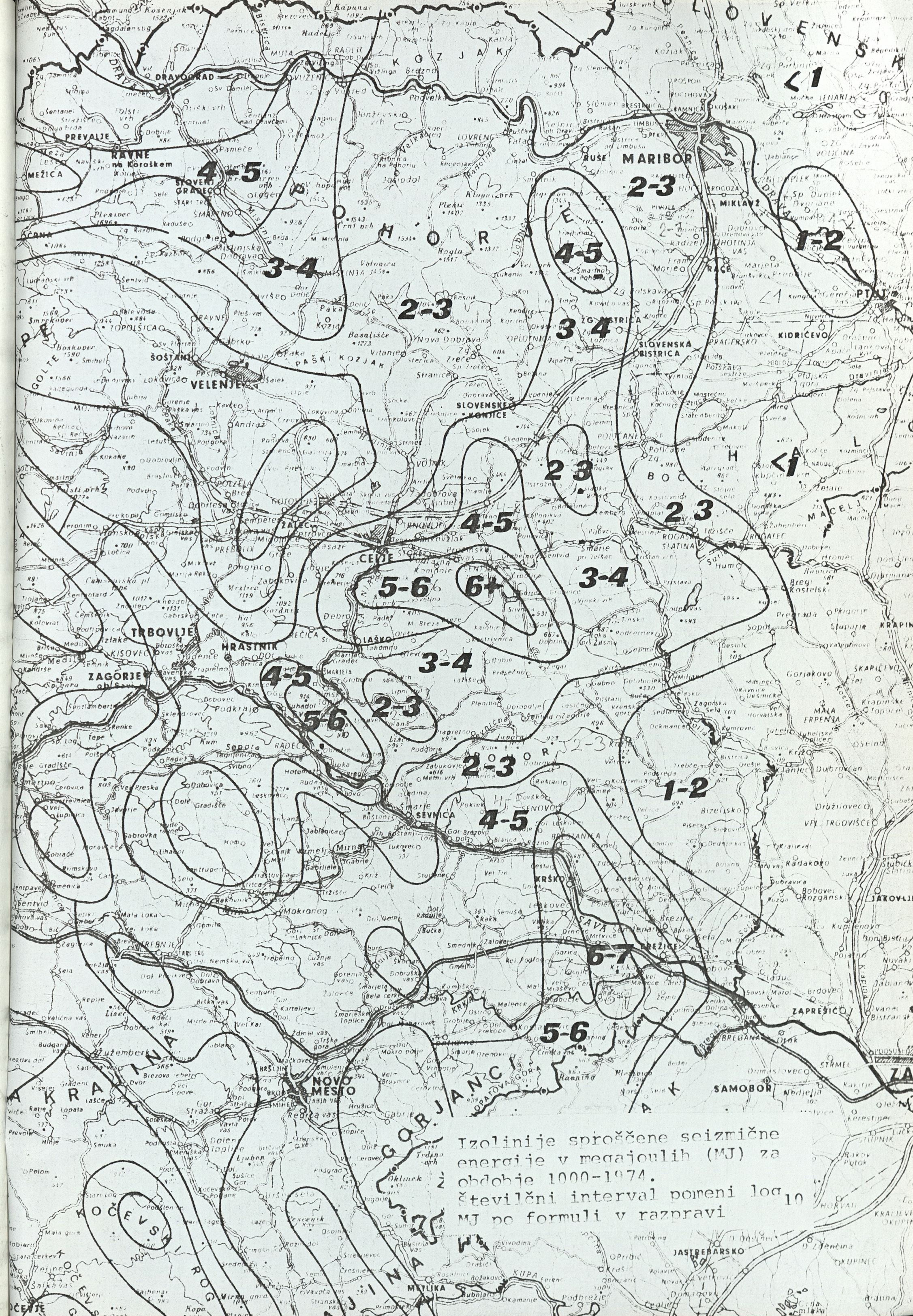
Map showing various locations and regions in Slovenia, including: KAPUNAR, K O Z J A K I, H O R D O L E, SLOVENSKE KONJICE, BOČ, SLOVENSKA BISTRICA, PRAGERSKO, KIDRIČEVO, POUČANE, POLJČANE, CEČE, REČICA, LAŠKO, SENOVOLJE, KRB, KRŠKA, ZAGREB, SAMOBOR, RUDE, STUPNIK, ZAGREB.



(M)

- 3.0-3.4 5.0-5.4 ⊕
- ⊙ 3.5-3.9 5.5-5.9 ⊖
- ⊖ 4.0-4.4 6.0-6.4 ⊖
- ⊕ 4.5-4.9 6.5-6.9 ●
- 7.0-7.4 ⊕

132 133 134 135 136
156 157 158 159
179 180 181 182 183



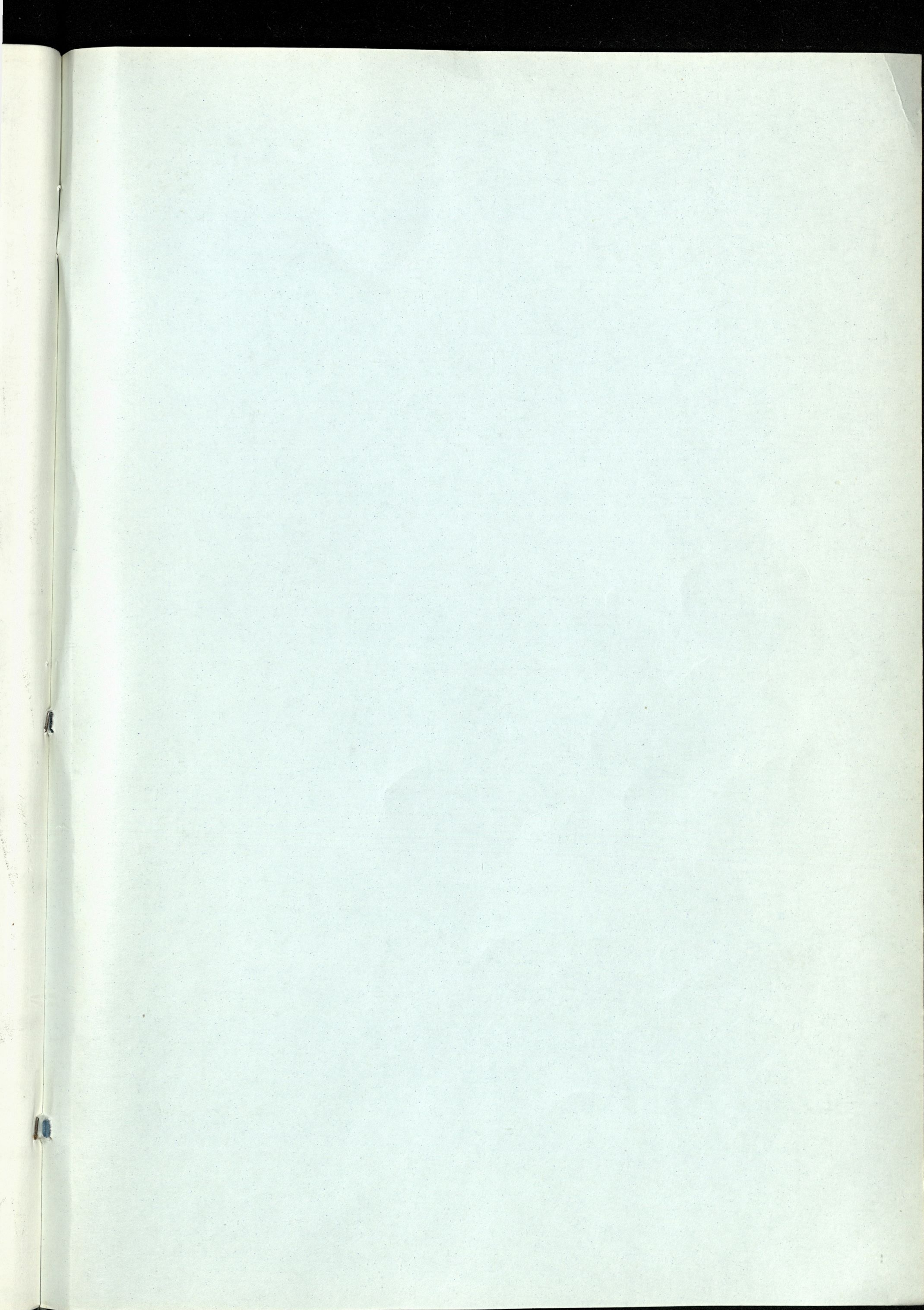
Izolnije sproščene seizmične energije v megajoulih (MJ) za obdobje 1000-1974. številčni interval pomeni \log_{10} MJ po formuli v razpravi

COBISS 2042200

NARODNA IN UNIVERZITETNA
KNJIŽNICA



00000430094



UNIVERSITY OF TORONTO
LIBRARY

LUBRANA 1977