

PALEOSEIZMOLOGIJA – IZZIV PRI OCENJEVANJU POTRESNE NEVARNOSTI V SLOVENIJI

Paleoseismology - a Challenge for Earthquake Hazard Assessment in Slovenia

Andrej Gosar* UDK 550.34:551.24(497.4)

Povzetek Abstract

Paleoseizmologija proučuje indikacije močnejših potresov v preteklosti, ki niso bili zabeleženi instrumentalno ali pisno v zgodovinskih virih, temveč so njihovi sledovi ohranjeni ob aktivnih prelomih ali v mehkih sedimentih, ki so ob potresu utrpeli likvefakcijo ali močno deformacijo. Kataloge potresov lahko dopolnimo s paleoseizmološkimi podatki za časovni razpon do 10.000 let nazaj, kar je zelo pomembno za ocenjevanje potresne nevarnosti. Paleoseizmološke študije obsegajo geološke, geomorfološke, geofizikalne in geodetske raziskave kvartarnih sedimentov ter raziskovalne izkope. Opisan je primer uspešnih paleoseizmoloških raziskav v Bolgariji in podani so predlogi za tovrstne raziskave v Sloveniji.

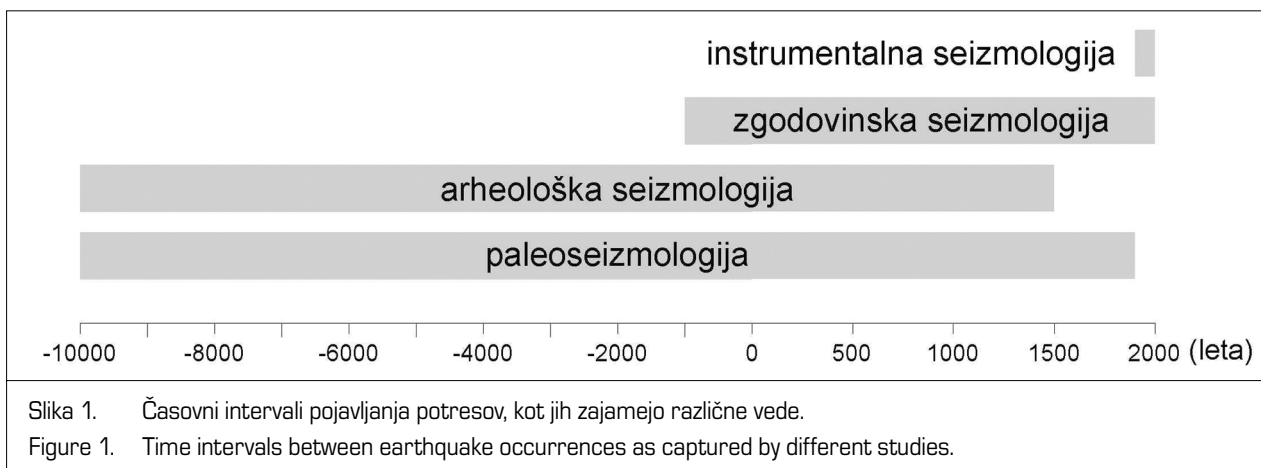
Paleoseismology studies indications of strong earthquakes which happened in the past but were not recorded instrumentally or in historical records but are preserved in the vicinity of active faults or in soft sediments that underwent liquefaction or some kind of strong deformation during the earthquakes. It is very important for seismic hazard assessment studies to complete earthquake catalogues with paleoseismological data as far back as 10,000 years ago. Paleoseismological studies comprise geological, geomorphological, geophysical and geodetic investigations of sediments from the Quaternary period and exploration trenching. An example of a successful paleoseismological investigation in Bulgaria is described and a proposal for such investigations in Slovenia is presented.

Uvod

Eden glavnih vhodnih podatkov pri ocenjevanju potresne nevarnosti, ne glede na to, ali gre za izdelavo kart različnih parametrov na državni in širši ravni ali za specifične študije lokacij posebnih objektov, kot so visoke pregrade ali jedrske elektrarne, je katalog potresov, v katerem so zbrani podatki o magnitudi, intenziteti, lokaciji nadžarišč in globini žarišč vseh znanih potresov v preteklosti. Pretekla seizmičnost je torej poleg strukturno-geoloških oz. tektonskih podatkov osnova za predvidevanje, kako močan potres lahko z določeno verjetnostjo prizadene neko območje v izbranem časovnem intervalu oz. kakšna je njegova povratna doba. Tak pristop, ki ni edini, je pa najbolj razširjen, imenujemo verjetnostno ocenjevanje potresne nevarnosti. Vendar je tudi pri drugih metodah (npr. determinističnih) pretekla potresna dejavnost oz. vsaj najmočnejši znan potres v preteklosti ključen vhodni podatek.

Naše poznavanje pretekle potresne dejavnosti pa se s povečevanjem časovne odmaknjenosti zelo spreminja. Zavedati se namreč moramo, da seizmologi instrumentalno (s seizmografij) spremljamo potresno dejavnost šele dobrih 100 let. Pri tem v Sloveniji celo prednjačimo, saj je bila po velikem ljubljanskem potresu leta 1895 postavljena v Ljubljani leta 1897 prva potresna opazovalnica v takratni avstro-ogrski monarhiji in ena prvih v Evropi. Vse naše védenje o potresih pred koncem 19. stoletja temelji torej le na različnih virih, ki opisujejo učinke oz. posledice teh potresov. To so predvsem pisni viri, s proučevanjem katerih se ukvarja zgodovinska seizmologija, učinki močnih potresov pa so vidni tudi v arheoloških ostalinah. Pisni viri so seveda najbolj zanesljivi v nekaj zadnjih stoletjih, sicer pa segajo v obdobje do nekaj stoletij pred našim štetjem (slika 1). Arheološki viri dopolnjujejo pisne vire predvsem v prvem tisočletju n. št., omogočajo pa pogled še do deset tisočletij pred n. št., vendar se zanesljivost, da bomo z njimi odkrili vse močnejše potrese na nekem območju ali vsaj najmočnejšega, s časovno odmaknjenostjo vse bolj zmanjšuje. Zanesljivost omenjenih virov za obdobje pred več kot 2000 leti je tako premajhna, s stališča ocenjevanja potresne nevarnosti pa je to obdobje tudi prekratko.

* doc. dr., Ministrstvo za okolje, prostor in energijo, Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo in geologijo, Dunajska 47, Ljubljana, Andrej.Gosar@gov.si



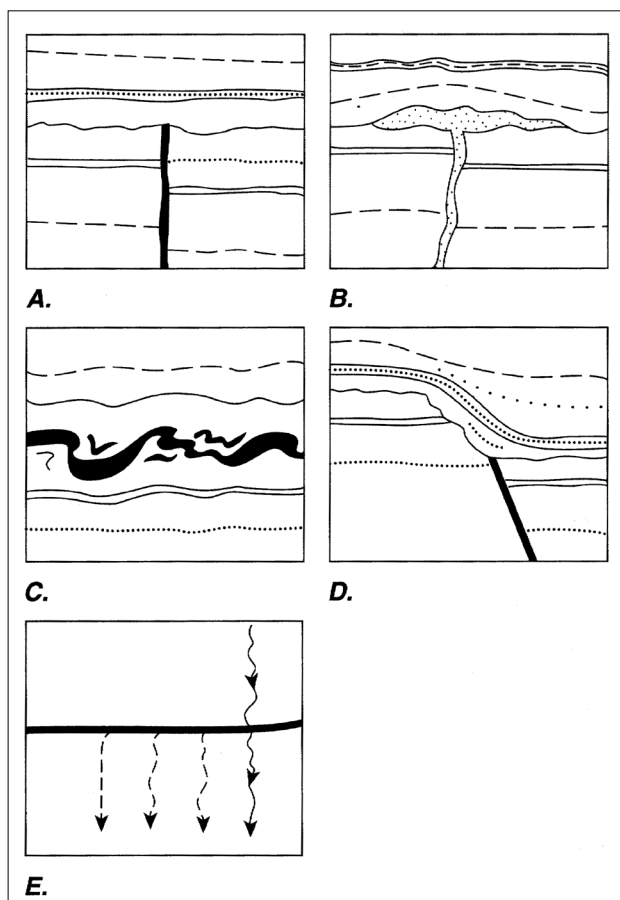
Na podlagi učinkov nekaterih najmočnejših potresov v 20. stoletju, ki so povzročili večdesetkilometrsko pretrge ob prelomih in preoblikovali pokrajino z večmetrskimi "stopnicami" v reliefu, z obsežnimi skalnimi podori in zemeljskimi plazovi ter z zamikom vodotokov, so raziskovalci spoznali, da morajo biti tudi učinki najmočnejših potresov iz predzgodovinskega obdobja ohranjeni v najmlajših geoloških plasteh in vidni s podrobnimi raziskavami. Tako se je rodila posebna veja seizmologije, imenovana paleoseizmologija, ki je v zadnjih dveh desetletjih doživela velik razvoj [Yeats in sod., 1997]. Danes si resnejših študij potresne nevarnosti na območjih z aktivno tektoniko ne moremo več zamisliti brez uporabe paleoseizmoloških raziskav. Z njimi lahko v primernih pogojih razširimo naše védenje o potresni dejavnosti, povezani z določenim prelomom, na celoten holocen (10.000 let), včasih pa še dlje v pleistocen, odvisno od starosti sedimentov in možnosti njihovega datiranja. Za ocenjevanje potresne nevarnosti je sicer zanimivo celotno tektonsko dogajanje v najmlajšem geološkem obdobju kvartarju (1,8 milijonov let). Z izrazom aktivna tektonika namreč navadno označujemo deformacije ob prelomih, ki so bili aktivni v kvartarju [Keller in Pinter, 1996]. Študij teh deformacij je sicer pomemben predvsem za oceno povprečnih premikov ob prelomih v daljšem obdobju, ne pa toliko za identifikacijo posameznih potresov v holocenu, kar pa je naloga paleoseizmologije.

Paleoseizmični indikatorji

Tektonski premiki ob prelomih se odražajo z zmikom številnih geomorfoloških pojavov, kot so vodotoki, terase rečnih sedimentov, morene, obalne črte, oblike pobočne erozije in podobno. Zmike ob aktivnih prelomih, ki so lahko seizmični (spremljajo jih potresi) ali aseizmični, lahko najbolje opazujemo v posebnih raziskovalnih jarkih [trenching], izkopanih prečno na potek takega preloma [McCalpin, 1996]. Nekateri indikatorji, ki kažejo na preteklo seizmičnost, so prikazani na sliki 2 [Moors in Twiss, 1995]:

- A. Prelom seka starejše plasti, kasneje odloženi mlajši sedimenti pa so nedeformirani. Z datiranjem deformiranih in nedeformiranih plasti lahko določimo najmlajši čas, v katerem je bilo prelamljanje še aktivno.

- B. "Izbruhi peska" ali vtisnjene leče peska so posledica utekočinjenja (likvefakcije) peska, do katerega lahko pride pri visokih intenzitetah med zelo močnimi potresi. Prekriti so z mlajšimi nedeformiranimi sedimenti.
- C. Nepravilna nagubanost mlajših jezerskih ali morskih sedimentov. Do nje pride, če so nekonsolidirani in z vodo zasičeni sedimenti na jezerskem ali morskem dnu podvrženi močnemu nihanju ob potresu. Z datiranjem deformiranih in nedeformiranih sedimentov lahko časovno omejimo pojav potresa.
- D. Prelom povzroči skok v topografiji površja, ki je kasneje erodiran ali prekrit z mlajšimi sedimenti.



Slika 2. Paleoseizmični indikatorji. Razlaga v besedilu [Moore & Twiss, 1995]

Figure 2. Paleoseismic indicators. Explanation in the text.

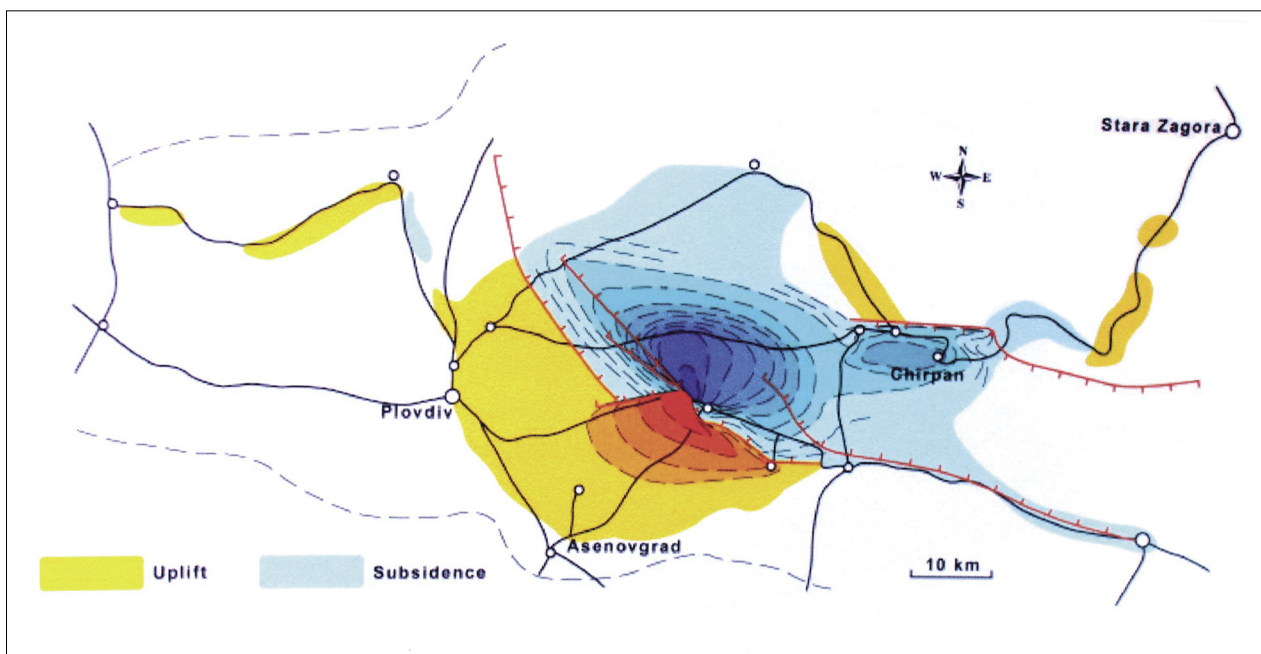
E. Vodoravni premik obeh kril preloma lahko povzroči zmik vodotoka ali ob več zaporednih premikih nastanek več vzporednih vodotokov.

Indikatorje, ki so posledica močnega nihanja tal ob potresu (B in C) in ne samega pretrga ob prelomu, imenujemo tudi

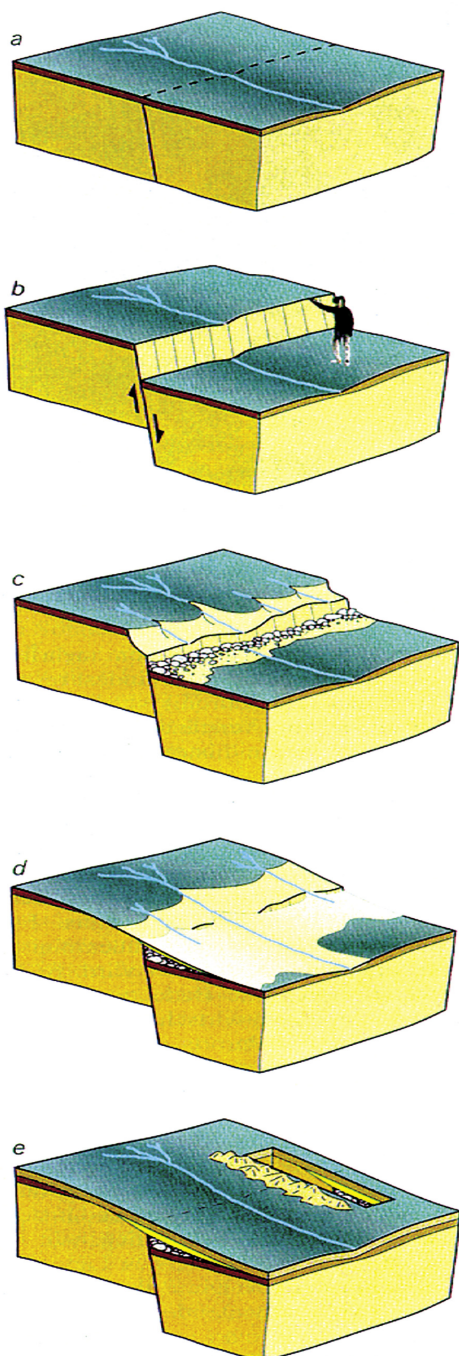
seizmiti. Paleoseizmološki indikatorji samega pretrga so odvisni od vrste preloma, ki jo opredeljuje smer premika obeh prelomnih blokov ali kril glede na nagnjeno prelomno ploskev. Pri normalnem prelomu (slika 3) je zgornji blok relativno spuščen glede na spodnji blok, pri reverznem prelomu pa je zgornji blok narinjen na spodnjega. Pri



Slika 3. Primer normalnega preloma. Pogreznjeno je zgornje (na sliki levo) krilo preloma. (foto: A. Gosar)
Figure 3. Example of a normal fault. The upper part (on the left) has dropped down.



Slika 4. Potres leta 1928 pri Popovici v Bolgariji z magnitudo 6,8 je nastal s pogreznitvijo ob dveh močnejših normalnih prelomih. Območje med njima se je pogreznilo do 3 m globoko (po Richterju, 1958).
Figure 4. An earthquake in 1928 near Popovica in Bulgaria with a magnitude of 6.8 resulted in a drop related to two stronger normal faults. The area in between has dropped around 3 meters.



Slika 5. Preoblikovanje površja ob prelomu: a) ravno površje s potekom preloma pred potresom, b) potres povzroči navpični premik ob normalnem prelomu, c) erozija počasi izravnava stopnico v površju, d) na površje se prično odlagati mlajši sedimenti, e) prelom je na površju viden le še kot rahel pregib, z raziskovalnim razkopom ga ponovno odkrijemo za pregled (Herve in Karakhanin, 2000).

Figure 5. Evolution of the surface at a fault location: a) flat surface with a trace of the fault before the earthquake, b) the earthquake caused a vertical split at the normal fault, c) erosion starts degrading the step, d) newer sediments are deposited at the surface, e) the fault is represented on the surface only as a gentle fold but with digging can again be exposed for inspection.

zmičnih prelomih drsita oba bloka drug ob drugem v vodoravni smeri. Seveda poznamo v naravi tudi vse kombinacije teh treh osnovnih vrst prelomov.

Seveda lahko drugo vrsto indikatorjev (A, D in E) ugotavljamo le za potrese, ki so povzročili površinski pretrg. To pa je odvisno od moči potresa, globine žarišča in vrste preloma. V pogojih, ko je globina žarišč potresov večinoma manjša od 20 km, kot je tudi pri nas, lahko pričakujemo površinski pretrg pri potresih magnitude od 6,0 do 6,5 in več. Pri mejni moči potresov je seveda bolj verjetno, da bo površinski pretrg viden pri prelomih z navpičnim zmikom (normalni in reverzni prelomi) kot pri prelomih z vodoravnim zmikom (zmični prelomi). Potres 12. aprila 1998 v Krnskem pogorju z magnitudo $M_W = 5,6$ je nastal na primer ob zmičnem prelomu z žariščem v globini 7,6 km in po rezultatih do sedaj opravljenih raziskav ni povzročil površinskega pretrga. Nasprotno pa so trije potresi med 26. septembrom in 14. oktobrom 1997 v Umbriji z magnitudami med $M_W = 5,5$ in $M_W = 5,9$ in žarišči v globini okoli 10 km, ki so nastali ob normalnem prelomu, povzročili površinski pretrg. Pretrg se je sicer pojavil šele po zadnjem potresu, ki niti ni bil najmočnejši. Zato gre najbolj verjetno za kumulativni učinek treh potresov. Pretrgi ob največjih zmičnih prelomih, kot sta Severnoanatolski prelom v Turčiji in prelom Sv. Andreja v Kaliforniji, dosegajo več metrov. Rušilni potres 17. avgusta 1999 pri Izmitu v Turčiji z magnitudo $M_W = 7,4$ je ob pretrgu povzročil do 5,1-metrski vodoravni in 2,3-metrski vertikalni premik.

Paleoseizmološke metode raziskav

Kot že omenjeno, lahko paleoseizmološke indikatorje najlažje proučujemo v posebej za to izkopanih raziskovalnih jarkih ali izkopih, ki so nekaj metrov globoki, 2 do 3 metre široki in nekaj deset metrov dolgi. Izkop takega jarka je seveda precej drag, zato je pred tem treba opraviti različne raziskave, da določimo zanj najustreznejšo lokacijo (Hanson in sod., 1999).

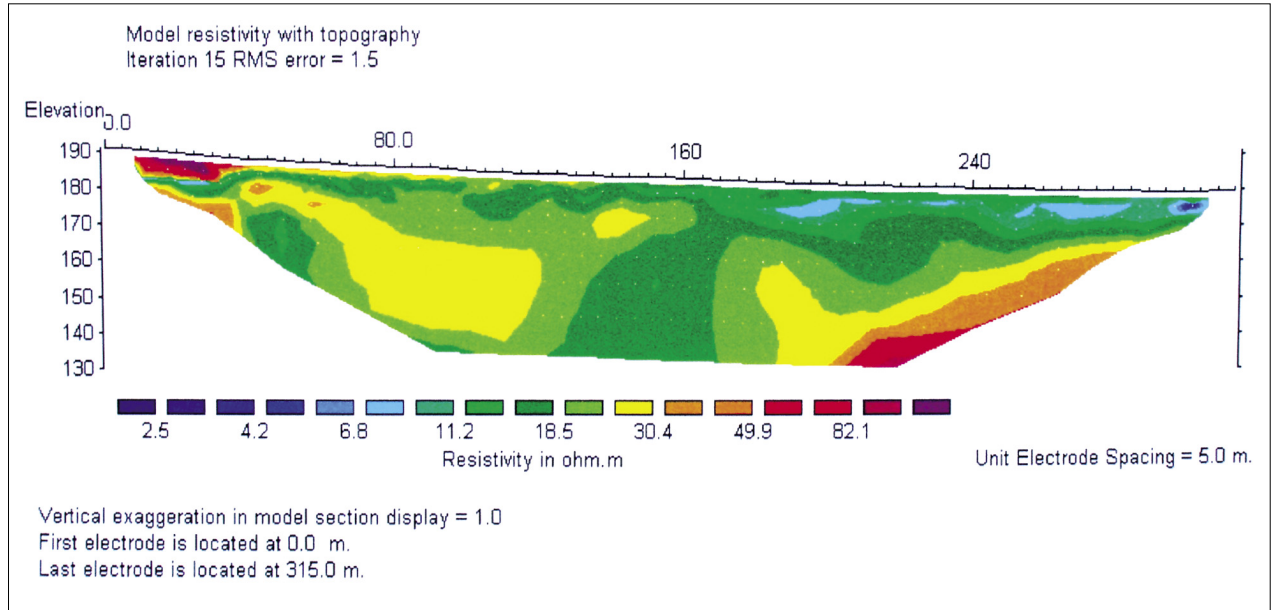
Z geomorfološkimi analizami površja lahko ugotovimo lineamente, ki so posledica aktivne tektonike, kot so prevoji v topografiji, nepravilnosti v naklonu pobočij, zmiki vodotokov, erozijski pojavi, paleoplazovi in podobno. Pri tem poleg geomorfološkega terenskega kartiranja uporabljamo še analize satelitskih in aeroposnetkov, natančnih topografskih kart in natančnih digitalnih modelov višin. Moderne računalniške tehnike obdelave ter vizualizacije digitalnih podatkov in rastrskih slik so pri tem analizatorju v veliko pomoč (Burbank in Andreson, 2001).

Geofizikalne raziskave so nepogrešljive v paleoseizmologiji, saj omogočajo pogled pod površje tal brez vrtnanja ali razkopov. Na območjih, prekritih s kvartarnimi sedimenti, lahko namreč s površinskim geološkim kartiranjem navadno zberemo le malo podatkov. Geofizikalne

raziskave se izvajajo navadno vzdolž ravnih linij (profilov), včasih pa tudi na večji površini v mreži točk. Primer slednjih je geoelektrično sondiranje, ki se uporablja za izdelavo kart debelin posameznih litoloških členov. Ker gre za raziskave v majhni globini, z zahtevo po veliki ločljivosti podatkov, se uporabljajo predvsem visokoločljive različice metod. Vzdolž izbranih profilov prek domnev-

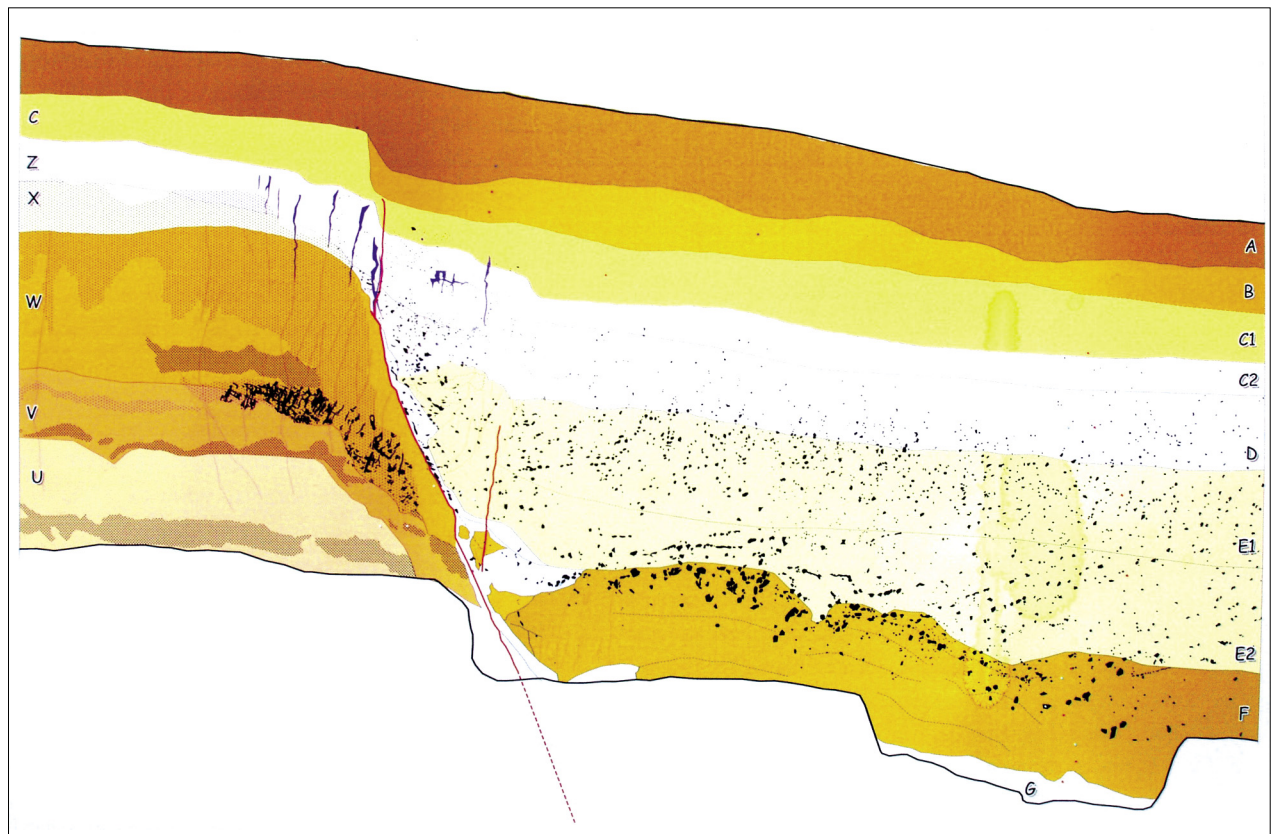
nega poteka preloma izvajamo raziskave z naslednjimi metodami:

- refleksijska seizmika,
- refrakcijska seizmika,
- zvezno električno upornostno profiliranje ali električna tomografija (slika 6),
- georadar (ground penetrating radar – GPR).



Slika 6. Profil električne tomografije prek preloma pri Čirpanu v Bolgariji (Shanov, 2003)

Figure 6. Electrical tomographic profile of a cross section of the fault near Čirpan in Bulgaria.



Slika 7. Geološka interpretacija plasti, razkritih v steni razkopa prek preloma pri Čirpanu (Shanov, 2003)

Figure 7. Geological interpretation of the layers exposed in the trench wall in a cross section of the fault at Čirpan.

Različne geofizikalne metode se med seboj dopolnjujejo tako glede občutljivosti za različne fizikalne parametre kamnin kakor tudi glede globinskega dosega. Tipičen primer slednjega je kombinacija visokoločljive refleksijske seizmike z nekoliko večjim globinskim dosegom (od nekaj metrov do več sto metrov) in georadarja z globinskim dosegom, ki je navadno manjši od 15 m. Prednost električnih upornostnih metod je, kljub njihovi nekoliko manjši ločljivosti, možnost boljše litološke karakterizacije kamnin in prelomne cone. Včasih dobimo koristne podatke tudi z meritvami magnetne susceptibilnosti vzorcev kvartarnih sedimentov.

Geološko kartiranje kvartarnih sedimentov in pedološke analize tal so osnovna metoda vsakih paleoseizmoloških raziskav. Z analizo različnih stratigrafskih in pedoloških sekvenc morajo te raziskave odgovoriti na ključna vprašanja, katere strukture so lahko tektonsko pogojene, katere pa so posledica sedimentacije ali erozijskega delovanja. Nujno morajo vključevati datiranje (analize peloda, termoluminiscenca, radioaktivni ogljik – ^{14}C in druge metode) sedimentov v ključnih plasteh, ker nam to omogoča oceno starosti deformacij. Pri teh raziskavah si pomagamo s plitvimi vrtnami ali manjšimi razkopi, da lahko vzorčimo tudi sedimente, ki na površini niso vidni.

Geodetske meritve se uporabljajo predvsem kot precizno niveliranje za karakterizacijo prevojev v površju, ki z geomorfološkiimi metodami niso dovolj natančno vidni. Z nizom vzporednih topografskih profilov prek območja preloma lahko ugotovimo morebitne spremembe v zmiku obeh prelomnih kril. Meritve samih premikov na površju s ponavljanjem geodetskih (predvsem GPS) meritev v obdobju več let so za samo paleoseizmologijo sicer sekundarnega pomena, vendar lahko koristna dopolnitev pri opredeljevanju aktivne tektonike. Na sliki 4 je prikazana karta geodetsko izmerjenih premikov, ki so nastali ob potresu z magnitudo 6,8 leta 1928 pri Popovici v Bolgariji. Ob dveh do 60 km dolgih normalnih prelomih se je vmesni blok relativno pogreznil do 3 metre globoko (Richter, 1958).

Paleoseizmološki raziskovalni jarek ali izkop predstavlja vrhunec raziskovalnega dela in potrditev ali zavrnitev rezultatov predhodnih raziskav in hipotez. Za njegovo uspešnost mora biti izpolnjenih nekaj kriterijev. Izkop mora biti izdelan na območju, kjer bomo lahko v obeh krilih preloma opazovali iste plasti. Lokacije, kjer določene plasti zaradi premikov in erozije manjkajo, torej niso primerne. Bistveno boljše rezultate lahko pričakujemo, če v plasteh prevladuje glinena komponenta, kot na območjih, kjer sta prod in pesek. Pri slednjih so prelomne deformacije navadno slabše vidne, problematična pa je tudi stabilnost sten izkopa. Če je nivo talne vode višje, kot je predvidena globina izkopa, je njegovo odvodnjavanje lahko zelo problematično, dodaten problem pa je tudi izpiranje sedimentov v steni jarka. Raziskovalni jarek se izdelava strojno in je 2 do 3 metre širok, do 5 metrov globok, dolžina pa je odvisna od širine prelomne cone in spremljevalnih prelomov in

je navadno nekaj deset metrov. Stene izkopa se glede na stabilnost sedimentov ustrezno utrdijo in opremijo z merilno mrežo. Sledi podroben geološki popis obeh sten, izdelava natančnih geoloških profilov, fotogrametrično snemanje in jemanje vzorcev za različne analize in datiranje (Grant, 2002). Ker se jarek po končanem delu seveda zasuje, je treba čim natančneje dokumentirati vse, kar bi pri nadaljnjih analizah lahko koristilo. Dobro je, če pri delu sodeluje čim več različnih strokovnjakov s področja paleoseizmologije, ker so včasih možne tudi različne interpretacije vidnega.

Primer paleoseizmološke študije

Na sliki 5 je shematsko prikazana geološka zgodovina preoblikovanja površja ob aktivnem normalnem prelomu. Preden je prišlo do potresa, je bilo površje ravno (a). Močnejši potres je povzročil pretrg površja in navpični premik obeh prelomnih blokov (b). Nato je erozija pričela izravnovati stopnico v površju (c), odlagati pa se pričnejo tudi mlajši sedimenti (d). Na koncu je na površju le še rahel pregib v topografiji, za katerega pa brez raziskav ne moremo vedeti ali je tektonskega, sedimentacijskega ali erozijskega izvora (e). Šele s paleoseizmološkim izkopom lahko prelom zopet razkrijemo, kar omogoča analizo preteklih deformacij in zmikov, ki kažejo na močnejše potrese.

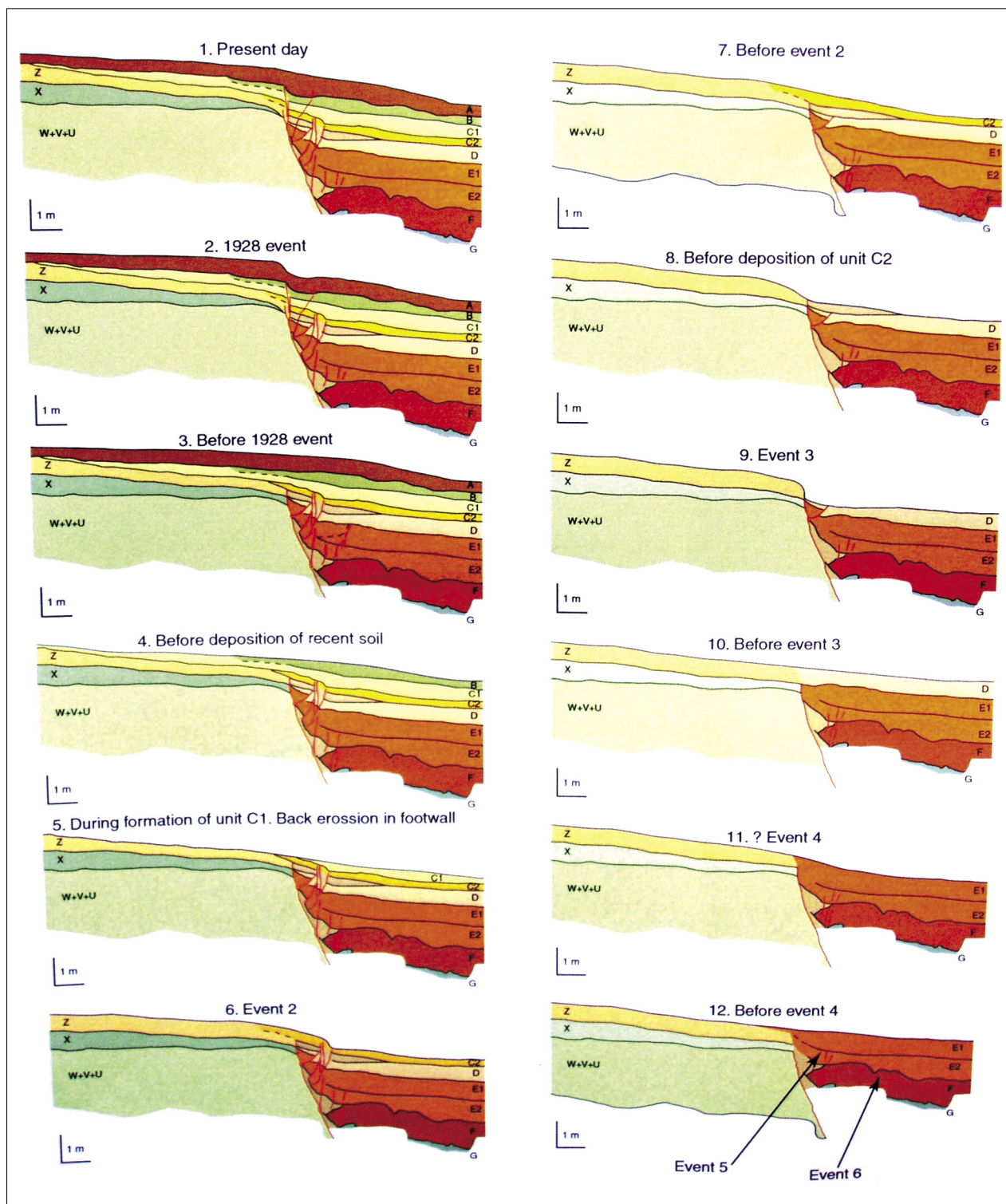
V nadaljevanju bom na kratko predstavil uspešno paleoseizmološko študijo na območju Černa gora pri Čirpanu v Bolgariji iz leta 2002. Gre za severnega od dveh normalnih prelomov, ob katerih je prišlo do pogreznitve pri že omenjenem potresu leta 1928 pri Popovici. Cilj študije, ki so jo izvedli bolgarski geofiziki in geologi (Shanov, 2003) v sodelovanju z belgijskimi paleoseizmologi, je bil raziskati zgodovino potresne aktivnosti tega preloma. Magnituda rušilnega potresa leta 1928 je bila 6,8 in največja intenziteta X po MSK, kar uvršča to območje, ki se nahaja v bližini drugega največjega bolgarskega mesta Plovdiv, med potresno najbolj ogrožene predele Bolgarije. Za oceno dejanske potresne nevarnosti je zato ocena povratne dobe takšnih dogodkov zelo pomembna.

Kljub temu da je bila na območju Popovice stopnica, ki je nastala s pretrgom površja ob tem potresu, visoka kar 3 do 4 m, pri Čirpanu pa okoli 2 m (slika 4), pa je erozija v sedemdesetih letih opravila svoje in je potek preloma v naravi komaj še viden kot manjša fleksura. Pred izvedbo izkopa so za določitev optimalne lokacije izvedli obsežne geofizikalne raziskave (seizmične in geoelektrične). Primer profila električne tomografije, ki v srednjem delu (zelena barva) lepo odraža prelomno cono, je na sliki 6. Sledil je izkop kar 60 m dolgega in 5 m globokega raziskovalnega jarka. Geološki profil njegovega srednjega dela (slika 7) jasno kaže glavni normalni prelom in več antitetičnih prelomov z vertikalnim zmikom najmlajših

plasti okoli 2 metra. Kljub predhodnim raziskavam se je izkazalo, da se na območju izkopa plasti na obeh straneh preloma ne ujemajo, kar seveda otežuje interpretacijo. Zato bodo že v letu 2004 izdelali še en izkop na drugi lokaciji. Kljub tej omejitvi so, poleg znanega potresa iz leta 1928, v izkopu pri Črni gori uspeli identificirati še tri močnejše potrese, pri čemer so datacije pokazale, da je najstarejši star okoli 7000 let. Rekonstrukcija tektonske zgodovine tega preloma je podana na sliki 8.

Možnosti za paleoseizmološke raziskave v Sloveniji

Tudi v Sloveniji se je pri ocenjevanju potresne nevarnosti že večkrat izkazalo, da prav nepopolno poznavanje pretekle potresne dejavnosti zmanjšuje zanesljivost ocen. Pri nas večinoma uporabljamo katalog Ribariča (1982), ki ga je najprej dopolnil Živčić (1994), kasneje pa se je



Slika 8. Rekonstrukcija tektonske zgodovine preloma pri Čirpanu z ugotovljenimi štirimi potresi (Shanov, 2003)
 Figure 8. Reconstruction of the tectonic history of the fault at Čirpan with four earthquakes identified.

na Uradu za seizmologijo ARSO še sproti dopolnjeval. V njem so zbrani parametri potresov od leta 567 dalje. Že letnica najstarejšega potresa v tem katalogu pove, da je časovni razpon našega poznavanja seizmičnosti na območju Slovenije zelo omejen, saj je krajši od poldruga tisočletja. Zato je nujen čim prejšnji začetek ustreznega programa paleoseizmoloških raziskav v Sloveniji. V prvi vrsti so za to primerna območja, pokrita s kvartarnimi sedimenti, seveda tam, kjer so bili v preteklosti že močnejši potresi, kot je Ljubljanska kotlina, Kranjsko-Sorško polje, Zgornje Posočje, Velenjska kadunja in Krška kotlina. Za raziskave bi bili zanimivi tudi večji zmični prelomi v jugozahodni Sloveniji (Raški in Idrijski prelom), ki pa večinoma ne potekajo prek kvartarnih sedimentov, zato je primernih lokacij manj.

Seveda čaka veliko dela tudi še na področju raziskovanja zgodovinske seizmičnosti. Najmočnejši znani potres na območju Slovenije se je na primer zgodil 26. marca 1511 in se večinoma omenja kot idrijski potres. Njegova magnituda je ocenjena na 6,8, intenziteta pa na X po MSK. Ta potres seveda pomembno opredeljuje potresno nevarnost v večjem delu zahodne Slovenije. Kljub temu je lokacija njegovega nadžarišča (epicentra) še vedno velika neznanka in obstoja več hipotez, ki še niso zadovoljivo dokazane. Časovna odmaknjenost skoraj 500 let zahteva pri njegovem proučevanju upoštevanje tako zgodovinskih kot tudi arheoloških in paleoseizmoloških podatkov. Tako močan potres je namreč moral povzročiti velike spremembe v naravnem okolju (podori, plazovi, zmihi vodotokov), ki bi se jih z ustreznimi raziskovalnimi metodami verjetno dalo ločiti od drugih dejavnikov. Eno prvih paleoseizmoloških raziskav na območju Idrijskega preloma je v Zgornjem Posočju opravil Marjanac s sodelavci (2001), ki je v jezerskih sedimentih pleistocenske do holocenske starosti pri Srpenici odkril dve plasti deformacij v nekonsolidiranih sedimentih in jih interpretiral kot seizmite. Starost deformacij iz spodnje plasti so na podlagi datacij z metodo ¹⁴C ocenili na 12.800 let.

Območje Krške kotline se zaradi jedrske elektrarne Krško pogosto obravnavana s stališča potresne nevarnosti. V zadnjih desetih letih so bile tako tu opravljene obsežne geološke, geofizikalne in druge raziskave, ki so dobro pojasnile strukturno-tektonsko zgradbo Krške kotline in precej spremenile naše vedenje o prevladujočem tipu deformacij. Največja neznanka pa ostaja pretekla seizmičnost na tem območju. Zato so tudi tu nujne paleoseizmološke raziskave. Do sedaj je bilo v okviru različnih projektov (npr. slovensko-hrvaški bilateralni projekt v letih 1999–2000) narejenih le nekaj raziskav omejenega obsega, ki so vključevale plitve geofizikalne raziskave, nekaj manjših razkopov (Orliški prelom) in študij sedimentov, razgaljenih v stenah nekaterih glinokopov in peskokopov. Za nadaljnje raziskave sta zanimivi predvsem območji Orliškega in Artiškega preloma.

Območje Krške kotline je žal večinoma prekrito s peščeno-prodnimi nanosi, ki so za izvedbo raziskovalnih

izkopov manj primerni. Obenem je tudi podtalnica v večini primerov zelo plitva. Drug problem je v tem, da ponekod (npr. Artiški prelom) v vrhnjih nekaj desetih metrih prevladujejo zelo mehki sedimenti. Zmik ob prelomu, ki ga v globjih plasteh zelo jasno vidimo na refleksijskih seizmičnih profilih, se v takih razmerah v bližini površja pojavlja kot široka deformirana cona, brez jasno vidne prelomne ploskve in vertikalnega zmiha obeh prelomnih kril. Ocena, kako plitvo dejansko sega prelom, ki opredeljuje starost njegove najmlajše aktivnosti, je zato pogosto nemogoča. Zato bi bile za izbor optimalne lokacije za izkop potrebne podrobne geofizikalne, geološke in geodetske raziskave. Je pa ob različnih posegih v prostor možno za paleoseizmološke raziskave uporabiti tudi kakšne druge priložnosti kot so na primer arheološka izkopavanja, ki potekajo na območju Krške kotline zaradi izgradnje odseka avtoceste Ljubljana–Zagreb. Zares škoda bi bilo izpustiti to enkratno priložnost, da izkopanih območij ne bi obdelali tudi paleoseizmološko.

Viri in literatura

1. Burbank, D. W., Anderson, R. S., 2001. Tectonic geomorphology. Oxford, Blackwell Science, 274 pp.
2. Keller, E. A., Pinter, N., 1996. Tectonic geomorphology. London, Prentice Hall, 338 pp.
3. Grant, L. B., 2002. Paleoseismology. V: Lee in sod.: International handbook of earthquake & engineering seismology, Part A. Amsterdam, Academic Press, 475–489.
4. Hanson, K. H., Kelson, K. I., Angell, M. A., Lettis, W. R., 1999. Techniques for identifying faults and determining their origins. Washington, US Nuclear Regulatory Commission, 232 pp.
5. Herve, P., Karakhanian, A., 2000. Der Untergang von Behura. Spektrum der Wissenschaft, 6/2000, 24–28.
6. Marjanac, T., Marjanac, L., Poljak, M., Živčić, M., Bavec, M., 2001. Srpenica seismites – indicators of paleoseismicity in the Upper Soča valley. Ljubljana, NW Slovenia. Geologija, 44/2, 341–350.
7. Moores, E. M., Twiss, R. J., 1995. Tectonics, Freeman and company. New York, 415 pp.
8. McCalpin, J. P. (ed.), 1996. Paleoseismology. San Diego, Academic Press, 588 pp.
9. Ribarič, V., 1982. Seizmičnost Slovenije, katalog potresov 792–1981. Ljubljana, Seizmološki zavod Slovenije, 649 str.
10. Shanov, S., 2003. Paleoseismological trench study in Chirpan area. Sofia, COST 625 meeting Lanscape movements induced by active tectonics – field trip, 20 pp.
11. Yeats, R. S., Sieh, K., Allen, C. R., 1997. The geology of earthquakes. Oxford, Oxford university press, 568 pp.
12. Živčić, M., 1994. Earthquake catalogue. V: Fajfar, P., Lapajne, J. (ur.): Probabilistic assesment of seismic hazard at Krško nuclear power plant, rev.1. Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 233 pp.