

Kraj bivanja se kaže kot pomemben določevalac presoje posledic gradnje jezua, kjer so pomembni tako sama bližina (stopnja ogroženosti) kot tudi razni drugi dejavniki (npr. infrastruktura in objekti, ki jih kraj že ima in jih zato ne potrebuje oz. obratno).

Prikazali smo le nekaj ugotovitev razmeroma obsežne raziskave, ki predvsem opozarja, da socialnopsihološki vidik situacije postaja vse pomembnejši pri presoji različnih posegov v okolje. Končno jih tudi izvajajo zaradi ljudi. Ali pa morda ne?

1. Presoja vplivov na okolje zaradi zgraditve HE Golica, Inštitut Jožefa Štefana, SEPO, Ljubljana 1991, str. 35—103.
2. Polič, M., 1990. Negotovost nesreč in njihova zaznava, Ujma 4, str. 165—167.
3. Slovic, P. in sod., 1981. Perception and Acceptability of Risk from Energy Systems, V: Baum, A. & Singer, J. E. (Eds.), Advances in Environmental Psychology, vol. 3, Hillsdale: LEA.

Marko Polič, Vera Kozmik

## Construction of the Golica Hydroelectric Plant and its Consequences in the Eyes of Local Inhabitants

This paper deals with several findings of a wider study on the socio-psychological aspects of the construction of the Golica hydroelectric plant. It focuses primarily on the perceived danger and consequences of this construction among local inhabitants. The people interviewed are of the opinion that the danger is considerable and that the consequences are primarily negative. Their opinions are influenced by their dwelling location, age, and sex. The findings obtained confirm how important it is to take into account the socio-psychological aspects of such encroachments on the environment.

UJMA

# NAPOVEDOVANJE POTRESOV — II

Janez Lapajne\*

UDK 550.34

**Ponekod v svetu, posebno na Japonskem in Kitajskem ter v Sovjetski zvezi in Združenih državah Amerike, vlagajo velika sredstva in napore, ki naj bi v bolj ali manj oddaljeni prihodnosti vendarle pripeljali do kolikor toliko zanesljivih napovedi predvsem rušilnih potresov. Ne glede na še vedno pionirske korake pa je že bolj ali manj določeno, kako naj celoten potek napovedovanja in predpotresnega ukrepanja poteka.**

Postopek za zaščito ljudi in dobrin, ki temelji na napovedovanju potresov, obsega v času pred potresom praviloma tri stopnje:

**napoved potresa, javno opozorilo** o možnem potresu in **ukrepanje** (evakuacija in drugi ukrepi). Tu nas zanima predvsem napoved potresa. Osnovne količine, ki naj jih napoved da, so **kraj, čas in stopnja** potresa.

Napoved kraja obsega najprej opredelitev širšega ozemlja (kjer je po statističnih podatkih velika potresna nevarnost), ki se potem zožuje do napovedi ožjega območja oz. lokacije. Treba je poudariti, da potres ne nastane v točki, ampak v nekem prostoru pod površjem Zemlje. Središče tega prostora imenujemo hipocenter ali žarišče potresa, ki ga določamo z zemljepisno širino in dolžino ter globino. Za širšo javnost je zanimiv predvsem epicenter ali nadžarišče potresa, to je točka na površju Zemlje nad žariščem, določata pa jo zemljepisna širina in dolžina.

Napoved časa je najprej predvidevanje, da bo potres čez toliko in toliko let, kasneje mesecev in dni; šele na koncu je napoved, da bo potres zelo verjetno čez nekaj ur.

Stopnjo potresa opredeljujemo z **magnitudo ali velikostjo** potresa. Ta daje grobo oceno sproščene potresne energije. Prebivalce zanima predvsem, kakšni bodo učinki potresa na površju Zemlje. Stopnjo potresnih učinkov podajamo z **intenziteto ali silnostjo** potresa. Ta bo seveda od kraja do kraja različna. Praviloma bo največja v bližini epicentra, z oddaljevanjem od njega pa naj bi padala. Zaradi geoloških, geotehničnih in hidroloških pogojev ter vrste, načina in kakovosti gradnje bodo večja in manjša odstopanja od tega pravila.

## Vrste raziskav

Raziskovalna osnova za napovedovanje potresov so:

- terenska opazovanja,
- laboratorijski poskusi,
- potresna zgodovina in
- teorijske študije.

### Terenska opazovanja

Glede na raziskovalni prostor razlikujemo:

- meritve na površju Zemlje,
- meritve pod površjem Zemlje (v podzemeljskih prostorih in vrtinah),
- daljinske meritve (npr. s satelitov) in
- opazovanja s prostimi očmi.

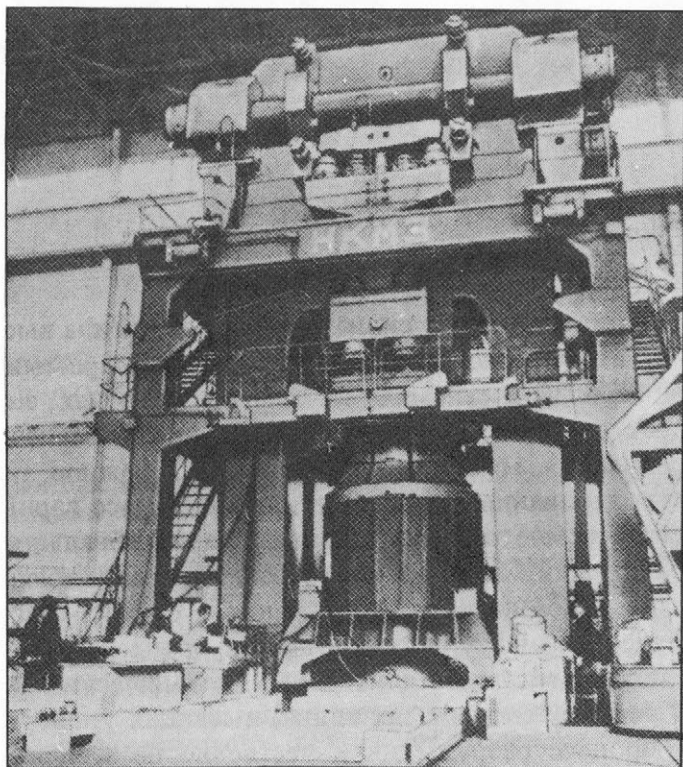
Terenska opazovanja vključujejo raznovrstne postopke:

- **seizmološke meritve** (rutinska seizmološka služba, meritve močnih potresov in predvsem meritve šibkih in zelo šibkih potresov);
- **meritve mehanskih količin** (spremembe napetosti, deformacij in naklonov v Zemljini skorji, anomalij v bivičnikih deformacijah Zemlje, pomikov vzdolž prelomov, gladine vode v vodnjakih, morske gladine, pretoka nafte v tleh);
- **meritve drugih fizikalnih količin** (meritve hitrosti seizmičnega valovanja oz. meritve razmerja hitrosti vzdolžnega in prečnega valovanja, meritve električne upornosti tal);
- **meritve (anomalij) geofizikalnih polj** (gravitacijskega, geomagnetnega, električnih in elektromagnetnih polj ter na ionosferi odbitih radijskih valov);
- **geokemične analize** (meritve radona in druge geokemične analize vzorcev zemljin in vode);
- **opazovanja drugih nenavadnih pojavov** (obnašanje živali, potresna svetloba, mehurčki v vodnjakih, presiha nje izvirov).

Nenavadne spremembe ali anomalije naštetih fizikalnih, kemičnih in bioloških količin in pojavov so lahko (ali pa tudi ne) predpotresni znaki ali **znanilci potresov** (1, 6). Za napovedovanje sta pomembna prostorska in časovna porazdelitev znanilcev glede na čas in kraj potresa (1). Nekatere spremembe nastanejo na manjšem, nekatere na večjem prostoru, ene so bližje žarišču, druge dlje od njega. Glede na to, kdaj se pojavijo spremembe, razlikujemo »počasne« in »hitre« znanilce. Praviloma velja, da se pojavijo predpotresni znaki tem prej, čim večja bo magnituda potresa. Nekateri znanilci pa se pojavijo nekaj ur do več dni pred potresom ne glede na magnitudo potresa, ki ga najavljajo.

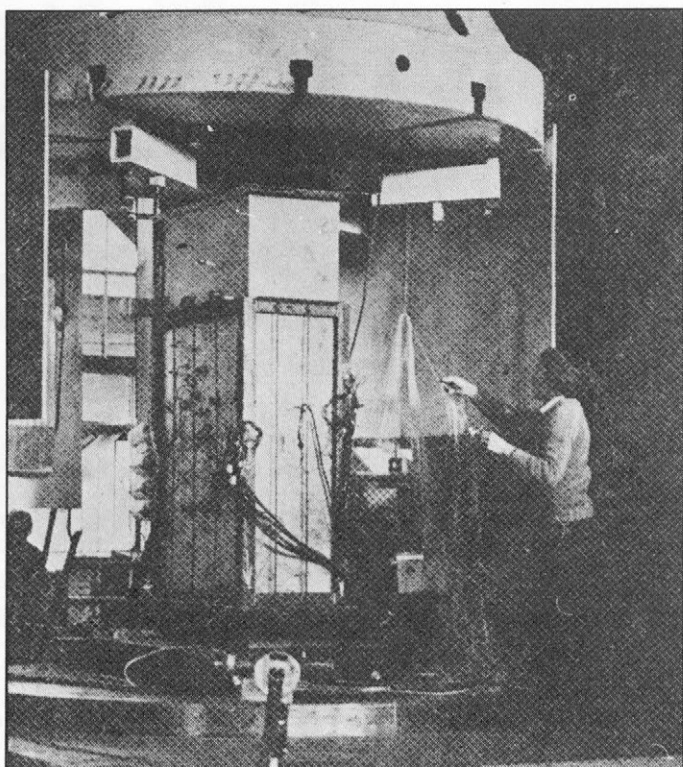
Najpomembnejša naloga terenskega opazovanja je zbiranje velike količine eksperimentalnih podatkov na velikih ozemljih in prek daljšega časa, njihova fizikalna razlaga ter razlikovanje pravih

\* Dr. geofizike, Seizmološki zavod Republike Slovenije, Kersnikova 3, Ljubljana.



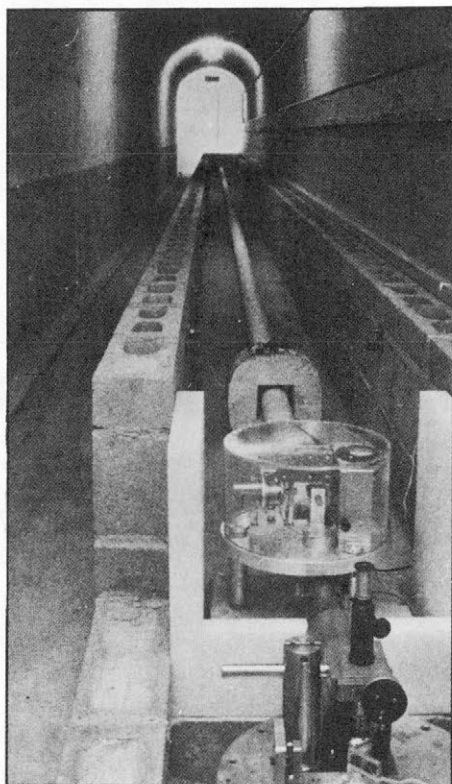
Slika 1. Laboratorijska stiskalnica Inštituta fizike visokih pritiskov AN SSSR za preiskave kamnin pod pritiski do 50000 ton. (Iz 9)

Figure 1. Laboratory press of the Institute of high pressure physics of AN SSSR for the observation of rock specimens under the pressures up to 50000 tons. (From 9)



Slika 2. Osrednji del 50000-tonske stiskalnice s slike 1, kamor se postavi kamninski vzorec. (Iz 10)

Figure 2. Central part of the 50000-tons press from Fig. 1 where rock specimens are placed. (Form 10)



Slika 3. Namestitev seizmografa pomikov v rovu. Ta sistem je tako občutljiv, da lahko zazna pomike, ki ustrezajo spremembi 0,1 mm na razdalji Ljubljana—Beograd. (5; objavljeno z dovoljenjem W. H. Freeman and Company)

Figure 3. A strain seismograph installation in an underground tunnel. This system is so sensitive that it could detect distance between Ljubljana and Belgrade. (From 5; Courtesy of W. H. Freeman and Company)

znailcev od lažnih. Vse to naj bi privedlo do opredelitve sodil, ki naj bi napravila napovedovanje potresov za eksaktno znanost.

### Laboratorijski poskusi

Med raziskavami v laboratoriju so najpomembnejše raziskave kamenin pod visokim pritiskom v ogromnih stiskalnicah in temperaturo ter določanje trenutka zdrobitve oz. loma kamenine (4, 7, 8).

### Potresna zgodovina

Obnavljanje potresne zgodovine obsega predvsem:

- izdelavo kataloga potresov za obravnavano ozemlje po zgodovinskih in instrumentalnih podatkih,
- študij prostorske in časovne porazdelitve vseh znanih potresov na obravnavanem ozemlju,
- študij selitve potresnih žarišč in predhodnih potresov v času (nekaj let, mesecev, dni) pred potresom (5),
- ugotavljanje potresnih vrzeli (3).

### Teorijske študije

Posebej pomembne so teorijske študije nastanka potresa, žariščnega dogajanja in prelamljanja ter teorijske razlage znailcev potresov. Mnogo pričakujejo od t. i. **dilatacijskega modela ali modela širjenja** (4, 6). Zaradi nastajanja razpok v kameninah globoko pod površjem v času pred potresom se (bodoče) širše žariščno območje povečuje, kar povzroči dviganje zemeljskega površja nad njim. Znana primera sta območje Palmdalea v južni Kaliforniji in polotok Izu na Japonskem (1, 6).

### Potek potresnega napovedovanja

Napoved potresa ni enkratno dejanje, ampak je lahko le rezultat večletnih raziskav na večjem ozemlju oz. na širšem območju pričakovanega potresa. V grobem tvorijo celoten potek napovedovanja (1, 6):

1. statistično predvidevanje,
  - 2.1 dolgoročna napoved,
  - 2.2 srednjeročna napoved,
  - 2.3 kratkoročna napoved,
  - 2.4 neposredna napoved (glavnega potresa) in
3. napoved naknadnih potresov (to je potresov, ki sledijo glavnemu potresu v energijsko labilnih delih širšega žariščnega prostora in vodijo k umirjanju tega prostora).

Poglejmo si osnovne značilnosti posameznih stopenj napovedi potresa.

### Statistično predvidevanje

Čas do potresa: nedoločen.

Predmet: določitev območij, kjer so možni (veliki) potresi.

To je verjetnostna ocena, ki temelji na statističnih podatkih: na potresni zgodovini oz. ponovljivosti (velikih) potresov na obravnavanem območju, na potresnih vrzelih, selitvi potresnih žarišč ipd.

Verjetnostno ocenjevanje potresne nevarnosti je v svetu ustaljena praksa, saj je podlaga za potresno varno projektiranje, je pa tudi osnova za nadaljnje raziskave, ki so usmerjene v napovedovanje potresov. Statističnega predvidevanja ne štejemo med potresne napovedi v ožjem



Dolgoročna napoved

Čas do potresa: več let.

Predmet: določitev širšega ozemlja, kjer naj bi se v bližnji prihodnosti (npr. v nekaj letih) z veliko verjetnostjo dogodil velik potres.

Temelji na opazovanju kopičenja mehanske napetosti, na regionalnih deformacijah Zemljine skorje, tektonskih pomikov itd.

Srednjeročna napoved

Čas do potresa: nekaj mesecev (do nekaj let).

Predmet: verjetnostna ocena magnitude in časa potresa na opazovanem območju.

Temelji na opazovanju predvsem naslednjih znanilcev: anomalne potresne aktivnosti, pospešenega sproščanja energije, nenavadnih sprememb razmerja med hitrostjo vzdolžnega in prečnega valovanja, anomalnih deformacij skorje (prekoračenje  $1 \times 10^{-6}$ ), anomalij upornosti, geomagnetnega polja, napetosti v tleh, gladine talne vode in kemičnega sestava talne vode.

Važno: Razlikovati je treba letne in daljše časovne spremembe.

Kratkoročna napoved

Čas do potrese: nekaj dni (do nekaj tednov ali mesecev).

Predmet: dokaj natančna (še vedno verjetnostna) opredelitev časa potresa, navadno pa se v tej fazi izbere tudi najverjetnejšo lokacijo potresa.

Nekaj dni ali mesecev pred potresom se pojavlja vedno več bolj in bolj očitnih nenavadnih pojavov na (bodočem) epicentralnem območju. Stopnja anomalnosti se povečuje, dogajajo pa se tudi obrati njihovih smeri. Pojavi so sočasni in so med seboj povezani. Včasih se selijo iz širše okolice proti epicentralnemu območju.

Neposredna napoved

Čas do potresa: nekaj ur (do nekaj dni).

Predmet: čim natančnejša določitev časa in lokacije potresa, ki sta osnova za javno opozorilo in takojšnje zaščitne ukrepe.

Neposredni znanilci: »predhodni valovi«, potresni zvoki in potresna svetloba, elektromagnetno valovanje, čudno obnašanje živali, sprememba gladine in kemične sestave talne vode, sprememba telurskih tokov; predhodni potresi in roji šibkih potresov ter še posebej nenaden padec števila predhodnih potresov, skokovite spremembe mnogih drugih znanilcev, nenadno povečanje števila nenavadnih pojavov in njihovo hitro zbiranje na določenem območju.

Moteči dejavniki: meteorološki, astronomski; skokovite spremembe znanilcev so kratkotrajne in jih težko opazimo; močne anomalije se lahko pred potresom večkrat pojavijo; skokovite anomalije



Slika 4. Nenavaden lajež preplašenega psa pred potresom na območju Sunfgan—Pingwu na Kitajskem. (8; objavljeno z dovoljenjem USGS).

Figure 4. A frightened dog barks in an unusual way before the Sunfgan—Pingwu earthquake in China. (8; Courtesy of U.S. Geological Survey).

znanilcev so lahko razpršene na večjem ozemlju.

Važno: Pri določitvi časa potresa ne smemo zanemariti možnih prožilnih dejavnikov (npr. Zemljino plimovanje).

Napoved naknadnih potresov

Čas: čimprej po glavnem potresu.

Predmet: določitev časa in magnitude močnih naknadnih potresov.

Študij zaporedja in prostorske porazdelitve naknadnih potresov po glavnem sunku so osnova za napoved močnega naknadnega potresa. Značilnosti zaporedja naknadnih potresov, pojav mirnega obdobja, ki je predhodnik novega roja, periodičnost naknadnih potresov itd. lahko pomagajo pri določitvi časa močnega naknadnega potresa. Študij zakasnitve sprostitve energije in študij nenavadnih pojavov lahko pomaga pri oceni magnitude. Glede na nekatera opazovanja se zdi, da nastanejo močni naknadni sunki navadno znotraj potresne vrzeli med drugimi naknadnimi potresi. Tu gre morda za dopolnitev prelamljanja v glavnem sunku na odseku, ki je vzdržal glavni sunek.

Moteči dejavniki: Velik potres povzroči na velikem ozemlju nenavadne pojave, ki

bi jih lahko tolmačili kot znanilce naknadnih potresov.

Primer uspešne napovedi

Za praktičen prikaz poteka napovedovanja je zelo primerna znana uspešna napoved potresa v pokrajini Liaoning na Kitajskem dne 4. februarja 1975 (6), ki je vsebovala skoraj vse naštetе stopnje; omenili smo jo že v četrti številki Ujme (2):

Dolgoročna napoved

Glede na smer pomikanja potresnih žarišč vzdolž sistema prelomov v preteklih letih so strokovnjaki leta 1970 ocenili, da preti nevarnost potresa južnemu delu pokrajine Liaoning. Na ogroženem območju so zato okrepiili raznovrstna opazovanja in meritve; med drugim so postavili 14 potresnih opazovalnic.

Srednjeročna napoved

Leta 1974 so opazili nenavadne deformacije zemeljske skorje, anomalije geoma-

gnetnega polja in spremembe morske gladine, pogostost potresov pa se je nekajkrat povečala. Na podlagi tega so ocenili, da bo silen potres v enem do dveh letih. Zato so povečali število geofizikalnih in geokemičnih opazovanj.

## Poučevanje prebivalstva

Tako so začeli množično prosvetljati ljudi s predavanji, filmi, diapozitivi, brošurami in razstavami. Pri tem so izpostavili naslednja vprašanja:

- Zakaj nastane potres?
- Kako lahko vsi pomagajo pri napovedi potresa z opazovanjem nenavadnega obnašanja živali, spremembe gladine vode v vodnjakih ipd.?
- Kako napraviti hišo potresno varno?

## Kratkoročna napoved

Novembra leta 1974 so na podlagi izsledkov geodetskega niveliranja prek prelomov, geomagnetnih opazovanj in številnih šibkih potresov ocenili, da bo na določenem območju v bližnji prihodnosti rušilen potres.

Sredi decembra 1974 so začela na pristojne urade prihajati številna poročila o makroseizmičnih opazovanjih v provinci Liaoning (kače so prilezle na površje, pojavile so se skupine preplašenih podgan). Decembra so opazili tudi zaznavne geofizikalne anomalije. Tako so npr. z niveliranjem na kratke razdalje prek nekaterih prelomov ugotovili obrat v naklonski smeri. Ob koncu decembra je prišlo tudi do zmede v ukrepanju. Tako je bil 28. decembra izdan ukaz za evakuacijo nekega območja; 20 000 do 30 000 ljudi je brez potrebe prezebalo na planem, saj ni bilo nobenega velikega potresa.

## Neposredna napoved

Nenadno povečanje števila šibkih potresov na ožjem območju in še posebej nenaden padec števila, ki je sledil, ter drugi kazalci so bili povod za odločitev seizmologov, da so 4. februarja 1975 nekaj pred eno zjutraj sporočili, da bo ta dan zelo verjetno potres.

## Javno opozorilo in evakuacija prebivalstva

Še isti dan ob pol enajstih dopoldne je pokrajinski revolucionarni komite objavil vest o neposredni nevarnosti potresa in dal navodila za izjemne ukrepe na celotnem ozemlju pokrajine Liaoning ter za evakuacijo prebivalstva.

## Potres

Potres (magnituda 7,3, kar je bilo sicer več, kot so napovedali), ki so ga pričakovali enkrat popoldne, je 4. februarja 1975 ob 19. uri in 36 minut do tal porušil mesto Haicheng, ki je štelo 90 000 prebivalcev. Na srečo so se ljudje pravočasno izselili. V celotnem Liaoningu je bilo le od 200 do 300 žrtev.

# Zaključek

Opisana uspešna napoved kitajskih seizmologov je vzbudila med strokovnimi krogi v svetu velike upe, pa tudi vprašanja. Številne geološke, geofizikalne, geodetske in geokemične raziskave in meritve, ki so potekale tako rekoč po šolsko načrtovanem programu, so dajale napovedi trdno znanstveno obeležje. Zahodnjake pa so najprej bolj zanimali tradicionalni kitajski postopki (opazovanje obnašanja živali in drugih posebnih pojavov).

Upe in romantična pričakovanja je že čez slabo poldrugo leto, 27. julija 1976, kruto pokopala nenapovedana potresna katastrofa v Tangšanu, prav tako na Kitajskem, ki je po uradnih podatkih terjala 250 000 življenj, po neuradnih pa celo 650 000. Znanstveniki in z njimi vsi po potresnih ogroženih ljudje so se morali sprijazniti z neprijetnim dejstvom, da je do uspešnega napovedovanja potresov še dolga in naporna znanstvenoraziskovalna pot, ki je tudi tradicionalna kitajska opazovanja ne morejo skrajšati.

1. Earthquake Prediction. Proceedings of The International Symposium on Earthquake Prediction. Terra Scientific Publishing Company/Tokio, Unesco/Paris.
2. Lapajne, J., 1990. Napovedovanje potresov — I. Ujma, 4, Ljubljana, 67—71.
3. Wyss, M. (Editor), 1979. Earthquake Prediction and Seismicity Patterns, Birkhauser Verlag, Basel, 1082—1147.
4. Mogi, K., 1985. Earthquake Prediction. Academic Press, Tokio.
5. Press, F., R. Siever, 1982. Earth. W. H. Freeman and Company, San Francisco.
6. Rikitake, T. (Ed.), 1981. Current Research in Earthquake Prediction I. Center for Academic Publications Japan, Tokio; D. Reidel Publishing Company, Dordrecht.
7. Rikitake, T., 1982. Earthquake Forecasting and Warning. Center for Academic Publications Japan, Tokio; D. Reidel Publishing Company, Dordrecht.
8. Shen Ling-huang, 1978. Can Animals Help to Predict Earthquakes? Earthquake Information Bulletin, 10/6, 231—233.
9. Sobolev, G. A., A. V. Kolcov, 1988. Krupnomasštabnoe modelirovanie podgotovki i predvestnikov zemletrjasenij. »Nauka«, Moskva.
10. Sobolev, G. A., 1987. Zemletrjasenie v laboratorii. Zemlja i Vselennaja, 1, 10—15.

Janez Lapajne

## Earthquake Prediction — II

In some places in the world, especially Japan, China, the Soviet Union, and the United States, a great deal of money and effort has been invested which should in the more or less distant future nevertheless bring about to a certain extent de-

pendable forecasting primarily of destructive earthquakes. Regardless of the still pioneering steps, how the whole course of forecasting and pre-earthquake measures should proceed is more or less defined.

The basic facts which forecasting should provide are the place, the time, and the magnitude and/or intensity of an earthquake. The forecasting of place first involves the definition of the wider territory and later pinpointing the forecast to a more precise location. Forecasting of time first predicts earthquakes in such and such years, later months and days, and only at the end that an earthquake will likely occur within a few hours. The whole procedure can be divided roughly into statistical prediction; long-term, middle-term, short-term, and immediate forecasts; and the forecasting of aftershocks.

The research bases for forecasting earthquakes are observations of the terrain, laboratory experiments, the earthquake history of a designated region, and various theoretical studies. Unusual changes and anomalies of physical, chemical, and biological phenomena measured or observed on the terrain can be earthquake precursors. These are, for example, foreshocks, changes in stress, deformations (strains), changes in the rates of speed of lengthwise and crosswise seismic waves, changes in electric resistance in the rock or ground, changes of water levels in reservoirs, increases of radon in the ground, unusual behavior of animals, etc.

Probably the most famous case of successful prediction was the forecast of the earthquake in Liaoning Province in China on February 4, 1975. The success of the Chinese seismologists raised great hopes in professional circles around the world and questions as well. The numerous geological, geophysical, geodetic, and geochemical studies and measurements which proceeded indeed like a school-planned program gave a firm scientific character to the prediction. Western scientists were interested mainly in the traditional Chinese methods (observation of animal behavior and other specific phenomena).

Hopes and romantic expectations were buried one and a half years later by the unpredicted and catastrophic earthquake of July 27, 1976, in Tangshan Province in China as well, which took 250,000 lives according to official figures and 650,000 lives according to unofficial estimates. Scientists had to reconcile themselves to the fact that the scientific path to successful prediction of earthquakes is still long and rugged and can not be shortened even by traditional Chinese forecasting methods.

UJMA