

POTRES V KOBEJU JANUARJA 1995

SEIZMOLOŠKE IN SEIZMOTEKTONSKE ZNAČILNOSTI

Janez Lapajne*

UDK 550.34 (520 Kobe) "1995"

17. januarja letos ob približno tričetrt na šest zjutraj je pod severnim koncem manjšega japonskega otoka Avadžii nastal potres, ki je čez nekaj trenutkov predramil v paničen strah prebivalce Kobeja in sosednjih mest, porušil ali močno poškodoval okoli 107 000 zgradb, pustil več kot 300 000 ljudi brez domov, jih blizu 27 000 ranil, več kot 5200 pa so ruševine za vedno pokopale pod seboj; celotna škoda bo dosegla najmanj 200 milijard ameriških dolarjev. Vzroki za tako veliko nesrečo so bili silni tresljaji in slaba gradnja. Tu nas zanima predvsem prvi dejavnik. K silnim tresljajem na velikem urbanem območju so prispevali velika magnituda potresa, slaba tla in zlasti potek prelomnega pretrga pod samo mesto Kobe.

Potres je bil presenečenje

V bližini Kobeja sta bila v preteklosti le dva močna potresa. Prvi je bil leta 868 z magnitudo, ki je presegla vrednost 7, in drugi leta 1916 z magnitudo okoli 6. Prvi, ki je po moči primerljiv z letošnjim potresom, naj bi nastal na prelomu Jamasaki, kakih 50 km severozahodno od Kobeja (6).

Zaradi krajevine in predvsem časovne oddaljenosti večjih potresov prebivalci Kobeja potresa niso dojemali kot nevarnost in so mislili, da je to predvsem problem Tokia (8). To prepričanje so verjetno pogojili japonski seizmologi, ki so se posvetili predvsem poskusom, da bi napovedali velik potres v bližini Tokia. Čeprav lahko na Japonskem potres nastane takorekoč kjerkoli, je večina znanstvenikov pričakovala, da bo naslednji "velik" prizadel prav glavno mesto.

Dodati pa je treba, da so strokovnjaki zaradi številnih aktivnih kvartarnih prelomov in rušilnih zgodovinskih potresov potresno nevarnost na območju Kobeja obravnavali resno. To se vidi tudi s slike 1, ki kaže karto potresne rajonizacije Japonske (5), na kateri so opredeljena tri območja potresne nevarnosti: velika nevarnost – cona A, srednja nevarnost – cona B in majhna nevarnost – cona C. Kobe so uvrstili v cono A.

Nesreča je bila predvsem v obliki potresno neodpornih družinskih hiš socialno šibkega dela prebivalstva ter drugih potresno ranljivih stavb in inženirskih objektov, ki so bili zgrajeni pred letom 1981, ko so začeli veljati izboljšani predpisi o potresno varni gradnji. Kot je pokazal januarski potres, so z njimi zagotovili dokaj dobro potresno varnost poznejših gradenj, saj se nobena od novejših zgradb ni porušila. Denarja in politične volje za ojačitev (starejših) potresno neodpornih zgradb pa je vedno premalo.

Temeljne lastnosti potresa

Po podatkih Japonske meteorološke agencije (JMA) je nastal potres po lokalnem času 17. januarja 1995 ob 5. uri, 46 minut in 53,9 sekund (svetovni čas – UTC: 16. 1. 1995, 20 h, 46 min in 53,9 sek), zemljepisne koordinate nadžarišča (epicentra) potresa pa so bile 34,60° N in 135,00° E (6). Do ljubljanske potresne opazovalnice so najhitrejši potresni valovi pripotovali ob 20 h, 59 min in 19,5 sek po UTC, torej so za pot potrebovali približno 12,4 minute.

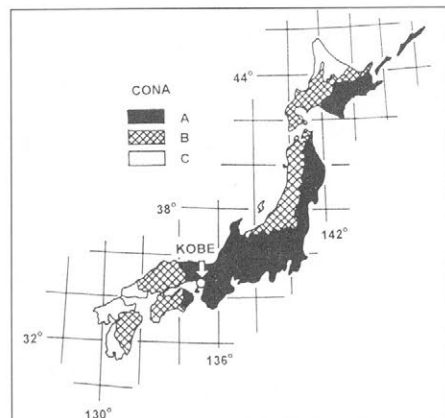
JMA je ocenila magnitudo potresa s tradicionalno empirično metodo iz amplitud regionalnega potresnega valovanja na 7,2, za globino žarišča pa je dobila 22 km. Po nekaterih gradivih univerze v Kyotu naj bi bila globina žarišča med 13 in 17 km (1). Študij žariščnega mehanizma iz prostorskega valovanja daje ocene potresnega navora med 0,18 do 0,31 x 10²⁰ Nm, navorno magnitudo 6,8 (8) oz. 6,9 (6,10) in globino žarišča 8 km.

Nadžarišče januarskega potresa je bilo približno 25 km jugozahodno od središča Kobeja (4) (slika 2). Ta znotrajploščni potres je bil le okoli 40 km oddaljen od t. i. srednje tektonske linije s počasnim desnim drsenjem in približno 200 km od jarka Nankai (imenovanega tudi jarek Suruga) v Tihem oceanu (6), kjer se stikata filipinska in evrazijsko plošča. Drsenje ob srednji tektonski liniji in podiranje filipinske plošče pod evrazijsko ustvarja mehansko napetost, ki se sprošča tudi pri zdrsih ob znotrajploščnih prelomih. Pri tektonskem dogajanju na tem območju naj bi šlo za prilagajanje skrajševanju evrazijske plošče v smeri vzhod-zahod, ki ga na njenem vzhodnem robu povzroča trk s severnoameriško ploščo (10).

V dobrih sto letih so bili v oddaljenosti 100 do 200 km od Kobeja štirje znotrajploščni potresi z magnitudo, ki je presegla 7: Nobi leta 1891 z magnitudo 8, Tango leta 1927 z magnitudo 7,3, Tottori leta 1943 z magnitudo 7,2 in Fukui leta 1948 z magnitudo 7,1. Slednji trije so imeli podobno prelomno geometrijo in velikost kot letošnji potres. Čeprav je povratna doba tovrstnih potresov verjetno več tisoč let, so v tem delu Japonske taki potresi razmeroma pogosti zaradi velikega števila prelomov, ob katerih nastajajo taki potresi (6).

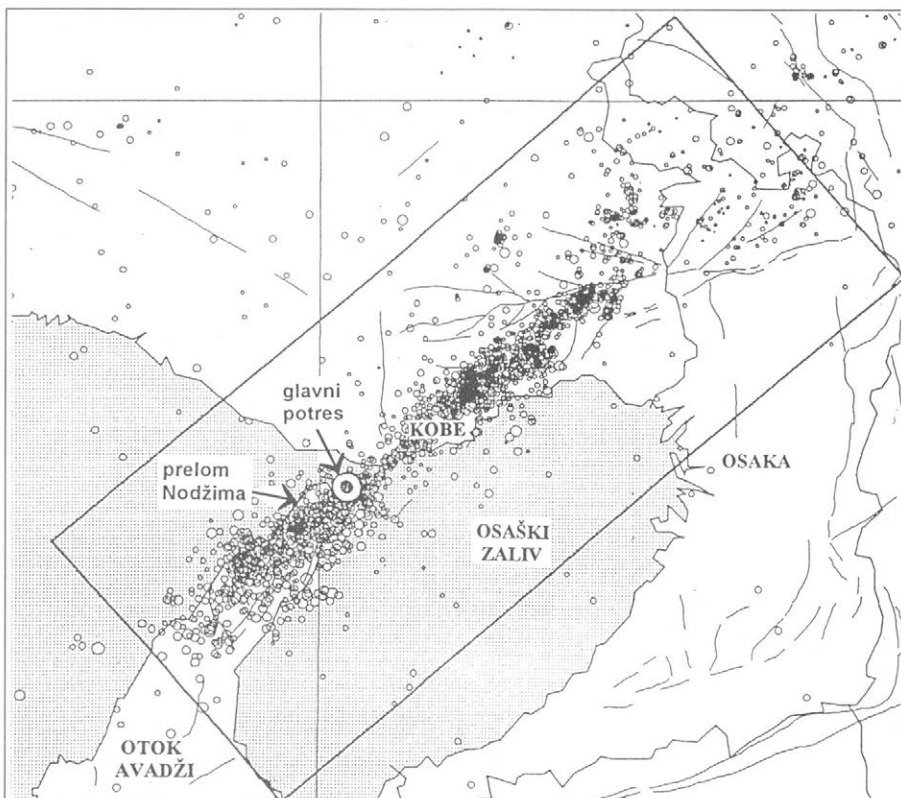
Prelomni pretrg je segel pod Kobe

Prelomni pretrg pod površjem je bil na podlagi žariščnega mehanizma in porazdelitve naknadnih potresov (slika 2) dolg 30 do 50 km in širok 15 km (6, 10). Površina prelomnega pretrga je torej med 450 in 750 km², povprečni vzdolžni zdrs ob

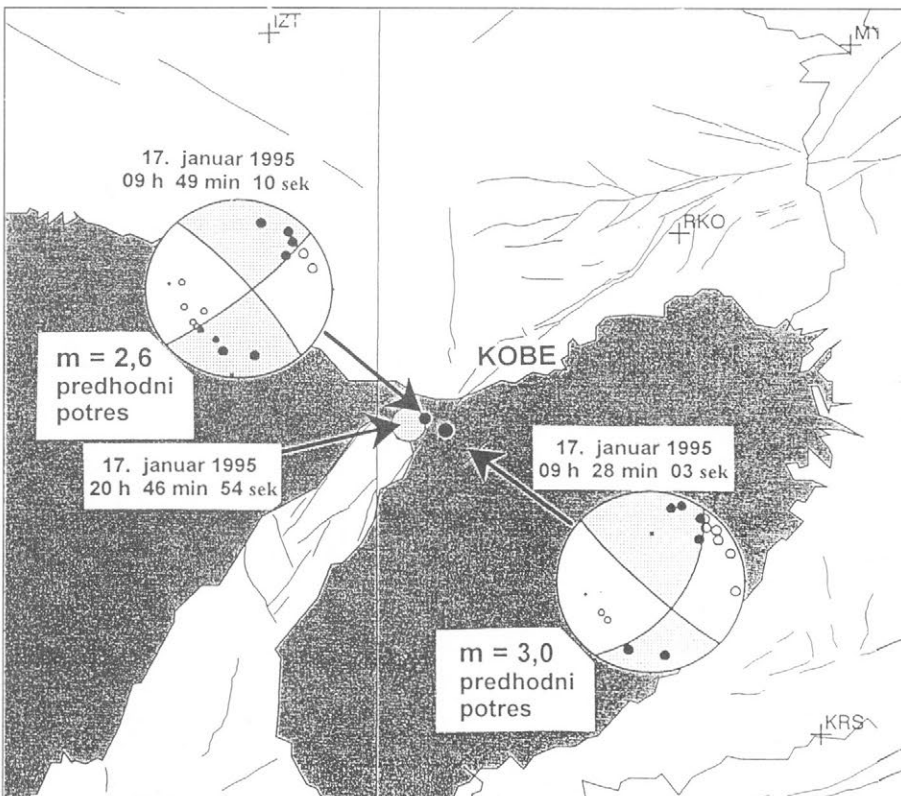


Slika 1. Karta potresne rajonizacije Japonske (5)
Figure 1. Seismic zoning map of Japan (5)

* dr., Ministrstvo za okolje in prostor, Uprava Republike Slovenije za geofiziko, Kersnikova 3, Ljubljana



Slika 2. Porazdelitev naknadnih potresov od 16. 1. do 16. 2. 1995 (1)
Figure 2. Aftershock distribution from Jan. 16 to Feb. 16, 1995 (1)



Slika 3. Položaj in prelomna geometrija ("rešitev prelomne ploskve") dveh predhodnih potresov (1)
Figure 3. Location and fault plane solution of two foreshocks (1)

prelom pa od 1,1 do 1,9 m in padec mehanske napetosti 14 do 24 (10^5 N/m^2 (to je 14 do 24 barov). Zdrs ob prelomu in padec napetosti pa sta lahko na nekaterih delih preloma bistveno večja. Obširne poškodbe hiš segajo do 40 km od nadžarišča vzdolž smeri prelomnega pretrga. Slika 2 kaže, da je ta pretrg v razvejanem

sistemu aktivnih prelomov v smeri jugozahod-severovzhod in da je potekal prav pod središčem Kobeja, kar je bil temeljni vzrok tragičnih posledic. Tresljaje v mestu je dodatno ojačala usmerjenost oz. nastajanje pretrga od epicentra proti Kobeju.

Na sliki 3 sta dve krožni sličici, ki kažeta

prelomno geometrijo dveh predhodnih potresov. Osenčeni četrtini kažeta območji stiska, neosenčeni pa območji natega. Ena od črt, ki loči osenčene in neosenčene dele, kaže prelom. V danem primeru je to črta v smeri jugozahod-severovzhod. Sličici tudi kažeta, da gre (pretežno) za desni vzdolžni pretrg. Enaka je bila tudi prelomna geometrija glavnega potresa. To se lepo ujema s kartiranimi desnolateralnimi prelomi, ki potekajo od otoka Avadži do Kobeja.

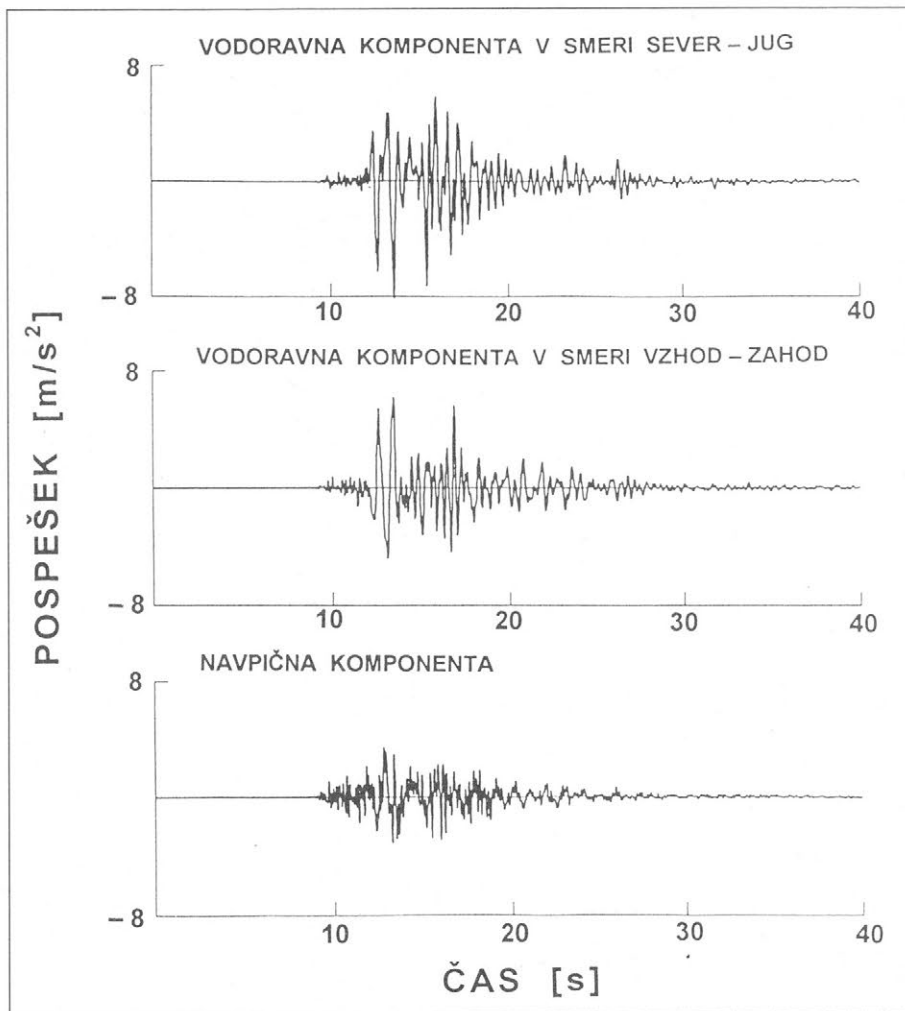
Na prelomu Nodžima, ki poteka vzdolž severozahodne obale otoka Avadži, je prelomni pretrg segel do površja, kjer so ugotovili na dolžini 9 km vodoravni pomik od 1 do 1,5 m, navpični pomik pa do 0,5 m. Pretrg se s kopnega nadaljuje še 300 m daleč v morje. Na morskem dnu so tudi odkrili dva odseka prelomnega pretrga, ki potekata v skupni dolžini okoli 7 km vzporedno s prelomom Nodžima in sta od njega oddaljena kakih 5 km (10).

Kako močno in koliko časa so se tresla tla?

Na potresnem območju je bilo postavljenih več merilcev močnih nihanj (akcelero-grafi). V bližini prelomnega pretrga so izmerili največje pospeške in hitrosti nihanja tal. Na mehkih tleh so v Kobeju na oddaljenosti dobrih 20 km od nadžarišča izmerili pospešek 0,85 g in v Nišinomiji na oddaljenosti blizu 35 km 0,81 g (za potresne učinke je seveda pomembna oddaljenost od prelomnega pretrga, ki je bila neprimerno manjša od razdalje do nadžarišča). Zanimivo je, da je na nekaterih mestih navpična komponenta pospeška dosegla ali presegla vodoravno; ponekod je bila celo blizu 50 % večja od vodoravne.

Največje ugotovljene hitrosti nihanja tal so bile na trdni kamnini večje od 0,5 m/s, na mehki zemljini v središču Kobeja pa so celo presegle mersko območje 1 m/s. Časovni poteki hitrosti nihanja tal z ožjega območja prelomnega pretrga kažejo velike amplitude dolgoperiodičnega nihanja, te pa na učinke usmerjenosti pretrga in so nevarne npr. za večnadstropne zgradbe in premostitvene objekte (10).

Kadar se sprašujemo, koliko časa je trajal potres, imamo v mislih večinoma trajanje (močnejših) tresljajev tal ali morda zgradbe. Ta čas je odvisen od trajanja žariščnega dogajanja in nekaterih drugih dejavnikov. Vrednotenje žariščnega mehanizma daje za žariščno dogajanje oz. trajanje prelomnega pretrga vrednost od 6 do 10 sekund. To je obenem seizmološka opredelitev trajanja potresa. Slika 4 kaže trikomponentni zapis pospeškov nihanja tal v Kobeju, sicer kakih 17 km daleč od nadžarišča potresa, vendar v območju



Slika 4. Akcelrogram potresa 16. 1. 1995; zapisan v Kobeju, približno 17 km daleč od nadžarišča potresa (3)

Figure 4. Accelerogram from the January 16, 1995 earthquake; recorded in Kobe at a distance of about 17 km from the epicenter (3)

nad prelomnim pretrgom. Tak zapis imenujemo akcelrogram. Iz slike lahko ocenimo trajanje močnega dela na okoli 15 do največ 20 sekund; posebej velike amplitude pa so 6 do 8 sekund.

Kobeja (10).

Vpliv slabih površinskih tal potrjuje tudi dejstvo, da so objekti, ki so bili zgrajeni na pilotih do trdnejše podlage, praviloma dobro prestali potres (9). Pri zgradbah na pilotih tudi ni očitnih znakov diferencialnega



Slika 5. Posedek pločnika ob zgradbi v Sanomiji v osrednjem delu Kobeja (foto J. Lapajne)

Figure 5. Subsidence of road pavement in the Sannomiya district of downtown Kobe (photo J. Lapajne)

usedanja, čeprav so se tla okoli njih marsikje močno posedla. V središču Kobeja so se pločniki in tla okoli mnogih temeljev zgradb na pilotih posedli do nekaj decimetrov (slika 5).

Posedki tal od 0,5 do 3 m so nastali zaradi likvifikacije na umetno nasutih otokih Rokko in Portopia (10). Slika 6 kaže posedek ob mostu na otoku Portopia, slika 7 pa razsežno deformacijo v tovornem pristanišču na tem otoku. V pristaniščih in vzdolž vodnih kanalov so tudi nastale dolge, bolj ali manj široke razpoke v tleh. Različni posedki tal v parku Higaši Juenči v Sanomiji, ki deloma potekajo v dokaj dolgi ravni črti, so nekatere zavedli, da so objavili časopisno vest, da je tu prelomni

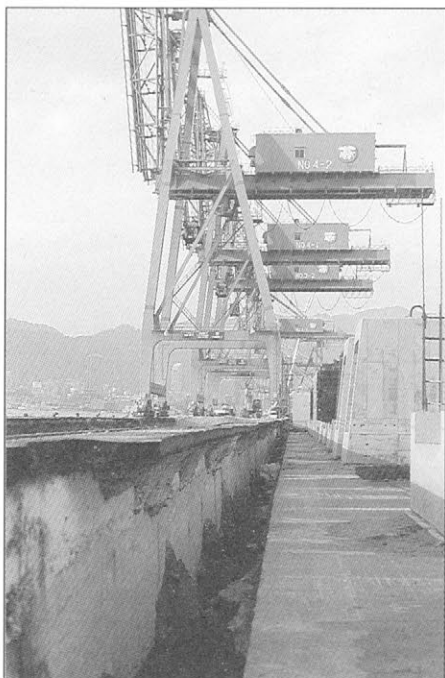
Razpoke in posedanje tal

Kobe leži na ozkem pretežno ravninskem obalnem pasu, ki se razteza v smeri jugozahod-severovzhod med Osaškim zalivom in gorovjem Rokko. Ta pas se v večjem delu prekriva s pasom prelomnega pretrga. Večina porušenih in poškodovanih gradbenih objektov je v ravninskem delu, kjer so tla mehka (naravni nesprijeti sedimenti ali umetni nasip) v nasprotju z razmeroma trdno hribino višjih predelov. Mehka nesprijeta zemljina lahko okrepi tresljaje, v določenih razmerah pa se začne obnašati kot tekočina. Tako so eden od vzrokov za poškodbe prav gotovo slaba tla. Posedanje tal je verjetno prispevalo svoj delež k nagibanju zgradb, sesedanju posameznih nadstropij ali popolnemu zrušenju, kar je bil primer pri mnogih večnadstropnih zgradbah v osrednjem delu



Slika 6. Posedek tal ob mostu na umetno nasutem otoku Portopia (foto J. Lapajne)

Figure 6. Subsidence of the ground adjoining the bridge on the reclaimed island Portopia (photo J. Lapajne)



Slika 7. Posedek tal ob pristaniških žerjavih na umetno nasutem otoku Portopia (foto J. Lapajne)

Figure 7. Subsidence of the ground adjoining the port facilities on the reclaimed island Portopia (photo J. Lapajne)

pretrg. Podobni premiki tal, ki niso del prelomnega pretrga, temveč le drugotni pojav, so na tem potresnem območju razmeroma pogost pojav (slika 8).

Ali bi lahko potres napovedali?

Po večjem potresu se ljudje pogosto sprašujejo, ali ne bi bilo potresa mogoče napovedati in tako preprečiti vsaj človeške žrtve. Če bi sodili le po sliki 3, bi lahko re-



Slika 8. Deformacije tal v parku stanovanjskega naselja v Ažiya-hami (foto J. Lapajne)

Figure 8. Deformation of the ground in the park of the residential area in Ashiya-hama (photo J. Lapajne)

kli, da se je dalo potres vsaj predvideti, saj sta 11 ur prej v razmaku 21 minut nastala v žariščnem prostoru dva potresa z magnitudo 3,0 in 2,6. To je bil nedvomno že začetek premikov pod površjem. Seveda bi morali v času pred potresom opaziti še spremembe drugih potresnih znaničev.

Čeprav sta omenjena predhodna potresa nedvomno naznanjala bližajočo se nesrečo, tega pred glavnim potresom ni bilo mogoče ugotoviti. Slika 9 kaže nadžarišča potresov, ki so nastali od leta 1976 do 1994. Posebej velika potresna dejavnost je bila v tem času na območju severovzhodno od Kobeja. Številni potresi na tem območju, pa tudi nekoliko manj številni v drugih predelih očitno niso bili (neposredni) predhodniki nobenega velikega potresa. Če bi jih torej obravnavali kot "predhodne potrese", bi se velikokrat zmotili. V tolikšni množici (manjših) potresov tudi omenjena potresa nista vzbudila posebne pozornosti. Šele potres čez 11 ur je pokazal, da sta bila njegova znanilca.

Primerjava s potresi v Sloveniji

Ob katastrofi v Kobeju se je marsikomu vsililo vprašanje, ali je kaj takega možno v Sloveniji, npr. v Ljubljani. Glede na seizmološke in posebej seismotektonske podatke, ki jih imamo na voljo, je tak pojav (v razumnem času) na ozemlju Slovenije zelo malo verjeten. Kljub temu pa je zanimiva primerjava nekaterih naših močnejših potresov s potresom v Kobeju.

V slovenski potresni zgodovini je največji potres leta 1511 na Idrijskem. Ta naj bi na območju nadžarišča dosegel učinke X. stopnje po MSK potresni lestvici. V zadnjih dvesto letih je bil najmočnejši potres leta 1895 na območju Ljubljane. Dosegel naj bi učinke VIII. do IX. stopnje. V preglednici so za primerjavo dani nekateri temeljni podatki teh dveh potresov in potresa v Kobeju: magnituda m , nadžariščna intenziteta I_0 , žariščna globina h , polmer r_3 intenzitete III (to je povprečna razdalja, do koder so čutili potres), polmer r_8 intenzitete VIII (to je polmer območja, kjer so bile

obširnejše poškodbe), dolžina prelomnega pretrga L , trajanje prelomnega pretrga t in število mrtvih $+$. Za idrijski in ljubljanski potres ni podatkov, da bi lahko ocenili dolžino in trajanje prelomnih pretrgov. Vrednosti, ki so v preglednici le za slikovitejšo primerjavo naših potresov z japonskim, temeljijo na predpostavki, da sta pretrga nastala v enakih fizikalnih in geoloških razmerah kot pretrg pri potresu v Kobeju.

Ljubljanski potres, ki je bil sicer tudi "urbani potres", se ne more primerjati s katastrofo v Kobeju. Potres na Idrijskem leta 1511 je po predstavljenih značilnostih primerljiv s potresom v Kobeju. Upoštevati je treba, da so seizmološki podatki za potres v Kobeju izračunani po sodobnih postopkih in so dokaj zanesljivi, podatki za idrijski potres pa so grobe ocene, ki temeljijo na srednjeveških opisih, pri katerih je pogosto pretiravanje. To zelo verjetno velja tudi za število žrtev potresa, ki naj bi bile pretežno v Furlaniji. Na podlagi izkušenj, ki jih pridobivamo s primeri, kot je bil januarski potres v Kobeju, bi kazalo idrijski potres in tudi mnoge druge ponovno ovrednotiti.

Sklep

Dosedanji podatki so pokazali, da je bil potres v Kobeju, ki so ga poimenovali potres Hyogo-ken Nanbu ali Hanshin, značilen plitev znotrajploščni potres, ki ni imel nobenih posebej nenavadnih žariščnih značilnosti (6). Velika nesreča je bila posledica spleta dejavnikov, pri čemer so seizmološke in seismotektonske značilnosti potresa ter talne razmere na potresnem območju bistveno vplivale na njen obseg. Pomembni so bili velikost potresa, bližina žarišča in posebej potek potresnega pretrga pod mestom ter mehka nesprijetost in deloma nasuta tla, ki so ojačala tresljaje, na več mestih so se močno posedla in razpokala, ponekod so se peski utekočinili.

Posledica usmerjenosti prelomnega pretrga so bile velike amplitude tresljajev z daljšimi nihajnimi časi, kar je bilo verjetno pogubno za navidez dobro grajene dvignjene prometnice. Značilne so bile velike vrednosti navpične komponente pospeška nihanja tal. Vse to je še in nedvomno še bo povzročilo temeljite analize in

Preglednica. Primerjava dveh velikih slovenskih potresov s potresom v Kobeju

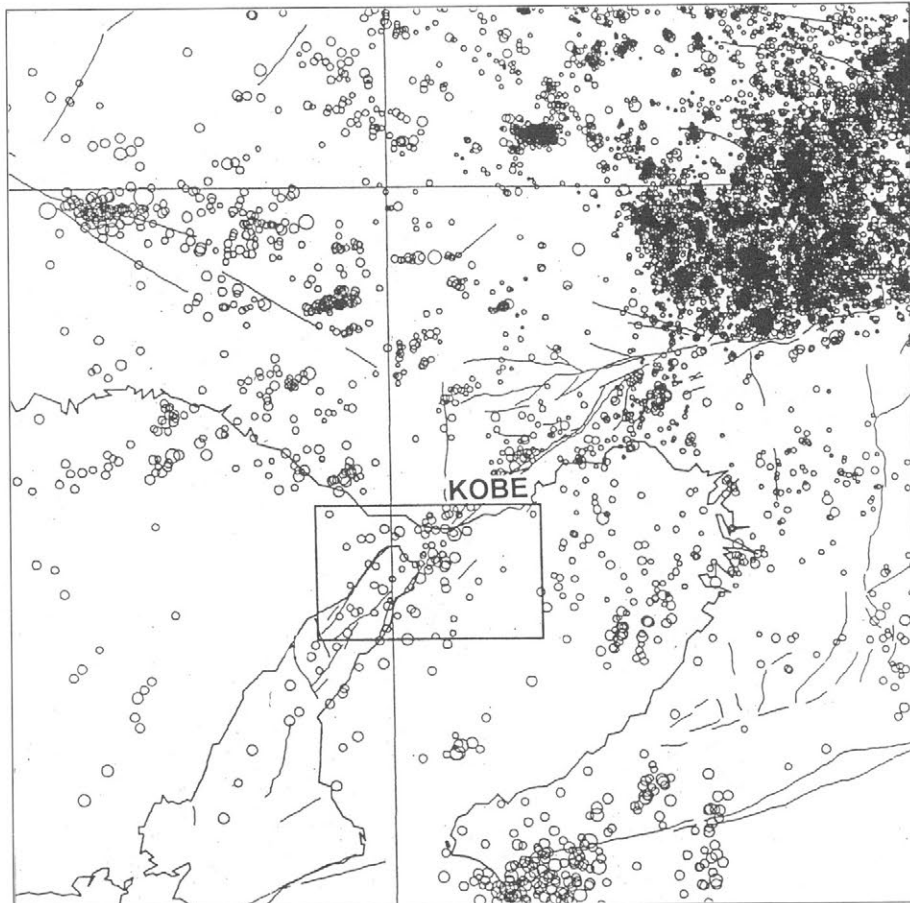
Table. A comparison of two major earthquakes in Slovenia with the earthquake in Kobe

	Idrija 1511	Ljubljana 1895	Kobe 1995
m	6,5 (6,3–7,2)	5,8 (5,8–6,1)	6,9 (6,8–7,2)
I_0 (MSK)	10	8–9	10 (?)
h (km)	15–20	16	8–22
r_3 (km)	750	350	(?)
r_8 (km)	> 40	18	40
L (km)	15–30 (?)	5–15 (?)	30–50
t (s)	3–6 (?)	1–3 (?)	6–10
$+$	12,000	2 (?)	> 5200

številine razprave o tem, ali bodo potrebne manjše ali večje dopolnitve in spremembe veljavnih japonskih predpisov za potresno varno gradnjo ali ne. Pri tem bodo prav gotovo zelo koristni številni zapisi močnih nihanj (akcelorogrami) januarskega potresa, saj je to prvi večji nabor zapisov znotrajloščnega potresa iz neposredne bližine prelomnega pretrga.

V prid sedANJI zakonodaji je dejstvo, da se stavbe, ki so bile ustrezno grajene in posebej stavbe, ki so bile zgrajene po letu 1981, ko so bili sprejeti novi predpisi o potresno varni gradnji, niso zrušile ne glede na neugodne potresne in geološke značilnosti. Moderni objekti, ki so bili grajeni po najnovejših in najzahtevnejših japonskih načelih potresno varne gradnje, pa so potres prestali zelo dobro. To obenem utrjuje predpostavko, da je mogoče razmeroma potresno varno graditi tudi na območjih z zelo veliko potresno nevarnostjo.

Podroben opis vpliva obravnavanega potresa na stavbe ter odziva nanj in njegove posledice je v tej številki Ujme (11, 12), pregledni daljši ali krajši opisi potresa pa v drugih domačih (2, 7) in tujih (4, 6, 8, 10) objavah.



Slika 9. Karta nadžarišč potresov od 1976 do 1994 (1)
Figure 9. Epicentral map for the period 1976-1994 (1)

1. Ando, M., 1995. Osebo posredovanje podatkov ob obisku DPRI Univerze Kyoto, Februar 1995.
2. Fischinger, M., M. Tomažević, J. Lapajne, 1995. Vpliv potresa v Kobeju januarja 1995 na gradbene objekte. Gradbeni vestnik 4-5/6/44, Ljubljana, 68-78.
3. Fujiwara, T., 1995. Osebo posredovanje podatkov ob obisku DPRI Univerze Kyoto, Februar 1995.
4. Fujiwara, T., Y. Suzuki, M. Nakashima, S. Iwai, A. Kitahara, M. Bruneau, 1995. Overview of building damage from the 1995 great Hanshin earthquake. Pripravljeno za objavo v News Letter of Disaster Prevention Research Institute #2, Kyoto University.
5. International Association for Earthquake Engineering, 1992. Earthquake resistant regulations, A world list - 1992. Gakujutsu Bunken Fukyu-kai, Tokyo.
6. Kanamori, H., 1995. The Kobe (Hyogo-ken Nanbu), Japan, Earthquake of January 16, 1995. Seismological Research Letters 66/2, Seismological Society of America, 6-10.
7. Lapajne, J., 1995. Značilnosti potresa v Kobeju januarja 1995. Slovenski kolokvij o betonih - Sanacije betonskih objektov, Zbornik gradiv in referatov, IRMA, Ljubljana, 43-7.
8. Monastersky, R., 1995. Kobe disaster offers lessons for U.S. Science News 147, 54.
9. Nakashima, M., 1995. A short memo on Hyogoken - Nanbu Earthquake. Pismo, Kyoto, 27. Januar 1995.
10. Somerville, P., 1995. Kobe Earthquake: An Urban Disaster. EOS, Transactions 76/6, American Geophysical Union, 49-51.
11. Tomažević, M., M. Fischinger, 1995. Potres v Kobeju na Japonskem januarja 1995, Odziv na potres in posledice. Ujma 9, Ljubljana.
12. Tomažević, M., M. Fischinger, 1995. Potres v Kobeju na Japonskem januarja 1995, Vpliv potresa na stavbe. Ujma 9, Ljubljana.

Janez Lapajne

The Kobe Earthquake of January 1995

Seismological and Seismotectonic Characteristics and Ground Behavior

Early in the morning on January 17, 1995, one of the most damaging earthquakes struck Kobe and adjacent cities. More than 107,000 buildings and homes were destroyed or damaged beyond repair, rendering more than 300,000 people homeless. More than 5,200 people died and about 27,000 were injured. Many multi-storey RC buildings suffered significant failure. All major transportation systems were severed by the collapse of elevated roads and railways. Total losses may exceed two hundreds billion US dollars. Violent shaking and high seismic vulnerability of older buildings contributed to the high level of destruction (4, 6).

The strong ground motions were caused by the earthquake rupture just below downtown Kobe, and were also due to soft soil conditions. The earthquake mecha-

nism was almost pure strike-slip with moment magnitude 6.9 and a source duration of 6 to 10 sec. The rupture length was estimated at 30 to 50 km, and the rupture width at 15 km. From this the average fault slip is 1.1 to 1.9 m and the stress drop is 14 to 24·10⁵ N/m² (6, 10).

In the Sannomiya district of downtown Kobe, serious deformations of road pavements and of the ground around building foundations may have helped cause the tilting of buildings, collapse of individual storeys, or collapse of entire multistorey buildings. On the islands of Rokko and Portopia, liquefaction caused subsidence in the range of 0.5 to 3 m. Local lateral spreading of soils occurred along quay walls in many parts of the extensive port facilities in Kobe (10).

Peak accelerations of more than 0.8 g were recorded in Kobe and Nishinomiya. The horizontal peak velocities in central Kobe exceeded 0.5 m/s on rock, and 1 m/s at soil sites. The near-fault ground velocity time histories have large pulses of long-period motion, which are indicative of rupture directivity effects and are potentially damaging to long-period structures such as multi-storey buildings, bridges and elevated transportation lines. Despite strong vibrations, properly designed and constructed buildings and structures with pile foundation did not experience any serious damage (4, 6, 9, 10).