

POTRES NA SAHALINU

27. MAJA 1995

Renato Vidrih*, Matjaž Godec**

UDK 550.34 (470 Sahalin) "1995"

Otok Sahalin, ki ga je 27. maja 1995 prizadel rušilni potres, leži na skrajnem vzhodu Rusije. Meri 87 100 km² in ima 652 700 prebivalcev. Naseljenih je le malo mest, ker pa so v novjšem času našli precej nafte (vzhodnosahalinski naftni bazen), so začeli graditi tudi nova mesta, ki so zgrajena zelo slabo. To trditev je potrdil potres 27. maja 1995, ki je bil ob 13. uri in 3 minute po UTC. Seizmografi Uprave RS za geofiziko na observatoriju na Golovcu, ki je oddaljen od žarišča potresa 8050 km, so ga zaznali približno 11 minut in pol pozneje. Koordinati epicentra (nadžarišča) sta 52,63 N in 142,83 E, to je na skrajnem severnem delu otoka. Magnituda potresa je bila 6,7 po Richterjevi lestvici. Kljub temu, da je bil potresni sunek zelo močan, pa je veliko ljudi (1989) umrlo zaradi zelo slabe gradnje.

Seizmogeološke razmere

Epicenter (nadžarišče) potresa je bil na severnem delu 950 kilometrov dolgega ruskega otoka Sahalin, približno 70 kilometrov južno od mesta Oha in približno 160 kilometrov severno od največjega sahalinskega mesta Neftegorska. Žarišče je bilo ob morski obali Ohotskega morja. Geološko gledano to morje približno sovpada z Ohotsko litosfersko ploščo (slika 1). Njena osnova je iz predkambrijskih kamnin, pokrivajo pa jih debele skladovnice mlajših kamnin. V terciarnih sedimentih vzhodno od Sahalina (vzhodno-sahalinski naftni bazen) so bogata ležišča nafte, ki jo Rusi tudi črpajo.

Ohotsko ploščo obdajajo štiri druge litosferske plošče (slika 1): na zahodu Evrazijska in Amurska, na severu Severno-ameriška, na vzhodu in jugu pa Pacifiška (1, 7). Stiki med njimi so tektonsko izredno aktivni, del energije se sprošča ob nenadnih potresih, ki so v tem delu Azije zelo pogosti. Drugi del energije se sprošča v obliki počasnega tektonskega polzenja. Potresi so večinoma na območju stičišč plošč, del aktivnosti pa se prenese tudi na obrobne potresne cone, ki so posredno seveda vezane na stike med ploščami. Podobno je bilo tudi pri potresu 27. maja 1995 na severnem delu otoka Sahalin. Slika 2 kaže razpored potresnih žarišč, ki so pretežno vzdolž meje med Ohotsko in Pacifiško ploščo, del žarišč pa je severozahodnejše, tudi na območju Sahalina. Zaradi slabega pregleda žarišč na sliki naj pojasnimo, da so v temnem pasu na jugovzhodu, ki se vleče od jugozahoda proti severovzhodu, plitva potresna žarišča (do 100 km), v sivem pasu, ki poteka vzporedno s temnejšim, so žarišča globoka do 300 km, sledi pas z redkejšimi žarišči, ki so globoka do 500 km, črčkasto označeno polje pa predstavlja območje z najglobljimi žarišči – do 600 km in več. Na samem

otoku nastajajo pretežno plitva in le redka globlja žarišča.

Globina žarišča zadnjega potresa je bila v seizmičnem pogledu plitva, po zadnjih

podatkih le okoli 11 km (4, 7). Pacifiška plošča, ki se podirva, pa je na tem mestu že zelo globoko pod Ohotsko ploščo. Pacifiška litosferska plošča potone pod



Slika 1. Položaj litosferskih plošč, ki gradijo širše območje otoka Sahalina; s trikotnikom je označen epicenter potresa 27. maja 1995 (1)
Figure 1. The position of lithospheric plates that form the wider region of the island of Sakhalin; a triangle marks the epicentre of the 27 May earthquake (1)

* mag., Ministrstvo za okolje in prostor, Uprava Republike Slovenije za geofiziko, Pot na Golovec 25, Ljubljana

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

površino namreč že vzhodno od Kurilskega otočja. Morfološko je ta stik viden kot globok oceanski jarek. Od tam proti zahodu tone vse globlje, na mestu pod epicentrom zadnjega potresa, ki je od Kurilskega jarka oddaljen okoli 1000 km, pa sledov o togi Pacifiški plošči pravzaprav ni več, saj zaradi visoke temperature in pritiska v teh globinah izgubi vso svojo togost. Deformacije na tem območju, če o njih sploh lahko govorimo, so povsem plastične, in zato se tamkajšnje napetosti ne morejo sproščati nenadno, v obliki potresnih sunkov.

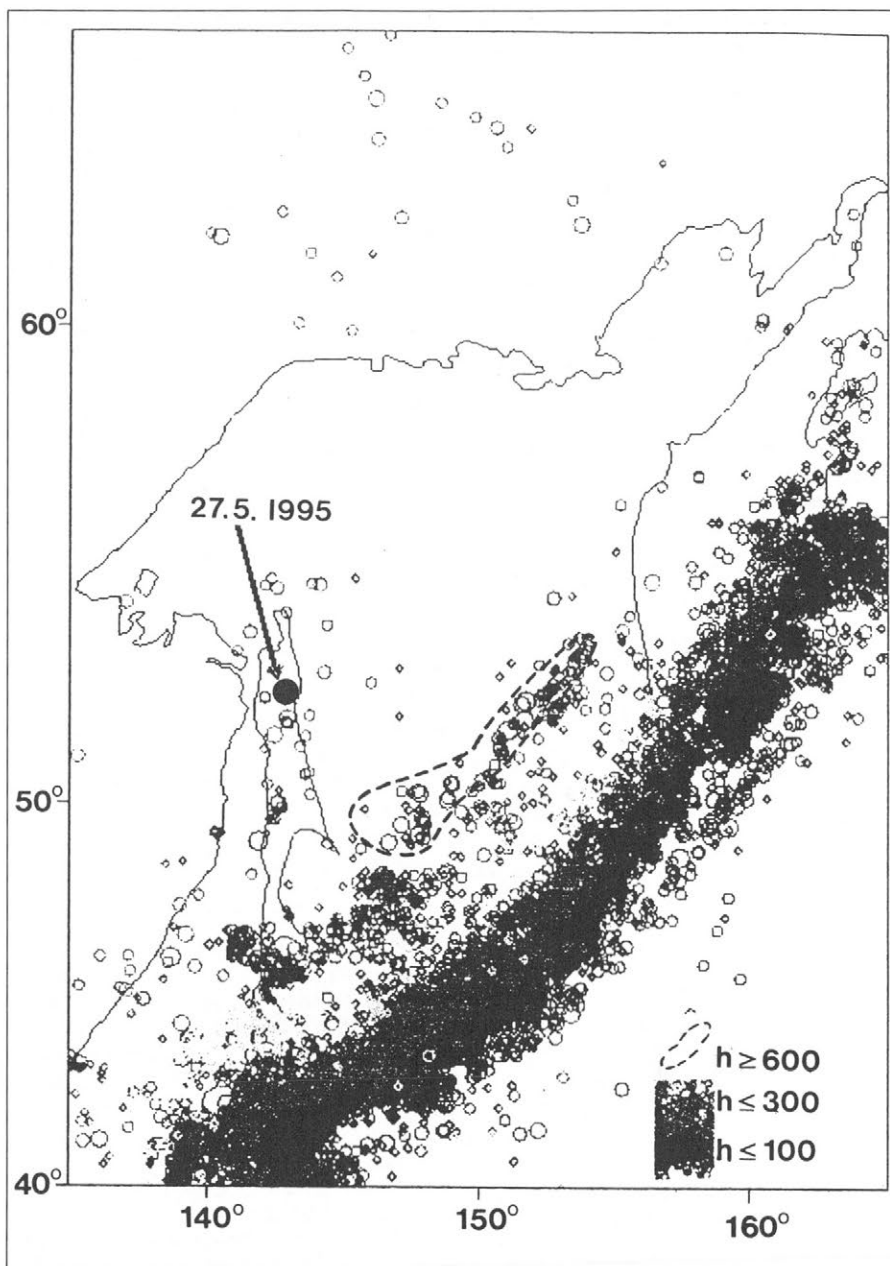
Po podatkih, ki so nam na voljo, je to prvi potres na tem območju, ki je bil tako močan in imel tako plitvo žarišče. Neprimerno več močnih plitvih potresov je na območju Kurilskega otočja in na splošno neposredno vzdolž cone podiranja Pacifiške plošče, na primer na Japonskem ali na območju Aleutskega otočja. V tem stoletju, leta 1907 in 1950, sta bila v Ohotskem morju ob Sahalinu dva močna potresa, ki sta presegla 7,5 stopnje po Richterjevi lestvici. Oba sta imela žarišči v globini več kot 300 km in zato tudi njune posledice na površju niso bile tako velike kot ob zadnjem potresu.

Neotektonska zgradba Sahalina

Sodobna tektonska aktivnost posameznih predelov Sahalina je zelo različna, kar dokazuje tudi porazdelitev potresnih žarišč. Potresna dejavnost je največja na območjih, kjer se sekajo in križajo prelomi, ki potekajo v različnih smereh (6). Največjo vlogo pri nastanku današnje strukture imajo premiki neotektonskih blokov, ki potekajo skozi cel kvartar. Globine prelomov so določene z globino potresnih žarišč in znašajo 10 do 60 km. Globoki diagonalni prelomi so na površini večinoma nedokazljivi, medtem ko so mlajši na površini vidni (slika 3). Okoli 40 % vseh potresnih žarišč nastane v globini, manjši od 30 km, 59 % v globini med 30 in 100 km in le 1 % žarišč je globljih od 100 km.

Seizmičnost Sahalina

Potresno dejavnost na Sahalinu so začeli stalno meriti že na začetku 20. stoletja. Najbolj seizmično aktivni so zahodni predeli otoka na območju Lesogorsk-Ulegorsk in ob severovzhodni obali, na območju Nogliki, kjer so možni potresi do VIII. stopnje po MSK lestvici. Na območju



Slika 2. Seizmičnost širšega območja otoka Sahalin in stika med Ohotsko in Pacifiško ploščo v obdobju 1964–1992; na jugovzhodu so žarišča potresov plitva, proti severozahodu pa vedno globlja, zato je globina zadnjega potresa na Sahalinu presenečenje

Figure 2. Seismicity of the wider region of Sakhalin and the joint between Okhotsk and Pacific plates in the period from 1964 to 1992; the focuses of earthquakes in the south-east are shallower but they become deeper going towards the northeast. Accordingly the depth of the latest earthquake came as a surprise

Aniva na južnem delu otoka so možni potresi med VII. in VIII. stopnjo po MSK lestvici, na severnem (Oha, Neftegorsk) in na južnem delu (Južno-Sahalinsk) pa do VII. stopnje po MSK lestvici. Razen manjših predelov ob severozahodni in vzhodni obali je cel otok seizmično aktiven z možnimi močnimi potresi (6).

Največje znane magnitude na otoku so dosegale vrednosti med 6,5 in 6,75 stopnje po Richterjevi lestvici, največjo intenziteto pa so ocenjevali na VII. do VIII. stopnjo po MSK lestvici. Vsako leto čutijo prebivalci na otoku pet do deset potresov, srednjemočni potresi pa se vrstijo na približno pet let. Ob tem opisu, ki je povzet iz novejših literature (6), nas preseneča

dejstvo, da na karti potresnih con, ki je iz ruskih predpisov o potresno varni gradnji (slika 4), ruski seizmologi niso nikjer pričakovali potresov z učinki, večjimi od VII. stopnje po MSK lestvici. Tudi to je eden od možnih razlogov za nastalo katastrofo.

Osnovni podatki o potresu

Leta 1995 je potres na otoku Sahalin, poleg potresa 16. januarja na Japon-

122 skem, zahteval največ žrtev. Potres je bil ob 13. uri, 3 minute in 52,6 sekund po UTC (4). Na observatoriju Uprave RS za geofiziko na Golovcu v Ljubljani so seizmografi zaznali tresljaje ob 13. uri, 15 minut in 18, 5 sekunde po UTC, kar pomeni, da so potresni valovi do nas potovali približno 11 minut in pol (3). Zapis potresa na Upravi RS za geofiziko je predstavljen na sliki 5. Učinki potresa so bili na površini izjemno veliki tudi zaradi majhne globine žarišča (le 11 km). Magnituda potresa po Richterjevi lestvici je bila 6,7 stopnje, magnituda, izračunana iz površinskih valov, pa nekoliko večja: 7,5 stopnje po Richterjevi lestvici. Koordinati epicentra sta bili 52,63 N in 142,83 E, to je med mestoma Oha in Neftegorsk na skrajnem severu otoka. Na dokaj redko naseljenih območjih na severu otoka je bilo do tal porušeno mesto Neftegorsk, zelo poškodovana pa so bila tudi okoliška naselja. Umrlo je 1989 ljudi, 750 pa je bilo ranjenih. Največ žrtev je ostalo pod ruševinami petnadstropnih stanovanjskih blokov, ki so bili izredno slabo grajeni in so jih imenovali kar "stanovanja iz lepenke". Ruske oblasti so se odločile, da mesta ne bodo obnavljale, ampak bodo brezdomcem našli nove domove. Tako so se verjetno odločili tudi zaradi zelo slabih socialnih razmer že pred potresom. Nekateri očitki so pripovedovali o

kriminalu, o skromnem življenju. Tudi reševanje po potresu je bilo zelo skromno, saj so neopremljene ekipe prihajale z velikimi zamudami. Tudi reševalci iz Neftegorska niso bili opremljeni za reševanje izpod ruševin. Gasilsko brigado, ki bi verjetno veliko prispevala k reševanju življenj, so zaradi pomanjkanja denarja ukinili že leta 1992.

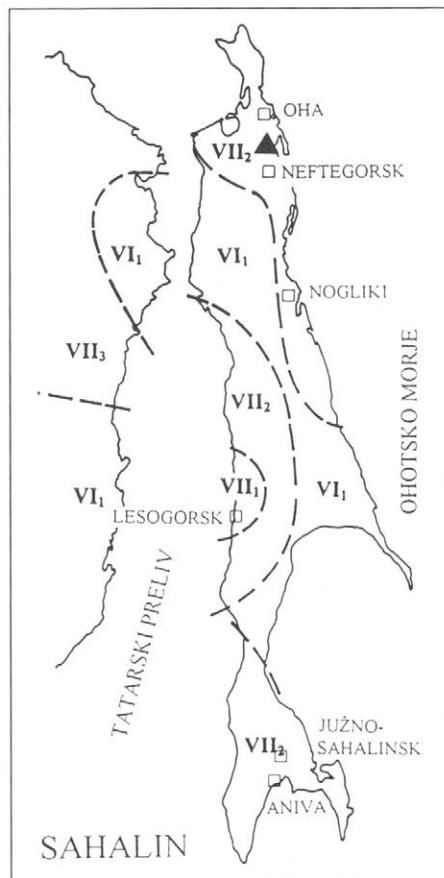
Zakaj je bilo porušenih 80% mesta Neftegorsk? Iz poročil in pregleda dostopnega fotografskega materiala je videti, da so se zgradbe popolnoma porušile. V Neftegorsku so bili to pretežno petnadstropni objekti, zgrajeni v času predsednika Hruščova v poznih 50. letih, zato so jih prebivalci imenovali "hruščovke", in v poznih 60. letih, te so po tedanjem predsedniku Brežnjevju imenovali "brežnjevke". Tipične porušitve predstavljata sliki 6 in 7, ki ju je posnel prof. Gregorij L. Koff z moskovskega inštituta za litosfero. Posnetka je odstopil prof. Mihi Tomaževič z Zavoda za gradbeništvo, ki pa ju je posodil za objavo v Ujmi, za kar se mu avtorja zahvaljujeva. Potres pa ni prizanesel niti novejšim zgradbam.

Standardizirani objekti v Rusiji so bili grajeni v velikih serijah. Tipičen primer je tudi mesto Neftegorsk, ki je nastalo v zadnjih desetletjih. Prihranek 5 do 15 % pri konstrukciji je glede na veliko število objektov zelo velik. Posledica tega pa so problemi, ki so nastali glede varnosti in stroškov pri projektiranju in pozneje gradnji.

Preiskovalne ekipe so že po potresu decembra 1988 v Armeniji, v katerem je umrlo več kot 26 000 ljudi, ugotovile, da so projekti ustrezali potresnim predpisom (2). Tu se postavi vprašanje kakovosti predpisov. Že prej je bilo omenjeno, da na karti potresnih con (slika 4) nikjer na Sahalinu niso predvidevali potresov, močnejših od VII. stopnje po MSK lestvici (ker močnejših potresov dotlej še ni bilo), za kar pa ni potrebna posebna potresna varna gradnja. Vendar je tudi sicer kakovost ruske gradnje večinoma slaba, tako da objekti pri potresih, večjih od projektno predvidenih, nimajo nobene rezerve za absorbiranje potresne energije. Analize poškodb so tudi pokazale veliko pomanjkanje konstrukcijskih elementov za sipanje energije in duktilno obnašanje. Tako so posledice lahko zelo tragične.

Kratek pregled ruskih predpisov za gradnjo na potresnih območjih

Pri projektiranju veljajo za gradnjo na potresnih območjih nekdanje Sovjetske zve-



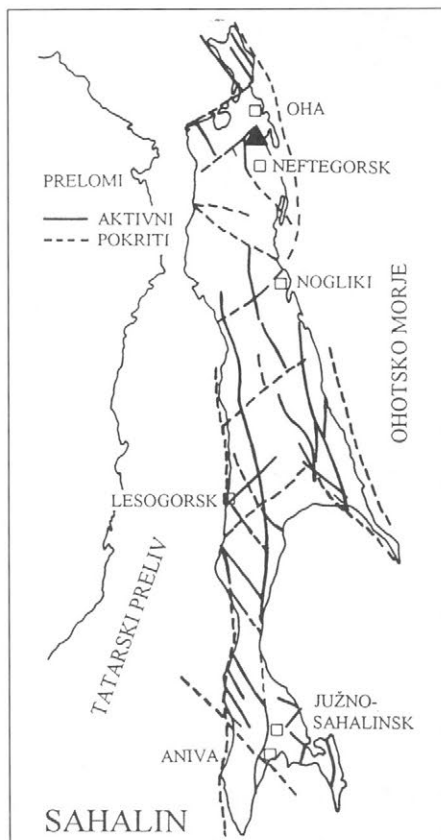
Slika 4. Karta potresnih con na Sahalinu in sosednjem ruskem ozemlju; s trikotnikom je označen epicenter potresa 27. maja 1995 (5)

Figure 4. A seismic zone map of the Sakhalin island and bordering Russian territories; a triangle marks the epicentre of the 27 May earthquake (5)

ze in današnje Rusije predpisi (5), v katerih so določene vrednosti za izračun potresnih sil. Osnova za vrednotenje seizmičnosti potresnih območij je 12-stopenjska MSK potresna lestvica (ta velja trenutno tudi v Sloveniji). Pri tem je VI. stopnji pripisan vrhni ali največji pospešek tal 0,05 g, VII. stopnji 0,1 g, VIII. stopnji pa 0,2 g.

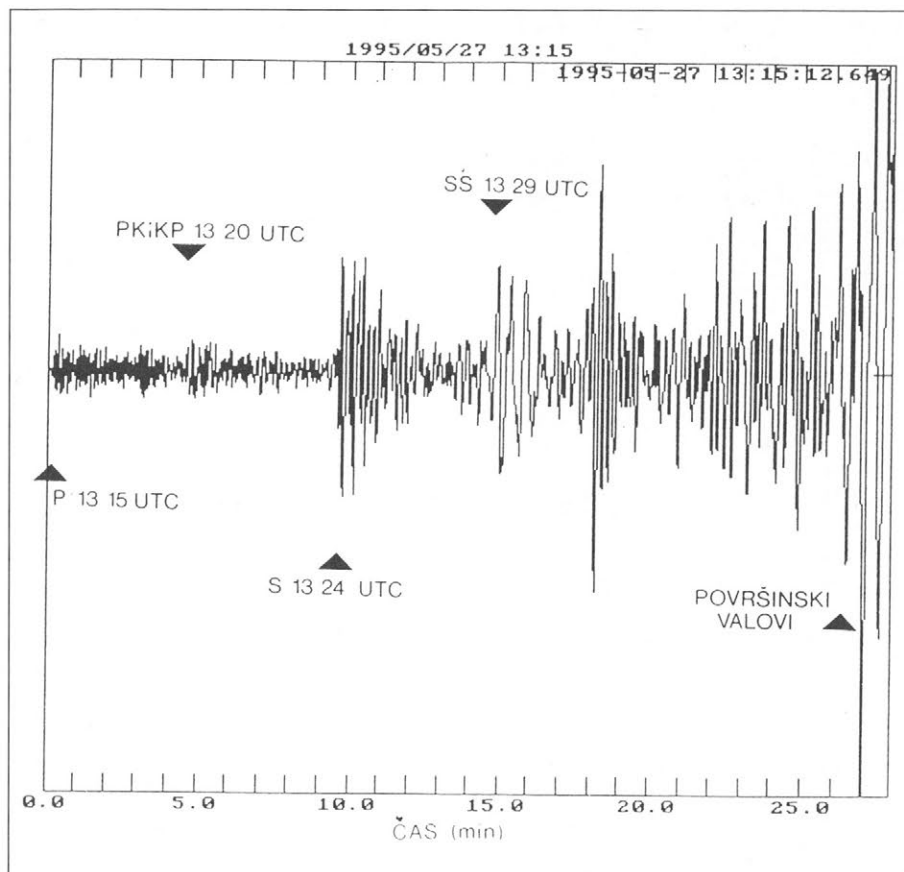
Tu velja načelo, da za območja s stopnjo seizmične intenzitete, manjše od VI. stopnje po MSK lestvici, niso potrebni posebni izračuni. Prav tako velja, da za območja z intenziteto, večjo od X. stopnje po MSK lestvici, ni možno graditi ustrezno potresno odpornih objektov. Boljša kakovost konstrukcij za območja z intenziteto, večjo od VI. stopnje po MSK lestvici, pomeni kontrolo kakovosti vezave opeke in malte, natančno pripravo stikov pri betoniranju in kontrolo stikov pri montažnih elementih. Tem detajlom je treba pri gradnji nameniti posebno pozornost.

Bistvenega pomena pa je razvrstitev glede na intenzitetno lestvico. Veljavna karta potresne nevarnosti temelji na potresih, ki so se zgodili v preteklosti, in predvidevanju, da bo največja potresna sila potresov v prihodnosti enaka največji potresni sili dotedanjih potresov. Tako je območje otoka Sahalin uvrščeno v največ VII. stopnjo po MSK lestvici (slika 4). Pri



Slika 3. Shematska ponazoritev neotektonskih prelomov na Sahalinu; s trikotnikom je označen epicenter potresa 27. maja 1995 (6)

Figure 3. A scheme of neotectonic faults on Sakhalin; a triangle marks the epicentre of the 27 May earthquake (6)



Slika 5. Zapis potresa 27. maja 1995 na Sahalinu, zabeležen v observatoriju Uprave RS za geofiziko na Golovcu v Ljubljani: od žarišča do observatorija so potresni valovi potovali 11 minut in pol: na seizmogramu so označeni prihodi valov P in S ter odboj od Zemljinega jedra (PKiKP); zadnji del seizmograma so površinski valovi, ki so večkrat obkrožili celo Zemljo

Figure 5. The registration of the most powerful earthquake in 1995 (after the January 6 earthquake in Japan) which took place on May 27, at 13.03 UTC on the Russian island Sakhalin, registered at the Seismological Observatory of Slovenian Geophysical Survey in Ljubljana; it took 11 and half minutes for the seismic waves to travel from the epicentre to the Observatory; the seismogram shows the P and S waves and the core reflection (PKiKP); the last part of the seismogram represents the surface waves that travelled around Earth several times



Slika 6. "Običajen jutranji pogled 28. maja 1995", kakor je posnetek poimenoval avtor Gregorij L. Koff z moskovskega inštituta za litosfero: pogled na porušena "stanovanja iz lepenke ali hruščovke"; posnetek je za objavo posredoval M. Tomažević

Figure 6. "Typical morning view on May 28, 1995" – a title chosen for this photograph by its author Gregorij L. Koff from the Moscow Institute of Lithospheric Studies; collapsed "cardboard" or "Krushchovyokas" flats can be seen: obtained for publication with assistance from M. Tomažević

tem ruski predpis uvaja podstopnje, ki 123
predpostavljajo faktor pri izračunu pospeška. Vrednosti 1, 2 in 3 (na sliki vidimo vrednosti VI₁, VII₁, VII₂, VII₃) predstavljajo faktor 0,85, 1,0 in 1,15 pri določitvi pospeška. Na območju mesta Neftegorsk je določena stopnja VII₂ in temu ustrezen pospešek tal:

$$PGA = 0,1g \cdot 1,0$$

$$PGA = 0,1g$$

Vpliv tal je zajet tako, da projektanti lahko za eno stopnjo dvignejo stopnjo seizmičnosti lokacije, če je objekt temeljen na slabih tleh, ali pa za eno stopnjo znižajo, kadar je temeljen na skali ali trdnih tleh. Opis tal za povečanje ali zmanjšanje intenzitete je:

- intenziteta ostane nespremenjena za trdne gline in prod, kjer je podtalnica na globini vsaj 8 m
- intenziteta se poveča za eno stopnjo za plastične gline in prode z globino podtalnice, manjšo od 4 m
- intenziteta se zmanjša za eno stopnjo pri vulkanskih, metamorfnih in sedimentnih kamninah ter pri trdnih, kompaktnih tleh z globino podtalnice, večjo od 15 m.

Pri tem velja poudariti prakso v Rusiji, kjer so na temelju geomehanskih raziskav izbirali lokacije za objekte. Na ta način so pri gradnji velikega števila standardiziranih objektov lahko prihranili precej sredstev, ker so na ta način znižali osnovno stopnjo seizmičnosti.

Koeficient seizmičnosti temelji na največjem pospešku, določenem za posamezno območje. Pri tem je, ob upoštevanju duktilnosti povprečnih objektov, predviden redukcijski faktor 4. Za pomembne objekte te redukcije ni (npr. jedrske elektrarne).

Ekvivalentna potresna obremenitev vključuje tudi dinamični faktor beta, ki je odvisen od nihajnega časa konstrukcije. Spekter za ustrezno dušenje je predpisan za določitev potresnih obremenitev oz. pospeškov v odvisnosti od nihajnega časa. Spekter je normaliziran na vrednost vršnega pospeška tal (vrednost v spektru pri nihajnem času nič). Spekter odziva ima največje ojačenje 3,0 v območju nihajnega časa 0 do 0,3 s in potem zmanjšanje na 0,6 pri periodi 1,5 s. Tako koeficient seizmičnosti niha od ene četrtnine trikratne do ene četrtnine 0,6-kratne vrednosti vršnega pospeška tal (četrtnino prispeva redukcijski faktor duktilnosti).

Sklep

Potres na ruskem otoku Sahalin je pokazal predvsem na nepravilnost veljavne ruske zakonodaje o potresno varni gradnji. Pri vsem poznavanju tehnologije gradnje je zelo pomembna seizmičnost, ki jo seizmologi pripišejo posameznim območjem. Velik pomen imajo geološke,



Slika 7. Uničen petnadstropni blok brez sleherne protipotresne zaščite (foto: G. L. Koff z moskovskega inštituta za litosfero; posnetek je za objavo posredoval M. Tomaževič)

Figure 7. A destroyed 5-storey block of flats with no antiseismic protection (photo: G. L. Koff, Moscow Institute of Lithospheric Studies; Obtained for publication with assistance from M. Tomaževič)

seizmotektonske in seizmogeološke raziskave, še vedno pa so temeljni podatki o potresih, ki so bili na posameznem območju v preteklosti. Na območjih, kjer teh podatkov ni, so slabi ali jih je manj, se pogosto dogaja, da je možni vpliv potresa podcenjen, zato je treba ob vsakem močnejšem potresu pripraviti nove karte potresne nevarnosti.

1. Bally, A. W. (ed.), 1983. Seismic expression of structural styles (A picture and work atlas). AAPG studies in geology, series 15, vol. 3. The American Association of Petroleum Geologists, Oklahoma, USA.
2. Construction Codes and Standards in the Armenian Soviet Socialist Republic, Earthquake Spectra, august 1988. Earthquake Engineering Research Institute, El Cerrito, California.
3. Deterding, M. (redactor), Ceci, I., Šinkovec, M., Vidrih, R., Živčič, M., Mukavec, R., 1995. Preliminary seismological bulletin, No. 10. Geophysical Survey of Slovenia, Ljubljana.
4. Preliminary Determination of Epicenters, Monthly Listing, May 1995. US Department of the Interior. Geological Survey, National Earthquake Information Center.

5. Standards and regulations for Construction in former Union of Soviet Socialist Republics (Part 2, Chapter 7: Construction in Seismically Active Regions). Earthquake Regulations – A World List. IAEA, 1992, Tokyo.
6. Tragedija i bol pos. Neftegorsk, Moskva, julij 1996.
7. Vidrih, R., Godec, M., Verbič, T., 1995. Potres 27. maja letos na Sahalinu. Ruševine dokazujejo, da je davek zahtevala predvsem nesolidna gradnja. DELO- Znanje za razvoj, 7. junij 1995, Ljubljana.

**Renato Vidrih,
Matjaž Godec**

The 27 May 1995 Earthquake on Sakhalin

The seismographs at the Seismological Observatory of the Slovenian Geophysical Survey in Ljubljana registered a powerful

earthquake on 27 May 1995, at 13:15 UTC, at a distance of 8050 km. The earthquake occurred on the Russian island of Sakhalin at 13:03 UTC, meaning that it took approximately 11,5 minutes for the waves to reach Ljubljana. Apart from the 16 January earthquake in Japan, the Sakhalin quake claimed the largest number of lives in 1995. Its epicentre took place in the northern region of the island (52.63N and 142.83E). Its focus was at a depth of 11 km. The earthquake reached a magnitude of 6.7 on the Richter scale (level 7.5 on the Ms scale). 1989 people died in the sparsely inhabited regions of the island and 750 people were injured. Most victims were buried under collapsed 5-storey blocks of flats, built under the governments of presidents Krushchev and Brezhnev. People called them "Krushchyovkas" and "Brezhnyovkas" and their construction was extremely poor.

Because of the shallowness of the focus, the effects on the surface were even greater. The Pacific plate which subducts at this location is already deep under the Ohotsk plate. The Pacific lithosphere plate dives beneath the surface already to the East of the Kuril Islands where most focuses take place. Mostly they occur right at the joints but part of the activity is also transferred to the bordering seismic zones that are directly connected to them. The 27 May earthquake was also a part of this activity.

Russian regulations on seismically safe construction are to blame for the catastrophe. Valid seismic hazard maps are drawn according to previous earthquakes in the region, assuming that the most powerful earthquake will reach the intensity of the most powerful earthquake from the past. According to the existing data, the Sakhalin region was placed in the level VII MSK group but the latest quake changed such ratings significantly. Standardised buildings in Russia were built in large numbers. 5% to 15% savings in constructions were considerable regarding the number of buildings but they became meaningless in the event of an earthquake. The research teams employed after the Armenian earthquake established that the buildings were seismically safe, but the quality of Russian construction work is mainly poor. In the event of an earthquake larger than expected, the buildings do not absorb additional seismic energy. The analysis discovered insufficient use of construction elements for the dispersion of energy and expansion of the buildings.

In the regions for which seismic data is insufficient or even non-existent, the possible effects of an earthquake are frequently underestimated. In consequence, every large earthquake calls for a renewal of seismic safety maps, a fact of which Russian seismologists and construction workers will have to become more aware.