

Zaključka ni! Če se ozremo nazaj, je stroka na omenjeni problematiki opravila veliko delo, če pogledamo naprej, pa vidimo, da nas čaka še trdo raziskovanje pri spoznavanju sveta, v katerem živimo. Znanstveno napovedovanje bo vse pomembnejše!

1. AIChE — American Institute of Chemical Engineers, 1989. Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis, New York.
2. BIOMOVs II, Progress Report No. 1, Inter-Science Sciences, Nov. 1991.
3. Bohanec, M., L. Gyergyek. Večparametrsko odločanje, podprto z lupino ekspertnega sistema. ELVEA 2,55, 3—4, str.
4. Clifton, J. J., 1988. Risk Analysis and Predictive Techniques, The 1988 European Summer School on Major Hazards, Cambridge.
5. IAEA — Safety Series No. 100, 1989. Evaluating the Reliability of Predictions Made Using Environmental Transfer Models, Vienna.
6. Koblar, J., M. Simoneti, 1991. Vizualne simulacije kot nova tehnika v prostorskem načrtovanju. IB, št. 5—6.
7. NKA — Nordic liaison committee for atomic energy, 1989. Risk analysis and safety rationale, Principles for decisions involving environmental and health risk, Informako gruppen, Stockholm.
8. Polič, M., 1990. Prispevek k preliminarni oceni načrtovanega Cimosovega obrata v Kopru z vidika varstva okolja. SEPO, S-BK-MJ/90-W1110/1, 23. 4. 1990.
9. Singleton, W. T., J. Hovden., 1987. Risk and Decisions, John Wiley & Sons.
10. Van Kuijen, C. J., 1988. Prevention of industrial accidents in the Netherlands. UNEP Industry and Environment, Vol. 11, No. 3.
11. Vojnović, D. 1991. Odločanje brez čustev, le z objektivnimi dejstvi, Delo — Znanje za razvoj, 20. 11. 1991.

Branko Kontič, Svetozar Polič

Environmental Modelling, Risk and Decision Making

Decision making with respect to safety and environment is becoming more and more complex. The risk involved must be taken into account together with numerous other factors such as benefits, the uncertainties and the public perception. Can the decision maker be aided by some kind of system, general rules of thumb or broader perspective on similar decisions? In the article the role and the benefit of environmental modelling is discussed for that purpose. Difficulties with risk definitions are discussed, too.

DOLOČANJE PROJEKTNIH POTRESNIH PARAMETROV

Janez Lapajne*

UDK 550.34

Potresno varno gradnjo urejajo ustrezni predpisi, ki so pogojeni z možnostmi znanosti in tehnologije na eni ter gospodarnostjo gradnje na drugi strani. Ker ni mogoče zagotoviti stoodstotne varnosti, je osnovna naloga potresno varnega projektiranja varovanje ljudi; varovanje materialnih, kulturnih in drugih dobrin je na drugem mestu. Potresno varno grajen objekt torej ni stoodstotno varen, ampak je le velika verjetnost, da ga potres v njegovi življenjski dobi ne bo tako poškodoval, da bi ogrozil ljudi in okolico. Večja ali manjša verjetnost, da bo do tega vendarle prišlo, pa je »potresno tveganje«.

Pravilnik o tehničnih normativih za graditev objektov visoke gradnje na seizmičnih območjih (Uradni list SFRJ, 31/1981 s kasnejšimi spremembami in dopolnitvami: 49/82, 29/1983, 21/1988, 52/1990) predpisuje minimalne zahteve potresno varne gradnje (investitor se lahko odloči tudi za večjo varnost). Z razdelitvijo gradbenih objektov v različne kategorije predpisuje pravilnik glede na pomen, namen in značaj objekta različne zahteve za potresno varno projektiranje.

(Opomba: Do ureditve slovenske zakonodaje ostajajo smiselno v veljavi pravilniki iz nekdanje SFRJ.)

Za načrtovanje objektov II. in III. kategorije, npr. stanovanjske zgradbe, je projektni potresni parameter kar pričakovana **maksimalna potresna stopnja** (intenziteta) po potresni lestvici MCS (Mercalli, Cancani, Sieberg), ki jo projektant odčita s predpisane seizmološke karte. Od leta 1987 dalje je pri nas v veljavi verjetnostna seizmološka karta. Ta je izdelana za povratne dobe 50, 100, 200, 500, 1000 in 10 000 let. (Povratna doba je čas, v katerem se potres s stopnjo, ki jo navaja karta, pojavi v povprečju enkrat.) Verjetnost, da bo tak potres v času ene povratne dobe presežen, je dobrih 63 %.

Pravilnik predpisuje za projektiranje objektov II. in III. kategorije uporabo karte za povratno dobo 500 let (Ur. l. SFRJ, 52/1990). Verjetnost, da bo potresna stopnja, ki jo daje ta karta, presežena v npr. 50 letih (to je amortizacijska doba navadne stavbe), je približno 10-odstotna. Potresno varno zgrajen objekt se praviloma še ne poruši ob nekoliko močnejšem potresu od načrtovanega, lahko pa se bolj poškoduje.

Za projektiranje objektov I. kategorije, npr. šole, je treba potresno stopnjo določiti z raziskavo zazidalne površine (**potresna ali seizmična mikrorajonizacija**). Pri projektiranju npr. jedrske elektrarne ali visoke vodne pregrade, ki ju pravilnik uvršča med objekte izven kategorije, pa

določitev navadne potresne stopnje ne zadostuje. Zanje terja pravilnik **posebne raziskave seizmičnosti**.

Večje ali manjše potresno tveganje pomeni torej tudi bolj ali manj zahtevno določitev projektnih parametrov in s tem večja ali manjša sredstva, ki jih namenimo za raziskave potresne nevarnosti ozemlja, na katerem gradimo. Pri današnjem stanju seizmologije in sorodnih znanosti bi bilo nedopustno graditi npr. visoko pregrado samo ob upoštevanju potresne stopnje s seizmološke karte. Po drugi strani najbrž nihče ne bi plačal obširnih in dragih raziskav gradbene parcele za navadno stanovanjsko hišo. Seveda pa izsledki raziskav za pomembne objekte bogatijo poznavanje seizmoloških značilnosti celotnega prostora in tako posredno prispevajo tudi k varnejši gradnji drugih objektov.

Verjetnostna analiza potresne nevarnosti

Za objekte izven kategorije terja pravilnik posebne raziskave potresne nevarnosti lokacije za določitev projektnih potresnih parametrov (praviloma so to pospeški in spektralni sestav tresljajev). Pri tem ima verjetnostna analiza prednost pred deterministično. Navadno se določijo projektni parametri za **dve ravni potresnega tveganja**. Večje tveganje se nanaša na t. i. »**projektni potres**«, za katerega je zelo verjetno, da se bo pojavil vsaj enkrat v življenjski dobi objekta, manjše pa na t. i. »**maksimalni potres**«, za katerega je verjetnost nastanka v tem času zelo majhna. Prvega mora objekt prenesti brez po-

* Dr. geofizike, Ministrstvo za varstvo okolja in urejanje prostora, Seizmološki zavod Republike Slovenije, Kersnikova 3, Ljubljana.

škodb, ki bi ogrozile nadaljnje delovanje objekta, drugi take poškodbe lahko povzročijo, ne sme pa prizadeti objekta tako, da bi ogrozil varnost ljudi in okolice.

Pravilnik iz leta 1981 glede projektnega in maksimalnega potresa ne postavlja niti minimalnih zahtev. Ne glede na nedorečenost veljavnega pravilnika so bili v Sloveniji novejši objekti izven kategorije praviloma projektirani za potresne parametre, za katere obstaja 30-odstotna (večje tveganje) oz. 10-odstotna (manjše tveganje) verjetnost, da bodo v amortizacijski dobi objekta preseženi. Verjetnost, da bodo projektni potresni parametri v določenem času preseženi, opredeljuje »potresno nevarnost«.

Pri amortizacijski dobi 100 let (ki je bila doslej predpostavljena za vse objekte izven kategorije) ustreza 30-odstotni potresni nevarnosti povratna doba približno 280 let (projektni potres), 10-odstotni nevarnosti pa povratna doba 950 let (maksimalni potres). Te vrednosti je iz ameriške prakse prenesel Inštitut za potresno inženirstvo in inženirsko seizmologijo iz Skopja, ki je določil projektne potresne parametre za večino pomembnih objektov v Sloveniji (tudi za JE Krško). V zadnjih letih pa so nekaj študij napravile tudi slovenske inštitucije (2, 6).

Predlog pravilnika za inženirske objekte, do izdaje katerega ni prišlo, je predvidel

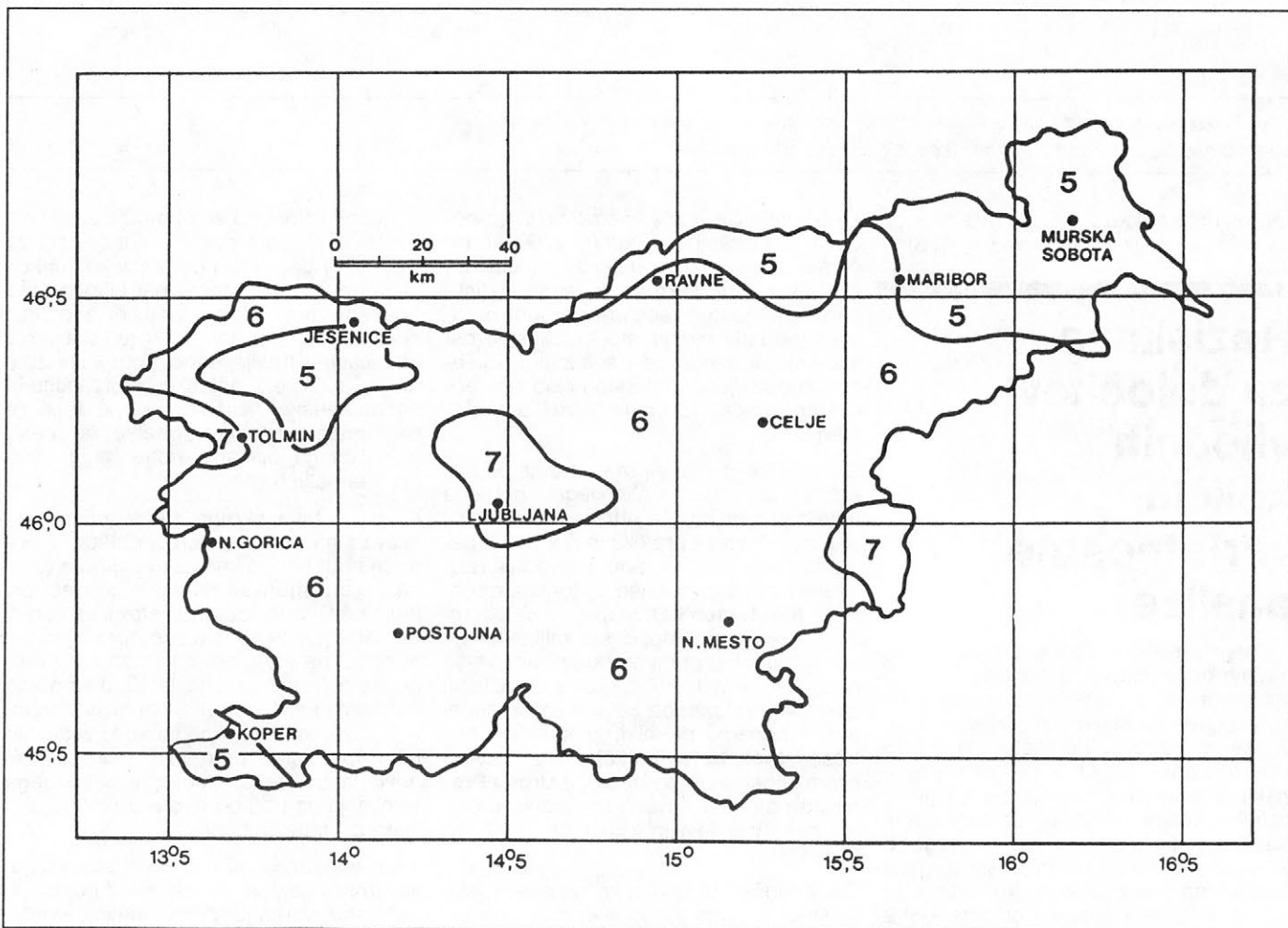
pri vseh objektih izven kategorije za nižjo raven tveganja potres s povratno dobo 1000 let, za višjo raven tveganja pa potres s povratno dobo, ki je praviloma enaka amortizacijski dobi objekta. Za vse objekte izven kategorije je bila predvidena amortizacijska doba 100 let; le za visoke pregrade 200 let, in to zaradi njihove dolge življenjske dobe. Novi pravilnik naj bi bil torej malenkost strožji za »maksimalni potres«, precej manj pa za »projektni potres«, saj je verjetnost dobrih 63 %, da bo ta v času amortizacijske dobe, če je ta enaka povratni dobi, presežen. To pa je zelo veliko tveganje.

Treba je poudariti, da gre pri »projektnem potresu« predvsem za ekonomsko tveganje, saj zadeva le tiste dele oz. sestavine objekta, katerih poškodbe niso kritične za ljudi in okolico. Pravilnik naj bi predpisoval v tem pogledu le minimalne zahteve. Investitor pa se z varnejšo in praviloma dražjo izvedbo lahko odloči tudi za manjše ekonomsko tveganje. Ogroženost prebivalstva, ki jo povzroči izgradnja objekta izven kategorije (npr. jedrske elektrarne ali visoke pregrade), določajo projektni parametri, ki izhajajo iz »maksimalnega potresa«. Nazorneje je pomen obeh potresov in pripadajočih tveganj razviden na primeru JE Krško (4) in HE Golica (5).

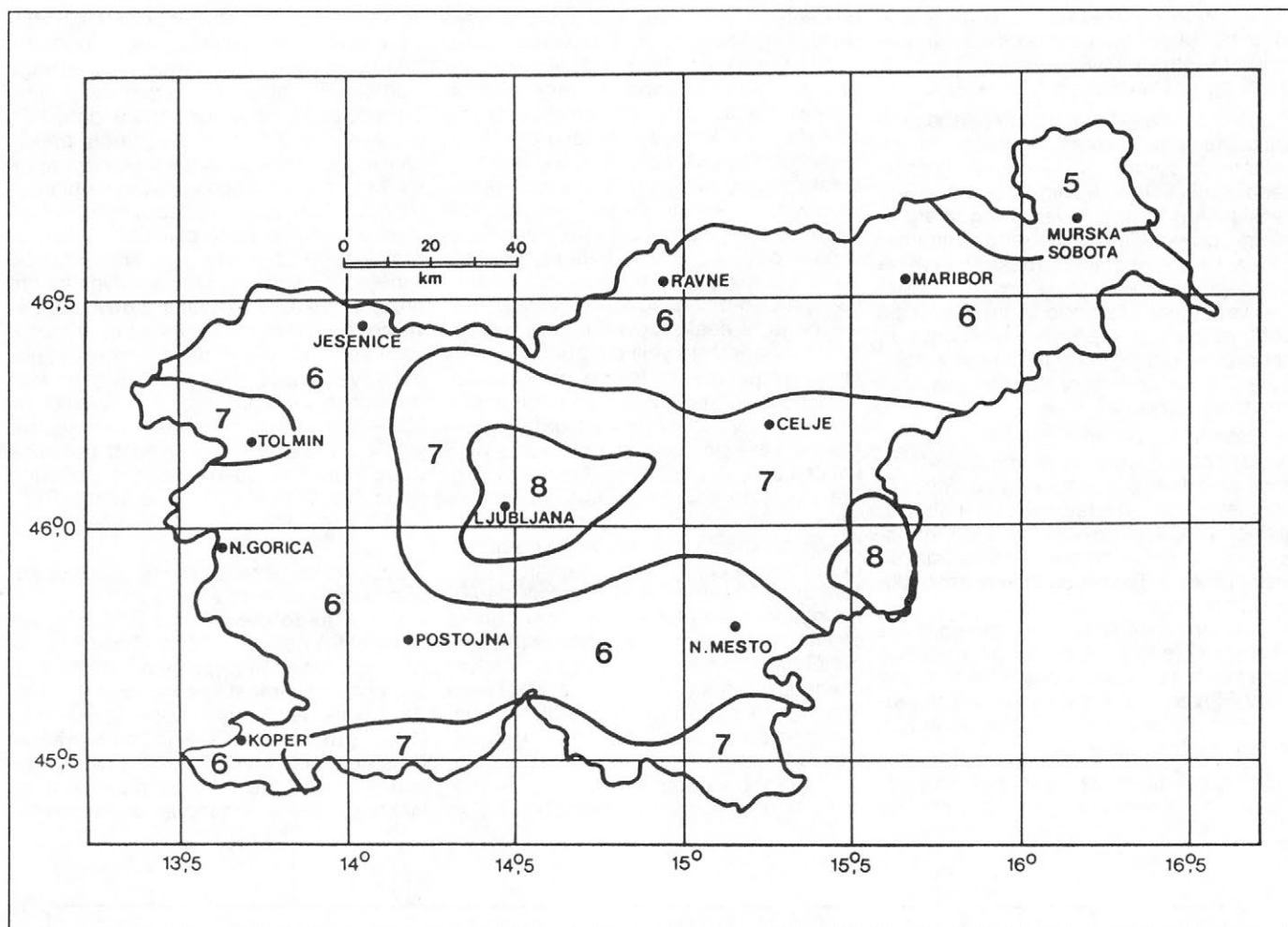
Pri potresno varnem projektiranju in preverjanju že zgrajenih jedrskih objektov so

se v zadnjih letih zahteve poostrile. Določitev dveh ravni (oz. ene, saj je pomemben le »maksimalni potres«) potresnega tveganja ne zadostuje. Verjetnostna analiza potresne nevarnosti mora opredeliti potresno nevarnost oz. verjetnost prekoračitve projektnega potresnega parametra (npr. maksimalnega pospeška nihanja tal) v širokem razponu. Rezultat verjetnostne analize je torej celovita odvisnost projektnega potresnega parametra od verjetnosti njegove prekoračitve, katere grafični prikaz je **krivulja potresne nevarnosti**. Zaradi enostavnosti in primerljivosti se za potresno nevarnost uporablja letna verjetnost prekoračitve (namesto verjetnosti prekoračitve npr. v 100 ali 200 letih). Letna verjetnost prekoračitve je kar enaka obratni vrednosti povratne dobe potresov. Za potrese s povratno dobo 100, 200 in 1000 let je enaka 10^{-2} , 5×10^{-2} in 10^{-3} .

Zaradi velike nezanesljivosti vhodnih količin verjetnostne analize je treba upoštevati tudi **negotovost**. Te žal ni mogoče opredeliti zgolj teoretično. Praktično pa jo je npr. mogoče zajeti tako, da ocenjuje potresno nevarnost več neodvisnih izvedencev ali neodvisnih skupin izvedencev (1, 3, 7, 8). Izkušnje kažejo, da so razhajanja neodvisnih analiz izredno velika. Za isto vrednost projektnega parametra se lahko ocenjene vrednosti potresne ne-



Slika 1. Seizmološka karta Slovenije za potrese s povratno dobo 50 let (po V. Ribariču).
Seismic map of Slovenia for earthquake return period 50 years (After V. Ribarič).



Slika 2. Seizmološka karta Slovenije za potrese s povratno dobo 100 let (po V. Ribariču).

Seismic map of Slovenia for earthquake return period 100 years (After V. Ribarič).

varnosti razlikujejo za eden, dva ali mor-
da celo več velikostnih razredov (1, 3).

Raziskave za določitev vhodnih količin verjetnostne analize

Celoten postopek ocene projektnih potresnih parametrov z določitvijo dveh ravni potresnega tveganja oz. celotne krivulje potresne nevarnosti obsega raznovrstne (predvsem geološke, seizmološke, seizmotektonske in geotehnične) raziskave gradbene lokacije ter bližnje in dalnje okolice. Posebej pomembna je dosedanja potresna in geološka zgodovina raziskovanega ozemlja, saj temeljijo izračuni na predpostavki, da v bližnji prihodnosti (v času uporabe objekta) potrebne razmere in geološka dogajanja ne bodo bistveno drugačna, kot so bila v ne preveč oddaljeni preteklosti.

Za ozemlje Slovenije imamo na voljo podatke o potresih za zadnjih 1200 let, pri čemer so starejši podatki zelo nenatančni in skromni. Tako so za resne statistično verjetnostne račune uporabni predvsem podatki zadnjih sto let, zanesljivost starejših podatkov pa pada z njihovo časovno oddaljenostjo. Zato imajo bolj pomemben značaj, ki pa je lahko zelo pomemben.

Geologi vidijo dlje v preteklost, je pa fizikalna razločnost njihovega pogleda ustrezno manjša. Za obravnavani postopek določevanja projektnih potresnih parametrov za objekte izven kategorije raziskujejo geologi novejša tektonska dogajanja (**neotektonika**), ki segajo na ozemlju Slovenije pet do deset milijonov let nazaj. Posebej pomembno je najnovejše obdobje neotektonike, ko so nastajali geološki prelomi, ob katerih so še sedaj možni nenadni premiki, ki sprožajo potrese (**seizmotektonika**). Na našem ozemlju naj bi bili po geologu **Urošu Premruju** potresno nevarni predvsem prelomi, ki so bili dejavni v zadnjih 10 000 do 20 000 letih.

Seizmološke in geološke raziskave ožje in širše okolice lokacije morajo za izračun projektnih potresnih parametrov, ki temelji na nekem primerno izbranem fizikalno matematičnem modelu, opredeliti

potresne izvore (to so območja potresnih žarišč, ki jih obravnavamo kot celote), za vsak izvor pogostost potresov kot funkcijo potresne magnitude, največjo možno potresno magnitudo in značilen zapis oz. spekter potresa ter funkcije slabljenja (atenuacije) tresljajev od potresnih izvorov do lokacije. Geološke, geofizikalne in geomehanske raziskave same lokacije pa morajo prispevati podatke za oceno morebitnega ojačanja potresnega nihanja v temeljnih tleh.

Kljub še tako skrbno zastavljenim raziskavam mnogih merskih podatkov ni mogoče pridobiti, za kar sta dva glavna vzroka. Po eni strani so pri nas močni potresi (na srečo) redki, po drugi strani pa zaradi pomanjkljive in neustrezne opremljenosti nimamo na voljo potrebnih zapisov močnega potresnega nihanja. Zato so poleg modelnih predpostavk nujni razni privzeti tudi za empirične podatke, ki zadevajo tako opredelitev potresnih izvorov in njihovih lastnosti kot slabljenje potresnega valovanja na poti od izvora do lokacije in lastnosti temeljnih tal.

Težave in omejitve, s katerimi se srečujejo strokovnjaki, ki sodelujejo v postopku potresno varnega projektiranja, izvirajo torej po eni strani iz pomanjkljivega vedenja in stanja seizmološke in geološke znanosti (marsikaj bo seveda ostalo ne-

znano in nepredvidljivo tudi v prihodnje), po drugi strani pa iz omejenih finančnih možnosti.

Kaj so nepotresna območja?

Zaradi pogosto neustrezne rabe izraza »aseizmičen« (nepotresen) kaže tudi o tem spregovoriti nekaj besed. Ob velikem potresu se bolj ali manj trese cela Zemlja. Zato v absolutnem smislu ne moremo govoriti, da je katerikoli košček Zemlje »aseizmičen«. Seveda pa kljub temu imenujemo aseizmična tista območja, kjer praktično ni potresnih žarišč, oz. so potresi šibki, šibki pa so tudi tresljaji močnih potresov iz oddaljenih žarišč.

V povezavi s potresno varnim projektiranjem velja opozoriti na relativnost »aseizmičnosti«. Omenjeni pravilnik predpisuje tehnične normative za potresno varno gradnjo na območjih 7. ali višje potresne stopnje lestvice MCS. V seizmološki karti Slovenije so za potrese s povratno dobo 500 let, ki je predpisana za objekte II. in III. kategorije, nekatera območja uvrščena v 6. potresno stopnjo. Ker tu potresno varna gradnja ni predpisana, so ta območja glede projektiranja teh objektov formalnopravno aseizmična. (Seizmološka karta se nanaša na srednja tla, zato velja ta ugotovitev le za taka ali boljša tla, ne pa za slaba temeljna tla!)

Podobno velja za projektiranje objektov I. kategorije, vendar je zanje merodajna karta potresne mikrorajonizacije. Če ta ne obstaja, je treba pred projektiranjem napraviti ustrezne raziskave za določitev potresne stopnje. Na karti potresov s povratno dobo 1000 let so na ozemlju Slovenije le še območja 7. in višje stopnje. Če gre torej za gradnjo objektov izven kategorije, v Sloveniji ni nobenega nepotresnega območja.

Zaključek

Vrsta in namen gradbenega objekta narokujeta različne zahteve za potresno varno projektiranje. Zato razvršča pravilnik o potresno varni gradnji objekte v štiri kategorije: objekti izven kategorije, objekti I. kategorije, II. kategorije in III. kategorije. Temu je prirejeno tudi določanje projektnih potresnih parametrov. Za projektiranje objektov II. in III. kategorije zadoštuje opredelitev maksimalne potresne stopnje po potresni lestvici MCS ali MSK s predpisane seizmološke karte Slovenije. Za načrtovanje objektov I. kategorije je treba določiti potresno stopnjo s potresno ali seizmično mikrorajonizacijo zazidalnega območja.

Projektiranje objektov izven kategorije terja posebne raziskave potresne nevar-

nosti za določitev fizikalnih potresnih parametrov, npr. pospeškov nihanja temeljnih tal. Pri tem ima verjetnostna analiza potresne nevarnosti prednost pred deterministično. Veljavni pravilnik predpisuje določitev projektnih parametrov za dve ravni potresnega tveganja, ki pa nista formalnopravno opredeljeni. V Jugoslaviji in Sloveniji je bila privzeta ameriška praksa, po kateri je večina projektnih potresnih parametrov določena za 30-odstotno in 10-odstotno tveganje (to je verjetnost, da bodo ti parametri v amortizacijski dobi pri bodočem potresu preseženi).

V zadnjih letih se uvaja nekoliko drugačna opredelitev: za večje tveganje se privzema parameter potresa, ki se v povprečju pojavlja enkrat v amortizacijski dobi objekta, za manjše tveganje pa parameter potresa, ki se pojavlja v povprečju vsakih 1000 let. Prvemu ustreza verjetnost dobrih 63 %, da bo presežen, drugemu pa slabih 10 %. Za amortizacijsko dobo objektov izven kategorije naj bi se privzelo 100 let, razen za visoke pregrade, za katere naj bi upoštevali 200 let.

V primeru jedrskih elektrarn so se v zadnjem času zahteve v ocenjevanju potresne nevarnosti poostrele. Določitev dveh ravni tveganja ne zadostuje, ampak je treba določiti celotno odvisnost projektnega parametra od (letne) verjetnosti prekoračitve. Grafični prikaz te funkcije je krivulja potresne nevarnosti. Zaradi velike nezanesljivosti vhodnih količin analize je treba upoštevati tudi negotovost. Po ameriških priporočilih naj bi zato verjetnostno analizo potresne nevarnosti napravilo neodvisno drug od drugega več strokovnjakov ali skupin strokovnjakov. Z upoštevanjem rezultatov vseh skupin, ki se med seboj lahko precej razlikujejo, bi dobili skupen rezultat analize.

1. Barbano, M. S., in sod., 1989. Assessment of seismic hazard for the Sannio-Matese area of Southern Italy — A summary. *Natural Hazards* 2, 217—228.
2. Breška, Z., in sod., 1986. Analiza potresne nevarnosti na ozemlju Slovenije za obdobje 300 let. Poročilo: Inštitut za konstrukcije, potresno inženirstvo in računalništvo — FAGG, Ljubljana.
3. Electric Power Research Institute, 1988. Seismic hazard methodology for the Central and Eastern United States, NP 4726-A, Revision 1, Final Report.
4. Lapajne, J., 1992. Projektni potresni parametri za jedrsko elektrarno Krško. Ujma, 6, Ljubljana.
5. Lapajne, J., 1992. Projektni potresni parametri za pregrado HE Golica. Ujma, 6, Ljubljana.
6. Lapajne, J., in sod., 1989. Projektni potresni parametri za objekte Polikem Ljubljana. Poročilo: Seizmološki zavod RS in IKPIR — FAGG, Ljubljana.
7. Lapajne, J., Z. Breška, M. Godec, M. Živčič, 1989. Seismic hazard in the Sannio-Matese area of Italy. *Natural Hazards* 2, 363—385.
8. McGuire, R. K., W. J. Arabasz, 1991. An introduction to probabilistic seismic hazard analysis (v tisku).

Janez Lapajne

Determination of Projected Earthquake Parameters (Design Basis Ground Motions)

Earthquake-proof construction in Slovenia (as in other countries) is regulated by relevant legislation, which is on the one hand determined by scientific and technological achievements and on the other by the economics of construction. Since it is impossible to ensure 100 % safety, the fundamental task of earthquake-proof structural design is the protection of people. The protection of property, cultural sites, etc., comes only second. While an earthquake-proof building is therefore not 100 % safe, there is the strong likelihood that in the course of its service life it will not become damaged by earthquakes to such an extent that it will pose a risk for its residents and its surroundings. A more or less high probability that this might happen is called "seismic hazard".

The classification of buildings according to their importance, purpose, and properties involves various design requirements. In designing buildings belonging to classes II and III such as apartment buildings, the projected earthquake parameter (design basis parameter) is the expected maximum MCS or MSK intensity determined by the architect from the prescribed probability seismic map for a return period of 500 years.

In designing class I buildings such as schools, the seismic microzonation of the site is required. For structures outside these classifications such as nuclear power plants or high river dams, the execution of a probability seismic hazard analysis is mandatory. The subject of analysis is the calculation of at least two levels of projected earthquake parameters (design basis ground motion — these are usually peak ground acceleration and response spectrum) or the determination of the seismic hazard curve.

In relation to earthquake-proof design, the use of the term "aseismic area" should be pointed out. Earthquake-proof design of class II and III structures is prescribed for construction in areas of MCS intensity of 7 or more. Areas of MCS intensity values are therefore aseismic from the legal point of view. This equally applies to the design of class I structures, for which seismic microzonation maps are used. There is no aseismic areas for the construction of buildings outside these classifications.