

## ВЕРОЯТНОСТЕН АНАЛИЗ НА СЕИЗМИЧНИЯ РИСК (PSHA-АНАЛИЗ) ПО ЛИНИЯТА БЛАГОЕВГРАД – БАНСКО – ГОЦЕ ДЕЛЧЕВ

**Вилма Петкова<sup>1,2</sup>, Иванка Паскалева<sup>3</sup>, Венцеслав Стоянов<sup>4</sup>, Владислав Костов<sup>2</sup>,  
Биляна Костова<sup>1</sup>, Ралица Берберова<sup>1</sup>, Теодосис Папалиангас<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Нов български университет, Департамент „Природни науки“ – София

<sup>2</sup>Институт по минералогия и кристалография, Българска академия на науките

<sup>3</sup>Европейски политехнически университет – Перник

<sup>4</sup>Висше строително училище (ВСУ) „Любен Каравелов“, София

<sup>5</sup>Технологичен университет в Солун, Департамент „Гражданско строителство“  
e-mail: vilmapetkova@gmail.com

**Ключови думи:** Сезимичност, Еврокод 8, Сеизмична област Кресна

**Резюме:** Българските земи са част от Алпо-Хималайския сеизмичен пояс, характеризиращ се с висока степен на сеизмичната активност. Световните данни доказват увеличаване на щетите от земетресения през последните десетилетия. Това се обяснява с три главни фактора. Първият фактор е свързан с присъствието на човешките и материали ресурси в силно земетръсните райони. Вторият фактор се обуславя от подценяването на реалната земетръсна опасност, което води до пренебрегване и неспазване на противоземетръсните мерки. Третият фактор е свързан с възможностите на науката да предлага достатъчно ефективни решения за намаляване на последствията, преди всичко, да прогнозира земетресенията и характеристиките на очакваните силни земетръсни въздействия, да предлага сигурни методи за обезпечаване на строителството.

В настоящото изследване се анализират сеизмичния hazard и сеизмичен риск, пространствено - времевите вариации на сеизмичността в урбанистични райони на градовете Благоевград – Банско – Гоце Делчев в съответствие с изискванията на Еврокод 8. Тези градове попадат в Кресна - Струмската разломна системата и се характеризират с висок сеизмичен hazard. От друга страна районът попада в планински терен с многообещаващи перспективи за развитие, като на негова територия е разположен и ски курортът в гр. Банско.

Изследването представлява част от работната програма на проект „Управление на риска от природни и антропогенни свлачища в гръцко-български трансграничен регион“ (RISKSLIDES), по Програма за европейско териториално сътрудничество „Гърция - България 2007–2013“. То е свързано с изпълнение на конкретна задача от плана на проекта, свързана с анализ на степента от свлачищен риск по линията на пътя „Банско (Разлог) – Г. Делчев“ и представя резултатите от изпълнението ѝ.

## PROBABILISTIC SEISMIC HAZARD ASSESSMENT (PSHA) IN THE BLAGOEVGRAD – BANSKO – G. DELCHEV

**Vilma Petkova<sup>1,2</sup>, Ivanka Paskaleva<sup>3</sup>, Ventseslav Stoyanov<sup>4</sup>, Vladislav Kostov<sup>2</sup>,  
Bilyana Kostova<sup>1</sup>, Ralitzia Berberova<sup>1</sup>, Theodosios Papaliangas<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>New Bulgarian University, Department of Natural Sciences

<sup>2</sup>Institute of Mineralogy and Crystallography – Bulgarian Academy of Sciences

<sup>3</sup>European Polytechnical University – Pernik

<sup>4</sup>University of Structural Engineering and Architecture (VSU) „Lyuben Karavelov“

<sup>5</sup>Technological Educational Institute of Thessaloniki, Department of Civil Infrastructure Engineering, Sindos  
e-mail: vilmapetkova@gmail.com

**Keywords:** Seismicity, Eurocode 8, Kresna–Struma seismic area

**Abstract:** The territory of Bulgaria is a part of the Alpine-Himalayan seismic belt, which characterized by a high degree of seismic activity. The world statistic data show an increase in earthquake damage over the last decades. This is explained by three main factors. The first one is related to the availability of human and material resources in the high earthquake areas. The second factor is the underestimation of real earthquake, which leads

to neglect and non-compliance with anti-seismic measures. The latter one is related to the ability of science to propose effective solutions to minimize the consequences, mostly to predict the earthquakes and the characteristics of the expected strong earthquake impacts, as well as to suggest safe methods for securing the building construction.

In the present study, the seismic hazard, seismic risk and space-time variations of seismicity in the urban areas of Blagoevgrad – Bansko – Gotse Delchev are analyzed in accordance with the requirements of Eurocode 8. These cities are located into the Kresna – Struma fault system and are characterized by high seismic hazard. On the other hand, the area is situated in mountain terrains with very favorable development prospects, for example, to this territory belongs the ski resort in the town of Bansko.

This research is a part of the RISKSLIDES "Risk management of natural and anthropogenic landslides in the Greek-Bulgarian cross-border region" project under the European Territorial Cooperation Program "Greece - Bulgaria 2007–2013". It is related to the implementation of a specific task of the project plan, namely the analysis of the degree of landslides risk management along the route "Bansko (Razlog) – G. Delchev".

## **Въведение**

Терминът „сеизмичен риск“ се използва за описание и оразмеряване на ефектите от земетресенията, които обхващат както тези от земни движения (минавайки през повърхностно разкъсване и индуцирани вторични ефекти), така и икономически загуби и жертви. С развитие на методологията за оценка на риска, терминологията се прецизира и понятията „сеизмичен хазарт“ и „сеизмичен риск“ се диференцират.

Терминът „сеизмична опасност (хазарт)“ може да се дефинира като всяко физично явление (напр., земни движения или земни нарушения), което е свързано с реализацията на земетресение. Сеизмичната опасност в определена област е функция на положението и геометрията на потенциалните източници, максималната сила на земетресенията, които могат да се генерират във всеки един от потенциалните сеизмични източници, повторемостта на събития с различна сила в тях и характеристиките на разпространението на сеизмичните вълни в дадения регион. Сеизмичният риск е вероятността за дадени загуби в определен период от време за дадено място вследствие на земетресение. Обикновено се разглежда проектният период на сградите или съоръженията [1–5].

Съществуват два основни подхода за оценка на сеизмичната опасност – детерминистичен и вероятностен. Вероятностният подход оценява вероятността земното движение да превиши дадено ниво вследствие на земетресение за определен период от време. Земното движение може да бъде представено чрез различни характеристики – макросеизмична интензивност, максимално ускорение (скорост, преместване), спектрални ускорения и др. Вероятностният подход дава количествена оценка на сеизмичната опасност за даден район от всички възможни земетресения на различни разстояния като брой надвишавания, или вероятност за надвишаване на дадено ниво на земното движение за интересувачи ни периоди от време [6]. Детерминистичният подход се основава на появата на земетресение с определена сила и конкретно местоположение и оценява въздействията от това земетресение за конкретна площадка. Детерминистичната оценка е нивото на сеизмичните земни движения, предизвикани от най-силните земетресения, реализирани в най-близките до дадена площадка сеизмични източници.

В настоящата работа се анализират сеизмичния хазарт и сеизмичен риск, пространствено-времените вариации на сеизмичността в урбанистични райони на градовете Благоевград – Банско – Гоце Делчев в съответствие с изискванията на Еврокод 8. Изследването представлява част от работната програма на проект „Управление на риска от природни и антропогенни свлачища в гръцко-български трансграничен регион“ (RISKSLIDES), по Програма за европейско териториално сътрудничество „Гърция - България 2007–2013“. То е свързано с изпълнение на конкретна задача от плана на проекта, свързана с анализ на степента от свлачищен риск по линията на пътя „Банско (Разлог) – Г. Делчев“ и представя резултатите от изпълнението ѝ.

## **2. Характеристика на сеизмичността в Югозападна част на България и Северна Гърция и Егейско море**

### **2.1. Историческа сеизмичност**

Българските земи са част от Алпийско-Хималайския сеизмичен пояс, характеризиращ се с висока степен на сеизмичната активност. Областта (радиус 200 km) около целевата линия (пътя „Банско (Разлог) – Г. Делчев“) обхваща незначителни части от бивша Югославия и Северна Гърция (фиг. 1). Позицията на целевата линия е показано на обща карта на фиг. 1,

като обхваща само територията на България. В настоящето изследване се анализират сеизмичния hazard и сеизмичен риск, пространствено-времевите вариации на сеизмичността в урбанистични райони на градовете Благоевград – Банско – Гоце Делчев в съответствие с изискванията на Еврокод 8 [5]. Тези градове попадат в Кресна-Струмската разломна системата и се характеризират с висок сеизмичен hazard. От друга страна районът попада в планински терен с много обещаващи перспективи за развитие, като на негова територия е разположен и ски курортът в гр. Банско.

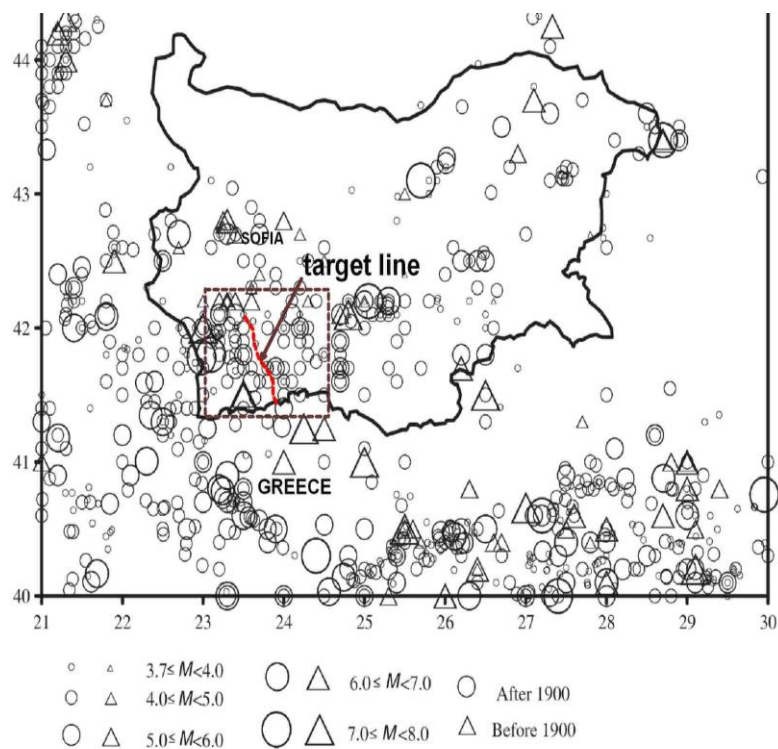


Фиг. 1. Обща карта, показваща местоположението на целевата линия

Обширни сеизмични проучвания в този регион са проведени през 1982 г. по отношение на сеизмично райониране на България [7] и след това през 1992 г. за сеизмичната устойчивост на важни структури [8, 9]. От анализа на дълбочинно разпределение [8] се установява, че земетресенията в региона са в земната кора на дълбочина от 50 km. Най-силните събития ( $M \geq 7.0$ ) се генерират главно в горната кора (интервал на дълбочина 10–25 km). Пространственото разпределение на сеизмичността в региона е представено на фиг. 2. Тази фигура представлява карта на епицентровете на известни земетресения с  $M \geq 4.0$  (целия период) и  $M \geq 3.0$  от 1981 г. към 2003 г. Сеизмичността в разглеждания регион се проявява в обособени географски области – сеизмични зони. Сеизмичните зони са: Родопи, Кресна, Марица, София. За настоящето изследване от най-голямо значение са зони Кресна и Марица. Сеизмичността извън България е прикрепена към следните сеизмични зони: Северна Гърция и Егейско море.

## 2.2. Сеизмична зона Кресна

Основната структура в разломната зона е Струмският разлом, простиращ се в посока СЗ - ЮИ, който се пресича от множество неотектонски разломи. Високата сеизмична активност в района се свързва с Кресна-Струмската разломна системата. Две от най-силните земетресения в Европа през 20 в. се генерират в сеизмична зона Кресна – земетресенията от 4 април 1904 г. ( $M_S = 7.1$  и  $M_S = 7.8$ ). Земетресенията от 1904 г. са реализирани в региона Кресна – Симитли на пресечението на неоген-кватернерски активни разломи – Крупник и р. Струма. В района на Кресна, където мощността на земната кора е значителна (в западната част на Родопите тя достига на дълбочина 45–50 km), се генерират най-дълбоките земетресения в България. Хипоцентровете на реализираните земетресения са разпространени главно в горните 30 km на земната кора, с максимална концентрация – между 5 и 20 km. Максималната фокална дълбочина на сеизмичните събития в района е до 50 km [8].



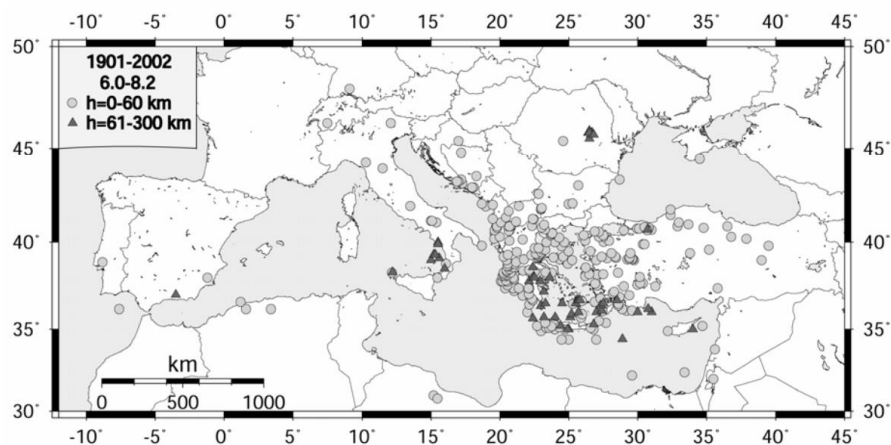
Фиг. 2. Карта на епицентрите за земетресения с  $M > 3.7$  за периода 1700–2003 [10]

### 2.3. Маришка сеизмична зона

Сеизмичността в района е засебена към известната Маришка разломна система. Най-силните земетресения, настъпили в района са от 1928 (Чирпанското земетресение от 14 април 1928 г. с  $M_S = 6.8$  и Пловдив на 18 април 1928 г. с  $M_S = 7.0$ ). Сеизмичната зона е развита в горните 20 km от земната кора, като отделни събития са били регистрирани на дълбочина от 45 km. Най-висока плътност на хипоцентрове се наблюдава на дълбочина от 5–10 km [8].

### 2.4. Северногръцка земетръсна зона

Основните тектонски структури в тази област са Ксантийският разлом с посока ИСИ-ЗЮЗ. В района исторически са отразени силни земетресения, но няма регистрирани значими събития през 20 в. Най-силното известно земетресения в Северна Гърция е зоново събитие от 1829 г. (фиг. 3) с  $M_S = 7.3$  и  $I_0 = X$ , локализирано в близост до град Кавала. Активността в Егейската сеизмична зона е свързана с разширяване на Северно-Анадолския трансформен разлом. Най-тежкото земетресение е това, случило се в северните части на Егейско море през 1905 г. – земетресение с  $M = 7.5$  и  $I_0 = X$  по МШК [11, 12].



Фиг. 3. Епицентрове на всички известни силни ( $M \geq 6.0$ ) земетресения, станали в Средиземноморската зона през периода 1901–2002 [12, 13]

### 3. Подход за оценка на сеизмичната опасност

Основният избор в подхода е, че сеизмичната опасност е функция на геометрията на сеизмичните източници, затихване на сеизмичните вълни с разстоянието, броят на земетресенията  $n_M$ , с магнитут по-голям от  $M$ , настъпили в областта, обикновено се предполага да отговарят на релациите по Рихтер. Следвайки това, моделирането на риска се състои в два компонента: модел на сеизмичните източници и модел на очакваните ефекти на място. Получената опасност за дадено място представлява сума от ефектите на земетресения с различни магнитуди и различно проявление.

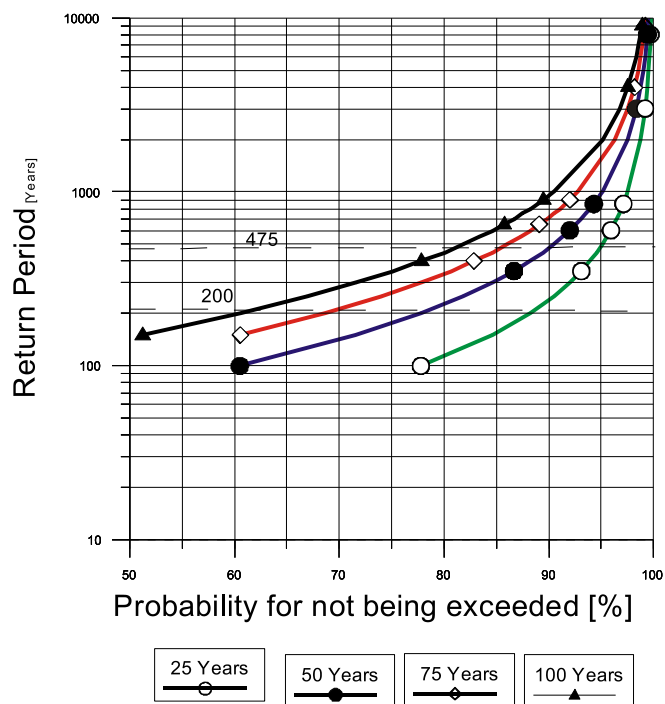
Ако се приеме, че сеизмичността е неподвижна в пространството и времето, може да се прогнозира свойствата на сеизмичността от записите на земетресения. Разпределението на напълно случайни и времево хомогенни серии от земетресения е разпределение по Поасон. Така, вероятността  $P$ , че честотата на земетресението с магнитут  $A$ , който не надвишава определена стойност  $A$  за даден набор данни  $N$ , се изчислява по формулата:

$$(1) \quad P(\alpha \leq a|N) = F(a)$$

От тук, могат да се изчислят периода на повтаряемост, а вероятността, че магнитуд  $M_{max}$  няма да бъде превишен за времето на експозиция –  $T$ , е представена в таблица 1. Графиката на фиг. 4 показва връзката между вероятност и периода на повтаряемост за дадена експозиция (или времето за живот на дадена система). Съгласно Европейската наредба 8 [5] периодът на повтаряемост на прогнозирано земетресение е 475 години, което означава 10 % вероятност от превишение за 50 години строително-експлоатационен период. С цел ограничаване на вредите и финансовите загуби поради по-слаби, но по-чести земетресения, второ ниво на сеизмичната опасност е определена да съответства на 95 години период на повтаряемост (10 % вероятност за надвишаване за 10 годишен период). Период на повтаряемост от 1000 години за период от 100 години се приема за важни структурни и животоподдържащи системи.

Таблица 1. Числени стойности на вероятностите за непревишение на параметър (A)

Период на повтаряемост, (R)	Риск 1/R	Вероятност за НЕпревишаване на параметър (A) за дадения период				
		Години	Години	Години	Години	Години
95	0.01	<b>90.00</b>	59.07	34.901	20.62	12.18
475	0.0021	97.91	<b>90.00</b>	81.01	72.92	65.63
1000	0.001	99.00	95.12	<b>90.47</b>	86.07	81.87
10000	0.0001	99.90	99.5	99.00	98.51	98.01



Фиг. 4. Вероятност за надвишаване на различни нива на предварително избрани параметри за земно движение (PGA, спектрална амплитуда и т.н.) за даден период повтаряемост и време на експозиция

## Заклучение

Целевата линия минава през територия с висока сеизмичен риск.

При оценката и контрола на риска от природни бедствия и свлачища по протежение на пътя Банско – Гоце Делчев – Копривлен следва да се отчетат висок сеизмичен риск.

**Благодарности:** Авторите изказват своята благодарност за финансовата подкрепа на Департамент „Природни науки“, СУЗ Лабораторията по химия, УПИЗ Лаборатория по гемология и УПИЗ Лаборатория по природни бедствия и рискове в НБУ. Авторите изказват също своята благодарност към ФНИ, проект DN17/8 - 12.12.2017.

## Литература:

1. Algermissen, S. T., D. M. Perkins, A probabilistic estimate of maximum acceleration in rock in the contiguous United States. U.S. Geological Survey Open-File Report, 1976, 76–416.
2. McGuire Robin K., Probabilistic seismic hazard analysis: Early history, Review, Earthquake Engng Struct. Dyn. 2008; 37: 329–338.
3. Отчет ГФИ, 2008. Сеизмично райониране на Република България, съобразено с изискванията на Еврокод 8 “Сеизмично осигуряване на строителни конструкции” и изработване на карти за сеизмичното райониране с отчитане на сеизмичния hazard върху територията на страната, Част I, Геофизичен Институт, София, 2008.
4. Trifonova, Petya, Stela Simeonova, Dimcho Solakov, Metodi Metodiev, Exploring seismicity in Bulgaria using geomagnetic and gravity data, Comptes rendus de l'Academie bulgare des Sciences, Tome 65, No 5, 2012.
5. БДС En 1998-1/NA Еврокод 8: Проектиране на конструкциите за сеизмични въздействия.
6. Thenhaus, P. C., K. W. Campbell, Seismic Hazard Analysis. Earthquake Engineering Handbook, W. Chen and C. Scawthorn (Editors), CRC Press, Boca Raton, Florida, 2003, 8-1- 850.
7. Boncev, E., V. Bune, L. Christoskov, J. Karagjuleva, V. Kostadinov, G. Reisner, S. Rizhikova, N. Shebalin, V. Sholpo, D. Sokerova, 1982. A method for compilation of seismic zoning prognostic maps for the territory of Bulgaria. *Geologica Balcanica*, 12 (2), pp. 2–48.
8. Sokerova, D., S. Simeonova, S. Nikolova, D. Solakov, E. Botev, R. Glavcheva, S. Dineva, B. Babachkova, S. Velichkova, S. Maslinkova, K. Donkova, S. Rizikova, M. Arsovski, M. Matova, I. Vaptzarov, L. Filipov, 1992. Geomorphology, neotectonic, seismicity and seismotectonic of NPP Kozloduy, Final Report (Summary) on IAEA Mission: Design basis earthquake for seismic upgrading of NPP Kozloduy, Sofia, 1992, 200 p.
9. Dachev, H., I. Vaptzarov, L. Filipov, D. Solakov, S. Simeonova, S. Nikolova, P. Sokolova, E. Botev, Tz. Georgiev, Seismology, geology, neotectonics, seismotectonics and seismic hazard assessment for the PNPP Belene site, Report of Project: Investigations and activities for increasing of the seismic safety of the PNPP Belene site, Geoph. Inst., BAS, S, I, 1995, 250 p.
10. Foteva, G., Botev, E., Ilieva, M., (2006) On the seismological database for the seismic hazard assessment in the territory of Bulgaria and adjacent lands, *Annuaire de l'Université “St. Kliment Ohridski”, Faculté de Physique*, 2006, 99 p.
11. Papazachos, B., K. Papazachou, 1989. Seismicity in Greece. Thessaloniki, 1989, 356 p.
12. Papazachos, B.C. and Papazachou, C.B. The earthquakes of Greece, Ziti Publications, Thessaloniki, 1997, 286, 304, 356 (in Greek).
13. Vicki Kouskouna and Kostas Makropoulos, Historical earthquake investigations in Greece, *ANNALS OF GEOPHYSICS*, v. 47, No 2/3, April/June 2004, 723–731.