

СЕЙЗМИЧНО ВЪЗДЕЙСТВИЕ НА ЗЕМЕТРЕСЕНИЕТО ОТ 22.05.2012 г. ЗА ГР. СОФИЯ – АНАЛИЗ И ОЦЕНКА НА БАЗА ИНСТРУМЕНТАЛНИ РЕГИСТРАЦИИ

доц. Кирил Хаджийски *, проф. Светослав Симеонов *, проф. Емил Ботев *

РЕЗЮМЕ

Земетресението от 22 май 2012 г., както и последвалите трусове, нанесоха поражения на сградния фонд в гр. Перник и околните селища. Основният трус въздейства съществено и на територията на столицата. В рамките на няколко часа последваха няколко значими афтершока. Станциите на локалната мрежа за мониторинг на силни земетресения на гр. София бяха тригирани и регистрираха въздействията. Записите на земетръсната серия (трикомпонентни акселерограми) представляват съществен интерес за проектантската общност. Това са най-силните инструментално записани сеизмични въздействия от земетръсно огнище от близък тип спрямо площадките в столицата. В настоящия доклад са представени регистрации на основния трус, направени на територията на гр. София. След съответната обработка са проведени анализи и са определени инженерните характеристики (максимални амплитуди, преобладаващи честоти, доминиращи компоненти, динамични усилвания /спектри/ и др.) с оглед глобалната оценка на сеизмичното въздействие.

* - НИГГГ, Българска академия на науките

Обща характеристика на сеизмичната обстановка

На 22 Май 2012 в 03:00 часа местно време Националната сеизмологична мрежа (НСМ), поддържана от Националния институт по геофизика, геодезия и география (НИГГГ) при БАН, регистрира земетресение в района на гр. Перник с епицентър северозападно от града. Земетресението е с максимален магнитуд $M_w = 5.6$, дълбочина 10 км и географски координати 42.66° северна ширина и 23.01° източна дължина (фиг.1). Според направените изчисления очакваното (теоретично) максимално въздействие в гр. Перник е с максимална възможна интензивност от VIII степен по скалата на Медведев-Шпонхойер-Карник (МШК). Епицентралната област е обследвана от група експерти на БАН в допълващи се научни области. При проведените макросеизмични проучвания за реалното въздействие на земетресението в района на град Перник действително са установени редица случаи на максимална интензивност от VIII степен по скалата на МШК – предимно в по-стари сгради в централната градска част и обикновени тухлени постройки, най-вече в село Дивотино. В останалите села, разположени по линията Мещица – Рударци, максималната степен на въздействие е VII - ма. Високата степен в относително по-отдалечените селски райони се обяснява със спецификата на излъчване на сеизмичната енергия по направление на изплитняване на разседната структура – североизточно от Перник към Витоша и Люлин планина.

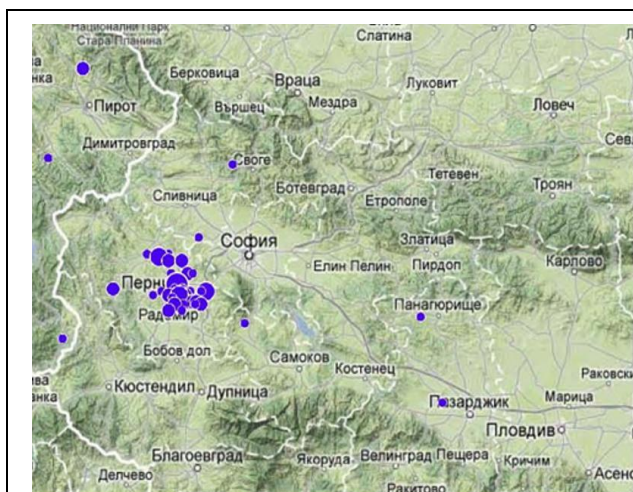
Земетресението е усетено много значимо на територията на цяла Западна България и достатъчно ясно в Централна България, както и в някои райони на Източна България. В района на гр. София (западните покрайнини) максималната интензивност на въздействието е VII. Толкова силно земетресение за района на гр. Перник не е документирано в сеизмичната

история на страната. Последното по-силно събитие е с магнитуд $M = 4.5$ през 1965 г. За последните 31 години (времето от създаване на НСМ до сега) в Пернишката сеизмична зона са локализирани само няколко десетки микроземетресения и нито един трус с магнитуд $M > 3.0$. Досегашните сеизмични изследвания не свидетелстват за пряка връзка между земетресенията по Пернишката разломна система и Софийската сеизмична зона, чиято висока активност се асоциира преди всичко с проявите на Витошкия разсед.

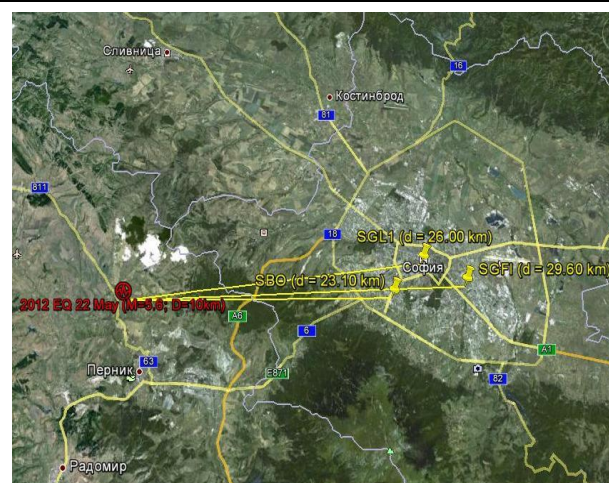
До края на края на 22 май (след земетресението в 03:00 ч.) НСМ регистрира 29 усетени следтруса (афтершока). Само 6 от тях са усетени и в района на столицата, като най-силното е в 04:30 ч. с магнитуд $M = 4.7$. В 05:15 ч. става последният по-силен афтершок с магнитуд $M = 4.1$. Усетените земетресения от първия ден, както и въздействието на още 4 по-силни труса през следващите дни, държат в напрежение населението на столицата, Перник и околностите в продължениена седмици, въпреки че не съществуват предпоставки за катастрофално въздействие от Пернишката следтрусова серия.

За десетте дни след земетресението от 03:00 часа на 22 май НСМ регистрира около 650 следтруса в епицентралната зона, болшинството от които са микроземетресения (с магнитуд $M < 3.0$). Усетени в град Перник и областта са 53 земетресения. Като цяло серията от около 650 труса (до 31.05.2012) се характеризира с относително слаби динамични показатели. Най-силния от вторичните трусове е с магнитуд $M = 4.7$. Трусове с $M > 4.0$ са четири броя. Земетресенията с магнитуд $M > 3.5$ са само 5, а тези с $M > 3.0$ – 12 на брой. Всички останали трусове (около 630) са от категорията на микроземетресенията - с магнитуд $M < 3.0$.

Особеностите на сеизмичното въздействие за гр. София в инженерен аспект са анализирани посредством инструментални записи от регистрационни пунктове на Националната система за силни земни движения – национална акселерометрична мрежа (НАМ), разположени на територията на столицата.



Фиг. 1. Епицентър на земетресението от 22 Май 2012 и регистрирани трусове



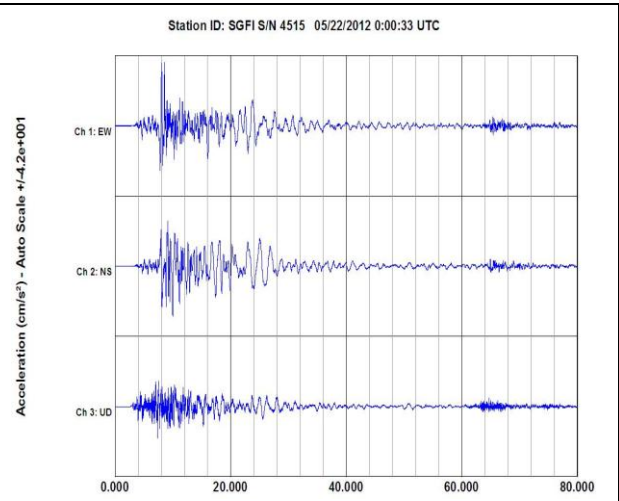
Фиг. 2. Епицентър на земетресението и регистрационни пунктове в София

Характеристики на инструментални регистрации от станции на НАМ в гр. София

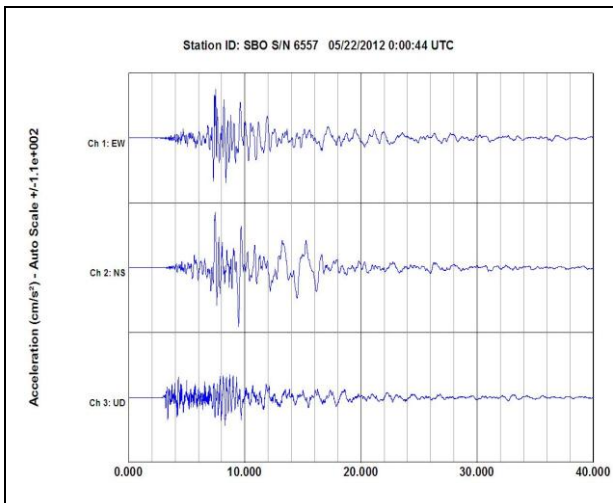
Въздействието на земетресението от 22 Май 2012 за гр. София е изследвано чрез регистрации от три основни измервателни пункта в столицата с кодове SBO, SGL1 и SGFI. Станциите отстоят от епицентъра съответно на: около 23 km - SBO (кв. Мотописта); около 26 km - SGL1 (София - център); и на около 30 km - SGFI (кв. Гео Милев). Карта с местоположението им е дадена на Фиг. 2. Регистрациите са осъществени със специализирано оборудване, в което основните модули са на фирмата Kinometrics, USA. На фиг. 3 е показана част от апаратурата на станция SGFI, а на фиг. 4 получената скалирана 3-D акселерограма след обработка на записа на основния трус от 22 май 2012 в същия пункт. На фиг. 5 и фиг. 6 са представени графиките на съответните скалирани 3-D акселерограми, получени след обработка на регистрациите от същото земетресение в пунктове SBO и SGL1.



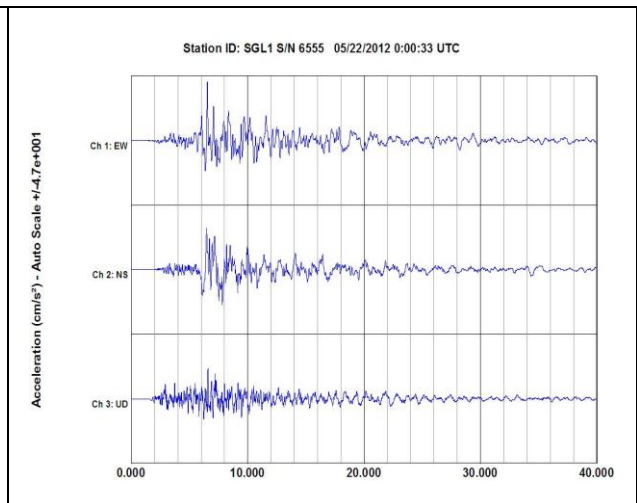
Фиг. 3. Оборудване на станция SGFI (#4515)



Фиг. 4. 3-D акселерограма от SGFI



Фиг. 5. 3-D акселерограма от SBO



Фиг. 6. 3-D акселерограма от SGL1

Таблица 1 съдържа определените максимални стойности на кинематични характеристики, получени след съответни обработки (инструментални и дигитални корекции, филтриране и т. н.)

Табл. 1. Максимални амплитуди на обработените регистрации от станции на НАМ в София на земетресението в 3:00 ч. на 22.05.2012 г. епицентър в района на Перник.

Запис #	Станция		Посока код	Максимално ускорение cm/s^2	Максимална скорост cm/s	Максимално преместване cm
	код	условия				
1	SBO	приземен етаж	EW	81.99	- 8.02	- 1.523
			NS	- 98.55	- 12.01	- 3.429
			UD	- 46.97	- 3.21	- 0.812
2	SGL1	приземен етаж	EW	42.62	2.97	0.957
			NS	30.26	- 4.76	- 1.347
			UD	21.94	1.42	- 0.381
1	SGFI	подземие	EW	38.33	- 4.88	- 1.083
			NS	- 29.91	4.73	- 1.429
			UD	- 17.81	1.55	- 0.521

Определените основни характеристики на въздействието във временната и честотната област са представени в Таблица 2. За всяка от обработените 3-D акселерограми е даден: кода на станцията и условията в регистрационния пункт, отстоянието му от епицентъра, посоката на компонентата, амплитудата на максималното ускорение във временната област, максималното спектрално ускорение (от спектъра на ускоренията при 5% затихване) за всяка компонента, доминиращите честотни интервали на регистрираното енергийно въздействие и порядъка на спектъра на мощността (PSD - характеристика на постъпилата в регистрационния пункт сеизмична енергия).

Табл. 2. Инженерни характеристики на сеизмичното въздействие определени за районите на сеизмични станции в гр. София, вследствие земетресението от 22.05.2012 г.

Запис	Станция		Разст. до епицентъра [km]	Посока	Amax [cm/s ²]	SAmax (β = 5%) [cm/s ²]	Преобл. честоти [Hz]	Порядък на PSD [g ² /Hz]
	Код	Условия						
1	SBO	приземен етаж	23.10	EW NS UD	81.99 - 98.55 - 46.97	295.8 283.5 240.0	1.2 ÷ 3.5 0.4 ÷ 0.7 3.2 ÷ 3.8	< 2. 10 ⁻⁴
2	SGL1	приземен етаж	26.00	EW NS UD	42.62 30.26 21.94	103.6 81.8 66.3	0.5 ÷ 0.8 0.4 ÷ 0.8 0.8 ÷ 1.8	< 3. 10 ⁻⁵
3	SGFI	подземие	29.60	EW NS UD	38.33 - 29.91 - 17.81	112.7 114.1 53.3	0.4 ÷ 0.8 0.4 ÷ 0.9 0.5 ÷ 1.1	< 4. 10 ⁻⁵

Анализ и оценка на сеизмичното въздействие за гр. София

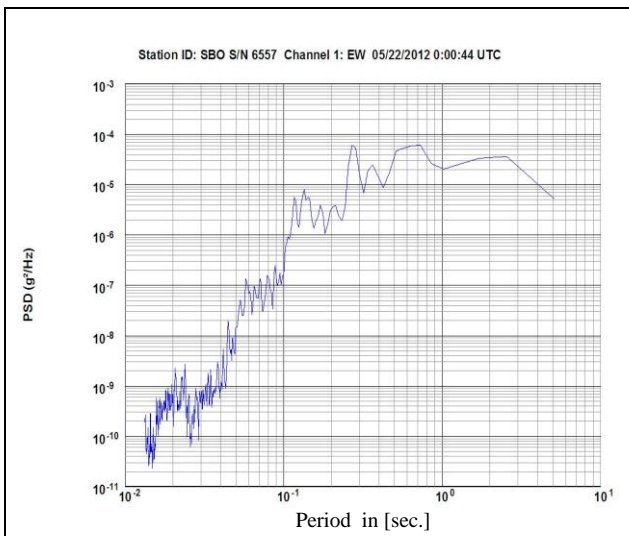
Регистрацията на станция SBO (най-близо до епицентъра) е със абсолютно максимално ускорение от почти 100 cm/s². Максимално ускорение на сигналите затихва с увеличаване на разстоянието до епицентъра и за станция SGFI (най-отдалечената) стойността му е към 2.5 пъти по-малка. И при трите регистрации амплитудите на хоризонталните компоненти значително надвишават (около два пъти) тези на вертикалните (табл. 1). Продължителността на силната част и за трите акселерограми е около 20 sec.

Енергията на сеизмичното въздействие в SBO е съсредоточена в честотния интервал (1.2 ÷ 3.5) Hz. При SGFI е изместена към по-ниските честоти - (0.4 ÷ 0.8) Hz. Това се дължи на дисипацията при преминаването на сеизмичните вълни през геоложките структури и по-дългия им път от епицентъра до регистрационния пункт.

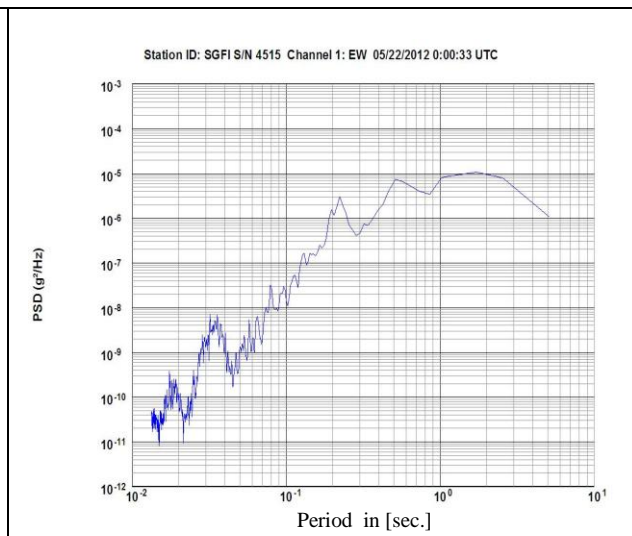
Поглъщането на енергията от земната среда с нарастване на разстоянието от епицентъра се потвърждава и от сравняване на нивото на PSD за най-близката и най-отдалечената от епицентъра станции. При SBO спектъра на мощността е (~10⁻⁴) g²/Hz (фиг. 7), т.е. с един порядък по-висок от този за SGFI - (~10⁻⁵) g²/Hz (фиг. 8).

На фиг. 9 и фиг. 10 са показани спектрите на реагиране за ускоренията за станции SBO и SGFI, компоненти EW. Наблюдава се изместване на максималното реагиране към системи със една степен на свобода (SDF) с по-голям собствен период при увеличаване на разстоянието до епицентъра. В случая максималният динамичен коефициент за SBO е 3.61 при 0.28 sec, а за SGFI е 2.94 при 0.50 sec. Съответните спектри за NS компонентите са показани на фиг. 11 и фиг. 12

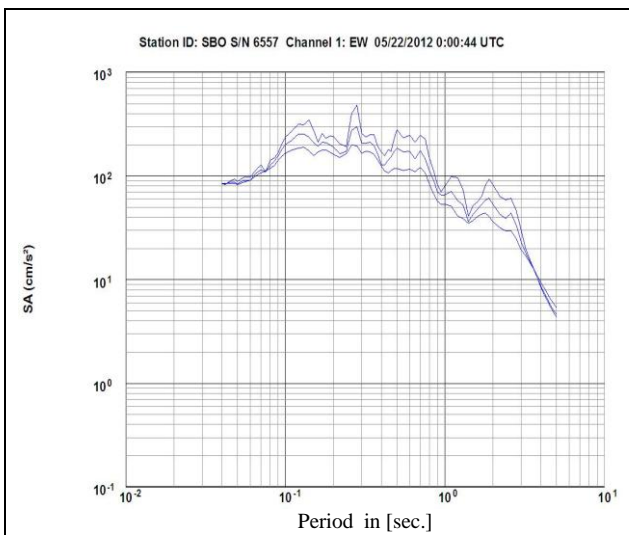
Специално внимание трябва да се обърне на специфичния вид на спектъра за компонента NS на станция SGFI (фиг. 12). Наблюдава се плато от почти еднакво реагиране за много широк интервал - периоди от 0.2 sec до към 2 sec (честоти от 0.5 Hz до 5 Hz). Това по същество означава, че сгради с коренно различни собствени динамични характеристики са понесли почти едни и същи сеизмични сили.



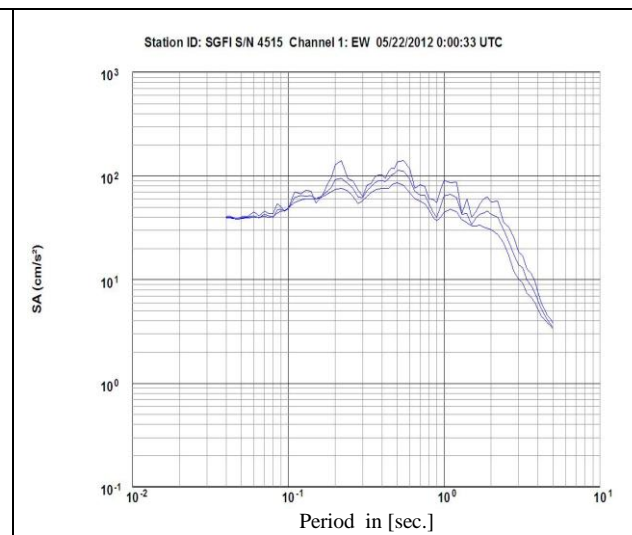
Фиг. 7. Спектър на мощността за SBO



Фиг. 8. Спектър на мощността за SGFI

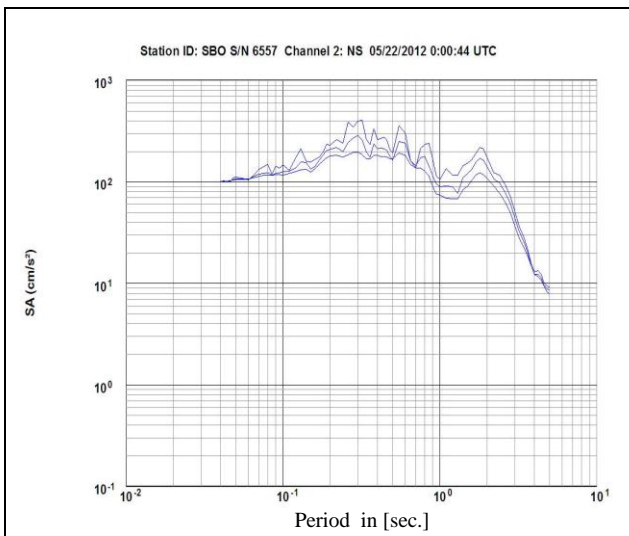


Фиг. 9. За SBO (на 23 km от епицентъра)

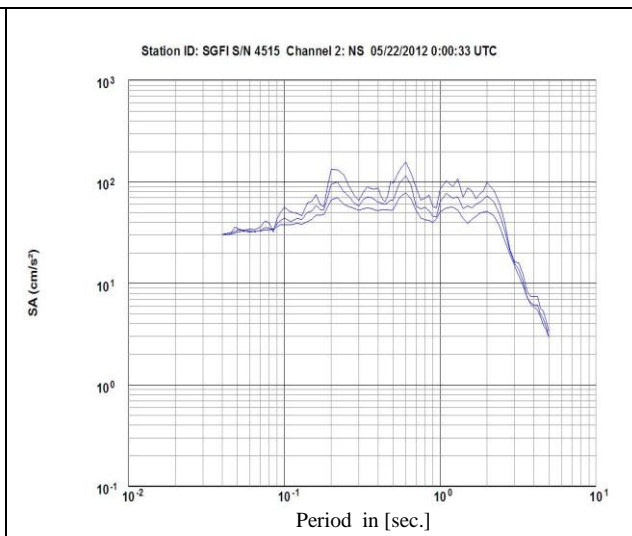


Фиг. 10. За SGFI (на 30 km от епицентъра)

Спектри на ускоренията за 2, 5 и 10% от критичното затихване (компонента EW)



Фиг. 11. За SBO (на 23 km от епицентъра)



Фиг. 12. За SGFI (на 30 km от епицентъра)

Спектри на ускоренията за 2, 5 и 10% от критичното затихване (компонента NS)

Анализът на данните в Табл. 1 показва, че максималното ускорение на частиците от земната повърхност в кв. Мотописта покрива горната граница на интервала от ускорения, характерни за интензивност на въздействие от VII степен по МШК. Това означава, че са допустими и епизодични прояви на VIII степен. Максималните стойности на ускоренията в за централната градска част и квартал Гео Милев съответстват на VI степен.

Заклучение

Направените анализи на регистрациите от три станции на територията на гр. София показват ярко изразената нехомогенност на сеизмичното поле на земетресението от 22 май 2012 г. в района на гр. Перник. Това важи както за размера на максималните стойности на времевите функции и спектралните ускорения, така и за честотното разпределение на сеизмичната енергия. Непосредствен извод от това е, че е необходимо Столична община, Министерство на регионалното развитие и благоустройството, Камарата на инженерите в инвестиционното проектиране, Българска академия на науките и цялата научна общност да създадат уловия (финансов ресурс, кадрови и технически потенциал) за увеличаване на плътността на регистрационните пунктове на територията на столицата (минимум две станции на столичен район). По този начин ще се обхване цялото многообразие на геоложките структури, строителни и конструктивни системи. Това е един от подходите за пълноценното изследване на сеизмичните събития, което ще рефлектира в повишаване надеждността на проектирането и намаляване на сеизмичния риск.