



БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ
НАЦИОНАЛЕН ИНСТИТУТ ПО ГЕОФИЗИКА,
ГЕОДЕЗИЯ И ГЕОГРАФИЯ

МЕЖДИНЕН ОТЧЕТ
ЗА ПЪРВИ ЕТАП НА ПРОЕКТ

„УПРАВЛЕНИЕ НА СЕИЗМИЧНИЯ РИСК
ЗА СГРАДИ“

по Договор № ДСД-4/03.05.2017 г.

Възложител: Българска академия на науките

Приет на заседание на УС на БАН на 07.12.2017 г.

София, март 2018

Настоящият междинен отчет е съставен в изпълнение на проект „Управление на сеизмичния риск за сгради”, който се разработва съгласно ПМС № 347/08.12.2016 г. по договор № ДСД–4/03.05.2017 г. с БАН – Администрация.

Базова организация: Национален институт по геофизика, геодезия и география (НИГГГ) – БАН

Изпълнители на съответните теми и раздели са, както следва:

- *Геологически институт – БАН:* Тема I, Раздел 1
- *НИГГГ – БАН:* Тема I, Раздели 2, 3, 4
- *НИГГГ – БАН:* Тема II
- *Институт по механика – БАН:* Тема III

СЪДЪРЖАНИЕ

ТЕМА I. ОЦЕНКА НА СЕИЗМИЧНАТА ОПАСНОСТ ЗА ТЕРИТОРИЯТА НА БЪЛГАРИЯ.....	4
РАЗДЕЛ 1. Анализ на геоложките и неотектонските условия.....	4
РАЗДЕЛ 2. Комплексен анализ на гравитационното и геомагнитното поле с цел идентифициране на разломни структури в земната кора	8
РАЗДЕЛ 3. Оценка и анализ на съвременни движения и напрежения на земната кора, получени от GPS/GNSS измервания и вертикални движения на земната кора от многократни нивелачни измервания.....	10
РАЗДЕЛ 4. Оценка на сеизмичната опасност за територията на страната.....	13
4.1. Сеизмологична база данни	13
4.2. Компилиране на хомогенизиран и деклъстеризиран каталог	14
4.3. Избор на релации на затихване на земните движения.....	21
ТЕМА II. ОЦЕНКА НА СЕИЗМИЧНИЯ РИСК ЗА СГРАДИ.....	24
РАЗДЕЛ 1. Критичен анализ на съвременните методи за оценка на сеизмичната уязвимост и сеизмичния риск	24
РАЗДЕЛ 2. Идентификация на сградния фонд	25
РАЗДЕЛ 3. Събиране и обработка на данни за сградите с използване на ГИС и дистанционни изследвания	26
РАЗДЕЛ 4. Класификация на сградния фонд.....	30
ТЕМА III: ПРАКТИЧЕСКИ ВЪПРОСИ, ПРИЛОЖИМИ ПРИ ИЗСЛЕДВАНЕ НА СЕИЗМИЧНИЯ РИСК	33

ТЕМА I. ОЦЕНКА НА СЕИЗМИЧНАТА ОПАСНОСТ ЗА ТЕРИТОРИЯТА НА БЪЛГАРИЯ

РАЗДЕЛ 1. АНАЛИЗ НА ГЕОЛОЖКИТЕ И НЕОТЕКТОНСКИТЕ УСЛОВИЯ

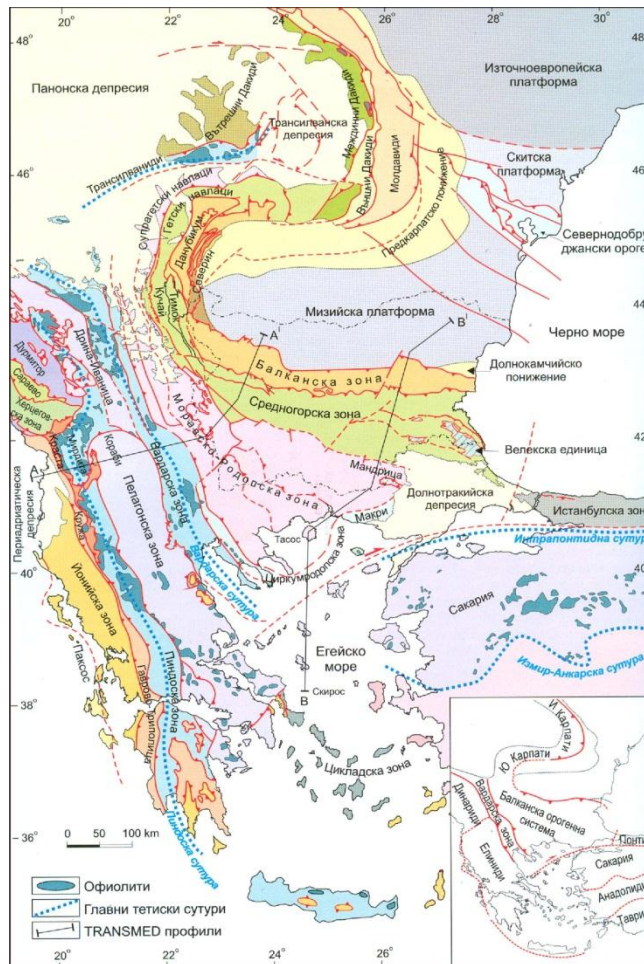
Обект на изследването е територията на България и съседните области. Основни цели на изследването са:

- Създаване на една съвременна представа за тектонския и неотектонския строеж на България;
- Определяне на съвременната геодинамична обстановка в България и Балканите;
- Изучаване на активните разломи на територията на страната и съседните територии.

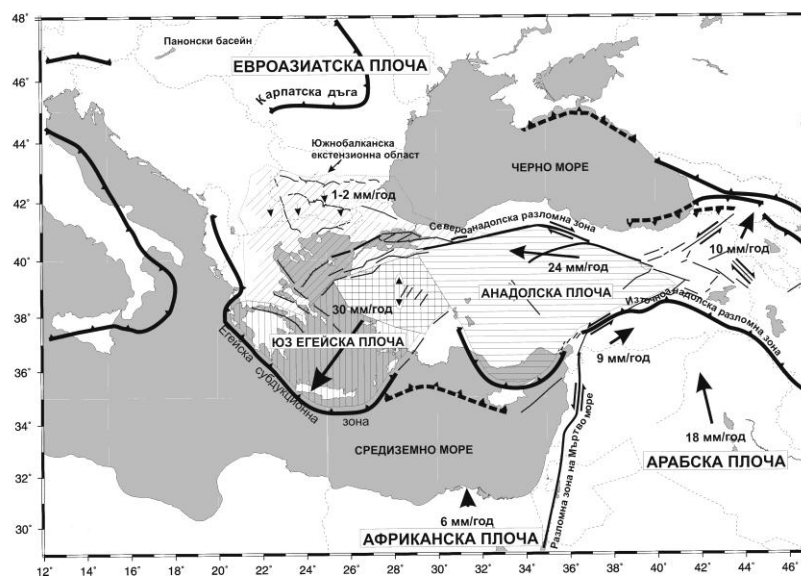
За решаването на целите са използвани комплекс от геоложки, неотектонски, геоморфоложки и апаратурни методи и данни. Изпълнението на задачата е структурирано в 4 раздела: 1) Съвременни представи за алпийската тектониката на България; 2) Неотектонска еволюция на България; 3) Активни разломи; 4) Активни разломи на територията на България.

Балканският полуостров и в частност българските земи са част от северната периферия на Тетиската област, респективно южната континентална окрайнина на Евразия (фиг. I.1-1). От гледна точка на геодинамиката, на територията на България са обособени две основни единици – Балканиди като част от Алпийската орогенна постройка и Мизийска платформа. На една сравнително малка територия се наблюдава значително многообразие на различни по възраст геоложки формации. Геодинамично развитие, основно през Алпийската тектонска ера, е довело до създаването на сложна структурна обстановка. Комбинацията от разнообразни и разновъзрастни геоложки формации и сложната структурна обстановка прави територията на България един интересен, но сложен обект за изследване от научна и практическа гледна точка.

В съвременен плейт-тектонски аспект територията на България принадлежи към южната окрайнина на Евроазиатската плоча (фиг. I.1-2). Геодинамиката на региона се определя основно от субдукцията на Африканската плоча в зоната на Егейската дъга и колизията на Арабската плоча с Евроазиатската. Поради преобладаващия екстензионен характер на коровите движения този регион е дефиниран като „Егейски екстензионен режим“. Той включва територията на Турция, Егейско море, Гърция, части от Албания, Бившата Югославска Република Македония и Южна Сърбия. Основната част от територията на България попада в неговата северна, гранична област, дефинирана като „Южнобалканска екстензионна система“.



Фигура I.1-1. Тектонска схема на Алпийския ороген на Балканския полуостров и съседни области (за подробности виж Дабовски, Загорчев, 2009)



Фигура I.1-2. Мястото на България в съвременната геодинамика на Източното Средиземноморие (По McClusky et al., 2000; Коцев и др., 2000, с изменения). Черните стрелки са посоките на движение по GPS данни

Според получените GPS скорости територията на България няма хомогенна геодинамична обстановка. Ясно се очертават области, отличаващи се по величината и посоките на скоростите. Най-ясно се откроява територията на Югозападна България, заедно със съседните области на БЮР Македония и Северна Гърция. Тази територия се отличава със своята хомогенност по скорости и насоченост. Тук като цяло скоростите са по-високи, достигайки порядъка на 5 mm. В останалата част на страната скорости от такъв порядък са изключение. Независимо от тези ниски стойности се създават условия за натрупване на напрежения.

Въз основа на анализ на литературата е невъзможно да бъде прието единно понятие за „активен разлом”, то зависи от локалните геодинамични особености, повторимост на сеизмични събития, налични бази данни, целите на регулаторните актове и др.

За целите на настоящото изследване се приема формулировката: Активен разлом е разлом, по който се установяват или предполагат с висока степен на достоверност премествания по геоложки, геоморфоложки и апаратурни методи (геофизични, геодезични, екстензиометрични и др.).

Възникването и дейността на активните разломи (фиг. I.1-3) е в резултат на геодинамичната обстановка и разпределението на напреженията в земната кора. Те се контролират от естествени природни фактори. Тяхната промяна е много бавна от човешка гледна точка и затова може да бъде достоверно прогнозирана при набавяне на достатъчен брой акуратни данни и изграждане на бази данни. Те са главен фактор за възникване на земетресения.



Фигура I.1-3. Активен разлом по източния склон на Пирин

Активните разломи се изследват чрез картиране на разломните следи, изкопаване на канали в разломните зони, описание и датиране на седиментите, засегнати от земетресенията, картиране и датиране на повърхностните форми, които са разместени при земетресения. Изучаването на поведението на разломите в миналото, тяхната дължина, сегментираност и свързаност е важно за установяването на

магнитудата и честотата на земетресенията, които даден разлом може да произведе. Посредством изкопаването на канали/траншеи през активните разломи се разкрива историята на земетресенията по тях.

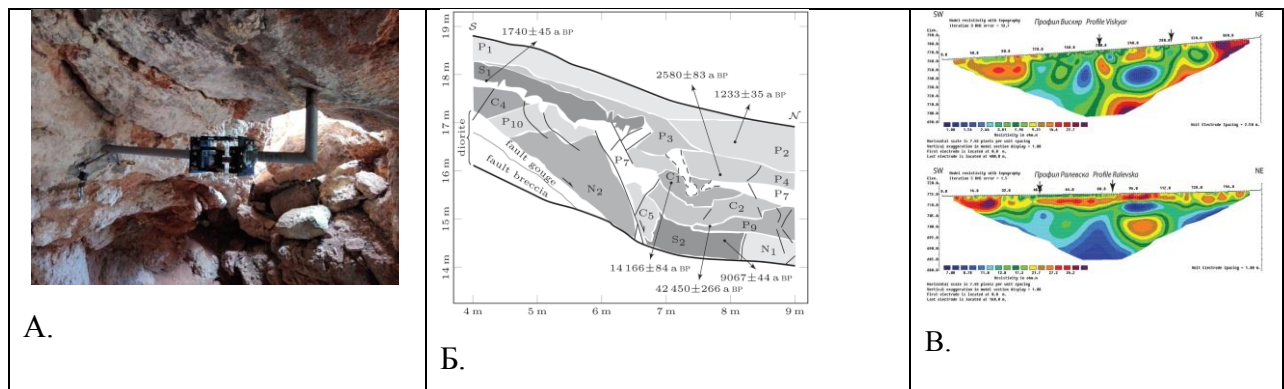
Активните разломи са основа за анализа на геоложката опасност (в частност и сеизмичната) и сеизмичното райониране. Те могат да имат разрушителен ефект и върху различни сгради, съоръжения, пътища и др., които са построени върху тях или в близост до тях. Изучаването им е от съществено значение за минимализиране на отрицателните последици от тяхната проява и развитие на територията. Като вторичен ефект от тази изява могат да възникнат или да бъдат активизирани опасни екзогенни явления (свлачища, срутища, кални потоци и др.).



Фигура I.1-4. Активни разломи на територията на България и съседните региони

Територията на България и съседните земи са засегнати от голям брой активни разломи. Те не са равномерно разпределени (фиг. I.1-4). Това се дължи на обективни геодинамични фактори, засягащи територията на нашата страна и Балканите. Същевременно е напълно възможно да има неидентифицирани активни разломи. Последното се дължи на недостатъчната изявеност на някои структури, ниската повторемост на сеизмични събития (дълъг период на затишие) или много малката амплитуда на пълзене по разломната плоскост, както и на липсата на системно провеждани изследвания. Поради тези причини цялата територия на страната трябва да се разглежда като потенциално опасна от изявата на активни разломи, но в различна степен. Възможна е изявата на къси активни разломи (разломни сегменти), които не могат да бъдат идентифицирани в регионален план, но да бъдат опасни в локален план.

Изучаването на активните разломи в трябва да се извършва системно с прилагане на комплекс от геоложки, геофизични, геодезични и апаратурни методи (фиг. I.1-5).



Фигура I.1-5. Изучаване на активни разломи: А. С екстензиометър; Б. В канава; В. Чрез електропрофилиране

Изучаването на геологията и активната тектоника на територията на България е важна общественоразличима дейност с пряк ефект върху превенцията от геоложки рискови процеси и качеството на живот на хората.

РАЗДЕЛ 2. КОМПЛЕКСЕН АНАЛИЗ НА ГРАВИТАЦИОННОТО И ГЕОМАГНИТНОТО ПОЛЕ С ЦЕЛ ИДЕНТИФИЦИРАНЕ НА РАЗЛОМНИ СТРУКТУРИ В ЗЕМНАТА КОРА

Основната цел на проведените по настоящия договор изследвания на гравиметричното и геомагнитното поле е извличането на информация за строежа на земната кора на територията на България и близките околности с оглед установяване местоположението на дълбочинни разломи, граници на тектонски блокове, картиране на отделни структури по геофизични данни и маркиране на основни плътностни и магнитни неедородности в земната кора.

При комплексния анализ на гравитационното и геомагнитното поле въз основа на публикувани и фондови материали и на проведените количествени определения са компилирани бази данни на аномалните полета за територията на България и околностите. Направено е детайлно описание на наблюдаваните аномалии, изчислени са набор от трансформации на базата на пространствените производни, които са силно чувствителни към по-резките изменения в стойностите на гравитационното и магнитното поле. Картирането на тези изменения дава възможност да се очертаят местата, линиите и зоните на аномалните прояви от типа гравитационни преходи, свързани най-често с разкъсвания в дълбочина и наличие на денивелирани блокове с различаваща се плътност и или намагнитеност в хоризонтален план. Тези източници на аномални ефекти са отбелязани общо като контактни геоструктури. Те могат да послужат за компилирането на сеизмотектонския модел, необходим за оценка на сеизмичния хазарт.

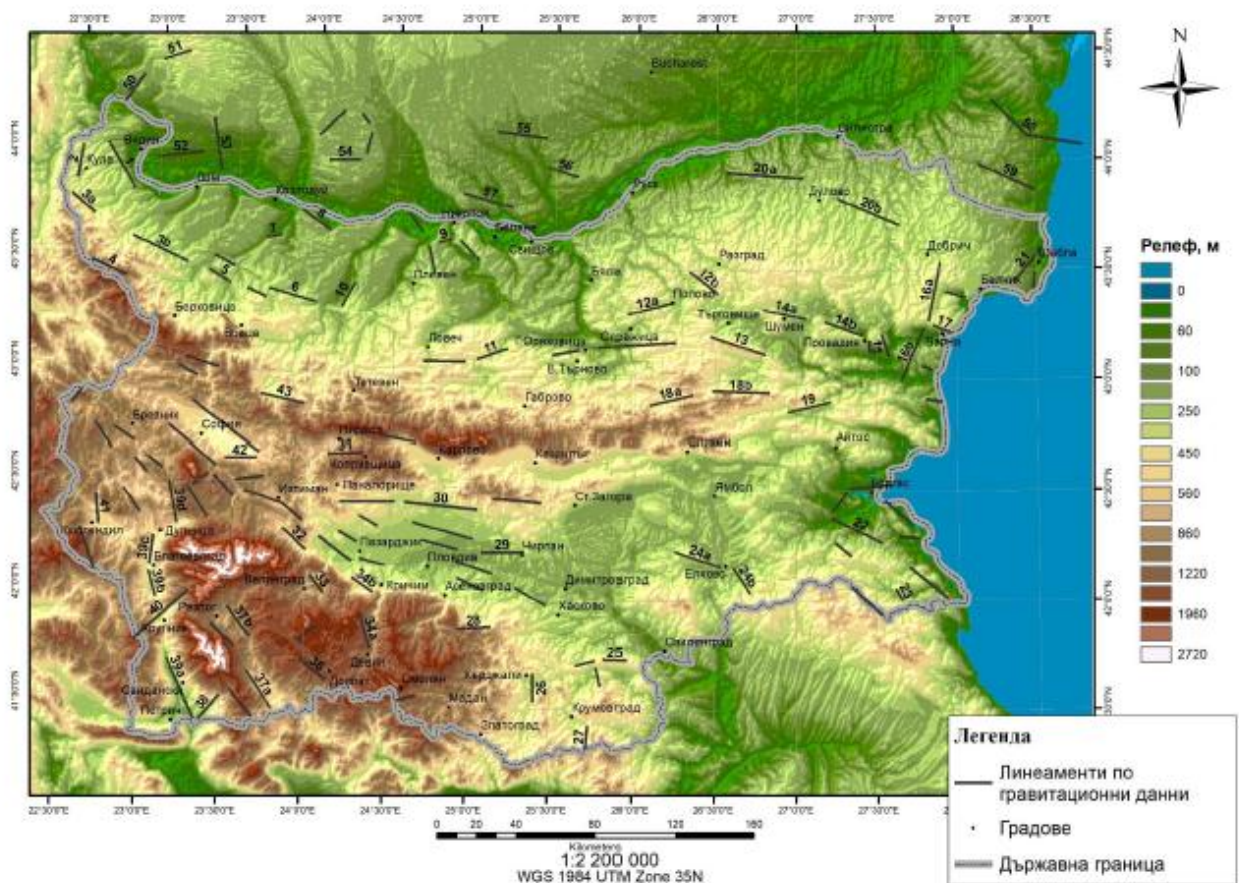
Извършените изследвания по проекта включват следните основни дейности:

- Събиране и систематизиране на наличната информация по литературни и фондови материали за геофизичните, геоложките и сеизмоложките характеристики на интересуващите ни контактни линейни геоструктури;
- Анализ на аномалното гравитационно и геомагнитно поле на територията на България и близките околности в мащаб 1:1 000 000 по наличните проучвателни данни;
- Преглед и избор на методи за качествена и количествена интерпретация на аномалните геофизични полета с оглед извеждането на ефекти, свързани със съществуването на контактни линейни геоструктури в земната кора;
- Прилагане на подобрените методи и техники за числени и визуални определения на местоположението, ориентацията, дължината и амплитудата на установените линеаменти в геофизичните полета;
- Построяване на карти на линеаментите и съставяне на таблици с техните координати и характер на проявите – линейност, прекъснатост, оценка на интензивността, групиране;
- Построяване на избрани профили на геофизичните ефекти за илюстриране на аномалиите от вида гравитационни преходи и на възможностите за оценка на дълбочината и амплитудата на съответните дислокации;

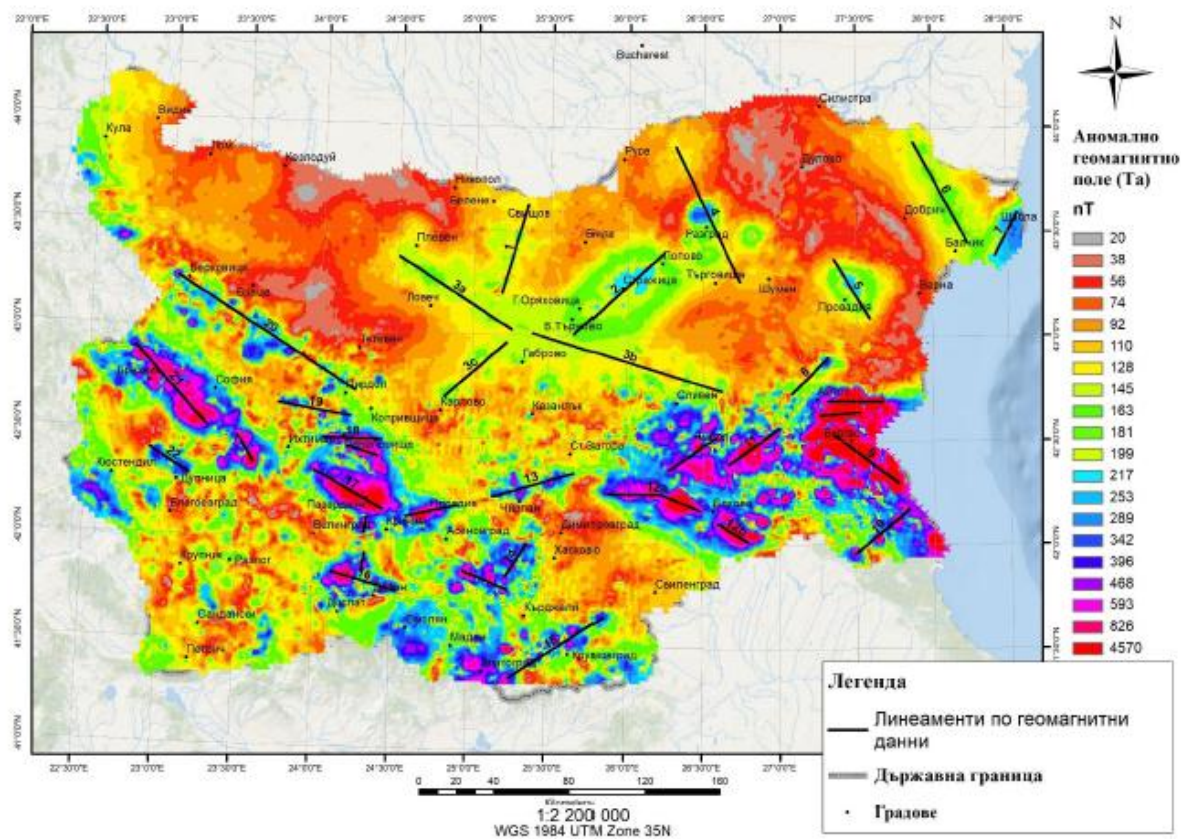
- Анализ на получените резултати относно пространственото разпределение на геофизичните линеаменти с оценки на съпоставимостта с геоложките данни за активните разломи и със сеизмогенните зони.

В резултат от направения комплексен анализ на аномалното гравитационно и геомагнитно поле е получена важна информация за строежа на горния слой на литосферата на територията на България. Чрез обработка и интерпретация на наличните данни по подбран комплекс от методи и техники са определени местоположението, ориентацията и дължината на установените линеаменти в геофизичните полета. Набелязани са 122 контактни структури по гравиметрични данни с обща дължина 2297 km (фиг. I.2-1) и 34 линеаменти по геомагнитни данни с обща дължина 1398 km (фиг. I.2-2).

От направения цифров анализ за съпоставка на пространственото разпределение на получените тук геофизични линеаменти с геоложките данни за активните разломи на територията на страната са очертаните зоните, в които с голяма степен на увереност може да се предположи наличието на сеизмогенен източник. След съвместен анализ с разпределението на сеизмичността в региона това ще послужи като основа за компилирането на сеизмотектонския модел при оценката на сеизмичната опасност.



Фигура I.2-1. Карта на линеаментите по гравиметрични данни



Фигура 1.2-2. Карта на линеаментите по геомагнитни данни

РАЗДЕЛ 3. ОЦЕНКА И АНАЛИЗ НА СЪВРЕМЕННИ ДВИЖЕНИЯ И НАПРЕЖЕНИЯ НА ЗЕМНАТА КОРА, ПОЛУЧЕНИ ОТ GPS/GNSS ИЗМЕРВАНИЯ И ВЕРТИКАЛНИ ДВИЖЕНИЯ НА ЗЕМНАТА КОРА ОТ МНОГОКРАТНИ НИВЕЛАЧНИ ИЗМЕРВАНИЯ

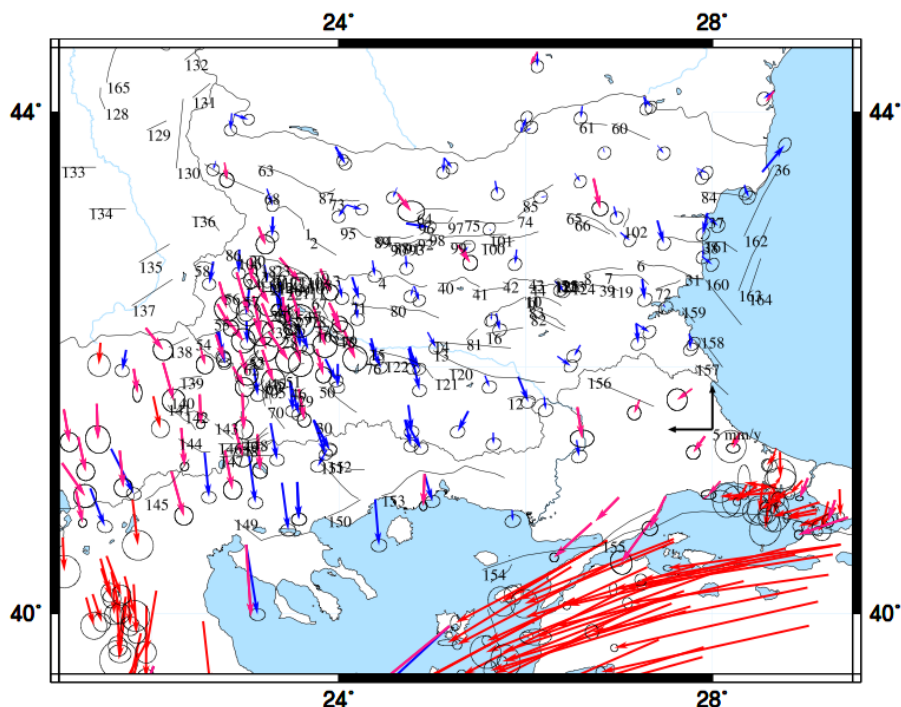
На територията на България оценки на съвременните движения на земната кора се получават от обработка и анализ на GNSS измервания от перманентните GNSS станции и от периодически измервани точки на специализираните геодинамични мрежи, които Националният институт по геофизика, геодезия и география (НИГГГ) поддържа, и от точките от Държавната GPS мрежа на България. Резултатът от обработката и анализа на измерванията са хоризонтални и вертикални движения, напрежения и ъгли деформации на земната кора.

Съвкупността от получените хоризонтални и вертикални скорости, определени от перманентни или периодични GNSS измервания на станции/точки от земната повърхност, дефинира полето на хоризонталните и вертикалните скорости. На базата на определените скорости се получават напреженията и ъгловите деформации на земната кора. Територията на България се намира на границата на Евразийската континентална плоча – на практика границата на плочата преминава през територията на страната, и сеизмично активната Егейска екстензионна зона. В този смисъл анализът на полето на получените съвременни движения и напрежения на земната кора на територията на страната се разглежда в контекста на активните тектонски процеси, протичащи в района на Източното Средиземноморие.

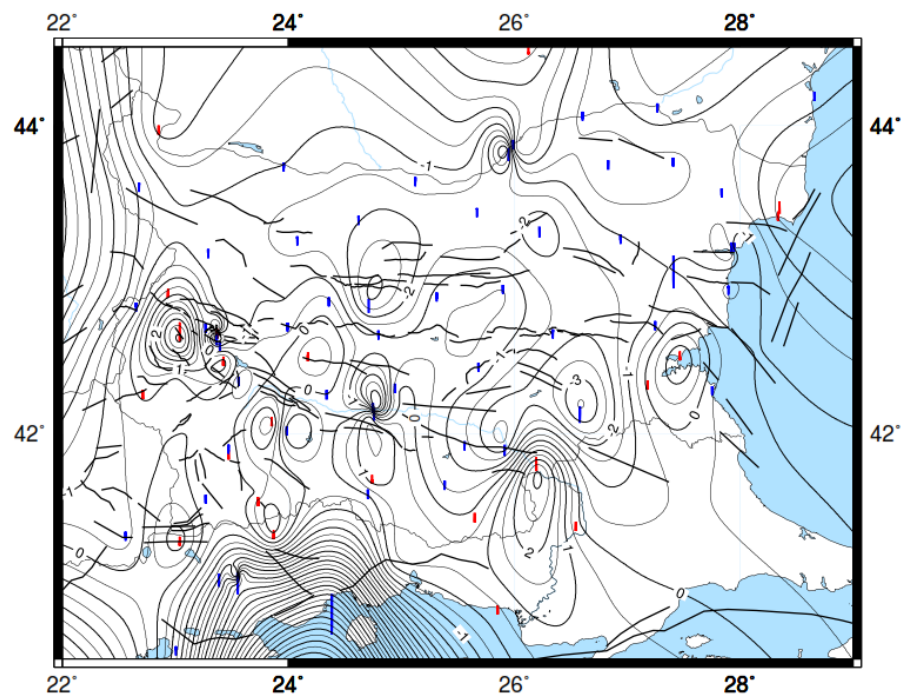
Информацията за съвременните движения на земната кора е от важно значение за верификация на геоложките хипотези за съвременните геодинамични процеси, протичащи в България и на Балканския полуостров, за определяне движенията по разломни структури и оценка на сеизмичната опасност.

Извършените дейности и получените към момента резултати съгласно Раздел 3 на проекта могат да се обобщят по следния начин:

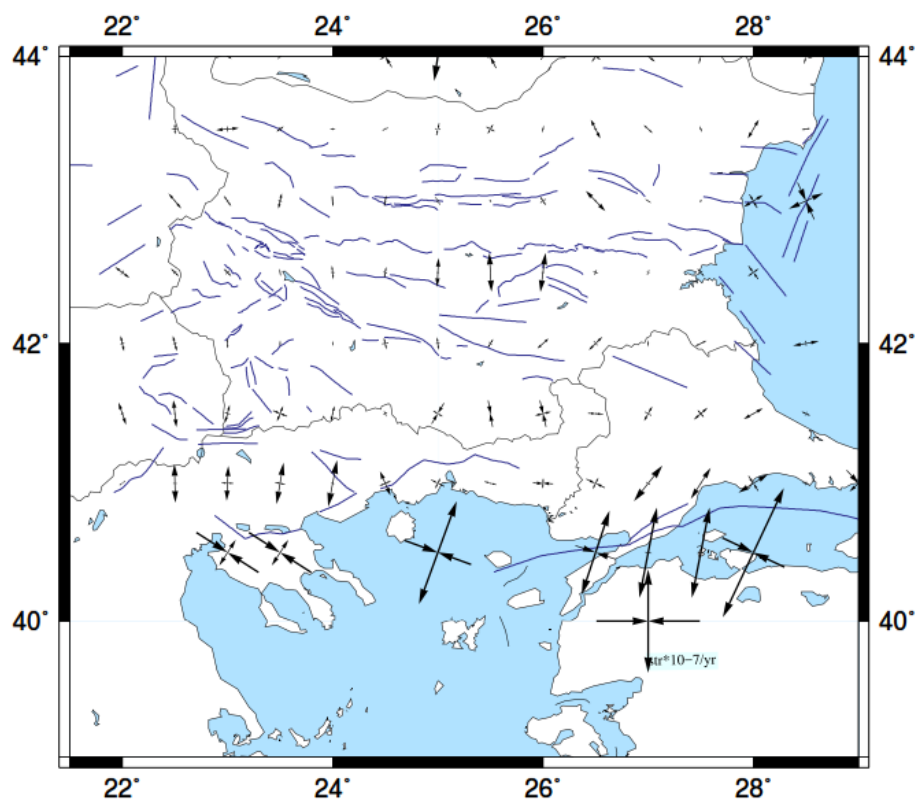
- Обработени и анализирани са измервания от повече от 100 перманентни GNSS станции на територията на България и Балканския полуостров;
- Обработени и анализирани са периодични измервания на GNSS точки от геодинамичните мрежи, които НИГГГ поддържа – Софийската геодинамична мрежа и геодинамичната мрежа в Югозападна България, най-активния тектонски и сеизмичен район в страната;
- Получени са хоризонталните скорости на перманентните и периодично измерваните GNSS станции в България и околните страни (Македония, Северна Гърция и Европейската част на Турция) – фиг. I.3-1;
- Получени са вертикалните скорости на перманентните GNSS станции. На базата на вертикалните скорости са получени изолиниите на вертикалните скорости, т.е. съставена е нова карта на вертикалните движения – фиг. I.3-2;
- Получени са напреженията и ъгловите деформации на земната кора за територията на страната. Изчислен е грид на напреженията (фиг. I.3-3) и ъгловите деформации със стъпка 30 дъгови минути, който обхваща територията на страната.



Фигура I.3-1. Хоризонтални скорости на перманентните и периодично измерваните точки в България, Македония, Северна Гърция и европейската част на Турция



Фигура 1.3-2. Изолинии на вертикалните скорости, получени чрез интерполация на вертикалните движения на перманентните GNSS станции



Фигура 1.3-3. Грид на напреженията на земната кора, получен от хоризонталните скорости

РАЗДЕЛ 4. ОЦЕНКА НА СЕИЗМИЧНАТА ОПАСНОСТ ЗА ТЕРИТОРИЯТА НА СТРАНАТА

Сеизмичната опасност (seismic hazard) може да се дефинира като процес или физическо явление, свързано с реализацията на земетресение, което може да доведе до загуба на живот, нараняване или други въздействия върху здравето на човека, имуществени щети, социални и икономически сътресения и увреждане на околната среда. Сеизмичната опасност е природна даденост, която не може да бъде контролирана от човека.

Съществуват два основни подхода за оценка на сеизмичната опасност – вероятностен и детерминистичен.

Вероятностният подход (PSHA) оценява вероятността земното движение да превиши дадено ниво вследствие на земетресение за даден период от време. Вероятностният подход дава количествена оценка на сеизмичната опасност за дадена площадка от всички възможни земетресения на различни разстояния като брой надвишавания, или вероятност за надвишаване на дадено ниво на земното движение за интересоващи ни периоди от време.

Детерминистичният подход (DSHA) постулира появата на земетресение с определена сила и конкретно местоположение и оценява въздействията от това земетресение за дадена площадка. Детерминистичната оценка е нивото на сеизмичните земни движения, предизвикани от най-силните земетресения, реализирани в най-близките до определена площадка сеизмични източници. Този подход не прогнозира вероятността за случване на даденото събитие през определен период от време.

4.1. Сеизмологична база данни

Наличната сеизмологична информация (за територията на България и близките околности) условно се разделя на три времеви категории с различна точност на определяне на земетръсните параметри (H_0 , ϕ , λ , h , M – време в огнището, географска дължина, географска ширина, дълбочина, интензивност, магнитуд) и прагов магнитуд: 1) Преди 1900 г., прединструментален, исторически период; източниците на информация са само исторически и макросеизмични, което води до ниска точност на определените земетръсни параметри;

2) 1900-1970 г., ранноинструментален период; основната информация е неинструментална (макросеизмична). За земетресенията, станали в периода 1900-1940 г., преобладават макросеизмични данни. По-висока точност на определените земетръсни параметри;

3) След 1970 г., инструментален период; налични съвременни инструментални данни за земетресенията (висока точност на определените земетръсни параметри). Сега съществуващата (от 1981 г.) Българска сеизмична мрежа (НОТССИ) осигурява надеждна регистрация и качествена информация за земетресенията с магнитуд по-голям или равен на 3.0 ($M \geq 3.0$), реализирани на територията на България и околностите ѝ. Висока изчислителна точност на определените земетръсни параметри.

Сеизмичността на Балканите е неравномерно разпределена в пространството, което дава основание земетресенията да се групират в географски определени зони, наречени сеизмогенни зони. Сеизмотектонският анализ на Централни Балкани показва, че моделирането на сеизмичността чрез сеизмични зони е по-подходящо за региона от моделиране чрез линейни или тримерни разломни структури.

Сеизмичността, реализирана на територията на България, се асоциира към няколко основни сеизмогенни зони, дефинирани в множество изследвания на базата на пространственото разпределение на сеизмичността и на възможните огнищни зони.

От анализа на дълбочинното разпределение е установено, че земетресенията, генерирани на територията на България, са станали в земната кора. Максимална плътност на сеизмичността се наблюдава в дълбочинен слой между 5 и 25 km.

Върху оценката на сеизмичната опасност оказва влияние и сеизмичността, генерирана извън границите на България. В базата сеизмологични данни допълнително са включени и земетресенията, генерирани и локализирани във: Северна Гърция и северните части на Егейско море; Северозападна Турция; FYROM; Източните части на Сърбия и Албания; Южна Румъния.

От сеизмогенните зони извън територията на България най-съществено е въздействието на зона Вранча, Румъния, където се генерират силни междиннофокусни земетресения (дълбочина над 60 km), оказващи неблагоприятни въздействия върху голяма част от територията на България и разрушителни последици в Северна България.

За целите на настоящото изследване е генерирана сеизмологична база данни въз основа на следните каталози: Catalogue of earthquakes in Bulgaria and adjacent regions; New catalogue of the earthquakes in Bulgaria for the period V century BC to XIX century; Bulgaria Catalogue of Earthquakes in 1981-1990; Catalog of earthquakes in Bulgaria and surroundings for the period 1991-2012; Earthquake Catalogue for Central and Southeastern Europe; Допълнително за земетресенията, реализирани в разглеждания регион през период 2012-2016 са използвани предварителните каталози на Национална Оперативна Телеметрична Система за Сеизмологична Информация (НОТССИ); Seismicity of the European area, Part II; A catalogue of earthquakes in Greece and surrounding area for the period 550BC-1999; A catalogue of earthquakes in the Mediterranean and surrounding area for the period 1901-2010; ROMPLUS since 2007 – Romanian Earthquake Catalogue (computer file). Данните са сверени и допълнени с информация от международни и налични регионални каталози.

4.2. Компилиране на хомогенизиран и деклъстеризиран каталог

Въз основа на генерираната сеизмологична база данни са съставени два каталога на земетресенията – основен и допълнителен. Основният каталог, покриващ територията на България и близките околности, включва 1062 плитки земетресения с магнитуд $M > 3.0$, реализирани в пространствен прозорец 41.0° – 44.6° N и 22.0° – 30.0° E през периода I век пр. Хр. – 2016 г. Допълнителният каталог включва 2704 плитки и 453 междиннофокусни земетресения с $M \geq 4.5$, реализирани в пространствен интервал 39.0° – 47.0° N и 20.0° – 30.0° E. От допълнителния каталог е изключена областта, покрита от основния каталог. В компилираните каталози всяко земетресение е специфицирано с пространствено–времени параметри, магнитуд и епицентрална интензивност, ако е оценена (N_0 , φ , λ , h , M , I_0/I_{max}).

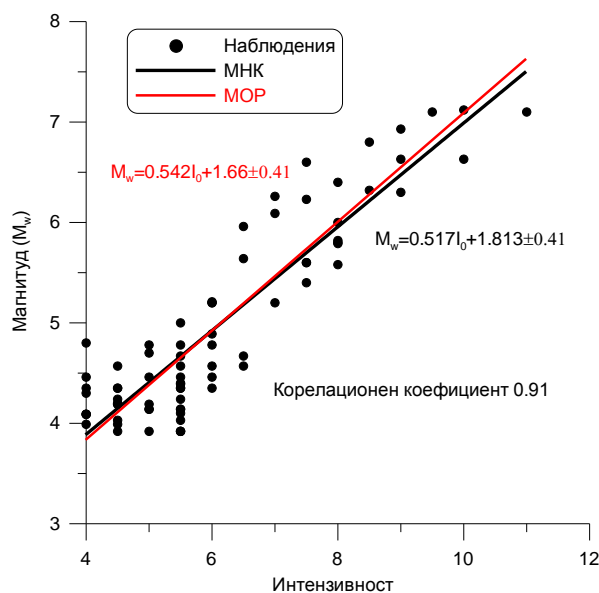
Каталозите са деклъстеризирани чрез разпознаване и изключване на дублираните събития и сеизмичните събития, които са резултат от антропогенна дейност. Допълнително са идентифицирани и маркирани фор-афгършоковите събития и земетресения от роев тип сеизмичност. Това дава основание за времето на разпределението на земетресенията, като първо приближение, да се предположи Поасонов процес.

Основен каталог

За хомогенизиране на каталога в енергиен аспект и за осигуряване съвместимост на сеизмологичната информация са унифицирани интензивностните и магнитудните оценки. Макросеизмична интензивност (I_0/I_{\max}) е приведена към оценките на 12-степенната скала на Медведев-Шпонхойер-Карник (MSK 64), използвана в България от 1965 г., която най-общо съвпада с европейската макросеизмична скала EMS-98. Магнитудните оценки, представени в различни източници, са приведени към най-широко прилаганата (през последните години) скала – магнитуд по сеизмичен момент (M_W).

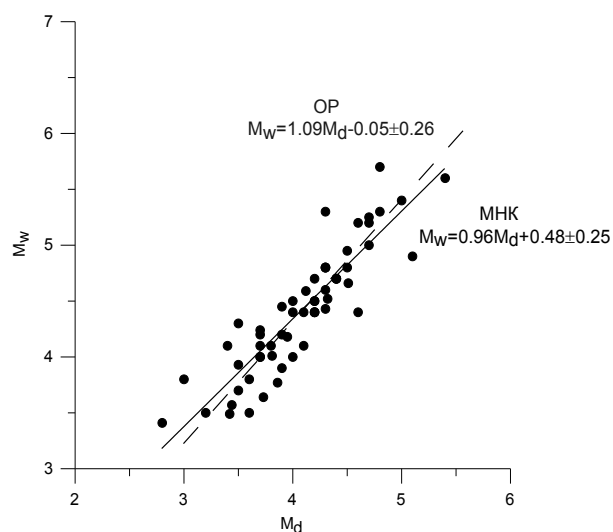
За привеждане на магнитудните оценки към M_W са изведени релации, свързващи магнитуда по сеизмичен момент с макросеизмична интензивност I_0/I_{\max} , с магнитудите M_d (по продължителност на сеизмичните колебания) и M_p (по максималната амплитуда на обемни Р-вълни), използвани в българската сеизмологична практика, и магнитуд по повърхностни вълни (M_S).

Въз основа на 77 събития с магнитуд по сеизмичен момент в интервала $3.9 \leq M_W \leq 7.1$ и макросеизмична интензивност I_0/I_{\max} по скалата EMS-98P са оценени линейни регресии по метода на най-малките квадрати (МНК) и метода на ортогонална регресия (МОР), свързващи M_W с I_0/I_{\max} . Получените релации показват близки оценки на M_W по двата метода, което се илюстрира от фигура I.4-1.

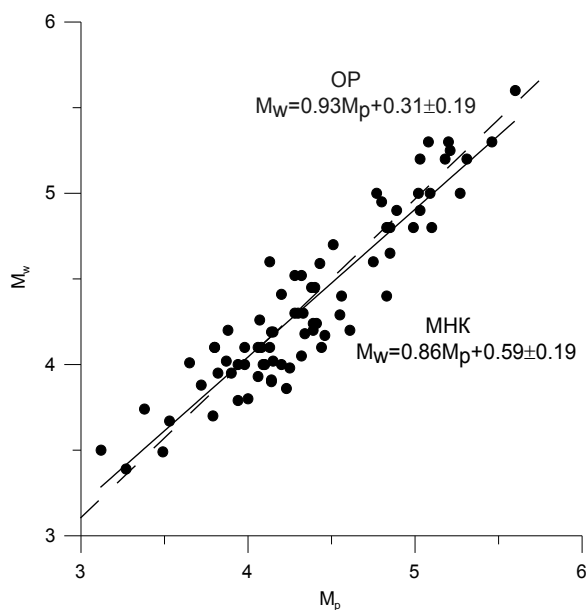


Фигура I.4-1. Релации, свързващи магнитуд по сеизмичен M_W с епицентрална интензивност I_0 , оценени по МНК (с черен цвят) и по МОР (с червен цвят)

На базата на 51 земетресения (генерирани през периода 1981-2007 г.) и 77 земетресения (генерирани през периода 2008-2016 г.) са оценени линейни регресии по метода на най-малките квадрати (МНК) и метода на ортогонална регресия (ОР), свързващи магнитудните оценки по сеизмичен момент (M_W), съответно с магнитуд по продължителност на сеизмичните колебания (M_d) и магнитуд по M_p , определен по максималната амплитуда на обемни Р-вълни. Магнитудните оценки M_d са в интервала $2.8 \leq M_d \leq 5.4$, а M_p са в интервала $3.1 \leq M_p \leq 5.6$. Получените резултати са представени, съответно на фигури I.4-2 и I.4-3.



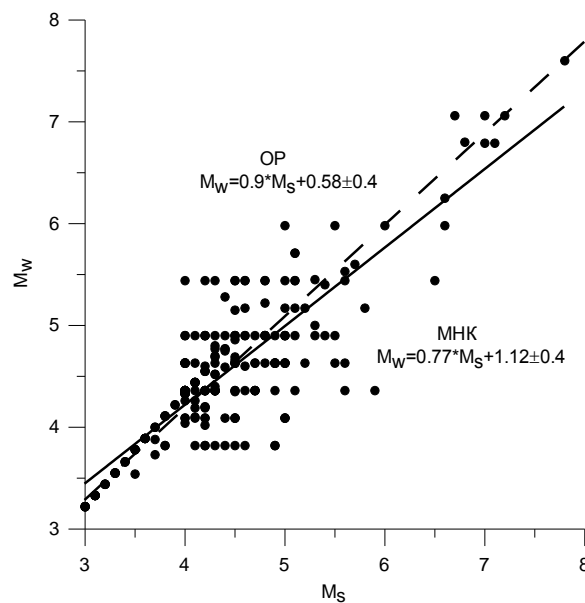
Фигура I.4-2. Релации, свързващи магнитуд по сеизмичен M_w с магнитуд по продължителност M_d , оценени по МНК (непрекъсната линия) и по метода ОП (пунктирана линия)



Фигура I.4-3. Релации, свързващи магнитуд по сеизмичен M_w с магнитуд M_r , оценени по МНК (непрекъсната линия) и по метода ОП (пунктирана линия)

238 земетресения (генерирани през исторически и ранноинструментален период) с магнитудни оценки по M_S (в интервала $3.0 \leq M_S \leq 7.8$) са използвани за оценка на линейни регресии по двата метода, свързващи магнититудните оценки по сеизмичен момент (M_w) с магнитуд по повърхностни вълни (M_S).

Получените резултати са представени на фигура I.4-4.



Фигура I.4-4. Релации, свързващи магнитуд по сеизмичен M_w с магнитуд по повърхностни вълни M_s , оценени по МНК (непрекъсната линия) и по метода ОП (пунктирна линия)

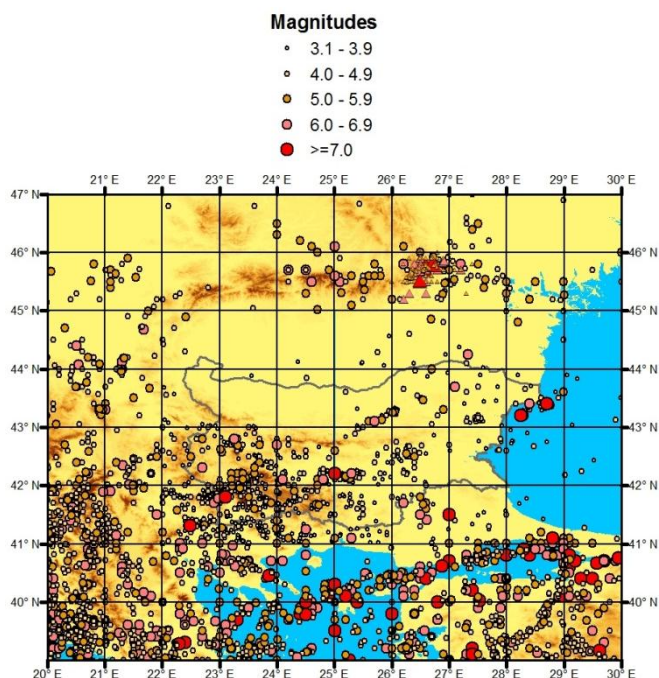
Допълнителен каталог

В използваните каталози “A catalogue of earthquakes in Greece and surrounding area for the period 550BC-1999” “A catalogue of earthquakes in the Mediterranean and surrounding area for the period 1901-2010” и ROMPLUS магнитудните оценки са по сеизмичен момент. За другата сеизмологична информация са използвани релации, изведени за основния каталог.

Пространственото разпределение на земетресенията от деклъстеризираните и хомогенизирани каталози (основен и допълнителен) е представено на фигура I.4-5.

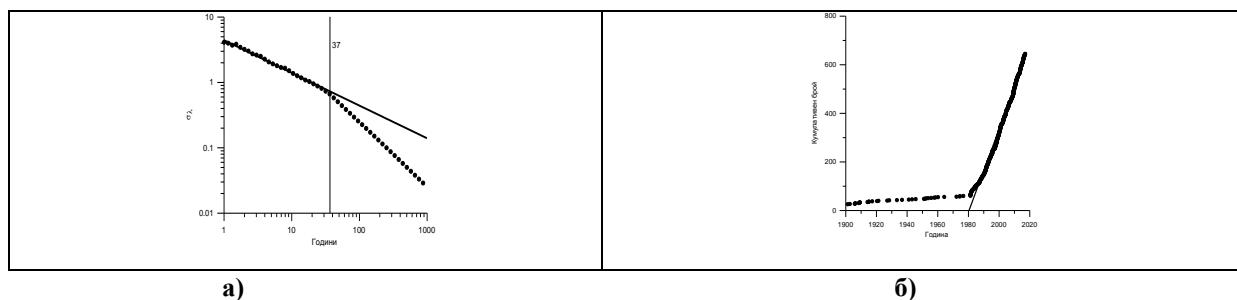
Деклъстеризираните и хомогенизирани каталози са изследвани за пълнота на каталожната информация. Пълнотата на каталожните данни е от съществено значение за надеждното оценяване на статистическите параметри на сеизмичността, необходими за вероятностна оценка на сеизмичната опасност.

В настоящото изследване пълнотата на каталожната информация в основния каталог е оценен по двата метода: метод на Stepp и метод на “наклона”, които са най-често използваните в сеизмологичната практика.

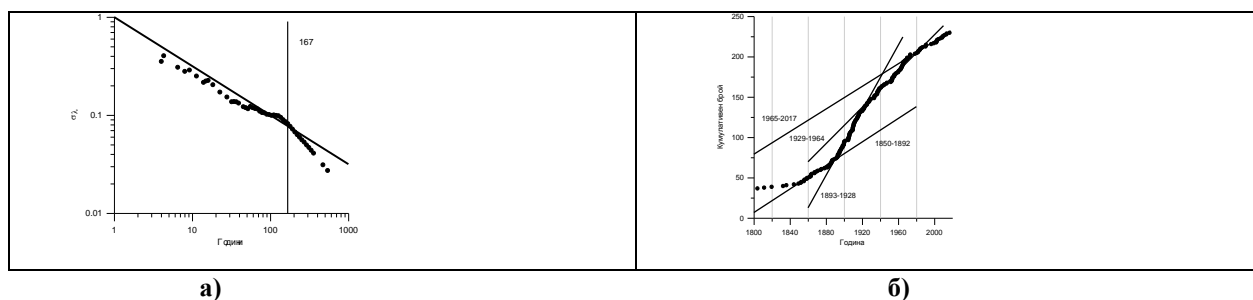


Фигура I.4-5. Разпределение на сеизмичността (историческа и инструментална) в пространствен прозорец 39.0° - 47.0° N ; 20.0° - 30.0° E

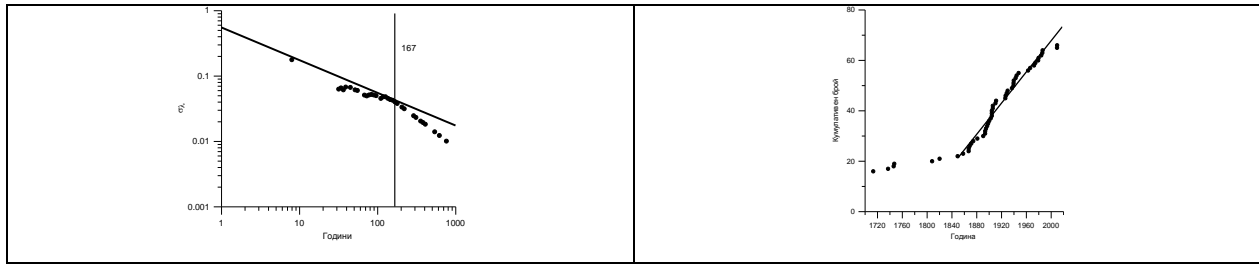
На фигури I.4-6 – I.4-10 са представени оценките по двата метода за различни магнитудни интервали. Получените резултати по двата метода са много близки (както се вижда от фигурите). Каталогната информация е с необходимата пълнота: за магнитудни $M_w < 4.5$ за 37 години от 2016 г. назад; за магнитуден интервал $4.5 \leq M_w < 5.0$ – 167 години от 2016 г. назад; за магнитуден интервал $5.0 \leq M_w < 5.5$ – 167 години от 2016 г. назад; за магнитуден интервал $5.5 \leq M_w < 6.0$ – 167 години от 2016 г. назад; за магнитудни $6.0 \leq M_w$ – 417 години от 2016 г. назад.



Фигура I.4-6. Пълнота на каталожната информация за $M_w < 4.5$: а) оценена по метод на Stepp; б) оценена по метод на “наклона”



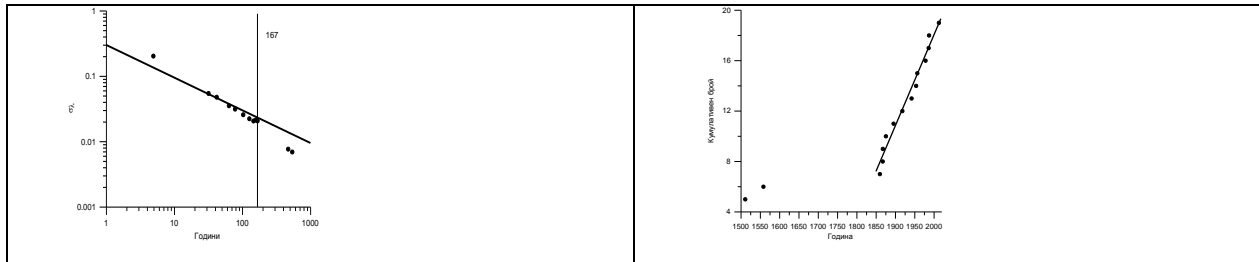
Фигура I.4-7. Пълнота на каталожната информация за $4.5 \leq M_w < 5.0$: а) оценена по метод на Stepp; б) оценена по метод на “наклона”



а)

б)

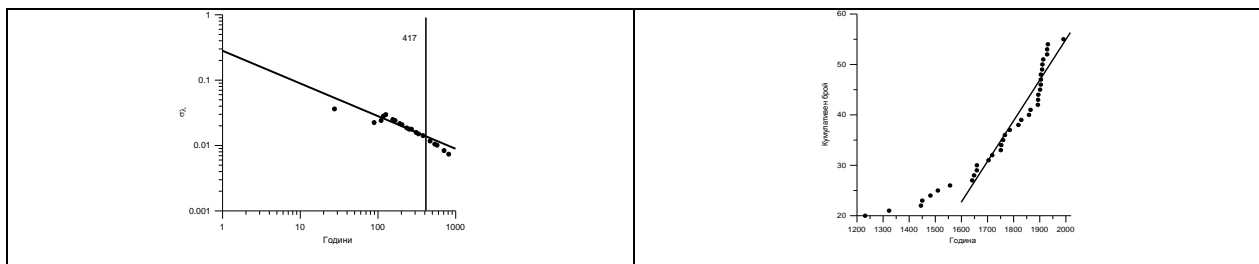
Фигура I.4.8 Пълнота на каталожната информация за $5.0 \leq M_w < 5.5$: а) оценена по метод на Stepp; б) оценена по метод на “наклона”



а)

б)

Фигура I.4-9. Пълнота на каталожната информация за $5.5 \leq M_w < 6.0$: а) оценена по метод на Stepp; б) оценена по метод на “наклона”

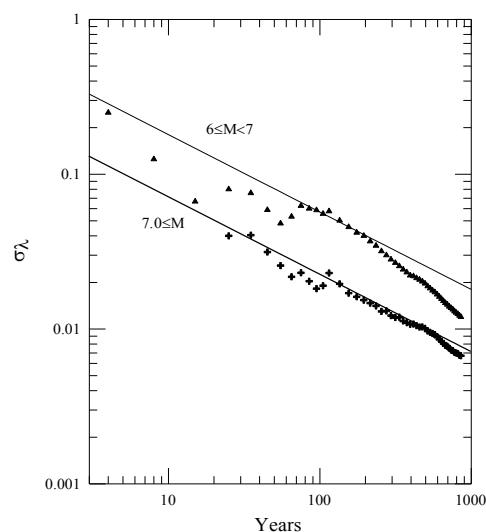


а)

б)

Фигура I.4-10. Пълнота на каталожната информация за $6.0 \leq M_w$: а) оценена по метод на Stepp; б) оценена по метод на “наклона”

За допълнителния каталог чрез прилагане теста на Stepp е изследвана пълнотата на каталожната информация (представена в ROMPLUS since 2007) за междиннофокусните земетресения (Вранча, Румъния). Резултатите показват (фиг. I.4-11), че за $M_w \geq 7.0$ каталогът може да се счита пълен за период от 500-600 години, а за $7.0 > M_w \geq 6.0$ – около 130 години.



Фигура I.4-11. Пълнота на каталога ROMPLUS

Пълнотата на каталожната информация за териториите южно от 43°N е оценена в “A catalogue of earthquakes in Greece and surrounding area for the period 550BC-1999”. Резултатите показват, че информацията е с необходимата пълнота: за $M_w \geq 4.5$ – след 1964 г.; за $M_w \geq 4.8$ – след 1950 г.; за $M_w \geq 5.2$ – след 1911 г.; и за $M_w \geq 6.5$ – от 1901 г.

4.3. Избор на релации за затихване на земните движения

Затихването на сеизмичните вълни е процес на намаляване амплитудите на сеизмичните вълни при разпространението им от земетръсното огнище до точка, отдалечена на определено разстояние от източника. Затихването се представя чрез съответни релации (законали, модели, в последните години се използва и понятието „прогностични релации“) на затихването. Тези модели оказват съществено влияние върху оценката на сеизмичната опасност. Релациите за затихване на земните движения трябва да отговарят на следните общи критерии: да са актуални и установени за времето на изследването; да са в съответствие с типа на земетресенията и регионалните особености на затихване; да отразяват в най-голяма степен тектонските особености на разглеждания регион.

При оценката на сеизмичната опасност за територията на България трябва да се отчитат следните два факта: 1) силните земетресения в България са реализирани през исторически и ранноинструментален период (т.е. съвременната сеизмичност е от слаби до умерени събития с магнитуд, по-малък от 6.0), което налага в анализа на сеизмичната опасност да се използват модели за затихване, получени въз основа на богатата база от инструментални данни за силни движения, регистрирани в райони със сходни геоложки и сеизмотектонски характеристики; 2) силните, междиннофокусни земетресения, генерирани в зона Вранча, Румъния, оказват неблагоприятни въздействия върху голяма част от територията на страната и разрушителни последици в Северна България.

В настоящото изследване от публикуваните до момента 400 модела за затихване от плиткови земетресения в сеизмично активни райони са избрани 6 релации, прилагайки по-горе споменатите критерии и допълнително наложени ограничения.

От румънски специалисти са публикувани множество модели за затихване от междиннофокусни земетресения, генерирани в огнище Вранча, Румъния. Недостатък на разработките е, че предложените релации не позволяват прогнозирането на земните движения за почвени условия „скала“. В публикуван анализ на модели за затихване от дълбоки земетресения, представени в световната литература, са посочени четири релации (основани на световни данни) като подходящи за прогнозиране на затихването от огнище Вранча. В настоящото изследване са избрани 3 прогностични релации (една румънска и две международни), като са приложени общите критерии и допълнителни ограничителни фактори.

Избраните 9 релации са верифицирани – установено е съответствието между прогнозираните и регистрираните стойности на максималното ускорение. За верификация се използват данни от инструментални наблюдения и макросеизмична информация (за целта макросеизмичната интензивност е приведена към ускорение).

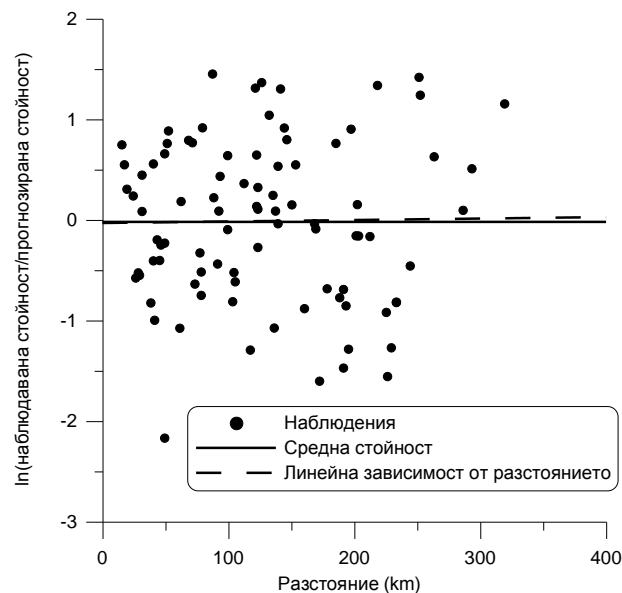
За верифициране на моделите за затихване от плиткови земетресения са обработени 89 акселерограми от земетресения с магнитуд M_w в интервала [3.7; 5.6], реализирани на епицентрални разстояния между 10 km и 320 km във и около територията на страната. Верификацията на релациите за затихване на междиннофокусните земетресения се

основава на извадка, формирана от информацията за хоризонтални ускорения, публикувана в различни източници. Извадката съдържа 149 ускорения, като от нея са изключени наблюденията в точки с географска ширина над 45.5°N. За всеки един запис е изчислена теоретичната амплитуда по избраните релации. Изчислени са средните и медианните стойности, прогнозирани от всеки закон, натурален логаритъм от отношението наблюдавани/прогнозирани стойности и стандартното отклонение на логаритъма. Резултатите, получени за регистрираните ускорения, съвпадат с тези, основани на макросеизмични наблюдения.

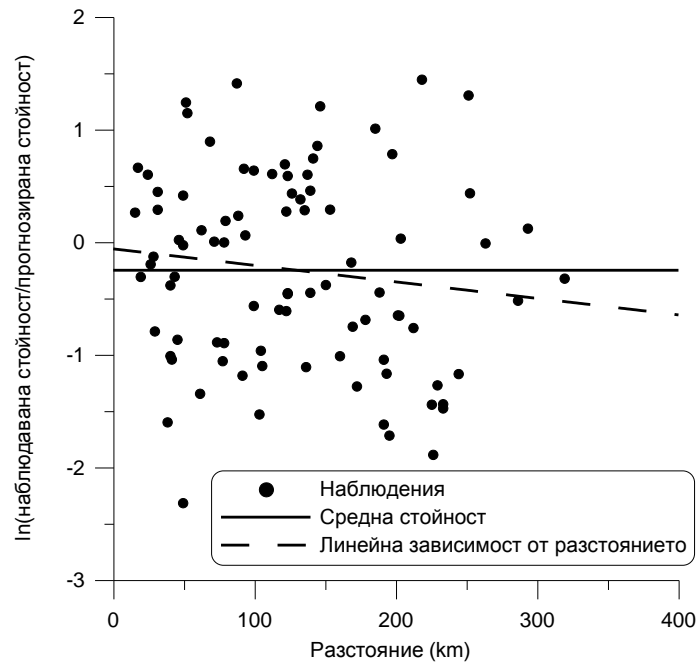
След проведения анализ и верификация са избрани 3 прогностични релации за плитката сеизмичност (Chiou and Youngs, 2014 – с най-стабилни резултати като средно, стандартно отклонение и отсъствие на зависимост от разстоянието; Akkar et al., 2014; Boore et al., 2014 – получени въз основа на данни от Европа и Близкия изток) и 2 за междиннофокусните земетресения, генерирани в огнище Вранча (една базирана на наблюдения от земетресения в огнище Вранча – Vacareanu et al., 2015; и една от международни данни – Youngs et al., 1997).

На фигури I.4-12 – I.4-16 е дадено разпределението на \ln (наблюдавана стойност/теоретична стойност) в зависимост от разстоянието за 5^{те} избрани релации.

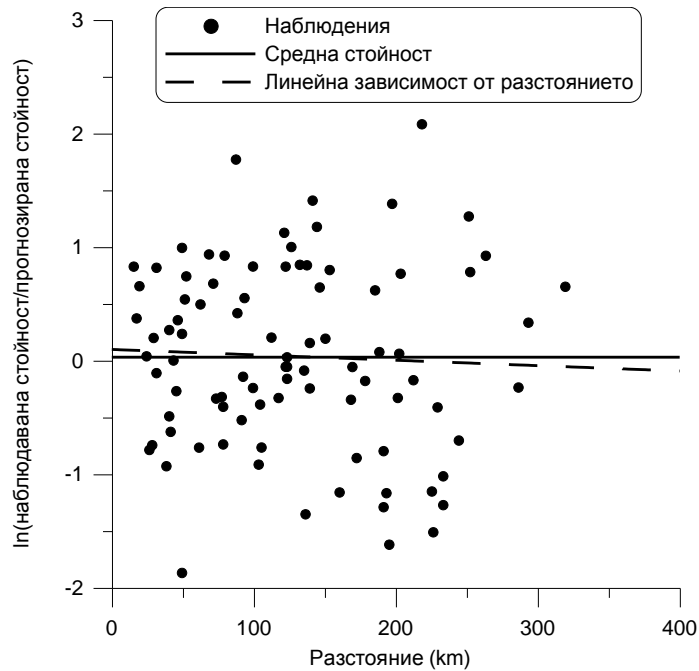
Допълнително е разработен програмен модул за директно прилагане на 5^{те} избрани модела за затихване на земните движения в изчисленията на сеизмичната опасност за територията на България.



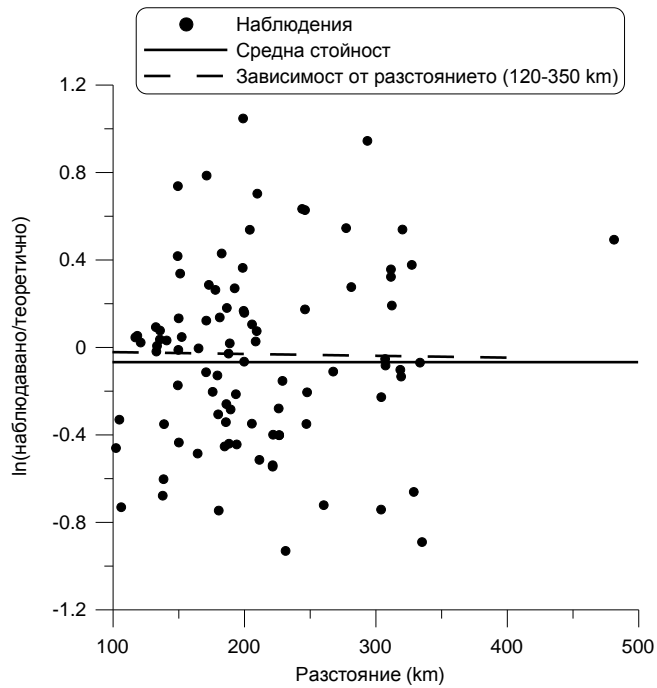
Фигура I.4-12. Разпределение на логаритъма от отношението наблюдавана стойност върху прогнозирана стойност (релация Chiou and Youngs, 2014)



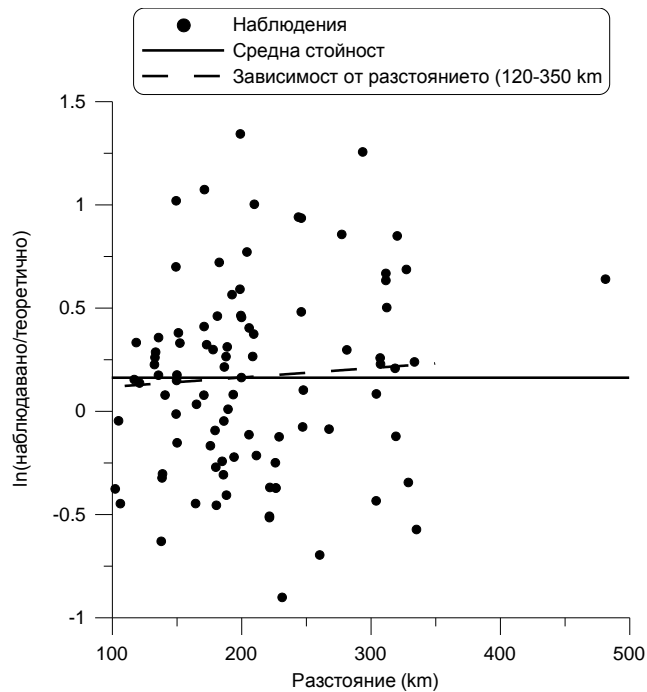
Фигура I.4-13. Разпределение на логаритъма от отношението наблюдавана стойност върху прогнозирана стойност (релация Akkar et al., 2014)



Фигура I.4-14. Разпределение на логаритъма от отношението наблюдавана стойност върху прогнозирана стойност (релация Boore et al., 2014)



Фигура I.4-15. Разпределение на логаритъм от отношението наблюдавана/теоретична стойности в зависимост от хипоцентралното разстояние (релацията Vasarcanu et al., 2015)



Фигура I.4-16. Разпределение на логаритъм от отношението наблюдавана/теоретична стойности в зависимост от хипоцентралното разстояние (релация Youngs et al., 1997)

ТЕМА II. ОЦЕНКА НА СЕИЗМИЧНИЯ РИСК ЗА СГРАДИ

РАЗДЕЛ 1. КРИТИЧЕН АНАЛИЗ НА СЪВРЕМЕННИТЕ МЕТОДИ ЗА ОЦЕНКА НА СЕИЗМИЧНАТА УЯЗВИМОСТ И СЕИЗМИЧНИЯ РИСК

Съществуват различни подходи за изследване на сеизмичната уязвимост на сградите. За конкретизиране на отделните стъпки за изпълнение на проекта са проучени и анализирани проектни документи и съвременни изследвания, даващи методически насоки за анализи на строителни конструкции.

Разгледани са някои от проведените изследвания за оценка на сеизмичния риск в САЩ, Канада (Британска Колумбия) и Европа. Детайлно са представени следните разработки:

- **FEMA 154** – Бърза визуална проверка на сгради за потенциалните сеизмични рискове е разработена през 1989 г. от Федералната агенция за управление на извънредни ситуации, САЩ, и актуализирана през 2002 г. (FEMA, 2002).
- **HazUS (FEMA/ NIBS, 2005)** е софтуерен пакет за оценка на загуби, разработен от Федералната агенция за управление на извънредни ситуации (FEMA) и Националния институт за наука за сградите (NIBS) в САЩ през 1997 г. и актуализиран през 2005 г. Методологията в HazUS (FEMA/ NIBS, 2005) свързва очакваната повреда на сградата със спектралното ускорение и преместване. Капацитивни (Demand) спектри се използват за описване на входните земни движения и сеизмичното поведение на сградите се представя чрез използване на капацитивни криви.
- **NRCC (1992)** – „Ръководство за сеизмичен скрининг на сгради“, прието от Националния изследователски съвет на Канада. Резултатите от проведените изследвания са представени от Bell, Blanquera, Onur (Thibert, 2008). NRCC-1992 е разработен на базата на ATC 13 (Оценка на данните за повреди от земетресение за Калифорния, 1985) с цел класифициране на сградите според тяхната способност да устоят на сеизмични въздействия. Процедурата за скрининг включва разглеждане на типовете конструкции на сградите, видовете нерегулярности, сеизмичността в района, условията на земната основа, предназначението на сградите, тяхната заетост/ползваемост и неконструктивните повреди.
- **NERIES–ECFP6 – ELER** „Рутинна оценка на загубите при земетресение“ – в рамките на проект NERIES – EC FP6 е разработена методология и софтуер ELER© за бърза оценка на сеизмичните въздействия и загуби в Евросредиземноморския регион.
- **RISK-UE (2001-2004)** – „Съвременен подход за сеизмични сценарии с приложение в различни европейски градове“ – европейски проект, чиято цел е да се оценят сеизмичните сценарии в рамките на отделен град в европейски контекст – България участва с тестов район община Триадица, гр. София. Разработена е матрица за описание на типологиите сгради с 23 главни класове, групирани по конструктивни видове и строителен материал.“
- **SYNER-G (2009-2013)** – европейски изследователски проект с акцент върху сеизмичната уязвимост и анализ на сеизмичния риск за сгради, инфраструктура и

критични съоръжения. Разработена е иновативна методология за оценка на сеизмичната уязвимост на ниво град и регион, като се разглежда взаимовръзката между елементите на риска (физически и нефизически), принадлежащи на различни системи, а също и между системите като цяло в мащабите на град и на регион. Целите и резултатите са насочени към нуждите на администрацията, местните власти, отговорни за управление на сеизмичния риск, частни и публични служби, управляващи обслужващите системи и инфраструктурата, застрахователната индустрия, както и нуждите на строителството, консултантските и застрахователните фирми.

Множество изследвания за определяне на сеизмичния риск са проведени в Европа през последните години с използване на Европейската макросеизмична скала от 1998 г. (EMS-98) (Grunthal, 1998). EMS-98 дефинира сеизмичната интензивност в конкретно местоположение в 12 степени на базата на въздействието на земетресението върху хора, предмети, съоръжения и други обекти и повредите върху сградите. Голямата разлика между EMS-98 и другите скали в интензивности е в подробностите, с които са дефинирани различните типове сгради и класове на уязвимост, степени на повреди и количествени връзки. Класификацията по уязвимост включва шест класа – от А до F, дефинирани като „класове на уязвимост“.

РАЗДЕЛ 2. ИДЕНТИФИКАЦИЯ НА СГРАДНИЯ ФОНД

Идентификацията на сградния фонд преминава през следните етапи:

- Събиране на данни за сградите. Обработка на необходимите данни за сградния фонд;
- Идентифициране на типовете сгради;
- Определяне на необходимите параметри на строителната конструкция на отделна сграда. Обособяване на сградите в групи в зависимост от техните характеристики.

Данните за сградния фонд представят параметрите на строителните конструкции, касаещи определянето на пострадалите и жертвите при силни земетресения; директните финансови загуби; оценяването на възстановителния период след силно и/или разрушително земетресение и др. Събираната информация се организира в база данни в ГИС среда, подходяща за използване при разработката на сценариите за последици от земетресения.

Данните, необходими за извършване на оценка на сеизмичната уязвимост, включват:

- идентификационен код;
- основно предназначение на сградата;
- вид строителен материал;
- тип конструктивна система на сградата, поемаща сеизмичното натоварване;
- година на построяване / проектиране;
- използвани нормативни документи за сеизмично осигуряване; ниво на сеизмично осигуряване (7, 8, 9 степен по скалата за интензивности);
- брой на етажите;
- височина;
- разгъната площ;
- качество на сградата по отношение на материал, проект, строителство.

Колкото по-подробна е информацията за сградата, толкова по-прецизни методи за оценка на уязвимостта ѝ могат да бъдат приложени.

В базата данни сградите се класифицират в отделни групи с цел оценяване на повредите. В една група попадат сгради с конструктивни системи, които реагират по един и същи начин при сеизмично въздействие. Чрез анализа на уязвимостта се разработват зависимости между параметрите на земното движение и възможните повреди в конструкциите за всеки един прототип (представител на всяка група конструкции). Тези зависимости се използват за определяне на очаквания размер на конструктивните и неконструктивните повреди на сградата за дадено ниво на сеизмичното въздействие.

Формиране на матрица на типологиите сгради

На основата на параметри, определящи вида материал и типа на вертикалната и хоризонталната конструктивна система и начина на строителство, се формира т.нар. първо ниво на построяване на матрицата на типологиите сгради.

Година на построяване

Второто ниво на категоризация на сградите се извършва в зависимост от годината на построяване и/или проектиране. Този параметър има особено значение, тъй като при липса на информация за някои от изброените по-горе параметри (използвани нормативни документи за сеизмично осигуряване; ниво на сеизмично осигуряване; карта на местоположението на сградата с очакваната максимална сеизмична интензивност) може индиректно да се получи информация от нормативните документи, прилагани по време на построяването и/или проектирането.

Ключовите, разделителни дати са годините, в които са приети, допълнени или изменени съответните Правилници/наредби за строителство в сеизмични райони.

Резултати

Резултатът от идентификацията е база данни с параметри на сградния фонд, която представлява необходимата основа за успешното изпълнение на проекта.

РАЗДЕЛ 3. СЪБИРАНЕ И ОБРАБОТКА НА ДАННИ ЗА СГРАДИТЕ С ИЗПОЛЗВАНЕ НА ГИС И ДИСТАНЦИОННИ ИЗСЛЕДВАНИЯ

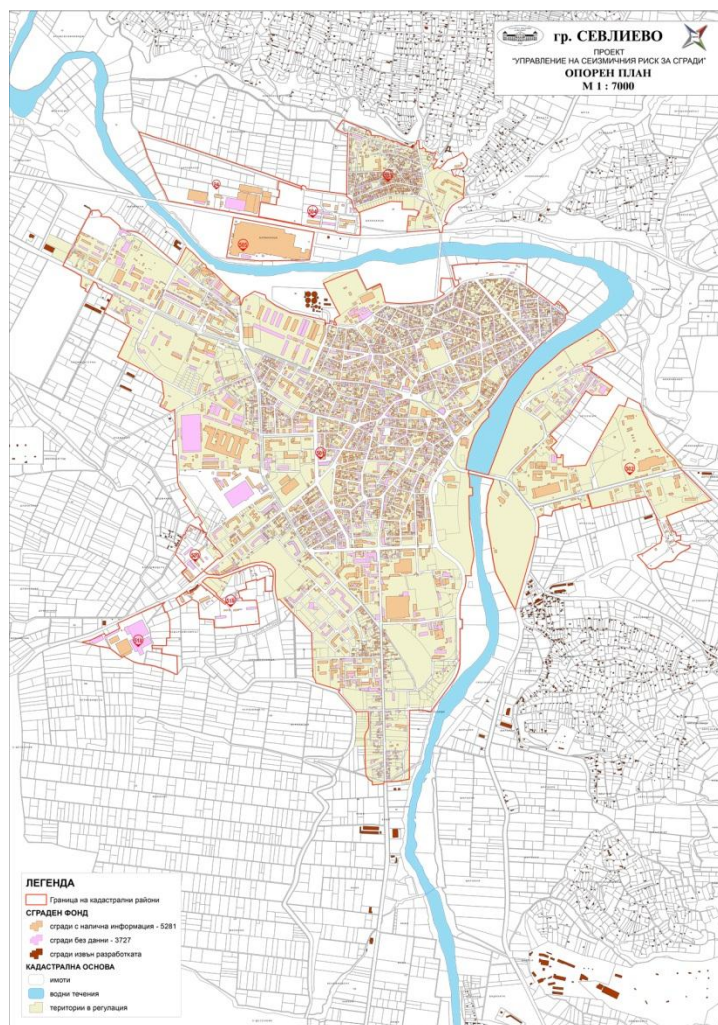
След анализ и сравняване на различни алтернативи за тестов район на изследване е избран *град Севлиево*.

Събирането и обработката на необходимите данни се осъществява с използване на **географски информационни системи (ГИС)**, като отделните цифрови слоеве се организират в единна база данни. Наличните данни за оценка на сеизмичния риск притежават както пространствени, така и непространствени характеристики. Те се събират от много и разнообразни източници, което изисква тяхното стандартизиране и оперативна съвместимост. Основните стъпки за създаване на специализирана единна база данни включват:

1. Идентифициране на източниците на данни и ключови тематични данни в ГИС и характеристика на всеки тематичен слой (включително референтна координатна система, картографска проекция, мащаб, формат, произход на данните и интегриране с други масиви от данни);

2. Разработване на представителни взаимоотношения и топология (моделиране, определяне на структурата на базата данни, пространствени правила за валидация и цялостност (пълнота) на данните, където са приложими);
3. Определяне на процедурите за интегриране, хомогенизиране и съвместимост на данните, възможностите за визуализация на картите и определяне на процедурите за изграждане, редактиране и поддържане на базата данни;
4. Изготвяне на съпътстваща документация към базата данни (например схема, слоеве, примерни карти, метаданни).

Данните се организират в отделни теми: 1) базови данни; 2) сгради; 3) население; 4) инфраструктура. Всички данни са в координатна система WGS84, проекция Universal Transverse Mercator, zone 35N (UTM 35N). На фиг. П.3-1 са представени данни за сградите в ГИС среда въз основа на кадастрална карта на гр. Севлиево.



Фигура П.3-1. Данни за сградите въз основа на кадастрална карта на гр. Севлиево

Прилага се иновативен подход за събиране на пространствени данни за сгради с използване на **дистанционни изследвания – безпилотните летателни системи (БЛС)** – като единствената съвременна и ефективна алтернатива на традиционните методи за събиране и допълване на кадастрални данни за сграден фонд и инфраструктура. Направени са експериментални измервания и въздушно заснемане с БЛС на един квартал от гр. Севлиево (фиг. П.3-2).

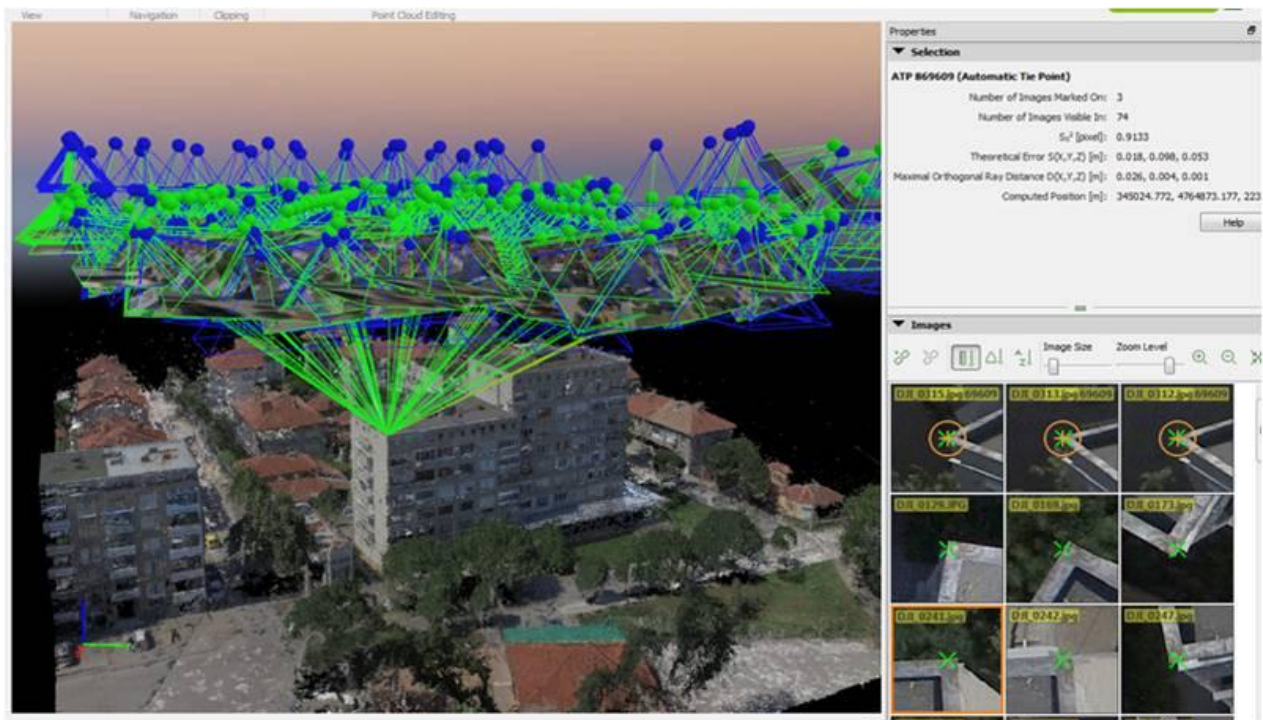


Фигура II.3-2. Квартал от гр. Севлиево за експериментално заснемане

Извършват се две облитания на избрания район. Фотограмметричното заснемане се осъществява с БЛС тип коптер DJI Inspire-1, който е снабден с 12 мегапикселова камера (4000x3000 пиксела/снимка) с триосна жirosкопична стойка за камерата. Контролът на полета се извършва чрез DJI Lightbridge за следене в реално време позицията на БЛС и изображенията, които заснема камерата.

Заснети са общо 312 бр. снимки, които са обработени автоматично чрез специализиран софтуер за дигитална фотограмметрия Pix4Dmapper. Изчисленият облак точки се визуализира в *rayCloud* редактор (фиг. II.3-3) заедно с първоначалните (показани със сини сфери) и изравнени (представени със зелени сфери) местоположения на центровете на камерата, както и самите снимки с тяхната пространствена ориентация по време на въздушното фотозаснемане.

Оценката на точността на получените цифрови данни показва, че GSD (*ground sample distance*) е 2.16 cm/pixel, което означава, че един пиксел в снимката се проектира като квадрат с 2.16 cm върху земната повърхност. Обобщената средна квадратна грешка (*mean RMS error*) е 0.024 m чрез използвани 4 опорни точки.



Фигура II.3-3. Местоположение на камерите и свързващи лъчи на избрана точка от облака

В резултат са получени разнообразни дигитални продукти от изчисления модел на действителния обект:

1. цифров модел на повърхността (DSM) – фигура II.3-4;
2. ортофото мозайка;
3. пространствен облак точки;
4. триизмерен (3D) модел на сгради – фигура II.3-5.



Фигура II.3-4. Цифров модел на повърхността (DSM)



Фигура П.3-5. Триизмерен (3D) модел на сгради

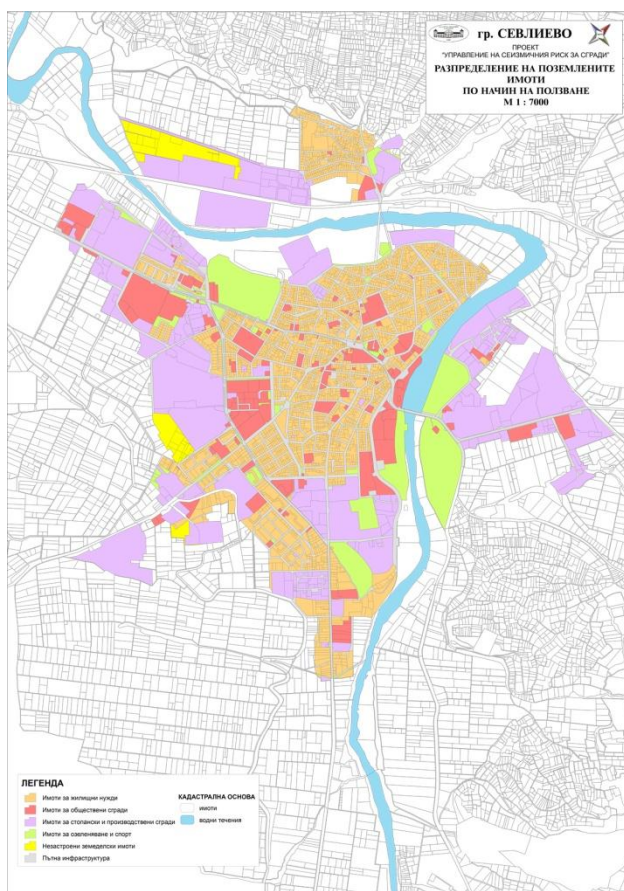
Сравнителният анализ на създадените триизмерни модели с цифровия модел на кадастрална карта показва, че технологията е приложима в значителна степен за картографиране на обекти от действителността, представляващи елементи на кадастъра – контури на сгради и инфраструктурни елементи, т.е. дистанционните изследвания (БИС) могат успешно да се прилагат при събиране на необходимите пространствени данни, коригиране и допълване на ГИС данни за оценка на сеизмичния риск за сгради.

РАЗДЕЛ 4. КЛАСИФИКАЦИЯ НА СГРАДНИЯ ФОНД

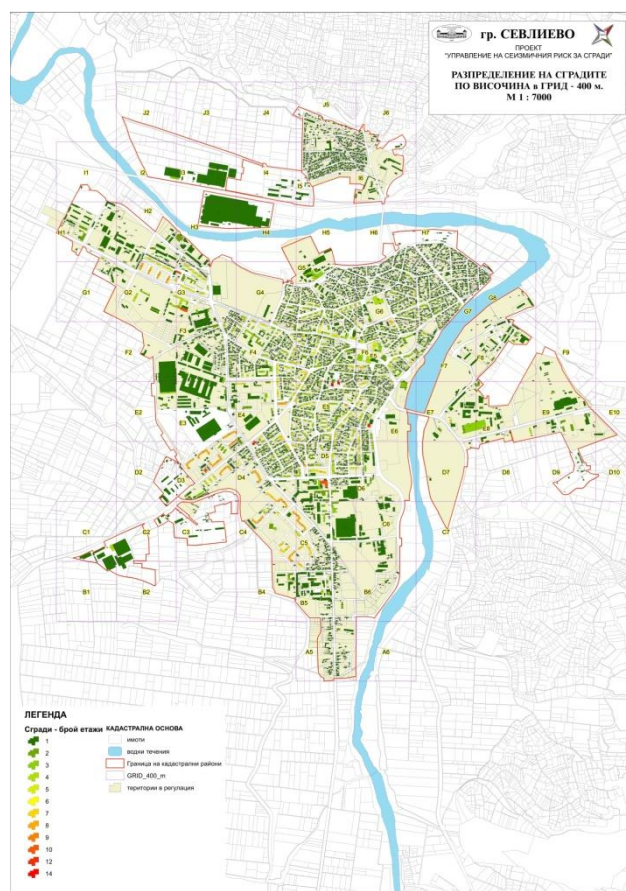
Общият брой на сградите в град Севлиево е 8424 бр. Общата разгъната застроена площ е 1 503 100 m². На фигура П.4-1 е показано предназначението на сградите. На фигури П.4-2 и П.4-3 е илюстрирано разпределението на сградите по височина, като са групирани в три групи. Значителна част от сградите (8147 бр.) могат да се класифицират като нискоетажни с височина до 3 етажа, 262 сгради са в интервала от 4 до 6 етажа и само 15 сгради са с височина над 6 етажа.

На фигура П.4-4 е показано разпределението на сградите по периоди на построяване. Най-голям брой сгради (2829 бр.) са построени в периода 1958-1965 г. След този период следват 20 години, в които темповете са сравнително постоянни. През последното десетилетие се забелязва значителен спад.

Въз основа на информацията за конструктивната система от кадастъра всяка сграда е класифицирана в отделен тип в съответствие с матрицата на типологиите. Общият брой на типологиите е 8.



Фигура II.4-1. Предназначение на сградите



Фигура II.4-2. Разпределение на сградите по височина



Фигура II.4-3. Разпределение на сградите по етажност



Фигура II.4-4. Разпределение на сградите по периоди на построяване



Фигура П.4-5. Разпределение на сградите по типологии (брой сгради)



Фигура П.4-6. Разпределение на сградите по типологии (РЗП m²)

Разпределението на сградите по типологии (брой сгради) е дадено на фигура П.4-5. Почти половината от сградния фонд попада в типологията **ЗД1** (зидани конструкции, неармирани зидарии със стоманобетонни плочи, греди и пояси, необрамчени или обрамчени с колони). Значителна е бройката и в **ЗД2** (зидани конструкции, неармирани зидарии с дървен гредоред без стоманобетонни пояси, необрамчени с колони). На трето място са сградите от тип **КТ1** (зидани конструкции от кирпич и тухли с ниско качество, камък с лошо качество на разтвора). На четвърто място са сградите от тип **СтБ1** (монолитни стоманобетонни конструкции, рамкови и смесени системи, еквивалентни на рамкови).

Разпределението на сградите по типологии (разгъната застроена площ/ РЗП) е дадено на фигура П.4-6. Площта на типологията **ЗД1** отново доминира над всички останали, но площта на стоманобетонните конструкции **СтБ1** е по-голяма от тази на зиданите конструкции **ЗД2**.

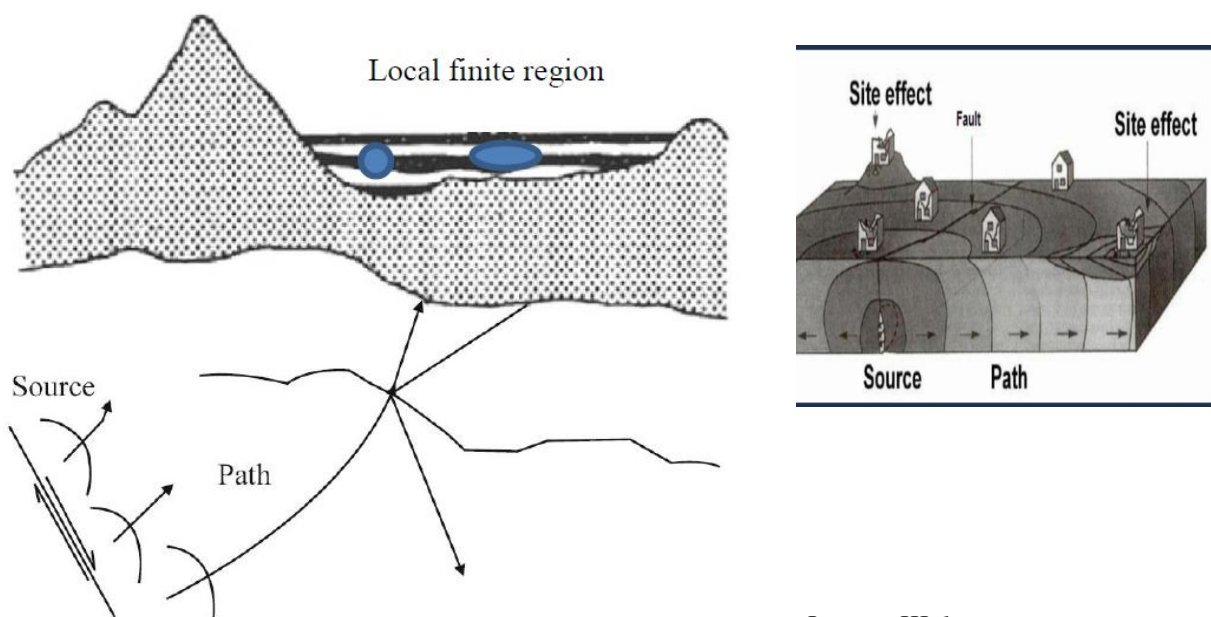
Оценката на сеизмичния риск за сгради е свързана с изграждането на динамична, постоянно обновяваща се географска информационна система (ГИС) с разработена специализирана геопространствена информация. Това позволява генериране на необходимите пространствено-аналитични процедури за извличане на нужната информация, извършване на анализи, интегриране и трансформиране на данни, а също и създаване на картографски продукти за представяне и разпространение на получените резултати.

Приложен е иновативен подход за оценка на сеизмичния риск за сгради с използване на съвременни геоинформационни технологии, в т.ч. географски информационни системи (ГИС) и дистанционни изследвания, предоставящи нови методи и средства за анализ на риска.

ТЕМА III: ПРАКТИЧЕСКИ ВЪПРОСИ, ПРИЛОЖИМИ ПРИ ИЗСЛЕДВАНЕ НА СЕИЗМИЧНИЯ РИСК

Иновативни и научно-приложни приноси:

(1) Разработена е модерна методология от типа на mesh-reduction methods (модели, числени схеми, авторски софтуер) на базата на метод на гранични елементи (МГЕ) за оценка на сеизмичното поле в даден геоложки регион, като се отчитат следните фактори: (а) проследява се целият път на вълната от сеизмичното огнище със зададено местоположение и геофизични характеристики до точките на наблюдение, в които е важно да се знае какъв сеизмичен сигнал пристига, с цел контрол на сеизмичния риск (фиг. III-1);



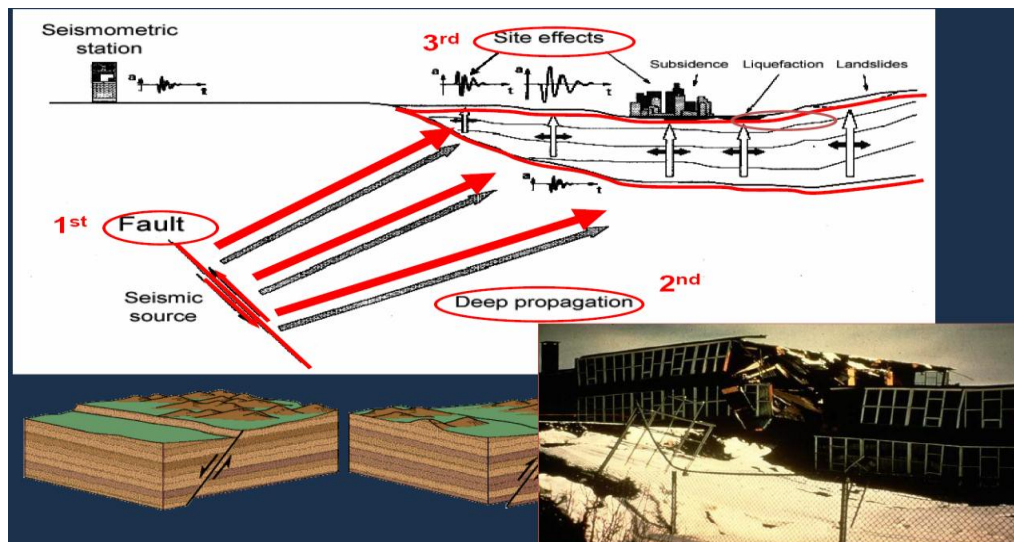
Фигура III-1

(б) отчита се наличието на слоеве и релеф с произволна геометрия; (в) отчита се нехомогенност на материала и наличието на градиент на скоростта на сеизмичната вълна; (г) отчита се наличието на нееднородности като пукнатини, разломи, почвени слоеве с произволна геометрия, фундаменти, тунели, тръбопроводи.

(2) Същността на разработената методология се състои в трансформация на механичния модел, описан чрез частни диференциални уравнения, в еквивалентен модел, представен чрез гранични интегрални уравнения. МГЕ в комбинация с фундаменталното решение на управляващото уравнение в модела осигурява елегантен и в същото време мощен инструментариум за изследването на сложни геоложки среди и инженерни конструкции подложени на сеизмични товари.

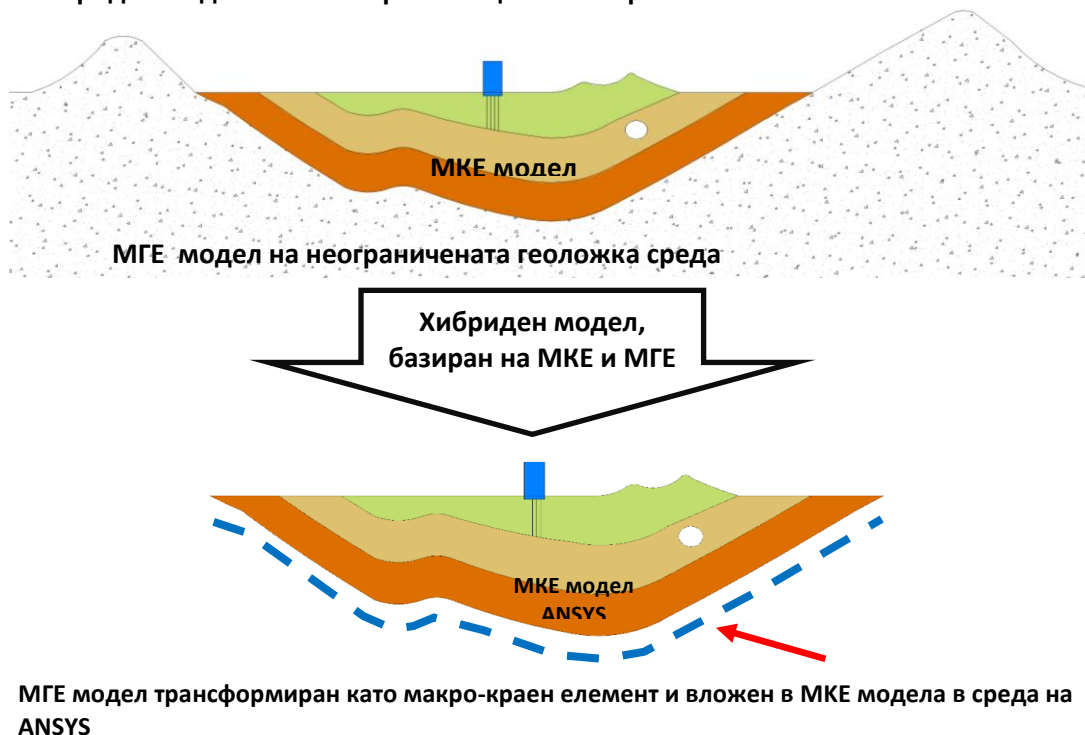
(3) Получените резултати са синтетични сеизмични сигнали, характеристики на напрегнато-деформираното състояние, оценки на локални полета на концентрация на напрежението в геоложкия нехомогенен и нееднороден регион.

(5) Разработени са специализирана иновативна методология и софтуер, базирани на хибридно използване на МГЕ и МКЕ за моделиране на сеизмичното поведение на системата почва – конструкция, като се отчитат геофизичните параметри на сеизмичното огнище, материалните свойства на геоложката среда и се проследява пътят на сеизмичната вълна от сеизмичния източник, през нехомогенен и нееднороден геоложки район, до локалния геофизичен профил, където са разположени подземни (тунели, тръбопроводи, фундаменти) и надземни строителни съоръжения.



Моделът е базиран на: (а) МГЕ за моделиране на разпространението на вълни в неограниченото скално легло; (б) МКЕ за модела на геоложкия ограничен многопластов профил, съдържащ различни по характер нееднородности, вкл. инженерни съоръжения.

Хибриден модел с числена реализация в комерсиалния пакет



Издадена е монография, която макар базирана на строго теоретична механо-математическа методология, развита в рамките на механика на континуума, еластодинамика, механика на разрушението, числени методи в механиката и методите на математическата физика, има пряко отношение към въпросите на националната сигурност, свързани с намаляване на геоложкия риск при строителство и експлоатация на важни инфраструктурни обекти и съоръжения, разположени в сеизмично активни райони.

Книгата е продукт от съвместна работа на авторите с колеги от големи научни центрове в Германия, Италия и Гърция. Монографията е предназначена за студенти в горните курсове, докторанти и специалисти от следните области – механика на деформируемо твърдо тяло, геофизика, сеизмично инженерство, механика на разрушение и математическа физика.

<p>Solid Mechanics and Its Applications</p> <p>George D. Manolis Petia S. Dineva Tsviatko V. Rangelov Frank Wuttke</p>	<p>Prof. George Manolis Depart. of Civil Engineering Aristotle University Thessaloniki Greece</p>	<p>Prof. Petia Dineva Depart. of Solid Mechanics Institute of Mechanics BAS Bulgaria</p>
<p>Seismic Wave Propagation in Non-Homogeneous Elastic Media by Boundary Elements</p> <p> Springer</p>	<p>Prof. Ts. Rangelov Depart. of Differential Equations and Mathematical Physics Institute of Mathematics and Informatics BAS Bulgaria</p>	<p>Prof. Frank Wuttke Department of Geomechanics and Geotechnics Kiel University Germany</p>