

Contractor: Institutul Național de Cercetare Dezvoltare pentru Fizica Pamantului
Cod fiscal : 5495458 (anexa la procesul verbal de avizare interna nr.)

De acord,
DIRECTOR GENERAL

Dr. Ing. Constantin Ionescu

Avizat,
DIRECTOR DE PROGRAM

Dr. Mircea Radulian

RAPORT DE ACTIVITATE AL FAZEI

Contractul nr.: 31N/2019

Proiectul PN 19080102 : Cercetari avansate privind factorii care contribuie la riscul seismic pe teritoriul Romaniei in contextul interactiunii multiple litosfera, hidrosfera, atmosfera, ionosfera.

Faza 13 Modelarea fenomenului tsunami pentru diferite scenarii seismice ale cutremurelor majore generate in Marea Neagra care ar putea afecta zonele costiere ale Romaniei

Termen de incheiere a Fazei: 7 decembrie 2021

1. Obiectivul proiectului:

Proiectul „Cercetări avansate privind evaluarea hazardului și riscului seismic în vederea creșterii rezilienței la cutremure. Provocări în înțelegerea dinamicii Pamantului” propune o investigație multidisciplinară, complexă și intercorelată a fenomenelor care au loc în sistemul cuplat Litosfera-Hidrosfera-Atmosfera-Ionosfera, pentru modelarea fenomenelor tectonice și a proceselor seismice și identificarea relației spatio-temporale dintre structura geologică, tensiunile crustale, potențialul seismogen, în scopul descifrării conexiunilor complexe dintre fenomenele tectonice și efectele lor asupra câmpurilor geofizice măsurabile la suprafața Pamantului. Proiectul urmărește totodată și modelele de propagare ale undelor seismice și estimarea efectelor acestora la suprafața Pamantului, prin calcularea/măsurarea deformațiilor și deplasărilor crustei și a interacțiunii sol-structuri construite în scopul evaluării hazardului și reducerii riscului la cutremur, dar și a altor fenomene secundare asociate acestuia (tsunami). Acest proiect va aborda fenomenul seismic în interconexiune cu fenomenele generate de sistemele litosfera, hidrosfera, atmosfera și ionosfera în scopul diminuării riscului, ținând cont de noile metode și procedee aplicabile la aceste sisteme cuplate, încercând să răspundă provocărilor complexe de natură științifică și practică pe care dinamica Pamantului le ridică, în vederea creșterii rezilienței la cutremure.

Proiectul este structurat pe două direcții mari: „D1. Cercetări avansate privind factorii care contribuie la riscul seismic pe teritoriul Romaniei” și „D2. Cercetări complexe ale interacțiunii

litosfera, hidrosfera, atmosfera, ionosfera”, ce fac parte integranta din obiectivul major „Cercetări avansate privind evaluarea hazardului și riscului seismic în vederea creșterii rezilienței la cutremure. Provocari în înțelegerea dinamicii Pamantului”, al Strategiei de dezvoltare a Institutului National de CD pentru Fizica Pamantului (INCDFP).

Directia de cercetare D2 din cadrul acestui proiect, din care face parte **Faza 13** urmareste dezvoltarea cercetarilor complexe privind interactiunile multiple din sistemul complex litosfera, hidrosfera, atmosfera, ionosfera in scopul identificarii corelatiilor intre fenomenele ce au loc in focarul cutremurelor de Pamant si semnaturile acestor fenomene la suprafata Pamantului, in Atmosfera si in stratele inferioare ale ionosferei.

In cadrul Directiei D2, **Obiectivul O5 “Reducerea riscului datorat fenomenului tsunami si a altor evenimente extreme legate de variatii ale nivelului apei marii”** va fi atins prin activitatile a doua Faze:

- Faza 13 (Faza curenta) Modelarea fenomenului tsunami pentru diferite scenarii seismice ale cutremurelor majore generate in Marea Neagra care ar putea afecta zonele costiere ale Romaniei
- Faza 36 Interpretarea datelor de nivel de apa de la rețeaua de maregrafe instalate pe litoralul românesc în corelație cu fenomene tectonice și atmosferice

2. Rezultate preconizate pentru atingerea obiectivului Proiectului:

Dezvoltarea cercetarilor avansate privind evaluarea cu metode specific seismologice, geotehnice, fizice si matematice a factorilor care contribuie la riscul seismic pe teritoriul Romaniei pentru a asigura cresterea rezilientei societatii umane la cutremure. Se vor dezvolta modele de propagare ale undelor seismice si estima efectele acestora la suprafata Pamantului prin calcularea/masurarea deformatiilor si deplasarilor crustei si a interactiunii sol-structuri construite, in scopul evaluarii hazardului si reducerii riscului la cutremur, dar si a altor fenomene secundare asociate acestuia (tsunami). Din analiza înregistrărilor de mișcări puternice ale cutremurelor vrâncene de magnitudine moderată și mare se va investiga variabilitatea observata în distribuțiile spațiale ale mișcării seismice a terenului. Se va implementa o noua metodologie prin abordari noi de evaluare a hazardului seismic folosind factorii neliniari de amplificare spectrală, în funcție de magnitudinea cutremurului și de condițiile locale ale amplasamentului seismic. Se vor realiza hărți de expunere și vulnerabilitate seismică, precum și cu estimări de pagube pentru scenarii seismice reprezentative. Îmbunătățirea capabilităților de estimare a pagubelor directe și indirecte generate de cutremure în România se va realiza în tip aproape real și pentru scenarii reprezentative. Calculul parametrilor sursei tip falie, estimarea activității seismice se vor realiza prin parametrizari stohastice a evenimentelor seismice cu implementarea de tehnici TMS (timp, magnitudine, spațiu). Identificarea și ierarhizarea parametrilor de interes ingineresc se va face în funcție de gradul influenței seismului asupra integrității clădirii. Se vor propune norme metodologice coerente de monitorizare a stării de sănătate și integritate a construcțiilor. De asemenea se are în vedere dezvoltarea cercetarilor complexe privind interacțiunile multiple din sistemul complex litosfera, hidrosfera, atmosfera, ionosfera în scopul identificării corelațiilor între fenomenele ce au loc în focarul cutremurelor de Pamant și semnaturile acestor fenomene la suprafata Pamantului, în Atmosfera și în stratele inferioare ale ionosferei. Se vor realiza analize multiparametrice și multi-stație a campurilor geofizice cu potențial precursor seismic avându-se în vedere standardizarea datelor în vederea asigurării calității. Printre rezultatele cercetarilor se vor regăsi și hărți geologice și hărți geo-tectonice pentru zonele studiate, hărți macroseismice pentru cutremurele recente cu $M > 5.0$ și microzonarea în intensități a unor orașe din zona extracarpatică.

3. Obiectivul fazei 13:

Obiectivul Fazei 13, *Modelarea fenomenului tsunami pentru diferite scenarii seismice ale cutremurelor majore generate în Marea Neagră care ar putea afecta zonele costiere ale României*, constă în **reducerea riscului datorat fenomenului tsunami prin realizarea studiilor necesare pentru urmărirea acestui fenomen în Marea Neagră** și reprezintă un obiectiv de interes național atât pentru cercetarea din România, cât și în cadrul INCDFP.

Pentru atingerea Obiectivului Fazei 13 se vor realiza numeroase scenarii de tsunami pentru posibile cutremure ce ar putea afecta populația și localitățile din zona litoralului românesc și bulgăresc. În cadrul modelării se vor folosi parametrii unor cutremure din trecut, cu scopul de a estima înălțimile maxime ale valurilor ce ar putea fi generate, cât și a magnitudinilor minime care ar duce la generarea de valuri semnificative. În acest studiu se dorește realizarea unei comparații între scenarii pentru aceiași parametri seismici, folosind individual cele 2 programe menționate mai sus (**TAT** și **TRIDEC**), pentru zonele seismice care prezintă un risc asupra litoralului românesc (Shabla, Istanbul și Crimeea). Toate acestea vor contribui la o mai bună înțelegere a fenomenului tsunami în general, la îmbunătățirea studiilor legate de acesta pe plan local, cât și la evaluarea cât mai precisă efectele pe care le poate avea acest fenomen asupra litoralului nostru. De asemenea, rezultatele vor putea fi folosite și pentru prevenție și alarmare în cazul producerii unui eveniment în timp real în Marea Neagră.

4. Rezultate preconizate pentru atingerea obiectivului fazei 13:

Rezultatele Obiectivului Fazei 13 constau din:

- Realizarea Bazei de date cu simulări de tsunami pentru zona de vest a Mării Negre
- Îmbunătățirea condițiilor de modelare pentru această zonă, prin folosirea a două programe diferite (**TAT** și **TRIDEC**)
- Estimarea unor înălțimi maxime de valuri ce ar putea fi generate pentru anumite magnitudini ale cutremurelor

Studiile realizate în Faza 13 și rezultatele acestor studii vor contribui și la o mai bună înțelegere a fenomenului tsunami în general, la îmbunătățirea studiilor legate de acesta pe plan local, cât și la evaluarea cât mai precisă a efectelor pe care le poate avea acest fenomen asupra litoralului românesc. De asemenea, rezultatele vor putea fi folosite și pentru prevenție și alarmare în cazul producerii unui eveniment în timp real în viitor în Marea Neagră.

5. Rezumatul fazei: (maxim 5 pagini)

I. Introducere

Modelarea fenomenului tsunami în Marea Neagră a devenit în ultimii ani un subiect de interes național pentru cercetarea din România. În cadrul Institutului Național de Cercetare Dezvoltare pentru Fizica Pământului (INCDFP) modelarea se face folosind programul Tsunami Analysis Tool (**TAT**), dezvoltat și implementat de Joint Research Center (JRC), Ispra, Italia, aparținând de Comisia Europeană (Annunziato, 2007). Programul a fost instalat în urma cu câțiva ani și a fost folosit în diverse proiecte naționale și internaționale. **TAT** are capacitatea de monitorizare, modelare și evaluare a fenomenelor de tip tsunami de pe Glob, implicit și a evenimentelor regionale sau generate în Marea Neagră. Începând cu 2017 s-a folosit în paralel și programul **TRIDEC** Cloud, dezvoltat de către German Research Center for Geosciences - GFZ, Potsdam, Germania (Hammitzsch et al., 2016).

Evaluarea hazardului la tsunami pentru zona de vest a Mării Negre ce ar putea afecta litoralul românesc a fost începută încă din anul 2013, prin intermediul unor modelări și scenarii folosind

parametrii unor cutremure din trecut, cu scopul de a estima înălțimile maxime ale valurilor ce ar putea fi generate, cât și a magnitudinilor minime care ar duce la generarea de valuri semnificative. De asemenea, pe baza estimărilor hazardului seismic, s-au obținut perioadele de revenire pentru cutremure de diferite magnitudini, cutremure produse în zona Shabla (Moldovan, 2017), aceste perioade de revenire fiind asociate înălțimii maxime a valurilor ce ar putea fi produse de acestea cutremure.

În cadrul acestei Faze s-a structurat o baza de date ce conține simulări de tsunami pentru diversi parametri ai unui cutremur (mecanism, lungime și latime falie, magnitudine, adâncime), care pot fi comparate cu măsurătorile în timp real de nivel de mare, în cazul producerii unui tsunami în viitor. Modelarea a fost realizată folosind parametrii unor cutremure care au avut loc în zona studiată (localizare, adâncime, mecanism focal), crescând fie magnitudinea, fie modificând adâncimea și/sau variind valorile parametrilor ce definesc mecanismul focal (Strike, Dip, Rake), cu scopul de a estima înălțimile maxime ale valurilor ce ar putea fi generate, cât și a magnitudinilor minime care ar duce la generarea de valuri semnificative.

De asemenea, în acest studiu s-a realizat o comparație între scenarii pentru aceiași parametri seismici, folosind individual cele 2 programe menționate mai sus, pentru zonele seismice care reprezintă un risc asupra litoralului românesc (Shabla, Istanbul și Crimeea).

Simulările rulate au dat rezultate asemănătoare și comparabile cu estimările înălțimilor valurilor produse în trecut. Totuși, nu există o evidență clară și sigură a acestor valori, deoarece sunt estimări ale martorilor, nu măsurători efective, neexistând mijloace de măsurare a nivelului apei mării la vremea respectivă.

II. Tsunami-uri în Marea Neagră

Pe baza informațiilor istorice și a unor documentări recente, s-au evidențiat 22 de tsunami-uri generate în trecut în Marea Neagră (Altinok, 1999). 9 dintre aceste evenimente s-au produs în zona Crimeea, 4 în zona Bulgariei (și implicit au afectat și litoralul românesc), 6 în Georgia și Rusia, și 3 în Turcia (dintre care 2 s-au produs pe uscat). De aici reiese că majoritatea țărilor din jurul Mării Negre au fost afectate în trecut, mai mult sau mai puțin, de valuri tsunami. 12 din evenimentele majore cunoscute s-au produs în secolul XX. Nikonov (1997a, citând pe Grigorash și Korneva, 1972), a emis ipoteza că vitezele de parcurs ale valurilor sunt între 120 - 140 km/h, lungimile de undă ale acestora variază între 45 - 110 m, iar timpul de parcurs de la o coastă la alta variază între 10 până la 110 minute. Din totalul de 22 de evenimente, unele prezintă o validitate sigură, altele probabilă, iar altele discutabilă. Totuși, doar 8 dintre evenimente au o validitate sigură și au o sursă seismică de generare. Doar 3 dintre evenimente au validitate discutabilă, iar 10 dintre acestea au validate probabilă.

Conform lui Papadopoulos et al. (2001), alte 4 până la 7 evenimente similare au mai fost raportate că având loc în zonă, dar nu au fost incluse în Tabelul 1 (din Raportul extins)/Figura 1 deoarece nu au existat suficiente informații, iar sursa acestora nu a fost sigură.

Intensitatea tsunami-urilor, așa cum este folosită în Tabelul 1 (vezi Raportul extins), coloana 10, a fost descrisă de către Papadopoulos și Imamura în anul 2001. Scara intensităților include 12 trepte, cu o descriere detaliată a fiecărei trepte. Evaluarea a fost făcută luând în considerare posibilul impact asupra oamenilor și mediul înconjurător, obiectelor precum diverse ambarcațiuni (bărci, vapoare), a pagubelor asupra clădirilor din zonă, etc. Scara este echivalentă cu cele 12 grade de intensitate seismică din scara Mercalli.

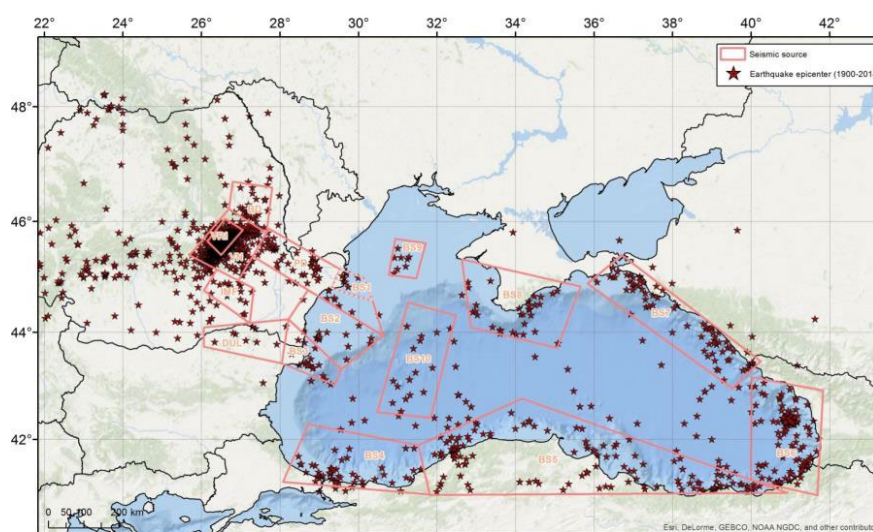


Figura 1. Tsunami-uri în Marea Neagră (numărul din figură corespunde numărului evenimentului din catalogul din Tabelul 1)

III. Realizarea bazei de date cu simulări la tsunami pentru partea de vest a Marii Negre

Partea de vest a Mării Negre și în special Litoralul românesc al acesteia ar putea fi afectat cel mai grav de cutremure generate în zona Shabla (evenimentele 1, 4, 11 și 22 din Tabelul 1), cel mai cunoscut eveniment din trecut fiind cutremurul generat în data de 31 martie 1901 (evenimentul 11 din Tabelul 1), atunci când, conform studiilor, un cutremur cu magnitudine $M_w = 7.2$ a generat valuri tsunami cu înălțimi de până la 5 m (Altinok, 1999). În general, valurile tsunami pot fi generate în Marea Neagră de către cutremure cu $M_w > 6.5$ și la adâncimi mai mici de 40 km. Tipurile de plan de faliere care pot genera tsunami sunt falie inversă sau normală.

În arealul Mării Negre sunt 3 zone seismice bine definite, conform studiilor recente (Moldovan, 2016, Moldovan, 2017), care ar putea produce cutremure de magnitudini mari și implicit valuri tsunami ce ar afecta litoralul românesc. Pe lângă zona **Shabla (BS3 – Figura 2)** menționată anterior, mai există două zone ce pot afecta România: **vestul Turciei - Istanbul (BS4 – Figura 2)** și **Crimeea (BS8 - Figura 2)**.



Realizarea bazei de date cu simulări pentru diverși parametri ai cutremurelor, va fi utilă în cazul producerii unui tsunami în viitor în zona litoralului românesc și/sau bulgăresc, pentru estimarea timpuriei a înălțimii valurilor, înainte ca acestea să afecteze zona aglomerată a litoralului și alertarea populației.

Pentru cutremurele moderate produse în ultimii 10 ani în Marea Neagră s-au realizat și comparații între rezultatele simularilor și măsurătorile de nivel de mare în timp real.

În cele ce urmează se va prezenta fiecare zonă în parte, cu evenimentele majore din trecut, dar și cu rezultatele simulărilor de tsunami rulate cu programele **TAT** și **TRIDEC**.

În cadrul modelării s-au folosit parametrii unor cutremure din trecut, cu scopul de a estima înălțimile maxime ale valurilor ce ar putea fi generate, cât și a magnitudinilor minime care ar duce la generarea de valuri semnificative. Au fost realizate comparații între scenarii pentru aceiași parametri ai unui cutremur, folosind fiecare din cele 2 programe (**TAT** și **TRIDEC**), pentru zonele seismice care prezintă un risc asupra litoralului românesc (Shabla, Istanbul și Crimeea).

S-au rulat simulări de tsunami pentru diverse scenarii folosind parametrii cutremurelor din trecut sau parametrii posibili specifici fiecărei zone în parte (localizare, mecanism, lungime și lățime falie, magnitudine, adâncime). Au fost variate magnitudinile, adâncimile între 5 și 30 km, cât și mecanismul focal, pentru fiecare din cele 3 zone.

Simularile au fost realizate pentru magnitudini cuprinse între Mw6.5 și Mw9.5 (chiar dacă magnitudinea maximă posibilă în zona de vest a Marii Negre a fost calculată ca fiind 8.0), cu trepte de Mw0.25 (12 scenarii de magnitudine, fiecare cu 3 scenarii de mecanism focal, în puncte din cele trei zone seismogene (Shabla, Vestul Turciei și Crimeea) situate la distanța de 0.25 grade de longitudine și latitudine).

Pentru **zona Shabla**, s-au realizat modelările în 9 puncte – în total existând $12 \times 3 \times 9 = 324$ scenarii posibile.

Pentru **zona din vestul Turciei**, s-au realizat modelări tot în 9 puncte de interes pentru România - în total existând $12 \times 3 \times 9 = 324$ scenarii posibile care ar putea afecta România. Studii amanunțite asupra acestei zone, cu propagare spre Turcia, au fost realizate de către KOERI, Istanbul.

Pentru **zona Crimeea** s-au realizat modelările în 5 puncte și anume în locațiile unde au existat cutremure mai mari (vezi Figura 2) – în total existând $12 \times 3 \times 5 = 180$ scenarii posibile.

Baza de date cu simularile realizate cu propagarea valurilor spre România conține 828 scenarii posibile.

Toate rezultatele modelărilor: înălțimile maxime ale valurilor, locațiile afectate, calculul nivelului apei pentru locațiile respective, timpii de propagare, au fost introduse într-o bază de date stocată la nivel local dar și la nivel internațional, la JRC.

Aceasta va fi utilă acțiunilor de avertizare timpurie a populației, atât la nivel național, cât și la nivel global prin intermediul GDACS – Global Disaster Alert and Coordination system.

Modul de utilizare a bazei de date este următorul:

Pentru fiecare cutremur cu magnitudine care depășește 6.5 și care a avut loc într-o locație cu adâncimea apei suficientă pentru producerea unui val tsunami, baza de date este interogată pentru cel mai apropiat scenariu. În baza de date comună a JRC, există scenarii pentru 13800 de locații care acoperă zone tsunamigene din lume, printre care și zonele seismogene din Marea Neagră. Dacă este disponibil un scenariu, se utilizează înălțimea maximă a valului pe o coastă și se obține scorul de alertă GDACS pentru tsunami.

Rezultatele modelărilor prezintă următoarele: înălțimile maxime ale valurilor, locațiile afectate, calculul nivelului apei pentru locațiile respective, timpii de propagare, etc. În final, se va face o evaluare, pentru toate cele 3 zone, a magnitudinilor minime care pot duce la generarea de valuri tsunami, cât și a înălțimilor maxime ale valurilor ce ar putea fi produse.

Conform simulărilor, rezultatele arată variații și diferențe destul de mari în funcție de aceste 3 variabile. În final, s-a făcut o evaluare, pentru toate cele 3 zone, a magnitudinilor minime care pot duce la generarea de valuri tsunami, cât și a înălțimilor maxime ale valurilor ce ar putea fi produse.

IV. Modelarea înalțimii valurilor de tip tsunami asociate cutremurelor din Marea Neagra. Studiu comparativ folosind programele TAT și TRIDEC

În cele ce urmează se vor prezenta câteva simulări realizate cu cele două programe: **TAT** și **TRIDEC**, pentru cele 3 zone menționate : Shabla, Vestul Turciei și Crimeea, singurele zone seismogene și tsunamigene din Marea Neagră care ar putea afecta litoralul românesc.

Conform bazei de date a agenției internaționale „National Oceanic and Atmospheric Administration” (NOAA), în zona Shabla s-au produs 3 mari tsunami-uri în trecut: în secolul 1, înainte de Cristos, în zona Bisone (Nikonov, 1997); în anul 544 după Cristos, când un cutremur cu magnitudinea 7.5 a dus la generarea de valuri tsunami de 2 - 4 m (Ranguelov, 1998); evenimentul cel mai cunoscut, din data de 31 martie 1901, când un cutremur cu magnitudinea 7.2 a produs valuri cu înălțimi de 2.5 - 3 m, conform unor surse (Ranguelov & Gospodinov, 1995), sau chiar 5 m, conform altor surse (Papadopoulos et al., 2011).

Rezultatele simulărilor pentru zona Shabla, folosind programul **TAT**, arată că cel mai grav scenariu este pentru un cutremur cu **magnitudine 8** (cu o perioadă de revenire 350 de ani) și **adâncime 5 km** (Figura 4), care ar produce valuri maxime de 4.3 m în Kamen Bryag (Bulgaria), iar pe teritoriul românesc valurile ar putea ajunge la 2 m în Costinești, cu valori mai mici în Constanța (1.5 m), Mangalia (1.4 m) și Techirghiol (0.9 m), conform Tabelului 4. Locațiile de pe teritoriul României sunt evidențiate cu negru în toate tabelele corespunzătoare, iar locația cu valoarea maximă cu roșu.

Tabelul 4. Rezultatele simulării pentru un cutremur cu M 8, h 5 km, pentru zona Shabla (locațiile afectate și înălțimea corespunzătoare a valurilor), folosind programul **TAT**

Name	Wave height (m)	Delay of tsunami arrival (hours)	Delay of maximum tsunami (hours)	Latitude	Longitude
Kamen Bryag	4.3	00:02	00:02	43.45	28.55
Bulgarevo	2.9	00:02	00:12	43.38	28.43
Varna	2.1	00:10	00:58	43.20	27.93
Costinesti	2.0	00:12	01:18	43.95	28.64
Bliznak	1.8	00:10	01:00	43.05	27.90
Kranevo	1.7	00:04	00:46	43.35	28.07
Balchik	1.7	00:04	00:46	43.40	28.16
Krapets	1.6	00:04	00:10	43.64	28.58
Constanta	1.5	00:16	01:48	44.19	28.66
Mangalia	1.4	00:10	01:08	43.81	28.59
Shkorpilovtsi	1.3	00:14	01:00	42.98	27.90
Byala	1.3	00:16	01:00	42.88	27.90
Durankulak	1.3	00:06	01:00	43.70	28.57
Obzor	1.2	00:16	01:00	42.83	27.89
Techirghiol	0.9	00:14	01:50	44.07	28.65
Akhtopol	0.7	00:28	00:54	42.10	27.94

Celelalte rezultate ale simulărilor pentru zona Shabla sunt prezentate în Raportul extins conform cu scăderea magnitudinilor de la magnitudinea maximă de 8, evaluând câteva scenarii pentru magnitudini de 7.5 și 7.2, dar variind totodată și adâncimea cutremurului, astfel: 5, 10 și respectiv 30 km. Va fi exemplificat câte un singur caz pentru fiecare magnitudine, respectiv adâncime, în principal dacă rezultatele prezintă înălțimi relevante pentru litoralul românesc. Pentru magnitudine mai mică de 7.2 simulările nu vor fi prezentate deoarece rezultatele nu sunt concludente pentru această zonă. Valuri moderate s-ar produce în urma unor cutremure cu magnitudini de 7.5, între 0.6 și 0.8 m. Pentru valori mai mici de magnitudine (7-7.2), s-ar genera valuri de înălțimi foarte mici, de circa 0.2 - 0.4 m. Alte variații conform cu modificări ale parametrilor cutremurelor sunt:

pentru M 7 și adâncime 5 km -> valuri maxime de 0.1 m; pentru M 7.2 și adâncime 10 km -> înălțimi maxime ale valurilor de 0.2 m; pentru M 7.5, adâncime 10 km -> valuri de maxim 0.6 m; pentru M 7.5 și adâncime 30 -> înălțimi ale valurilor generate de 0.2 m; pentru M 8 și adâncime 10 km -> s-ar genera valuri de 0.8 m.

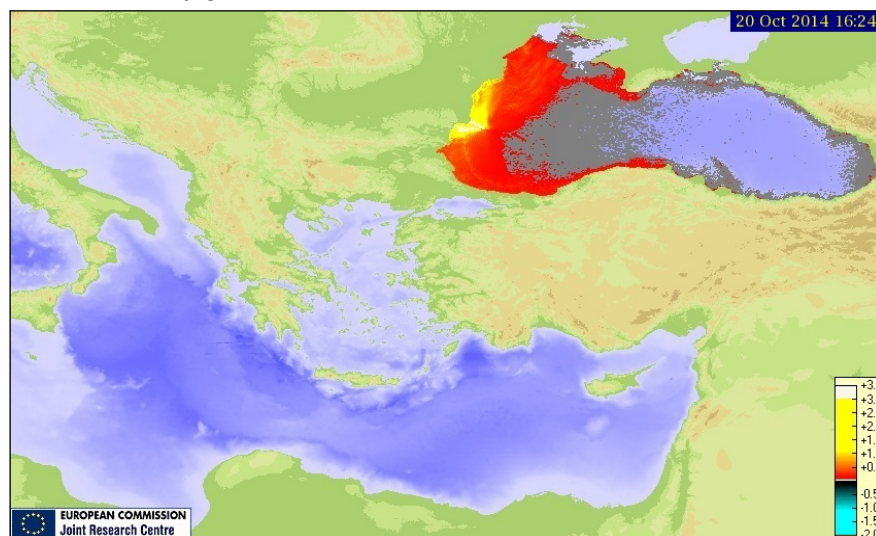


Figura 4. Rezultatele simulării pentru un cutremur cu M 8, h 5 km, pentru zona Shabla (harta cu înălțimea maximă a valurilor generate), folosind programul **TAT**

Rezultatele simulărilor pentru zona Shabla, folosind programul **TRIDEC**, sunt prezentate în Figura 5, respectiv Tabelul 5, pentru un cutremur cu **magnitudine 8 și adâncime 5 km** și aceeași localizare ca și cutremurul potențial din simularea cu programul TAT (Figura 5), care ar produce valuri maxime de 2.62 m în Varna (Bulgaria), iar pe teritoriul românesc valurile ar putea ajunge la 0.32 m în Constanța (Tabelul 5). Locațiile de pe teritoriul României sunt evidențiate cu albastru în toate tabelele corespunzătoare, iar locația cu valoarea maximă cu roșu.

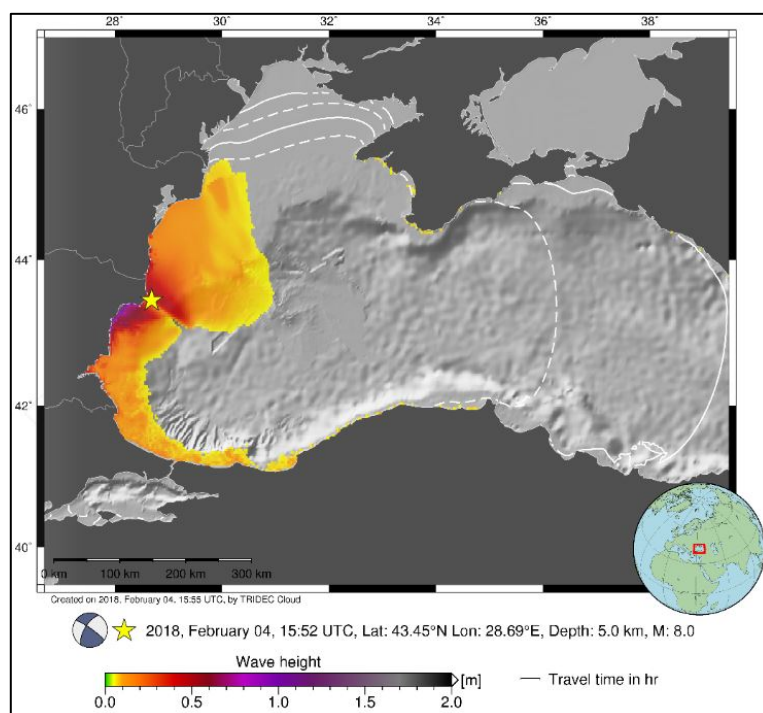


Figura 5. Rezultatele simulării pentru un cutremur cu M 8, h 5 km, pentru zona Shabla (harta cu înălțimea maximă a valurilor generate), folosind programul **TRIDEC**

Tabelul 5. Rezultatele simulării pentru un cutremur cu M 8, h 5 km, pentru zona Shabla (locațiile afectate și înălțimea corespunzătoare a valurilor), folosind programul **TRIDEC**

Location	Max wave height (m)
Varna (Bulgaria)	2.62
Burgas (Bulgaria)	0.70
Kirklareli Igneada (Turkey)	0.34
Constanta (Romania)	0.32
Kocaeli Kefken (Turkey)	0.25
Duzce Akcakoca (Turkey)	0.19
Zonguldak (Turkey)	0.18
Zonguldak Eregli (Turkey)	0.18
Istanbul Sile (Turkey)	0.17
Sakarya Ihsaniye (Turkey)	0.17

Se poate observa ca pentru acesti parametri ai cutremurului, rezultatele programului **TAT** ar fi mult mai grave, cu inaltimi mai mari ale valurilor, fata de cele date de programul **TRIDEC**, in cazul producerii unui cutremur cu magnitudine 8 si adancime 5 km in zona Shabla.

In Raportul extins au mai fost prezentate simulari pentru un cutremur cu magnitudinea 8 și adâncimea 10 km. Simulările cu programul **TAT** arată că pentru un cutremur cu magnitudinea 8 și adâncimea 10 km, s-ar produce valuri maxime de 0.8 m în Kraveno (Bulgaria), iar pe teritoriul românesc valurile ar putea ajunge la 0.6 m în Costinești, Techirghiol și Mangalia, și 0.5 m în Constanța. Atunci cand s-a utilizat programul **TRIDEC** pentru simulările de tsunami folosind aceiasi parametri de cutremur, s-au observat rezultate puțin diferite si anume inaltimi maxime ale valurilor de 1.07 m la Burgas (Bulgaria) si respectiv 0.65 m la Constanta.

Tot in raportul extins sunt prezentate rezultatele pentru cazul unei magnitudini de 8 și o adâncime de 30 km si este evident că înălțimile valurilor scad substanțial; simulările rezultate din programul **TAT** arata s-ar produce valuri maxime de doar 0.2 m în Bliznak (Bulgaria), pe litoralul românesc valurile ar fi de numai 0.1 m în Mangalia, și 0.05 m în Constanța . Rezultate foarte diferite sunt in cazul folosirii programului **TRIDEC**, unde valorile maxime ale valurilor ar ajunge pana la la 2.48 m la Varna (Bulgaria), iar pe litoralul nostru s-ar produce valuri de 0.32 m la Constanta.

Valorile inaltimilor valurilor in cazul unui cutremur cu M 8 si h 30 sunt radical opuse daca simulările se realizeaza cu cele doua programe, concluzionand de aici faptul ca nu intotdeauna avem cele mai bune sau practice program de modelare, nestiind ce valori sa luam in considerare ca fiind mai aproape de realitate.

Pentru o magnitudine de 7.5 și o adâncime de 5 km, rezultatele programului **TAT** prezintă următoarele valori: maxime de 0.8 m în Kamen Bryag (Bulgaria), iar pe teritoriul românesc valurile ar putea ajunge la 0.4 m în Constanța, si 0.3 m in Costinesti, Techirghiol și Mangalia.

In cazul utilizarii programului **TRIDEC**, pentru paramentrii unui cutremur cu M 7.5 si h 5 km, rezultatele prezentate în Figura 11 si Tabelul 11 arata valori maxime posibile ale valurilor de 0.8 m la Varna (Bulgaria) si respectiv pe litoralul nostru de 0.11 m la Constanta. Comparand valorile date de cele 2 programe, se poate observa ca rezultatele sunt similare.

In raportul extinS mai sunt simulari pentru: magnitudinea 7.5 și adâncime de 10 km, magnitudinea 7.5 și o adâncime de 30 km, magnitudinea de 7.2 și adâncimea de 10 km. Pentru acestea cazuri inaltimea valurilor ar fi sub 20 de centimetrii pentru localitatile situate pe litoralul romanesc al Marii Negre.

Ca o concluzie pentru rezultatele simularilor din zona Shabla, putem observa ca in functie de magnitudine si adancime, inaltimile valurilor pot diferi de la un caz la altul, folosind cele 2 programe, **TAT** si **TRIDEC**. Ca valori maxime, avem cazul cu M 8 si h 5, si anume 4.3 m la Kamen Bryag (Bulgaria) si 2 m la Costinesti, utilizand programul **TAT**, dar si **TRIDEC** are cele

mai mari valori tot pentru același caz, respectiv 2.62 m la Varna (Bulgaria) și 0.32 m la Constanța. De asemenea, programul **TRIDEC** a mai evidențiat în două cazuri înălțimi mai mari de 1 m, și anume pentru M 8 și h 10 (1.07 m la Varna și 0.65 m la Constanța) și M 8 și h 30 (2.48 m la Varna, Bulgaria și 0.32 m la Constanța). În schimb, programul **TAT** a avut rezultate de ale înălțimilor valurilor de sub 1 m pentru toate celelalte cazuri.

IV.2. Zona vestul Turciei - Istanbul

Această zonă este definită prin evenimente generate și pe uscat și în larg (Moldovan, 2016; Hancilar, 2012; Kalkan et al., 2008), fiind localizată la intersecția dintre partea de S a faliei de Vest din Marea Neagră și falii asociate faliei Nord Anadolien. În trecut, au fost generate două evenimente majore în această zonă: pe 12 noiembrie 1999 ($M_w=7.2$), adâncime de 10 km, iar cel de-al doilea cutremur, s-a produs în 17 august 1999 ($M_w=7.6$), pe uscat, la o adâncime de 17 km, care a dus la valuri evaluate la 2.52 m înălțime (conform bazei de date NOAA). Cel mai recent cutremur a avut loc în data de 15 octombrie 2016, cu o magnitudine inițială M_w de 5.3 (finală 5.1), la o adâncime de 10 km.

Și pentru această zonă s-au generat simulări de tsunami, folosind parametrii unui cutremur recent și programul **TAT**, iar ca magnitudini, valorile cutremurelor mari din trecut (7.2 și 7.6), având ca rezultate: pentru magnitudinea de 7.6, valurile maxime estimate au fost de 1.59 m în Zonguldak Ereğli (Turcia), cu 3 locații de pe litoralul românesc, 0.83 m în Mangalia, 0.5 m în Techirghiol și 0.39 m în Constanța (Figura 18 și Tabelul 18).

Estimarile înălțimilor valurilor rezultate în urma simularilor generate cu programul **TRIDEC** arată diferențe mari față de simularile folosind programul **TAT**, rezultatele fiind de maxim 0.82 m la Kocaeli Kefken (Turcia) și 0.14 m pe litoralul românesc la Constanța, pentru un potențial cutremur cu M 7.6 și adâncime h 10 km (Figura 19 și Tabelul 19).

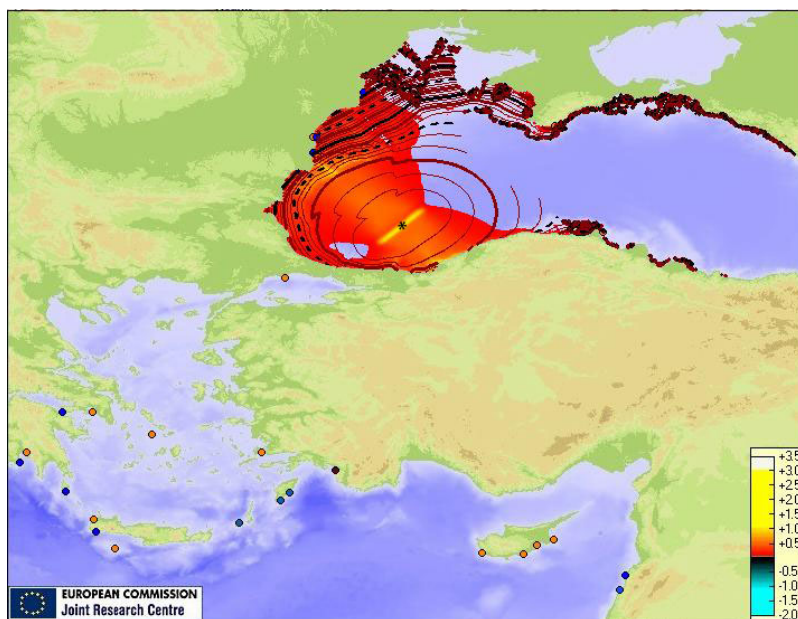


Figura 18. Rezultatele simulării pentru un cutremur cu M 7.6, h 10 km, pentru zona vestul Turciei - Istanbul (harta cu înălțimea maximă a valurilor generate), folosind programul TAT

Tabelul 18. Rezultatele simulării pentru un cutremur cu M 7.6, h 10 km, pentru zona vestul Turciei - Istanbul (locațiile afectate și înălțimea corespunzătoare a valurilor), folosind programul TAT

Country	Location	Height	ID	
Russia	Arkhipo-Osipovka	0.07	44.35	38.52
Russia	Tuapse	0.07	44.10	39.06
Russia	Kabardinka	0.07	44.65	37.92
Russia	Anapa	0.07	44.90	37.31
Turkey	Ordu	0.07	40.99	37.92
Turkey	Sinop_(m)	0.08	42.02	35.15
Turkey	Kastamonu_Inebolu	0.09	41.98	33.77
Ukraine	Sevastopol'	0.1	44.49	33.60
Bulgaria	Pomorie	0.21	42.57	27.64
Turkey	Sariyer	0.25	41.16	29.05
Turkey	Uskudak	0.25	41.11	29.09
Turkey	Beykoz	0.25	41.12	29.09
Bulgaria	Chernomorets	0.26	42.45	27.64
Turkey	Karacakoy	0.29	41.43	28.46
Turkey	Istanbul_Sile_(m)	0.35	41.18	29.60
Bulgaria	Akhtopol	0.37	42.10	27.94
Bulgaria	Michurin	0.37	42.18	27.85
Romania	Constanta	0.39	44.19	28.66
Bulgaria	Varna	0.42	43.20	27.93
Bulgaria	Balchik	0.49	43.40	28.16
Turkey	Sakarya_Ihsaniye	0.51	41.13	30.65
Turkey	Kirkdareli_Igneada_(	0.52	41.89	28.02
Romania	Techirghiol	0.55	44.07	28.65
Turkey	Catalagzi	0.57	41.53	31.91
Bulgaria	Kavarna	0.57	43.41	28.33
Turkey	Amasra_(m)	0.62	41.75	32.39
Turkey	Kocaeli_Kefken	0.62	41.17	30.22
Turkey	Duzce_Akcakoca	0.73	41.10	31.12
Romania	Mangalia	0.83	43.81	28.59
Turkey	Kozlu	0.86	41.45	31.75
Turkey	Kilimli	0.89	41.50	31.85
Turkey	Zonguldak	0.9	41.46	31.78
Turkey	Zonguldak_Eregli	1.21	41.25	31.40
Turkey	Eregli	1.59	41.32	31.41

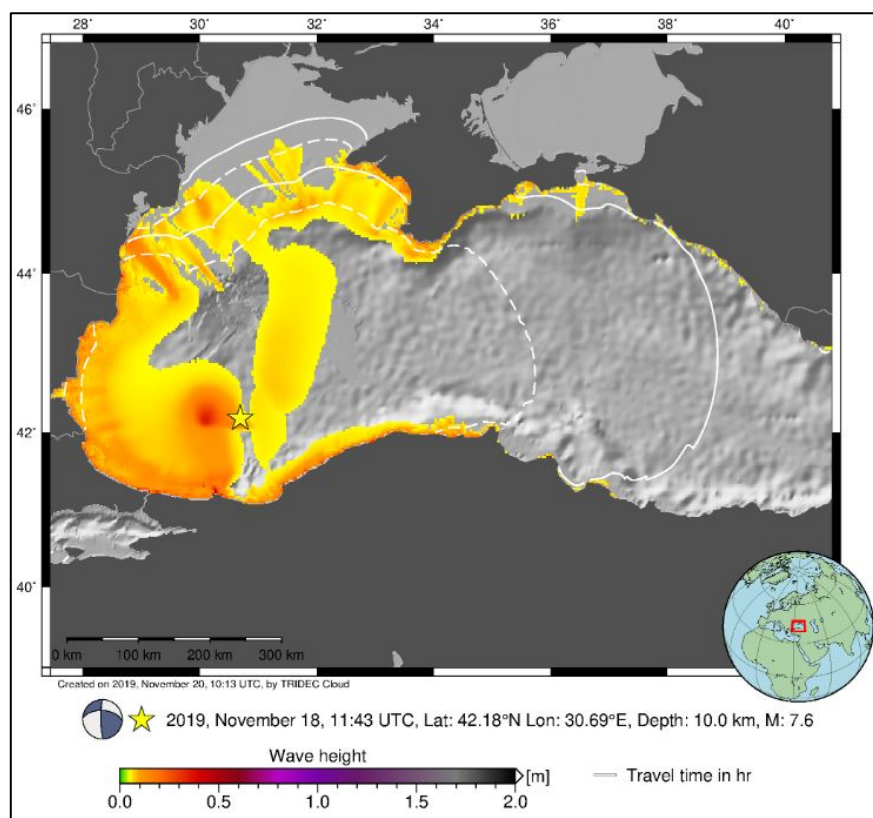


Figura 19. Rezultatele simulării pentru un cutremur cu M 7.6, h 10 km, pentru zona vestul Turciei - Istanbul (harta cu înălțimea maximă a valurilor generate), folosind programul **TRIDEC**

Tabelul 19. Rezultatele simulării pentru un cutremur cu M 7.6, h 10 km, pentru zona vestul Turciei - Istanbul (locațiile afectate și înălțimea corespunzătoare a valurilor), folosind programul **TRIDEC**

Location	Max wave height (m)
<u>Kocaeli Kefken</u> (Turkey)	0.84
Istanbul <u>Sile</u> (Turkey)	0.44
<u>Duzce Akcakoca</u> (Turkey)	0.41
<u>Zoguldak</u> (Turkey)	0.41
<u>Amasra</u> (Turkey)	0.40
<u>Kaciveli</u> (Ukraine)	0.40
Varna (Bulgaria)	0.33
<u>Zonguldak Eregli</u> (Turkey)	0.31
<u>Kirklareli Igneada</u> (Turkey)	0.28
<u>Sakarya Ihsaniye</u> (Turkey)	0.26
<u>Kastamonu Inebolu</u> (Turkey)	0.23
<u>Constanta</u> (Romania)	0.14
<u>Burgas</u> (Bulgaria)	0.13

În Raportul extins este prezentat cazul unei simulări folosind o magnitudine de 7.2, și o adancime de 10Km, înălțimile valurilor ar atinge maxim 0.42 m în Eregli (Turcia), cu valori mici pe litoralul românesc de 0.14 m la Constanța și 0.11 m la Techirghiol (Figura 20 și Tabelul 20 din raportul extins). Folosind programul **TRIDEC** pentru un cutremur cu aceeași magnitudine și adancime (M 7.2 și h 10 km), simulările arată valori de înălțimi ale valurilor mai mici, de maxim 0.26 m la Kocaeli Kefken (Turcia), iar pe litoralul nostru nu există estimări în cadrul simulării respective.

IV. 3. Zona Crimea

Noua din cele 21 de tsunami-uri generate vreodată în Marea Neagra (având sursă seismică) au fost produse în zona Crimea. Acestea au fost urmări ale unor cutremure cu magnitudini cuprinse între 5.5 și 7, conform lui Papadopoulos et al., 2011. Unele dintre evenimente au validitatea neclară, dar 3 dintre ele prezintă o validitate sigură, după cum urmează: cutremurul din data de 11 noiembrie 1869, având o magnitudine de 5.8, a dus la producerea de valuri tsunami de maxim 0.5 m; în ziua de 26 iunie 1927 a avut loc un cutremur cu magnitudine 6, care a generat valuri de maxim 0.7 m; evenimentul cu cea mai mare magnitudine din zona Crimea s-a produs în 11 septembrie 1972, având o magnitudine de 6.8 și generând valuri maxime de 1 m înălțime.

Rezultatele simulărilor pentru zona Crimeea arată că, folosind programul **TAT**, pentru o magnitudine de 7, s-ar produce valuri de înălțimi foarte mici, 0.1 - 0.2 m în Parkove (Ucraina) (Figura 22, Tabelul 22 din Raportul extins); pentru magnitudini mai mari, de 7.5, valurile maxime generate ar ajunge la 0.6 m, în Foros (Ucraina) (Figura 24, Tabelul 24 din raportul extins). Cel mai grav scenariu ar duce la valuri de maxim 2.2 m în Berehove, Ponyzivka, Katsiveli și Alupka (Ucraina) pentru un cutremur cu **magnitudine 8**. Acest eveniment ar genera valuri și pe litoralul românesc, de circa 0.9 m la Sfântu-Gheorghe, 0.6 m la Techirghiol și 0.5 m la Mangalia, Costinești și Constanța (Figura 26, Tabelul 26). Totuși magnitudinile mai mari de 7, nu sunt probabile în aceasta zona. S-au rulat simulări folosind aceiași parametri ai cutremurelor și cu programul **TRIDEC** (Figura 27, Tabelul 27).

Tabelul 26. Rezultatele simulării pentru un cutremur cu M 8, h 33 km, pentru zona Crimeea (locațiile afectate și înălțimea corespunzătoare a valurilor), folosind programul **TAT**

Name	Wave height (m)	Delay of tsunami arrival (hours)	Delay of maximum tsunami (hours)	Latitude	Longitude
Berehove	2.2	00:04	00:16	44.40	33.89
Ponyzivka	2.2	00:04	00:16	44.40	33.93
Katsiveli	2.2	00:04	00:16	44.40	33.98
Alupka	2.2	00:04	00:16	44.41	34.05
Parkove	2.0	00:02	00:16	44.40	33.85
Foros	1.9	00:02	00:50	44.39	33.79
Haspra	1.9	00:04	00:16	44.43	34.13
Sevastopol'	1.8	00:02	00:12	44.49	33.60
Soniachna Dolyna	1.8	00:10	00:20	44.85	35.14
Mors'ke	1.7	00:08	00:18	44.81	34.80
Yalta	1.7	00:04	00:14	44.49	34.17
Malorichens'ke	1.7	00:04	00:18	44.75	34.56
Rybacha	1.7	00:04	00:18	44.76	34.60
Sudak	1.6	00:10	00:24	44.84	34.97
Nikita	1.6	00:04	00:16	44.50	34.25
Novyi Svit	1.5	00:08	00:24	44.82	34.91
Pryvitne	1.5	00:06	00:22	44.80	34.70
Partenit	1.4	00:08	00:18	44.57	34.35
Alushta	1.4	00:08	00:18	44.66	34.41

Location	Max Wave Height (m)
Sfintu-Gheorghe	0.9
Techirghiol	0.6
Mangalia	0.5
Costinesti	0.5
Constanta	0.5

Pentru acest cel mai grav scenariu, și anume folosind parametrii cutremurului M 8 și h 33 km, și programul **TRIDEC** pentru a rula simulări de tsunami, rezultatele arată valori maxime foarte mari, de până la 7.79 m înălțimea valurilor posibile, la Kaciveli în Ucraina, dar și litoralul românesc pare a fi afectat într-o măsură destul de mare, cu până la 1.23 m înălțimea maximă a valurilor la Constanța.

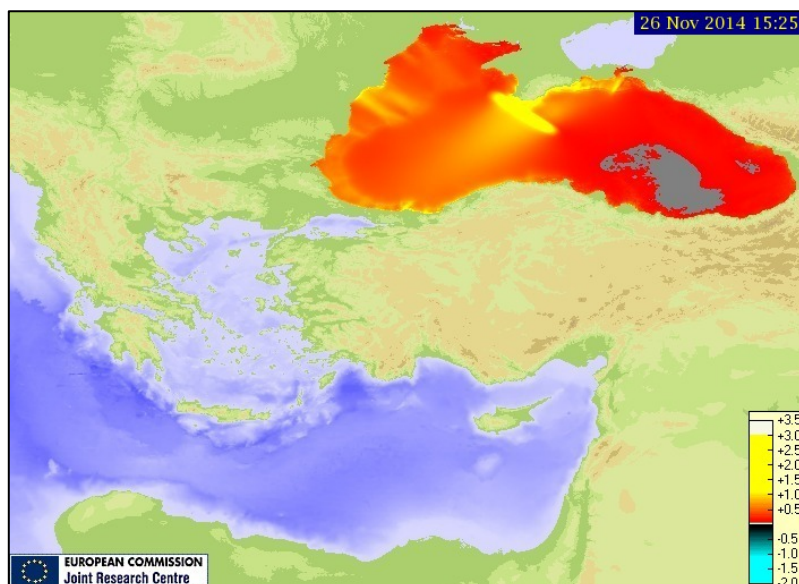


Figura 26. Rezultatele simulării pentru un cutremur cu M 8, h 33 km, pentru zona Crimeea (harta cu înălțimea maximă a valurilor generate), folosind programul **TAT**

Tabelul 27. Rezultatele simulării pentru un cutremur cu M 8, h 33 km, pentru zona Crimeea (locațiile afectate și înălțimea corespunzătoare a valurilor), folosind programul **TRIDEC**

Location	Max wave height (m)
<u>Kaciveli (Ukraine)</u>	7.79
<u>Duzce Akcakoca (Turkey)</u>	3.98
<u>Kocaeli Kefken (Turkey)</u>	2.13
<u>Zonguldak Ereğli (Turkey)</u>	2.12
<u>Amasra (Turkey)</u>	2.09
<u>Sakarya Ihsaniye (Turkey)</u>	2.02
<u>Varna (Bulgaria)</u>	1.57
<u>Kırklareli Igneada (Turkey)</u>	1.52
<u>Istanbul Şile (Turkey)</u>	1.43
<u>Kastamonu İnebolu (Turkey)</u>	1.32
<u>Constanta (Romania)</u>	1.23
<u>Zoguldak (Turkey)</u>	1.19
<u>Rize (Turkey)</u>	1.00
<u>Samsun (Turkey)</u>	0.93
<u>Poti (Georgia)</u>	0.91
<u>Novorossiyskaya (Russian Federation)</u>	0.80
<u>Artvin Hopa (Turkey)</u>	0.67
<u>Giresun (Turkey)</u>	0.64
<u>Trabzon (Turkey)</u>	0.45
<u>Ordu (Turkey)</u>	0.34

Comparand acest scenariu cu rezultatele date de programul **TAT**, se poate observa ca sunt diferente foarte mari intre inaltimile maxime ale posibilelor valuri generate. Acest lucru dovedeste inca o data necesitatea mai multor studii, generarea si compararea mai multor scenarii, cat si, de ce nu, in viitor, de simulari comparate cu cele date de un al treilea program de modelare pentru tsunami.

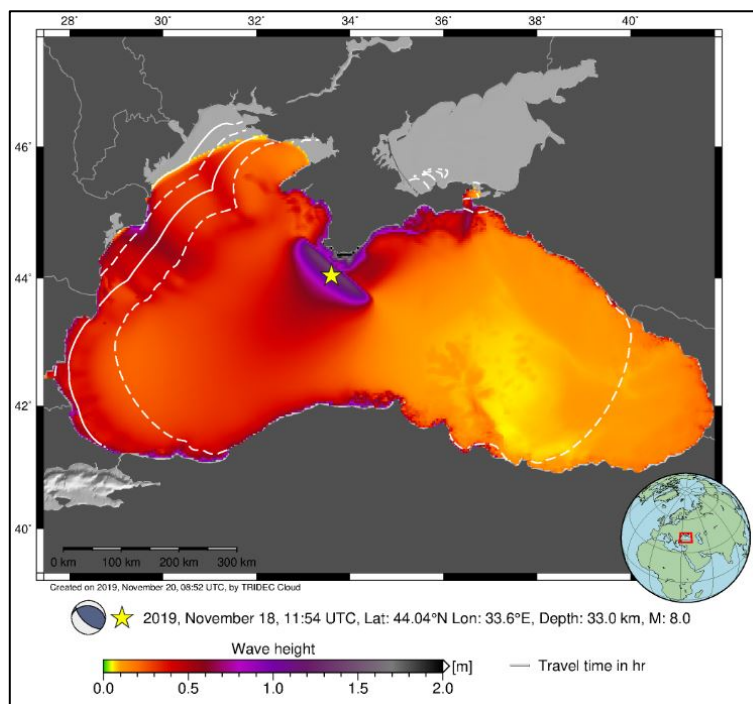


Figura 27. Rezultatele simulării pentru un cutremur cu M 8, h 33 km, pentru zona Crimeea (harta cu înălțimea maximă a valurilor generate), folosind programul **TRIDECE**

În Tabelul 29 sunt prezentate, ca o concluzie generală a rezultatelor din simulările pentru cele 3 zone diferite, cu programul **TAT**, magnitudinile minime pentru care se generează valuri foarte mici de 0.1 - 0.2 m (coloana 2), cât și valorile maxime ale valurilor rezultate pentru magnitudini mari, și anume M 8 pentru zona Shabla, M 7.6 pentru zona Istanbul și M 8 pentru zona Crimeea (coloana 3). De menționat ca cele doua coloane nu corespund, magnitudinile cu valorile maxime din tabel, ci sunt doar reprezentative pe fiecare zonă în parte. In mod similar, s-au evidentiat si rezultatele cu programul **TRIDECE**, intr-un tabel asemanator (Tabelul 30), iar in tabelul 31 sunt evidentiata valorile maxime pentru toate cazurile, cat si (acolo unde exista estimari) valorile generate pe litoralul nostru, folosind cele 2 programe.

Tabelul 29. Magnitudinea minimă la care se generează valuri tsunami și înălțimile maxime ale valurilor pentru magnitudini mari (7.6, respectiv 8), pentru cele 3 zone seismice studiate, folosind **TAT**

ZONA	MAGNITUDINEA MINIMĂ LA CARE SE POT PRODUCE VALURI	ÎNĂLȚIMEA MAXIMĂ POSIBILĂ A VALURILOR (m)	MAGNITUDINEA CARE GENEREAZĂ VALURI MAXIME
Vestul Turciei - Istanbul	7.2	1.59	7.6
Shabla	7.0	4.3	8
Crimeea	7.0	2.2	8

Tabelul 30. Magnitudinea minimă la care se generează valuri tsunami și înălțimile maxime ale valurilor pentru magnitudini mari (7.6, respectiv 8), pentru cele 3 zone seismice studiate, folosind **TRIDECE**

ZONA	MAGNITUDINEA MINIMĂ LA CARE SE POT PRODUCE VALURI	ÎNĂLȚIMEA MAXIMĂ POSIBILĂ A VALURILOR (m)	MAGNITUDINEA CARE GENEREAZĂ VALURI MAXIME
Vestul Turciei - Istanbul	7.2	0.84	7.6
Shabla	7.2	8.62	8
Crimeea	7.0	7.79	8

Tabelul 31. Rezultatele simularilor pentru diferiti parametri ai cutremurelor, folosind programele TAT si TRIDEC – studiu comparativ

AREA	SOFTWARE	LAT	LONG	MAG	DEPTH (km)	MAX WAVE (m)
SHABLA	TAT	43.45	28.69	7.2	10	Varna 0.2, Constanta / Techirghiol 0.1
	TRIDEC					Varna 0.41, Constanta 0.07
SHABLA	TAT	43.45	28.69	7.5	30	Krapets 0.3, Costinesti 0.2, Constanta / Techirghiol 0.1
	TRIDEC					Varna 0.46, Constanta 0.15
SHABLA	TAT	43.45	28.69	7.5	10	Varna 0.6, Costinesti / Mangalia / Constanta 0.3, Techirghiol 0.2
	TRIDEC					Varna 0.8, Constanta 0.11
SHABLA	TAT	43.45	28.69	7.5	5	Kamen Bryag 0.8, Constanta 0.4, Costinesti / Mangalia / Techirghiol 0.3
	TRIDEC					Varna 0.8, Constanta 0.11
SHABLA	TAT	43.45	28.69	8	30	Bliznak 0.2, Varna 0.2, Mangalia 0.1
	TRIDEC					Varna 2.48, Constanta 0.32
SHABLA	TAT	43.45	28.69	8	10	Kraveno 0.8, Varna 0.5, Costinesti / Mangalia / Techirghiol 0.6
	TRIDEC					Burgas 1.07, Varna 0.55, Constanta 0.65
SHABLA	TAT	43.45	28.69	8	5	Kamen Bryag 4.3, Varna 2.1, Costinesti 2.0
	TRIDEC					Varna 2.62, Constanta 0.32
TURKEY	TAT	42.18	30.69	7.6	10	Eregli 1.59, Zonguldak Eregli 1.21
	TRIDEC					Kocaeli Kefken 0.84, Constanta 0.14
TURKEY	TAT	42.18	30.69	7.2	10	Eregli 0.42, Techirghiol 0.14, Constanta 0.11
	TRIDEC					Kocaeli Kefken 0.26, Zongudak 0.26
CRIMEA	TAT	44.04	33.6	7	33	Hurzuf, Ponyzivka, Katsiveli, Parkove, Berehove, Partenit, Alupka 0.2
	TRIDEC					Kaciveli 0.37
CRIMEA	TAT	44.04	33.6	7.5	33	Foros 0.6
	TRIDEC	44.04	33.6			Kaciveli 1.98, Constanta 0.29
CRIMEA	TAT	44.04	33.6	8	33	Ponyzivka, Katsiveli, Berehove, Alupka 2.2, SF. Gheorghe 0.9, Techirghiol 0.6, Mangalia / Costinesti / Constanta 0.5
	TRIDEC					Kaciveli 7.79, Constanta 1.23

Cu aceste seturi de simulări, s-a extins baza de date ce conține modelarea fenomenului tsunami pentru zona Mării Negre, ce ar putea afecta litoralul românesc. În tabelul 30 si tabelul 31 s-au estimat magnitudini minime pentru care se pot produce valuri foarte mici, cât și valori maxime ale valurilor ce ar putea fi generate pentru anumite magnitudini, corespunzătoare celor 3 zone studiate.

V. Bibliografie

- Altinok Y., 1999, "Tsunamis along the coasts of the Black Sea", Second Balkan Geophysical Congress and Exhibition, Proceedings of the Conference, Istanbul, Pp. 46 - 47.
- Altinok Y., Ersoy S., 2000, Tsunamis Observed on and Near the Turkish Coast, Nat. Hazards, Nikonov A.A., 1997 b, Tsunami - a Threat from the South, Science in Russia, 6, 13–18, 1997b.
- Annunziato A., 2007, The Tsunami Assessment Modelling System by the Joint Research Centre, Science of Tsunami Hazards, Vol. 26, No. 2, pp. 70 - 92.
- Dotsenko S.F., 1995, The Black Sea tsunamis, Izvestiya Atmospheric and Oceanic Physics, 30(4), 483–489.
- Hancilar U., 2012, Identification of elements at risk for a credible tsunami event for Istanbul, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 12, 107-119.
- Kalkan E., Gulkan p., Ozturk N.Y., Celebi M., 2008, Seismic Hazard in the Istanbul Metropolitan Area: A Preliminary Re-examination, Journal of Earthquake Engineering, 12 (S2): 151-164, Jan.
- Lander J. F., 1969, Seismological notes - September and October 1968, B. Seismol. Soc. Am., 59, 1023–1030.
- Lorito S., Selva J., Basili R., Piatanesi A., Valensise G., 2008, Earthquake-generated tsunamis in the Mediterranean Sea: scenarios of potential threats to southern Italy, J. Geophys. Res., 113, B01301.
- Moldovan I.A., 2013, Modelling The Seismogenic Process Of Earthquake Occurrence In The Black Sea Region Using Statistical Methods, Special volume in honour of Professor Emeritus Michael E. Contadakis, Faculty of Rural and Surveying Engineering Department of Geodesy and Surveying, Aristotle University of Thessaloniki, pp. 247-258.
- Moldovan I.A., Diaconescu M., Popescu E., Radulian M., Toma-Danila D., Constantin A. P., Placinta A.O., 2016, Input parameters for the probabilistic seismic hazard assessment in the Eastern part of Romania and Black Sea area, Rom. Journ. Phys, 61, 7-8, PP. 1412-1425.
- Moldovan I.A., Diaconescu M., Partheniu R., Constantin A.P., Probabilistic seismic hazard assessment in the Black Sea area, Rom. Journ. Phys, 62, 809, 2017
- Nikonov A.A., 1997 a, Tsunamis occurrence on the coasts of the Black Sea and the Sea of Azov, Izvestiya, Physics of the Solid Earth, 33, 77–87, 1997a.
- Papadopoulos G. A., Imamura F., 2001, A proposal for a new tsunami intensity scale, in: Proceedings International Tsunami Symposium 2001, Seattle, Session 5(5–1), 569–577.
- 21, 185–205.
- Papadopoulos G.A., Diakogianni G., Fokaefs A., Rangelov B., 2011, Tsunami hazard in the Black Sea and the Azov Sea: a new tsunami catalogue, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 11, 945–963.
- Partheniu R., Diaconescu M., Ioane D., Marmureanu M., 2014, Tsunami modelling scenarios for the Shabla seismic area, western Black Sea, Scientific Communication Session GEO 2014, Bucharest, Romania, Extended Abstracts Volume.
- Partheniu R., Ioane D., 2015, Tsunami hazard assessment for the Crimeea seismic area, Scientific Communication Session GEO 2015, Bucharest, Romania, Extended Abstracts Volume.
- Pelinovsky E., 1999, Preliminary estimates of tsunami danger for the northern part of the Black Sea, Phys. Chem. Earth Pt. A, 24, 175–178, 1999.
- Rangelov B., Gospodinov D., 1995, Tsunami Vulnerability Modelling for the Bulgarian Black Sea Coast, War.Sci. Tech., v. 32, No. 7, pp.47-53.
- Rangelov B., Mircheva E., Lazarenko I., Encheva R., 2008 a, The archaeological site-possible evidence about multihazard ancient events, in: Proc. Conf. Geoarchaeology and Archaeomineralogy, 2008 Sofia, Publishing House "St. Ivan Rilski", Sofia, 347– 352, 29–30 October 2008a.

- Ranguelov B., Tinti S., Pagnoni G., Tonini R., Zaniboni F., Armigliat A., 2008 b, The nonseismic tsunamis observed in the Bulgaria Sea on 7 May 2007 – Was it due to a submarine landslide?, *Geophys. Res. Lett.*, 35, L18613, doi:10.1029/2008GL034905.
- Sorensen M., Spada M., Babeyko A., Wiemer S., Grunthal G., 2012, Probabilistic tsunami hazard in the Mediterranean Sea, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 117, B01305.
- Tinti S., Maramai A., 1996, Catalogue of tsunamis generated in Italy and in Cote d’Azur, France: a step towards a unified catalogue of tsunamis in Europe, *Ann. Geofis.*, 39, 1253–1299, 1996.
- Vilibic I., Sepic J., Ranguelov, B., Mahovic N. S., Tinti S., 2010, Possible atmospheric origin of the 7 May 2007 western Black Sea shelf tsunami event, *J. Geophys. Res.*, 115, C07006, 12 pp, doi:10.1029/2009JC005904.
- Wedding H., 1968, 3 Eyul 1968 de vukua gelen Bartın-Amasra “ Yersarsintisi, *MTA Dergisi*, 71, 135–141 (in Turkish).
- Yalciner A., Pelinovsky E., Talipova T., Kurkin A., Kozelkov A., Zaitsev A., 2004, Tsunamis in the Black Sea: Comparison of the historical, instrumental, and numerical data, *J. Geophys. Res.*, 109, C12023, doi:10.1029/2003JC002113.

6. Rezultate, stadiul realizării obiectivului fazei, concluzii și propuneri pentru continuarea proiectului (se vor preciza stadiul de implementare a proiectului, gradul de îndeplinire a obiectivului cu referire la tintele stabilite și indicatorii asociați pentru monitorizare și evaluare).

Rezultate:

Rezultatele Obiectivului Fazei 13 constau din:

- Realizarea Bazei de date cu simulări de tsunami pentru zona de vest a Marii Negre și anume pentru zonele seismogene și tsunamigene: Shabla, Vestul Turciei și Crimeea. S-au realizat peste 800 de scenarii (cu programul TAT) care sunt stocate atât la nivel național, cât și pe platforma JRC, în vederea utilizării pentru alerta timpurie a producerii unui val tsunami periculos;
- Îmbunătățirea condițiilor de modelare pentru această zonă de vest a Marii Negre, și anume pentru zonele seismogene și tsunamigene: Shabla, Vestul Turciei și Crimeea, prin folosirea a două programe diferite (TAT și TRIDEC) de prelucrare și modelare și realizarea comparației între metode.
- Estimarea unor înalțimi maxime de valuri ce ar putea fi generate pentru anumite magnitudini ale cutremurelor ce se produc în zonele seismogene din zona de vest a Marii Negre și anume pentru zonele seismogene și tsunamigene: Shabla, Vestul Turciei și Crimeea.

Studiile realizate în Faza 13 și rezultatele acestor studii vor contribui și la o mai bună înțelegere a fenomenului tsunami în general, la îmbunătățirea studiilor legate de acesta pe plan local, cât și la evaluarea cât mai precisă a efectelor pe care le poate avea acest fenomen asupra litoralului românesc. De asemenea, rezultatele vor putea fi folosite și pentru prevenție și alarmare în cazul producerii unui eveniment în timp real în viitor în Marea Neagră.

Stadiul realizării obiectivului fazei

Prin rezultatele obținute referitoare considerăm ca **obiectivele fazei au fost îndeplinite în totalitate** și că **angajamentele asumate au fost atinse**, iar proiectul a atins gradul de implementare scontat pentru Faza 13.

Concluzii

Cutremurele cu magnitudini $M > 6.5$ sunt cunoscute ca fiind generatoare de tsunami în trecut în Marea Neagră. Chiar dacă zone precum coasta de S, de la Sinop la Trabzon, coasta de N, de la Yevpatoya la Batumi, sau coasta de V, de la Odessa la Burgas, sunt cunoscute ca fiind zone cu risc ridicat, toate țările înconjurătoare ar trebui să fie considerate riscante din punctul de vedere al generării de valuri tsunami. Astfel, este evident că mecanismul seismo-tectonic este foarte dinamic în jurul și de-a lungul litoralului Mării Negre, putând să genereze cutremure suficient de puternice care să ducă la producerea de valuri tsunami în viitor.

Obiectivul acestei faze a fost evaluarea hazardului la tsunami pe litoralul românesc, prin intermediul unor modelări multiple folosind parametrii unor cutremure din trecut, și nu numai. Studiul s-a realizat pe cele 3 zone adiacente care ar putea afecta litoralul nostru, Shabla, vestul Turciei - Istanbul, și Crimeea, folosind doua programe de modelare, TAT și TRIDEC. În final, s-a realizat o evaluare a magnitudinilor minime pentru care se pot produce valuri de dimensiuni mici (0.1 - 0.2 m), și s-au calculat înălțimile maxime ale valurilor generate pentru valori de magnitudine mari (7.6 - 8), prezentate în Tabelele 29 și 30.

După cum se poate observa, litoralul românesc ar putea fi afectat de valuri tsunami generate în oricare din aceste 3 zone, pentru diferite magnitudini și parametri ai cutremurului modelat. Cele mai grave situații, respectiv scenarii, sunt după cum urmează: pentru zona Shabla, pentru un cutremur cu o magnitudine 8 produs la o adâncime de 5 km, s-ar genera valuri de maxim 2 m pe litoralul nostru, la Costinești; pentru zona vestul Turciei - Istanbul, un cutremur de magnitudine 7.6, generat la o adâncime de 10 km, ar duce la înălțimi maxime ale valurilor de 0.83 m la Mangalia; iar pentru modelarea unui cutremur în zona Crimeea de magnitudine 8 și adâncime 33 km, rezultatele arată că s-ar produce valuri de maxim 0.9 m la Sfântu-Gheorghe.

Conform simulărilor, rezultatele arată diferențe destul de mari în funcție de magnitudine, adâncime și mecanismul focal. Toate acestea contribuie la îmbunătățirea studiilor legate de fenomenul tsunami, cât și la o mai bună înțelegere a acestuia în general, iar pe plan regional, la cunoașterea efectelor unui potențial tsunami generat în zona Mării Negre.

Mai mult, rezultatele acestor simulări ar putea fi foarte utile, chiar vitale, în cazul producerii unui eveniment real în viitor (cutremur cu magnitudine mare, urmat de tsunami), prin compararea înălțimilor calculate ale valurilor, cu datele în timp real de la stațiile de măsurare a nivelului apei, instalate pe coasta românească a Mării Negre la Mangalia, Sulina și Constanța. Chiar dacă acestea sunt doar scenarii, bazate pe informații și parametri ai cutremurelor din trecut, la un moment dat ar putea deveni utile autorităților pentru evacuarea posibilelor zone afectate, cât și pentru îmbunătățirea măsurilor de alertare și prevenție.

Propuneri pentru continuarea proiectului:

În această etapă, **obiectivul a fost îndeplinit integral iar rezultatele obținute sunt în concordanță cu țintele propuse** venind în sprijinul implementării proiectului.

Continuarea Fazei 13 se va realiza în Faza 36, Interpretarea datelor de nivel de apă de la rețeaua de maregrafe instalate pe litoralul românesc în corelație cu fenomene tectonice și atmosferice.

Rezultatele obținute în această fază au fost și vor fi publicate și prezentate la conferințe științifice naționale și internaționale.

Articole și capitole carte:

A.P. Constantin, I. A. Moldovan, R. Partheniu, B. Grecu, C. Ionescu, Correlations Between Macroseismic Intensity Values And Ground Motion Measures Of Vrancea (Romania) Subcrustal Earthquakes, Romanian Journal Of Physics 66, 5-6, 808, 2021

Ghita C., M. Diaconescu, R. Raicu, I. A. Moldovan. The analyses of the seismic sequence recorded on November 22 2014 based on ETAS model, Romanian Reports in Physics ,Volume 73, Art No 708, (2021)

Placinta, A. O., Borleanu, F., Popescu, E., Radulian, M., & Munteanu, I. (2021, June). Earthquake Source Properties of a Lower Crust Sequence and Associated Seismicity Perturbation in the SE Carpathians, Romania, Collisional Setting. In *Acoustics* (Vol. 3, No. 2, pp. 270-296). Multidisciplinary Digital Publishing Institute.

Evaluarea hazardului la tsunami in zona litoralului romanesc al Marii Negre, R. Partheniu, I.A. Moldovan, A.P. Constantin, **M. Diaconescu**, in Cercetari avansate privind monitorizarea si modelarea fenomenului seismic precum si reducerea riscurilor asociate, Eds, C. Ionescu, A. Bala, M. Radulian, Academiei Publishing House, 35-65 pp., Bucharest **2021**, ISBN 978-973-27-3383-7

Prezentări la conferinte:

Alina Coman, Elena Florinela Manea, Carmen Ortanza Cioflan, Valerio Poggi, Clotaire Michel - Bedrock depth variability along the extra - Carpathian area of Romania, ESC 2021, online, prezentare orală

Alina Coman, Elena Florinela Manea, Mircea Radulian, Erzsébet Győri, Marius Mihai - Local site effects investigations along the Pannonian Basin ESC 2021, online, prezentare poster

Felix Borleanu, Laura Petrescu, Luca De Siena, Fabrizio Magrini, Anca Placinta, Bogdan Grecu, Mircea Radulian - Preliminary results of attenuation tomography in the Carpathian-Pannonian region revealed by the analysis of ambient seismic noise, ESC 2021, online, prezentare orală

L. Czirok, L. Kuslits, I. Bozsó, M. Radulian, K. Gribovszki, Clustering-based stress inversions in the SE-Carpathians, ESC 2021, online, prezentare orală

Ghita C., Predoiu A., Tsunami Early Warning and Mitigation System in the North-Eastern Atlantic, the Mediterranean and Connected Seas – NEAMTWS Tsunami Exercise – ‘NEAMWave21’, 8–10 March 2021

Ionescu C., Ghita C., Moldovan I.A., Partheniu R., Marmureanu A., TSUNAMI RELATED ACTIVITIES AT NIEP (Romania), 17th Session of the Intergovernmental Coordination Group for the Tsunami Early Warning and Mitigation System in the North-eastern Atlantic, the Mediterranean and Connected Seas (ICG/NEAMTWS-XVII), UNESCO, 24–26 November 2021 (hybrid mode)

Ionescu C., Moldovan I.A., PD2 ChEESE Live Demo on FTRT Tsunami Simulations for Early Warning, 22nd November 2021 (online)

In afara de acestea mai trebuie mentionate doua articole care au fost publicate si prezentate in anul 2020 :

Diaconescu M., Dr. Craiu A , Toma-Dănila D., Constantinescu E.G. Seismicity and tsunamigenetic potential of the Black Sea and Surrounding areas. **Prezentare orală** la Geoscience Octombrie 2020 publicata in 2020 in Revue Roumaine de Geophysique, Editura Academiei

Partheniu, R., Craiu, A., Diaconescu, M., Dumitru, I., Moldovan, I.A., The probability of tsunami occurrence generated by the Istanbul Seismic Source, aparuta in 2020 in Revue Roumaine de Geophysique, Editura Academiei.

In plus, folosind aceste studii, s-a participat si la doua proiecte internationale:

- 1) Proiectul propus Uniunea Europeana “All Risk Integrated System TOwards Trans-boundary hoListic Early-warning 2” - ARISTOTLE 2
- 2) Proiectul propus de European Cooperation in Science & Technology - COST, „Accelerating Global science In Tsunami HAZard and Risk analysis” - AGITHAR.

Responsabil Fază

Ing. Partheniu Ileana Raluca Alecsandra

Director proiect,

Dr. Iren Adelina Moldovan