

Seismologiniai stebėjimai Lietuvoje

Andrius Pačėsa

(Gamtos tyrimų centro Geologijos ir geografijos institutas; Lietuvos geologijos tarnyba)

Pačėsa, A., 2011. Seismological monitoring in Lithuania. *Baltica*, Vol. 24, Special Issue // Geosciences in Lithuania: challenges and perspectives, 123–126. Vilnius. ISSN 0067–3064.

Abstract Seismological monitoring of Lithuania and adjacent territories was performed using the data of seismic network of Ignalina NPP. Only very few local tectonic events were registered during last decade of seismological monitoring. A few tens of local events were associated with explosions in quarries or explosions carried out during the operations for elimination of old explosives in the Baltic Sea. After the seismic system of Ignalina NPP was upgraded in 2008, the number of registered teleseismic and regional events has increased up to a few hundred every year.

Keywords *Seismology, seismological monitoring, Ignalina nuclear power plant, Lithuania.*

Andrius Pačėsa [andrius.pacesa@igt.lt], Geological Survey of Lithuania, 35, S. Konarskio, 03123 Vilnius, Lithuania. Manuscript submitted 12 May 2011, accepted 15 July 2011.

IVADAS

Baltijos šalių ir greta esančių sričių teritorija pasižymi mažu seisiniu aktyvumu, kurį lemia ankstyvojo prekambro laikotarpiu susiformavusi žemės pluta bei didelis atstumas iki aktyvių seisminių zonų. Tačiau iš istorinių šaltinių bei instrumentinių stebėjimų yra žinoma daugiau nei 40 nestiprių ar vidutinio stiprumo žemės drebėjimų, įvykusių nuo 1616 m. iki dabar Baltijos šalių ir Baltarusijos teritorijose (Авотиня *и др.* 1988; Боборыкин *и др.* 1993).

Negausūs duomenys rodo, jog Lietuvos teritorijos seisminis aktyvumas yra mažesnis nei greta esančių teritorijų. Patikimai Lietuvos teritorijoje nėra užfiksuotas nei vienas žemės drebėjimas. 1976 m. įvykęs Osmussaar'ės (Estija) Mw=4.6 ir 2004 m. Kaliningrado srityje (Rusija) įvykę du Mw=4.6 ir Mw=5.0 žemės drebėjimai rodo, kad ir sąlyginai seismiškai ramias Rytinės Baltijos teritorijas kartais sukrečia vidutinio stiprumo žemės drebėjimai.

Pirmieji seismologiniai stebėjimai Lietuvoje pradėti 1970 m. Fizikos institute įkūrus seismologinių stebėjimų stotį (Ilginytė, Šalavėjus 1994). Iki 1992 m. registruoti duomenys Lietuvoje nebuvo apdorojami ar analizuojami, jie buvo siunčiami į Obninsko (Rusija)

seismologinių tyrimų centrą. Vilniaus stoties duomenys buvo panaudoti Žemės plutos bei viršutinės mantijos nevienalytiškumui bei platformų judesiams tirti (Ilginytė, Šalavėjus 1994). Nuo 1992 m. birželio seisminių duomenų apdorojimą perėmė Fizikos instituto darbuotojai. Buvo sudarytas 1991–1995 metų Vilniaus stotyje registruotų duomenų katalogas. Kataloge pateikti tik P ir S bangų atėjimo laikai, kadangi naudoti tik vienos seisminės stoties duomenys, buvo galima nustatyti tik apytikslį atstumą iki įvykio epicentro, lokalizuotų seisminių įvykių, kurių seismines bangas fiksavo seismometrai galimybės nebuvo. Kiek žinoma, Vilniaus seisminė stotis per visą savo veiklos laikotarpį vietinių seisminių įvykių neužfiksavo. Vilniaus seisminė stotis dėl susidėvėjusios įrangos ir finansavimo trūkumo nustojo veikti 1998 m.

IGNALINOS AE SAS IR SMS

1986 m. viename iš Černobylio atominės elektrinės (Ukraina) reaktorių įvyko itin didelio masto avarija. Po šios katastrofos buvo peržiūrėti tarybinių atominų elektrinių saugumo klausimai. 1988 m. sudaryta speciali 22 ekspertų komisija, Ignalinos AE aikštelės ir jos apylinkių seismingumo klausimams išnagrinėti.

Komisija padarė išvadą, kad projektuojant ir statant Ignalinos AE nebuvo tinkamai išnagrinėtas šios vietovės seisminis pavojingumas, nors tokia analizė privalėjo būti atlikta pagal šalies vidaus ir tarptautinius reikalavimus, ir rekomendavo aplink Ignalinos AE įsteigti 5 stočių seisminio monitoringo tinklą, bei vykdyti nuolatinius seisminius stebėjimus.

1992 m. išsivysčiusių industrinių valstybių grupė „G-7“ skyrė lėšų tarybinių branduolinių reaktorių saugumui padidinti (Wieland 1998). Vienas Ignalinos AE saugumą didinančių projektų numatė Seisminio aliarmo sistemos (SAS) ir ją papildančios Seisminio monitoringo sistemos (SMS) įrengimą. 1999 m. Ignalinos AE buvo įrengta SAS ir SMS su keturiomis seisminėmis stotimis, išdėstytomis aplink elektrinę, bei duomenų surinkimo ir registravimo centru pačioje AE (Pačesa 2001). Dar dvi seisminės stotys Latvijos bei Baltarusijos teritorijose, nesutarus su kaimyninių valstybių vyriausybėmis, taip ir nebuvo įrengtos.

SAS buvo skirta pavojaus signalui generuoti, jei pavojingai galinga seisminė banga artėtų prie Ignalinos AE. SMS buvo sudaryta iš dviejų posistemų: Ignalinos AE pastatų monitoringo posistemės ir Vietinių seisminių įvykių monitoringo posistemės. Pastatų monitoringo posistemė buvo sudaryta iš daugelio akselerometrų, išdėstytų įvairiose pastatų vietose, ir skirta registruoti pastatų bei konstrukcijų reakciją į stiprius seisminius virpesius. Planuota, kad gavus tokią informaciją būtų galima įvertinti, ar AE konstrukcijos ir statiniai atitinka sukurtus matematinius modelius ir ar jie yra pakankamai atsparūs galimiems seisminiams poveikiams. Per daugiau nei dešimt SMS pastatų monitoringo posistemės veikimo metų Ignalinos AE nei karto nepasiekė pakankamai stipri seisminė banga, kurios seisminį signalą akselerometrų užrašuose būtų galima išskirti iš triukšmo. Net Kaliningrado drebėjimų signalus buvo galima atsekti tik akselerogramose, registruotose AE teritorijoje ir reaktoriaus cokoliniame aukšte.

SMS posistemė, skirta vietinių seisminių įvykių monitoringui, buvo sudaryta iš keturių seisminių stočių, nutolusių nuo AE maždaug per 30 km. Jos įrengtos tose pačiose vietose kaip ir SAS stotys. Kiekvienoje išorinėje stotyje 30 m gylio grėžiniuose buvo įrengti vertikalūs trumpo periodo seismometrai. Pačiose seisminėse stotyse sumontuoti analoginiai skaitmeniniai keitikliai ir radijo įranga seismologiniams duomenims nuolat perduoti į duomenų registracijos centrą Ignalinos AE, kur jie buvo surenkami ir saugomi.

1999 m. Lietuvos geologijos tarnyboje (LGT) pradėtas Lietuvos seismologinio monitoringo projektas, kurio pagrindinis tikslas buvo kaupti, apdoroti, analizuoti ir archyvuoti Ignalinos AE SMS duomenis. Tarp LGT ir Ignalinos AE buvo sudaryta sutartis dėl seisminių duomenų ir jų apdorojimo rezultatų keitimosi. Tokiu būdu AE darbuotojai aptarnavo ir vykdė SAS ir SMS priežiūrą bei palaikymą, o SMS duomenis apdorojo LGT.

Nuo pat SMS įrengimo 1999 m. išaiškėjo gana daug sistemų trūkumų. Tik įrengta SMS veikė vos pora dienų, o jos veikimas buvo atstatytas tik po pusme-

čio. Dar po keturių mėnesių buvo pakeista pagrindinė duomenis registruojanti programinė įranga ir SMS pradėjo funkcionuoti patenkinamai. Greitai išryškėjo ir kiti trūkumai – dėl žaibavimo ar kitų neaiškių priežasčių seisminių stočių analoginiai/skaitmeniniai (a/s) keitikliai nustodavo veikti ir į AE duomenų centrą būdavo siunčiami labai didelių amplitudžių, stipriai iškraipyti seisminių virpesių duomenys, kurių buvo neįmanoma naudoti. Dėl tokių SMS darbo sutrikimų šiltuoju metų laiku SMS seisminės stotys neveikdavo apie 30% laiko. Nepatikima buvo ir duomenų perdavimo iš seisminių stočių į duomenų centrą AE sistema: periodiškai būdavo prarandami duomenų paketai, o duomenys iškraipomi. Dėl šių SMS trūkumų automatinis seisminių įvykių detektavimo algoritmas dažnai neteisingai nustatydavo seisminis įvykius, o tikrų seisminių įvykių nedetektuodavo. Todėl SMS kiekvieną mėnesį registruodavo tik apie 10 tolimų ar regioninių įvykių, nors vidutiniškai tokių įvykių turėjo būti registruojama bent apie 60.

Po 2004 metų rugsėjo 21 d. Kaliningrade įvykusių dviejų vidutinio stiprumo žemės drebėjimų, kurie buvo jaučiami didelėje Lietuvos teritorijos dalyje, Ignalinos AE vadovybė ir Valstybinė atominės energetikos saugos inspekcija (VATESI) atkreipė dėmesį į Ignalinos AE SAS ir SMS problemas. Buvo nutarta ištaisyti SAS ir SMS trūkumus ir jas patobulinti.

SAS ir SMS modernizacija užbaigta 2008 m. vasarą. SMS pakeisti a/s keitikliai ir duomenų perdavimo įranga, kiekvienoje išorinėje stotyje sumontuoti papildomi trumpo periodo trikomponenčiai seismometrai, duomenų registracijos centre pakeista programinė įranga. Po šių patobulinimų SAS ir SMS darbas tapo stabilesnis. Tačiau naujoji duomenų registravimo programinė įranga negalėjo automatiškai detektuoti seisminių įvykių, ir šis trūkumas kompensuojamas į LGT perduodant visus nuolatinės registracijos duomenis ir čia detektuojant seisminius įvykius panaudojant kitą programinę įrangą.

METODIKA

Seisminių duomenų apdorojimui LGT buvo naudota klasikinė seismogramų apdorojimo metodika. Visų pirma buvo identifikuojami seisminiai įvykiai ir nustatomi P ir S bangų atėjimo į seisminę stotį laikai. Po to naudojantis programa SEISAN 8.2 (Havskov, Ottemoller 1999) buvo bandoma lokalizuoti seisminio įvykio epicentrą. Galiausiai vietinių įvykių epicentrus buvo bandoma susieti su NORSAR ar Helsinkio universiteto (HU) biuleteniuose pateiktais duomenimis, o tolimų įvykių epicentrai bandyti susieti su JAV Geologijos tarnybos (USGS; <http://neic.usgs.gov>) ir Europos ir Viduržemio jūros regiono seismologijos centro (EMSC; <https://www.emsc-csem.org>) seismologiniuose biuleteniuose pateiktais duomenimis. Visi SMS užregistruoti įvykiai buvo išsaugomi LGT duomenų bazėje.

IGNALINOS AE SMS STEBĖJIMŲ REZULTATAI IR DISKUSIJA

Iki 2008 m., t.y. iki Ignalinos AE seisminės sistemos modernizacijos pabaigos, SMS užregistravo tik kelis vietinius seisminius įvykius: 2001-09-04 – nelokaluotą vietinį žemės drebėjimą, kurio stiprumas $M \approx 2.1$, 2002-12-18 – žemės drebėjimą Baltijos jūroje, piečiau Gotlando salos $M=3.6$, 2004-09-21 – du Kaliningrado žemės drebėjimus ($M=4.5$ ir $M=5.0$) ir keletą sprogdinimų Baltijos jūroje bei Lietuvos ir Latvijos karjeruose (Pav.). Gana įdomus buvo 2001 m. įvykis, kurio seisminio signalo forma atitinka tektoninio įvykio „klasikinę“ seismogramą. Tačiau jis užfiksuotas tik vienoje seisminėje stotyje ir tiksli lokalizacija nebuvo galima; apytiksliai įvertinta, kad jo epicentras buvo nutolęs nuo Salako seisminės stoties per 80 km šiaurės–vakarų kryptimi. Apie įvykį jokios informacijos nerasta nei NORSAR nei HU biuleteniuose.

Skandinavijos šalių seisminiai tinklai Lietuvos teritorijoje kasmet užregistravo po kelias dešimtis sprogdinimų, tuo tarpu Ignalinos AE SMS iki 2008 m. užregistravo tik kelis sprogdinimus. „Praleistus“ seisminius įvykius galima paaiškinti jau minėtais buvusiais SMS trūkumais. Todėl negalima atmesti tikimybės, kad SMS galėjo neužfiksuoti ir vietinių, netoli Ignalinos AE vykusių silpnų žemės drebėjimų.

Po SMS modernizacijos seisminių įvykių pradėta registruoti daugiau. Per 2008 ir 2009 metus užfiksuoti 48 vietiniai seisminiai įvykiai. Didžiąją jų dalį pavyko lokalizuoti ir susieti su įvykiais, pateiktais NORSAR ir HU biuleteniuose. 9 seisminiai įvykiai, užfiksuoti Ignalinos AE SMS nebuvo registruoti nei NORSAR nei HU biuleteniuose. Atlikus įvykių lokalizacijas, laiko bei seismogramų formų analizės, nustatyta, kad beveik visi įvykiai sietini su sprogdinimais, vykdytais Lietuvos ir gretimų šalių karjeruose ar senų sprogdinimų naikinimo operacijų metu Baltijos jūroje. Tikimybė, kad kuris nors vietinis įvykis buvo tektoninės prigimties – labai maža.

Kaip minėta, SMS iki 2008 m. kas mėnesį registruodavo apie 10 tolimų ar regioninių įvykių, tačiau tokių įvykių turėjo būti registruojama bent 6 kartus daugiau. Po SMS modernizacijos, 2008 m. identifiukuoti 731, o 2009 m. – 437 teleseisminiai ar regioniniai seisminiai įvykiai. Daugumą jų pavykdavo lokalizuoti. Dalis įvykių buvo registruoti mažiau nei trijose stotyse ir jų lokalizuoti nebuvo įmanoma, arba epicentro lokalizacijos algoritmas pateikė neturintį prasmės sprendinį. Didžiąją dalį teleseisminių įvykių pavyko susieti su USGS ir EMSC biuleteniuose pateiktais įvykiais.

Ignalinos AE SMS stotys daugiausia teleseisminių įvykių užregistravo iš ŠV Ramiojo vandenyno pakrantės (Kurilai, Japonija, Filipinai). Daugiausia regioninių įvykių užfiksuota iš Viduržemio jūros regiono. Kaip ir kitos seisminės stotys, Ignalinos AE SMS geba registruoti seisminius įvykius, stipresnius nei $M=5.0$, įvykstančius bet kuriame pasaulio krašte. Arčiau SMS užfiksuojami ir kiek silpnesni seisminiai įvykiai (Pav.).



Pav. Ignalinos AE SMS 1999–2009 metais užfiksuoti vietiniai seisminiai įvykiai. Trikampiai žymi Ignalinos AE seisminės stoties, rombai – karjerus, kuriuose vykdyti sprogdinimo darbai, apskritimai – žemės drebėjimus, kryžiai – Ignalinos AE registruotus ir Lietuvos geologijos tarnyboje lokalizuotus sprogdinimus.

IŠVADOS

Per daugiau nei dešimtmetį Ignalinos AE SMS stotyse vykdytą seismologinį monitoringą pavyko užfiksuoti tik kelis vietinius tektoninės prigimties seisminius įvykius. Didžioji dalis SMS registruotų seisminių įvykių sietini su Lietuvos ar kaimyninėse šalyse karjeruose vykdytais sprogdinimais arba senų sprogmenų naikinimo operacijomis Baltijos jūroje.

Visi Lietuvoje ir gretimose šalyse vykdyti seismologiniai stebėjimai patvirtino teiginį, kad Lietuvos ir gretimų kraštų teritorijos pasižymi labai mažu seisminiu aktyvumu. Ignalinos AE SMS geba registruoti seisminius įvykius, stipresnius nei $M=5,0$, įvykstančius bet kuriame pasaulio krašte. Arčiau SMS užfiksuojami ir silpnesni seisminiai įvykiai.

Literatūra

Havskov, J., Ottemoller, L., 1999. SeisAn Earthquake analysis software. *Seismological Research Letters* 70 (5), 532 - 534.

Ilginytė, V., Šalavėjus, S., 1994. Seismometriniai matavimai Lietuvoje. *Kn. Gelmų geologinio tyrimo, naudojimo ir apsaugos problemos Lietuvoje*. Vilnius, Geologijos institutas, 40–41.

Pačėsa, A., 2001. Seismologinis monitoringas Lietuvoje. *Geologijos akiračiai* 4 (44), 31–36.

Wieland, M., Grieser, L., Kuendig, C., 1998. Seismic alarm system for Ignalina Nuclear Power Plant. In *Proceedings of the 11th European Conference on Earthquake Engineering*, Paris.

Авотиня, И.Я., Боборыкин, А.М., Емельянов, А. П., Сильдвээ, Х. Х., 1988. Каталог исторических землетрясений Белоруссии и Прибалтики. Сейсмологический бюллетень сейсмических станций “Минск” и “Нароч” за 1984 г., 126–137.

Боборыкин, А.М., Гарецкий, Р.Г., Емельянов, А. П., Сильдвээ, Х. Х., Сувейздис, П. И., 1993. Землетрясения Беларуси и Прибалтики. *Kn. Современное состояние сейсмических наблюдений и их обобщений*, Минск, 29–39.