



**UNIVERSITY
OF LATVIA**

RECENT IMPROVEMENTS IN THE SEMI-AUTOMATIC SEISMIC MONITORING SYSTEM FOR LATVIA

Viesturs Zandersons
Jānis Karušs

viesturs.zandersons@lu.lv

Rīga, 2024

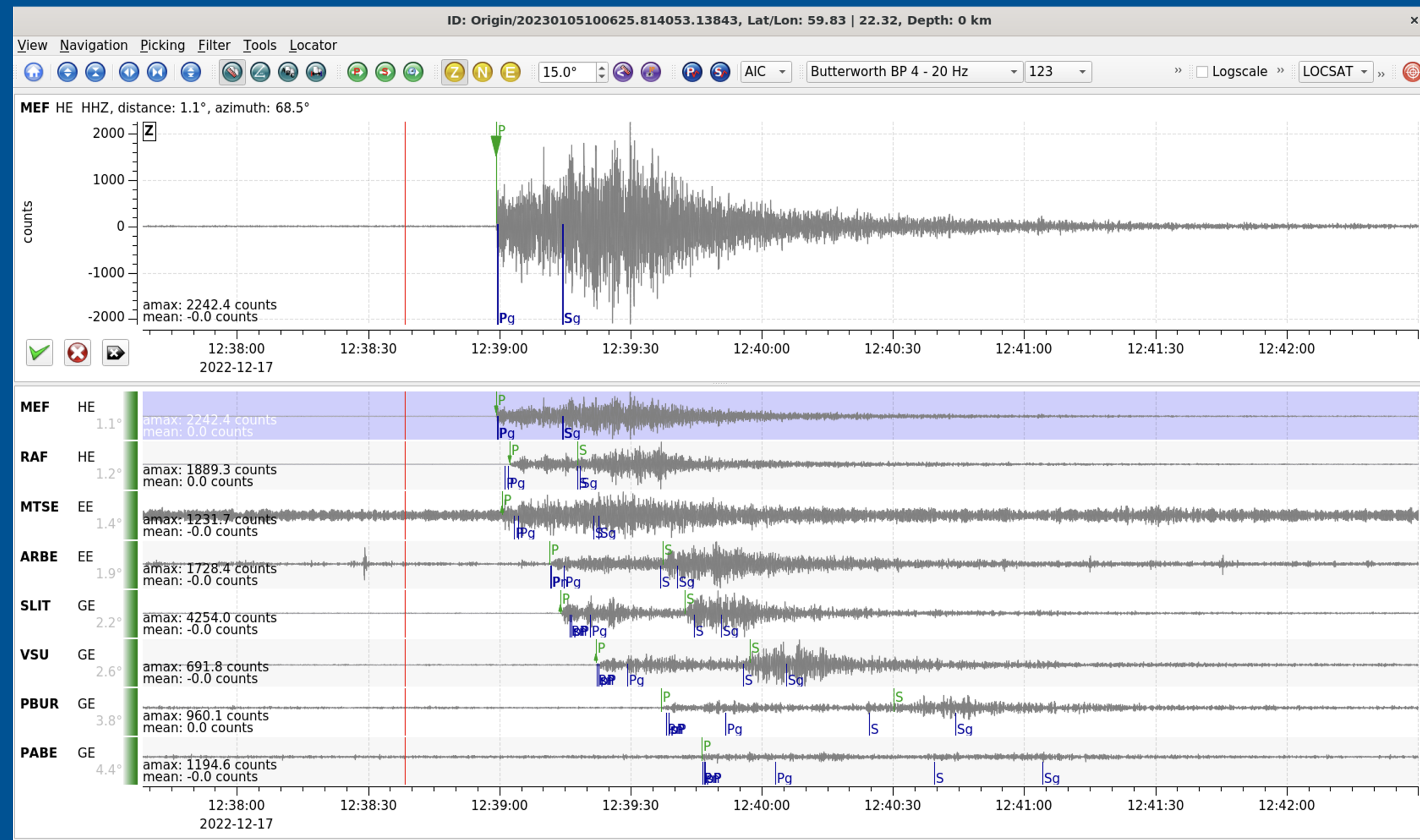
Aktualitāte

Seismiskais monitorings ir svarīgs aktuāla seismiskā riska novērtēšanai un atjaunošanai

Iekļauj:

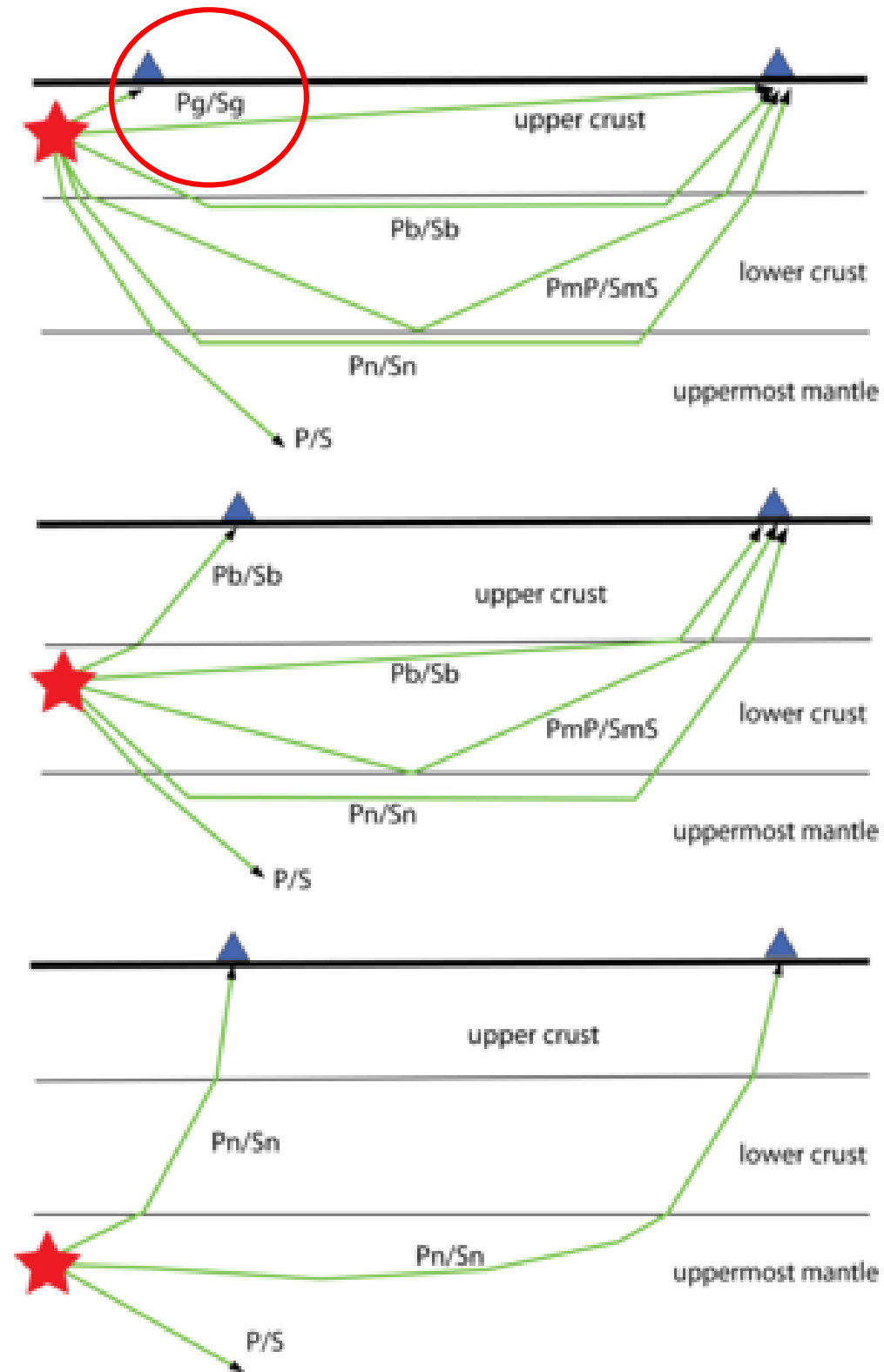
- Fāžu noteikšanu
- Notikumu vietas atrašanu
- Magnitūdu aprēķinu
- Atskaišu sagatavošanu

Bieži manuāls process, ko var uzlabot ar algoritmu palīdzību

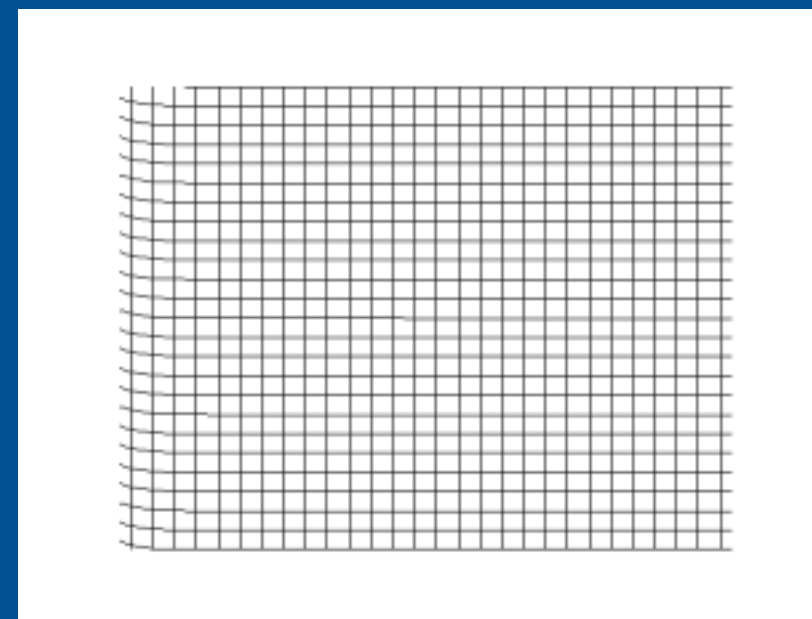
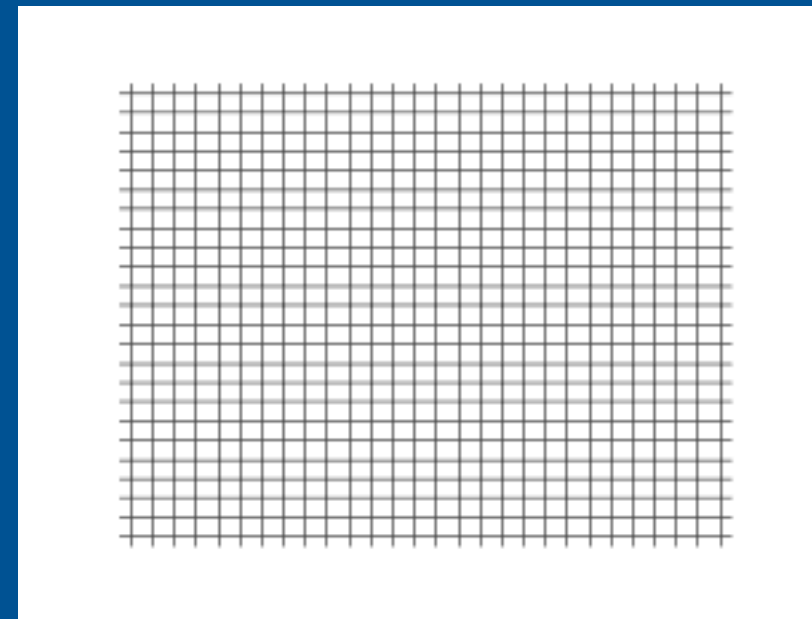


1. attēls. Seismiskais notikums Somu līcī, 2022. gada decembrī

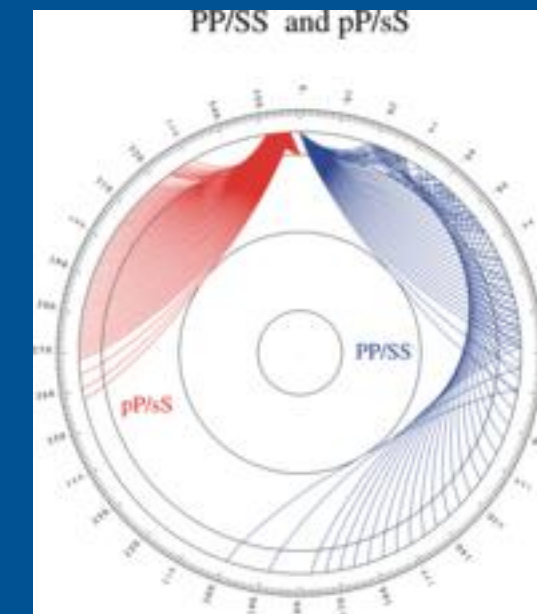
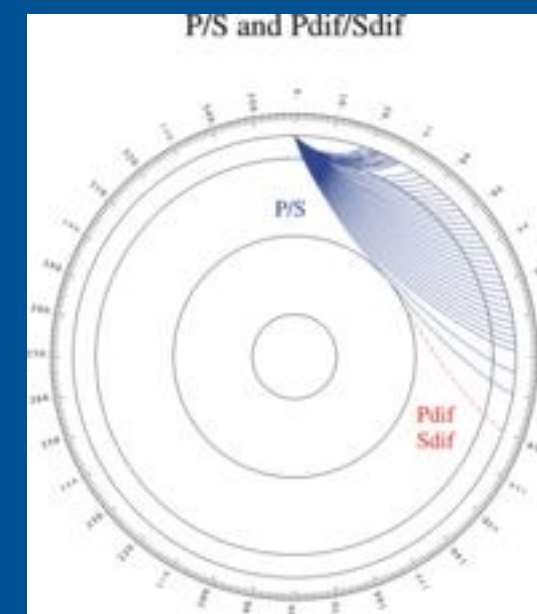
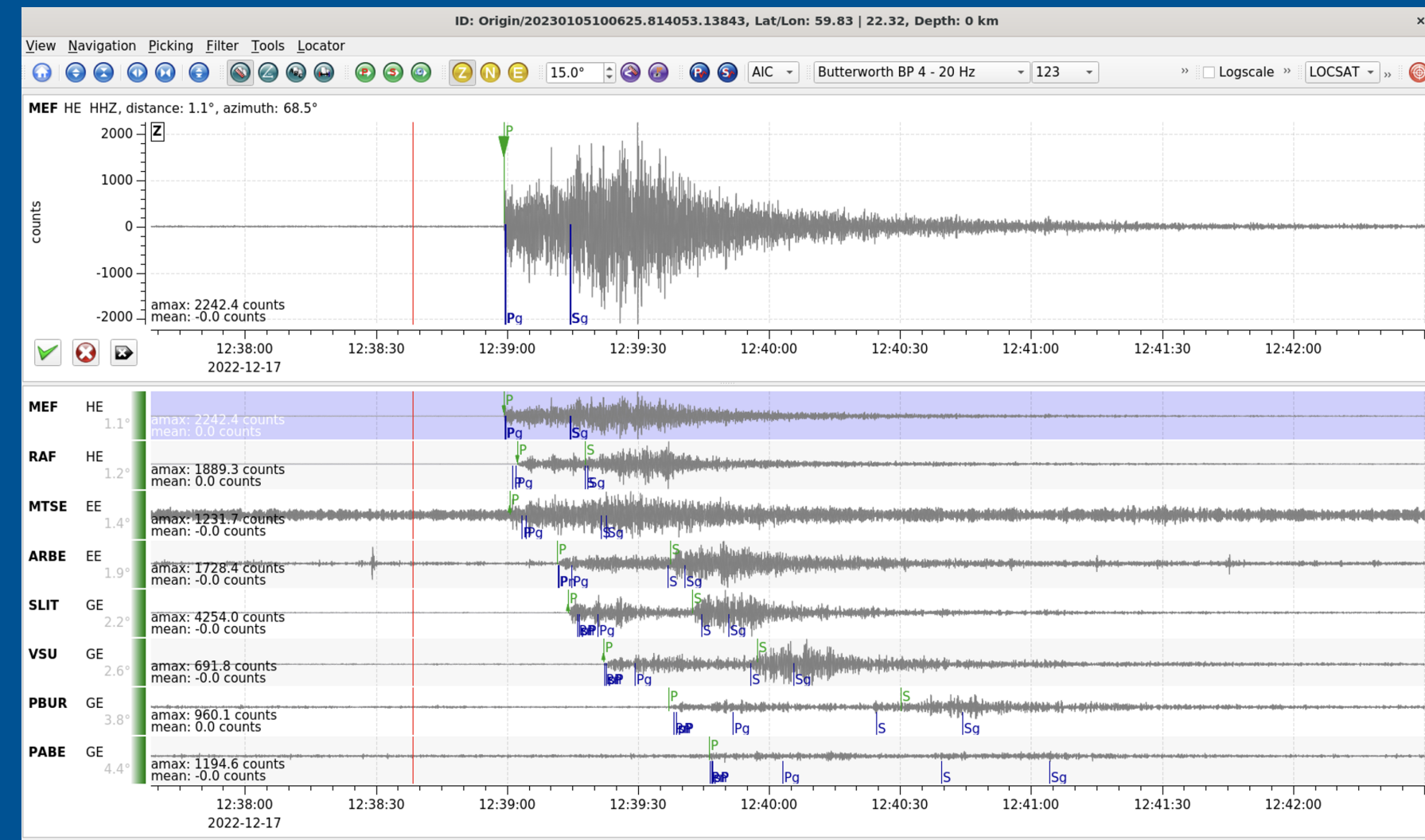
Seismiskās fāzes



2.att. IASPEI garozas fāžu ilustrācija (1)



3. att. Garenviļņu un šķērsviļņu ilustrācija

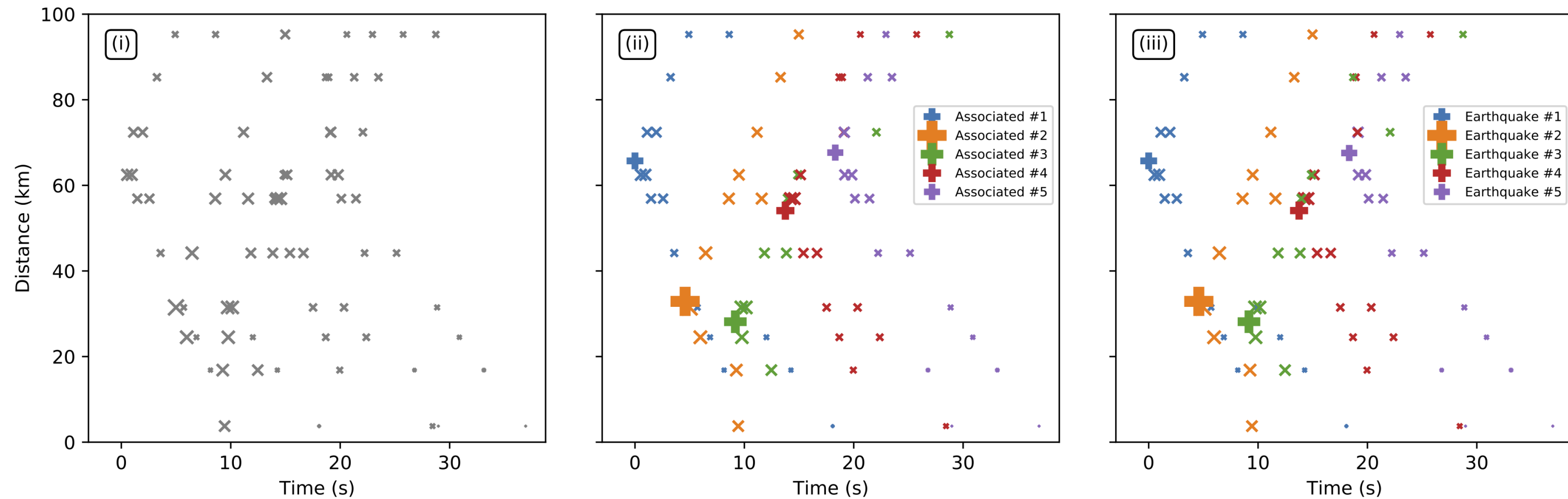


4. att. IASPEI seismisko fāžu ilustrācija (1)

Kā asociēt fazes notikumiem?

Liela problēma ir saprast, kā atrastās fazes saistāmas kopā notikumos

Īpaši sarežģīti ar nedaudzām stacijām



5. att. Fāžu asociācijas piemērs no *Zho et al (2)*

Seismoloģiskais monitorings Latvijā - 2022

10 reģionāli, ~50 globālie ieraksti no IU tīkla

seiscomp 5.1 sistēma

STA/LTA filtrs fāžu primārajai noteikšanai

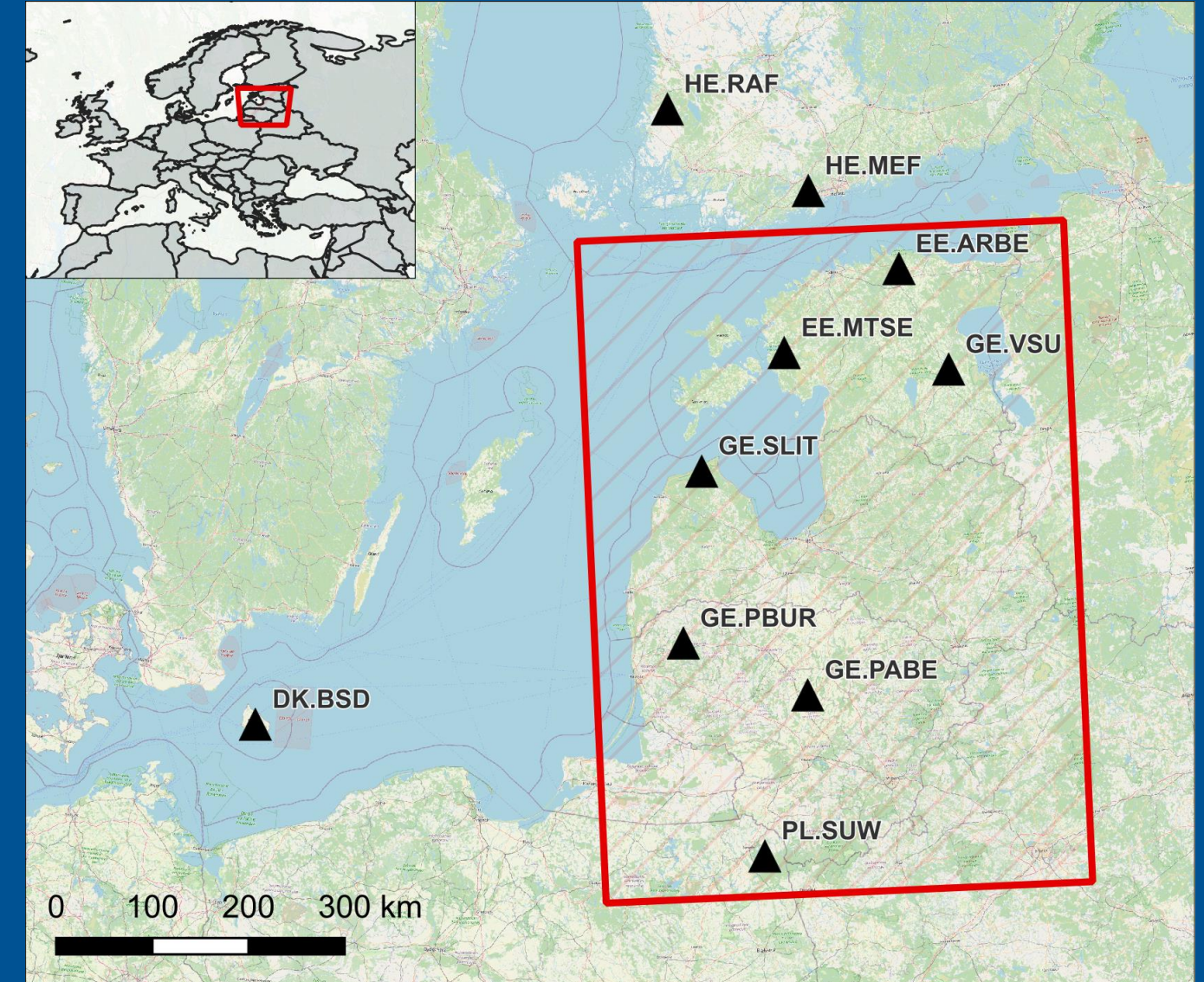
Manuāla fāžu un notikumu otreizējā noteikšana

Notikumu atrašanās vietas un magnitūdas M_L aprēķins

Seismisko ierakstu un notikumu datu bāze



6. Attēls. IU seismiskā tīkla stacijas



7. attēls. Seismiskās stacijas Latvijas apkārtnē

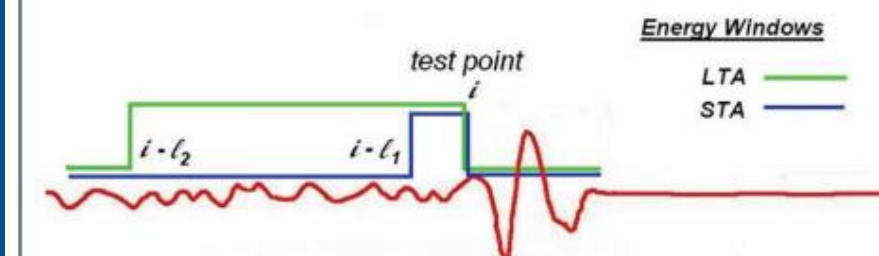
1. Zemes garozas modelis, pielāgots no Bogdanova (3)
2. Magnitūdu korekcija – no IASPEI (4)

STA/LTA Ratio

$$STA = \sum_{j=i}^{i-l_1} grm(i)^2 / l_1 \quad \text{Short-term average}$$

$$l_2 = 10 * l_1$$

$$LTA = \sum_{j=i}^{i-l_2} grm(i)^2 / l_2 \quad \text{Long-term average}$$

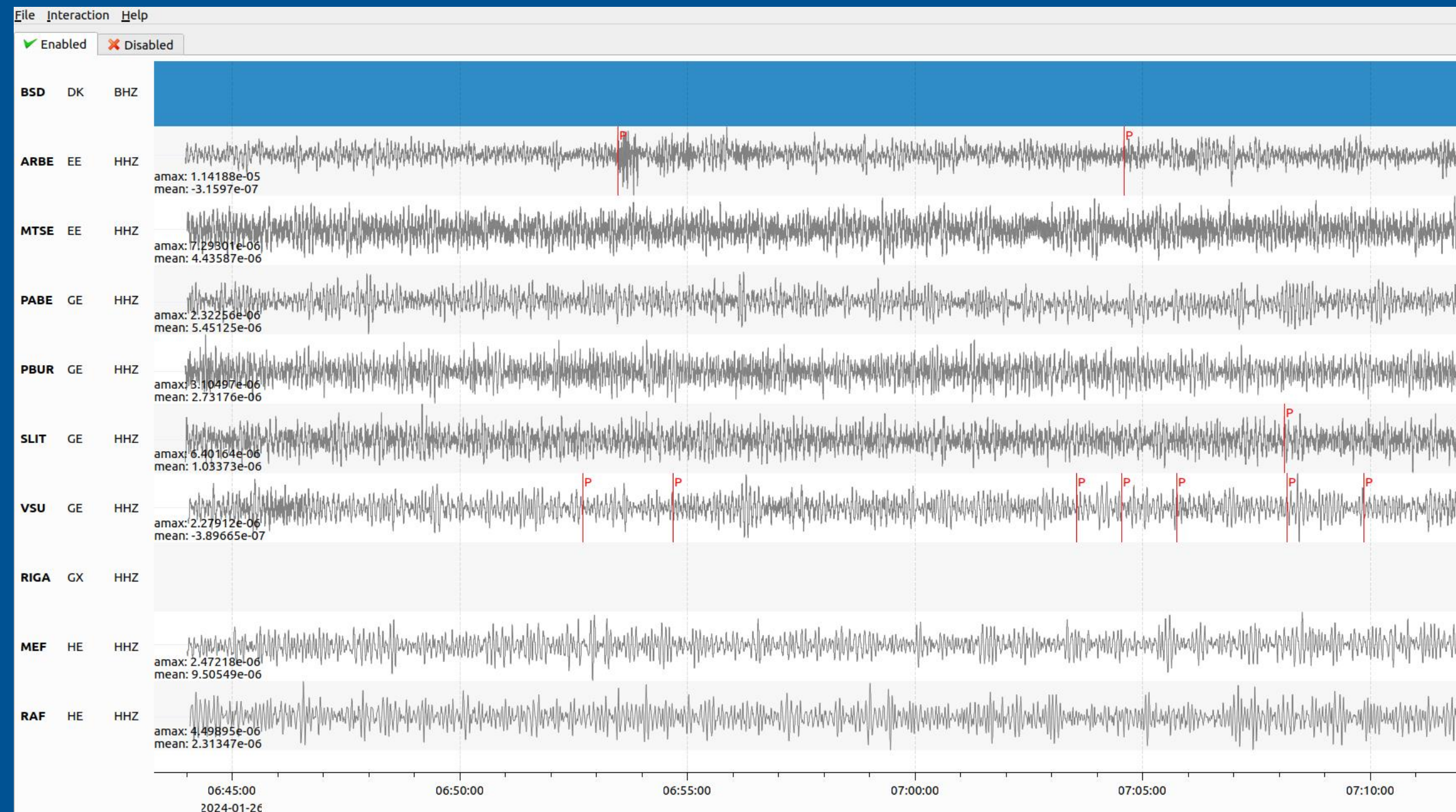


8. att. STA/LTA filtra piemērs

Seismoloģiskais monitorings Latvijā - 2022

Troksnis un retais staciju izvietojums ievērojami apgrūtina seismisko notikumu noteikšanu

Seiscomp sistēma automātiski slikti strādā ar mazu staciju skaitu (vajadzīgas vismaz 6 stacijas, lai fiksētu notikumu)

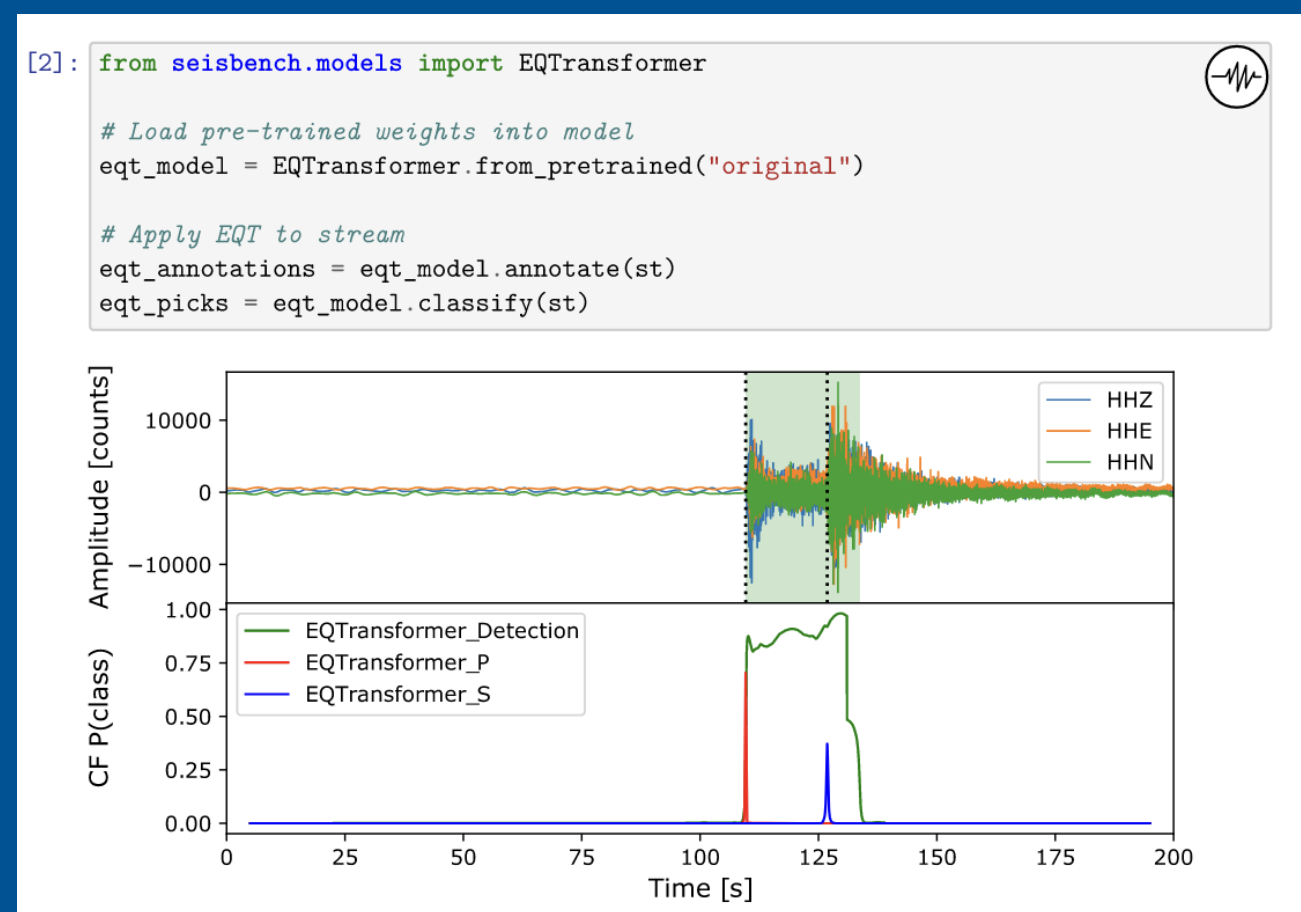


9. attēls. Ikdienas seismiskā ieraksta piemērs

Pēdējie pētījumi pasaulē

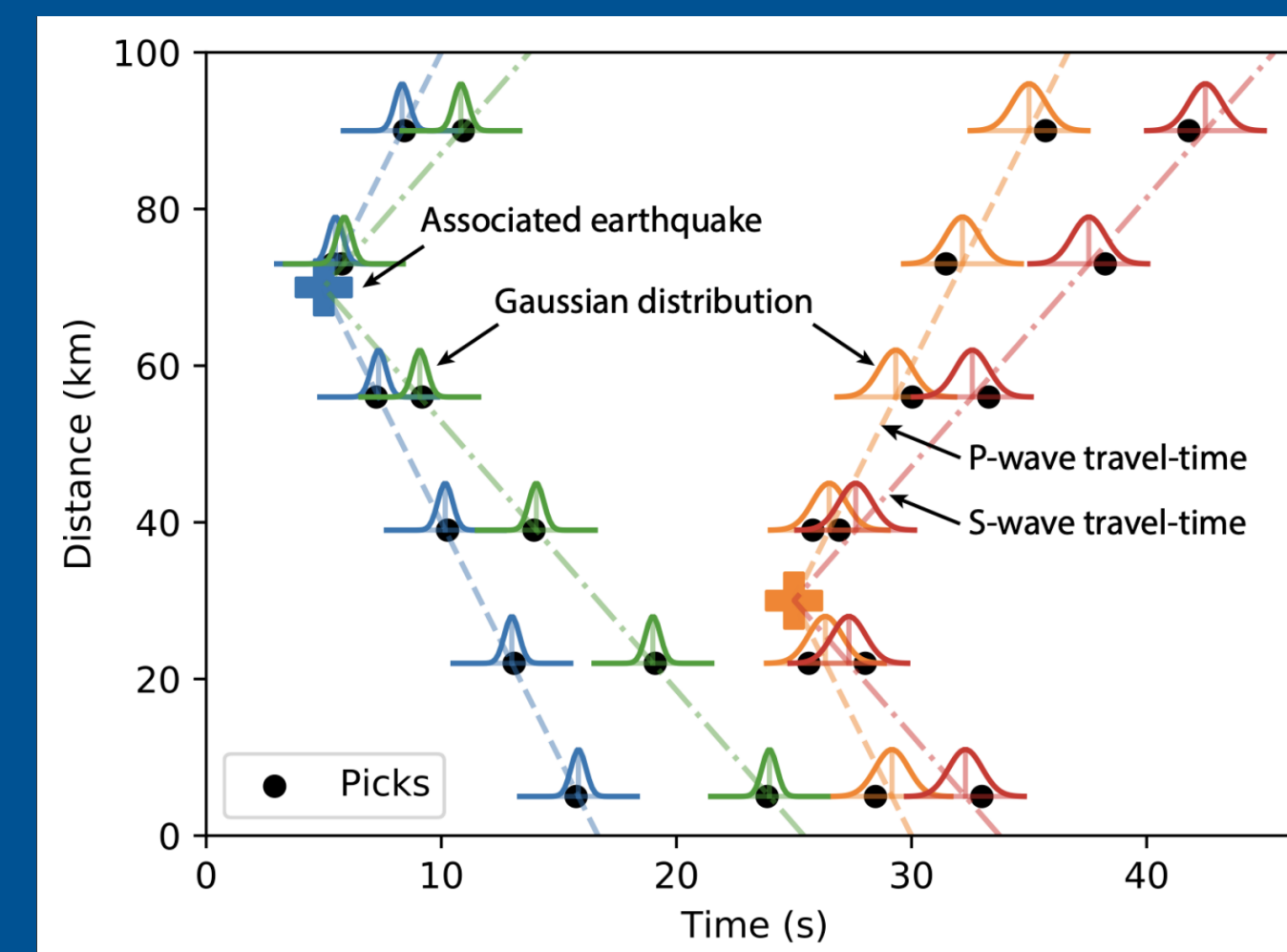
Vairāki nozīmīgi atklājumi saistībā ar mašīnmācīšanos un datu apstrādi

- Fāžu izdalīšana un atpazīšana
- Notikumu asociācija
- Notikumu atrašanās vietas aprēķins
- Integrētas sistēmas (līdzīgi kā *seiscomp*), kuras iekļauj visus posmus

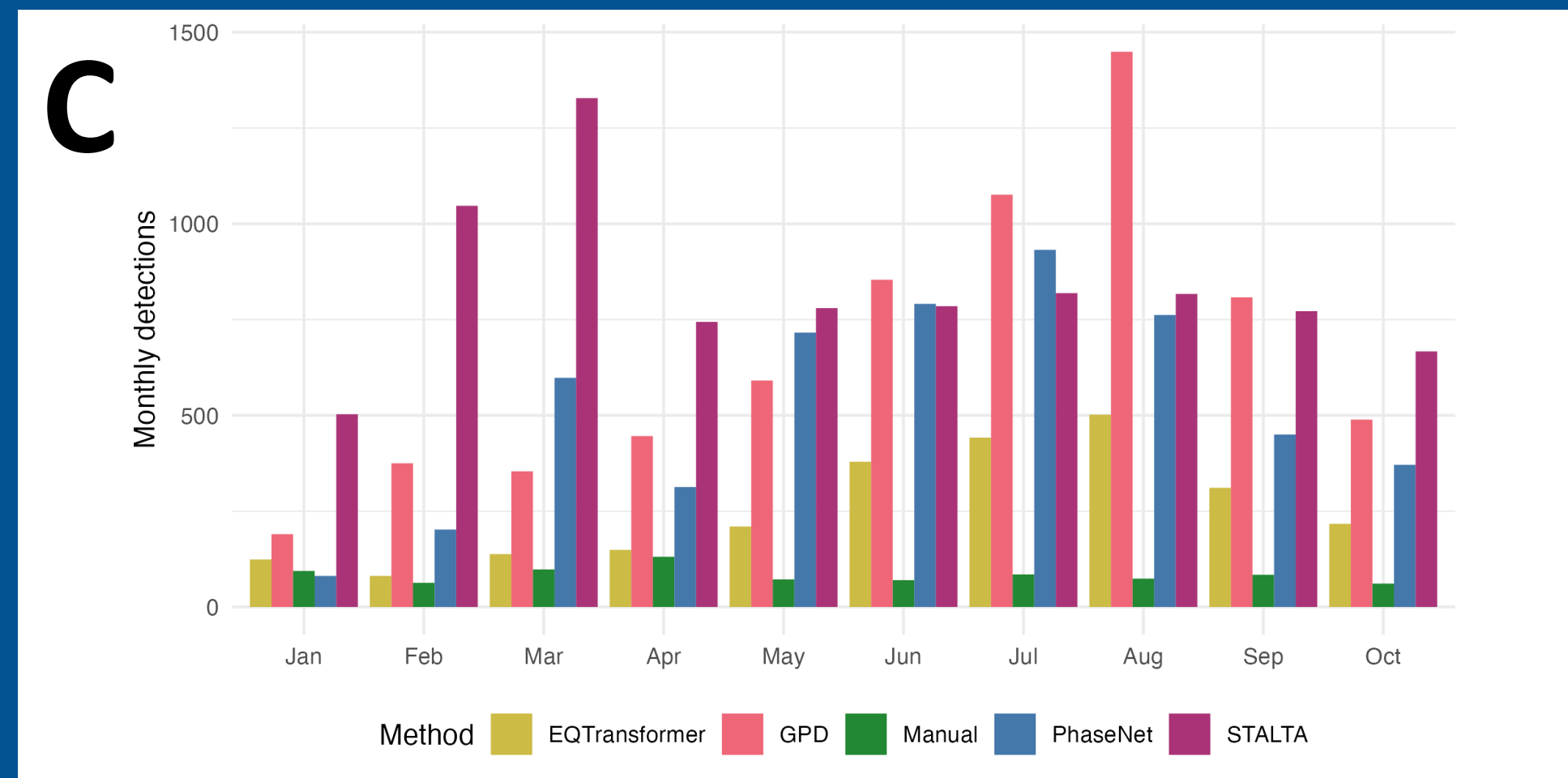
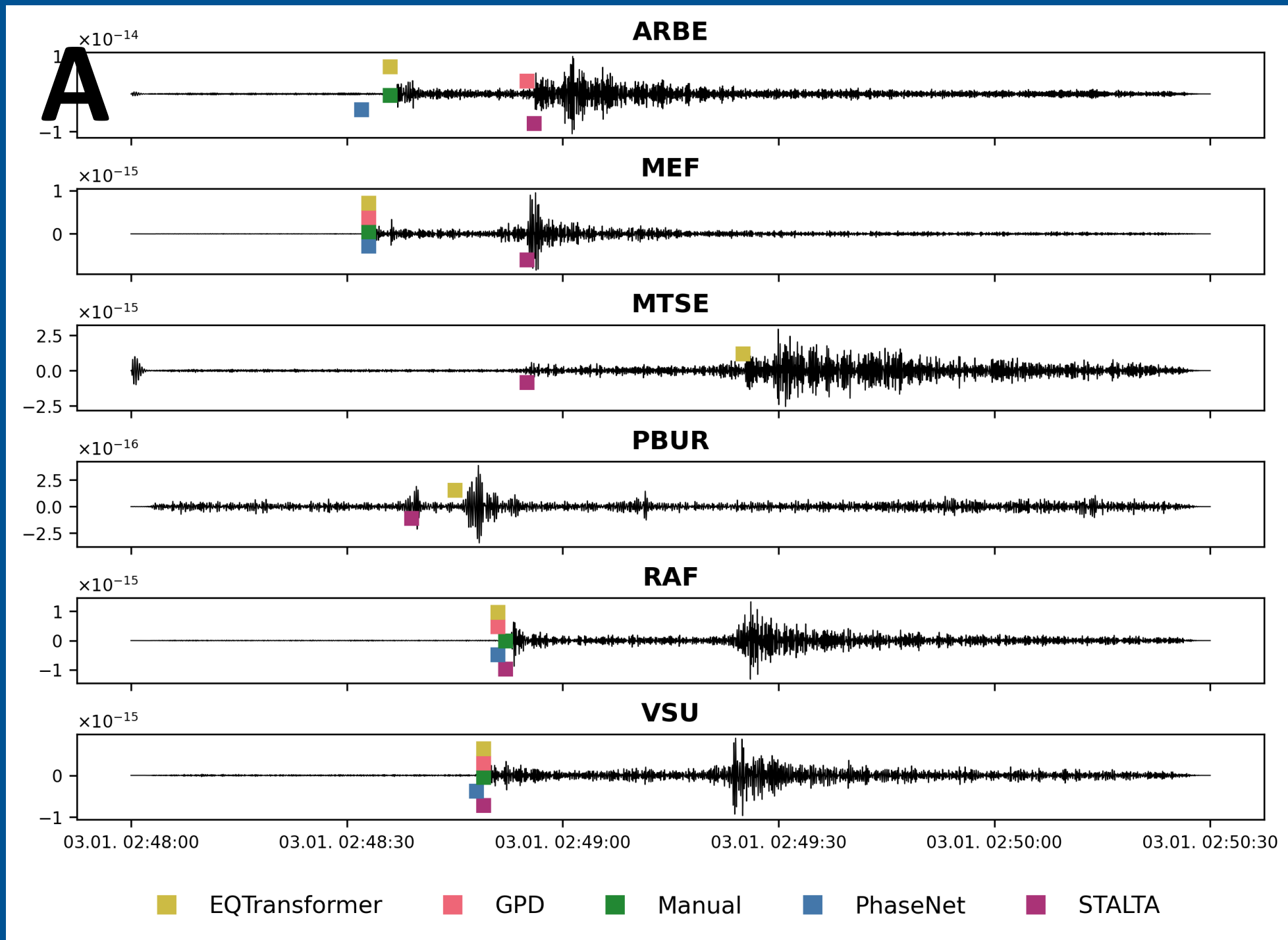


10. att. Fāžu noteikšana ar EQTransformer un seisbench (5)

11. att. Varbūtību teorijā bāzētais GaMMA seismisko notikumu asociācijas algoritms (2)

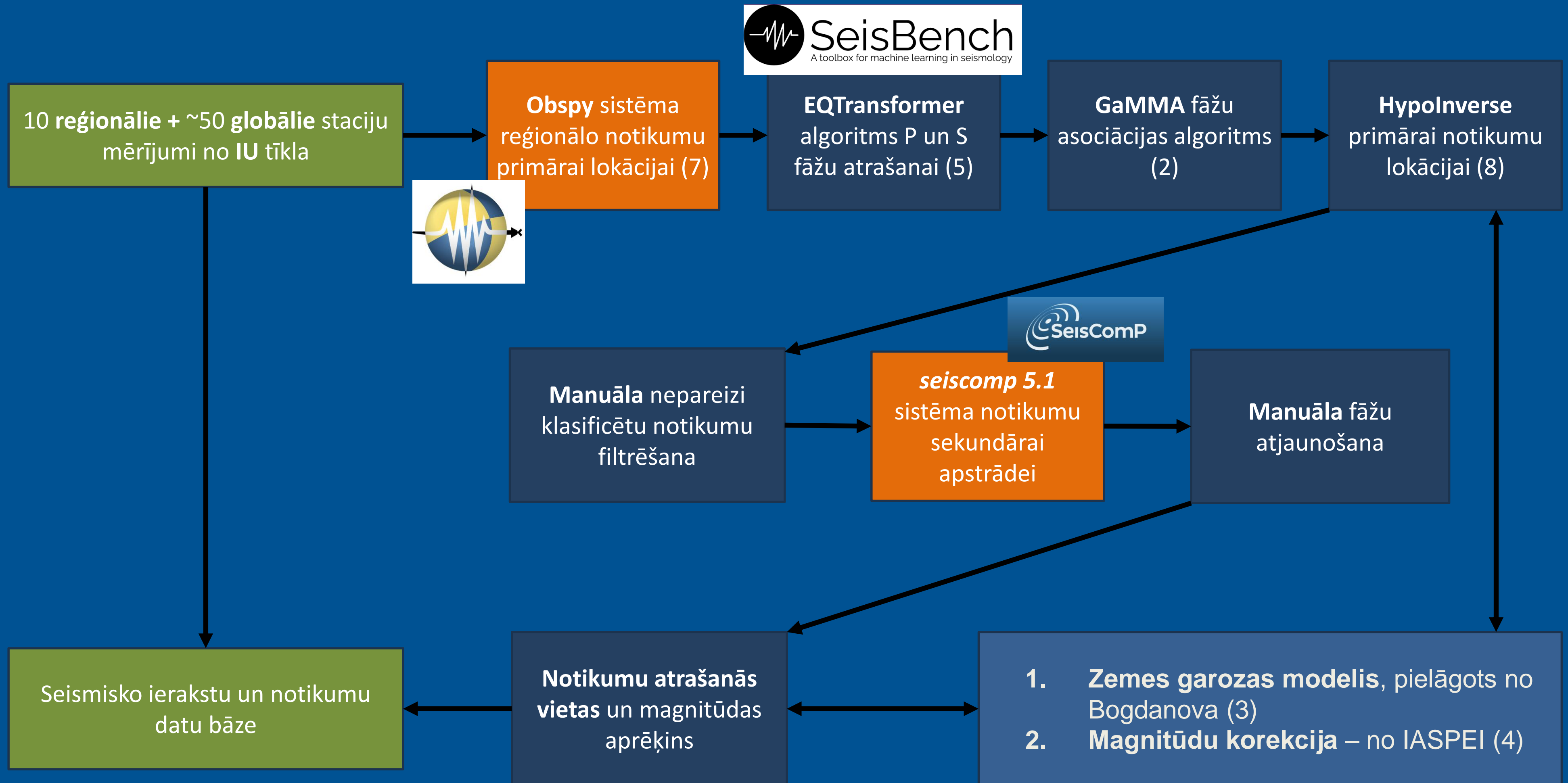


Pēdējie pētījumi Latvijā

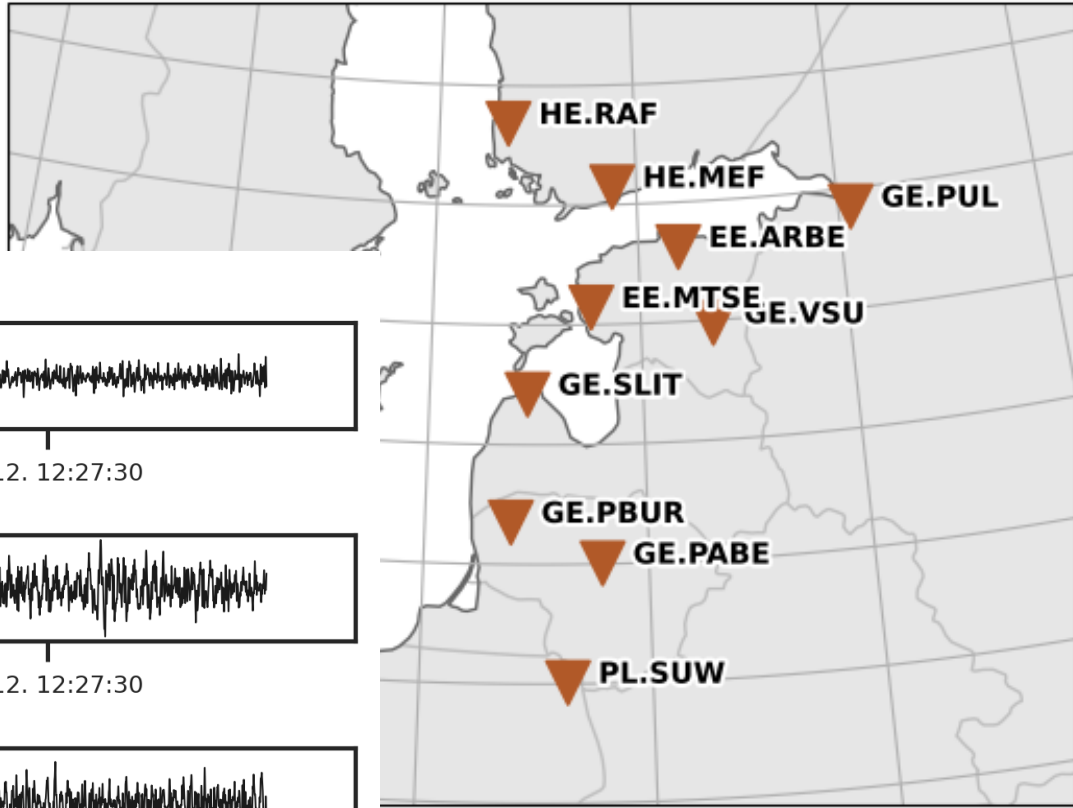


12. att. Apkopojums no Zandersons et al (6) pētījuma. Visos attēlos redzams automātisko algoritmu salīdzinājums ar seismologa novērojumiem. A – viena notikuma apkopojums 03.01.2021. B – Atrastie notikumi 2021. gada janvārī, C – Atrasto notikumu skaita salīdzinājums

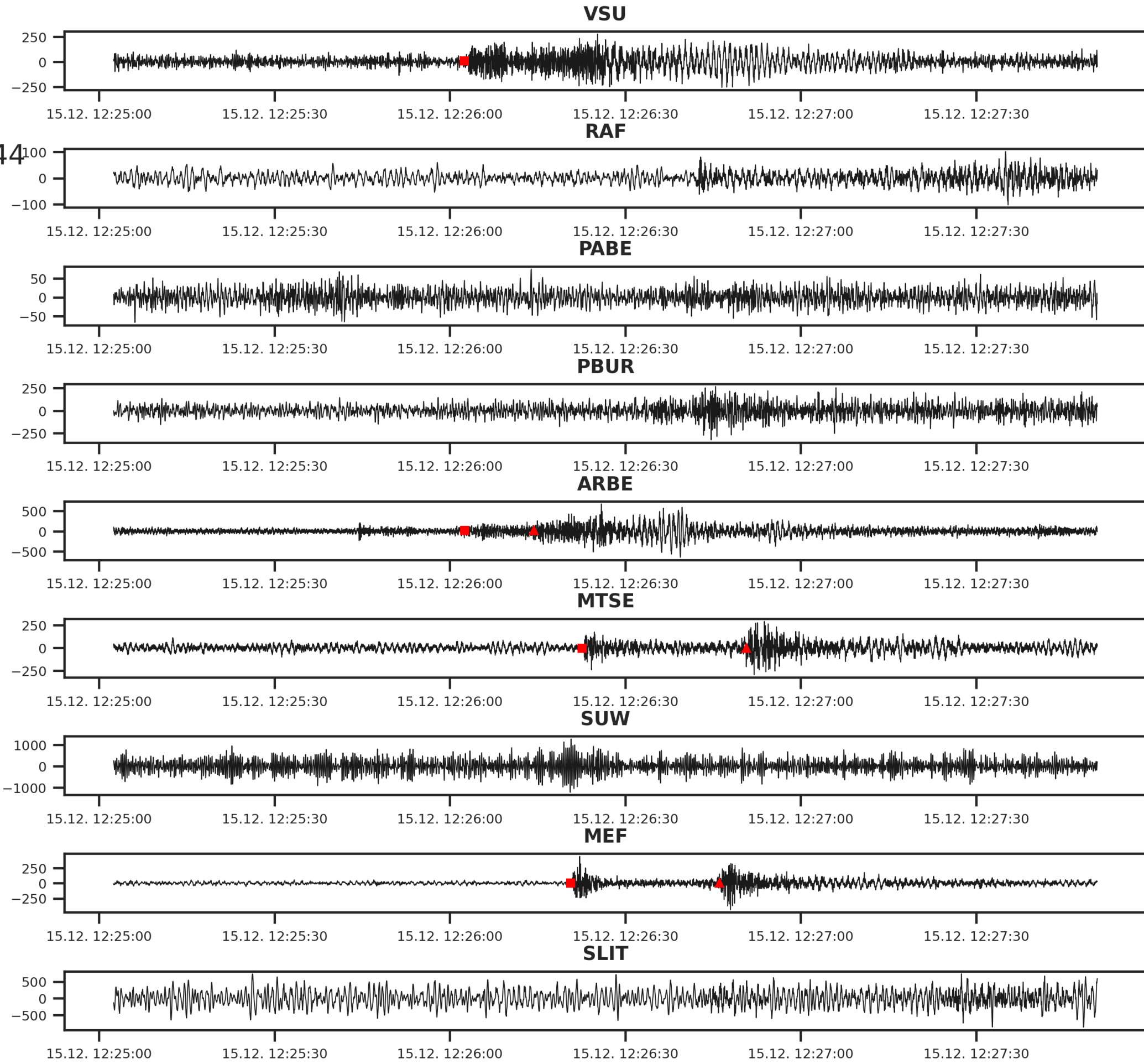
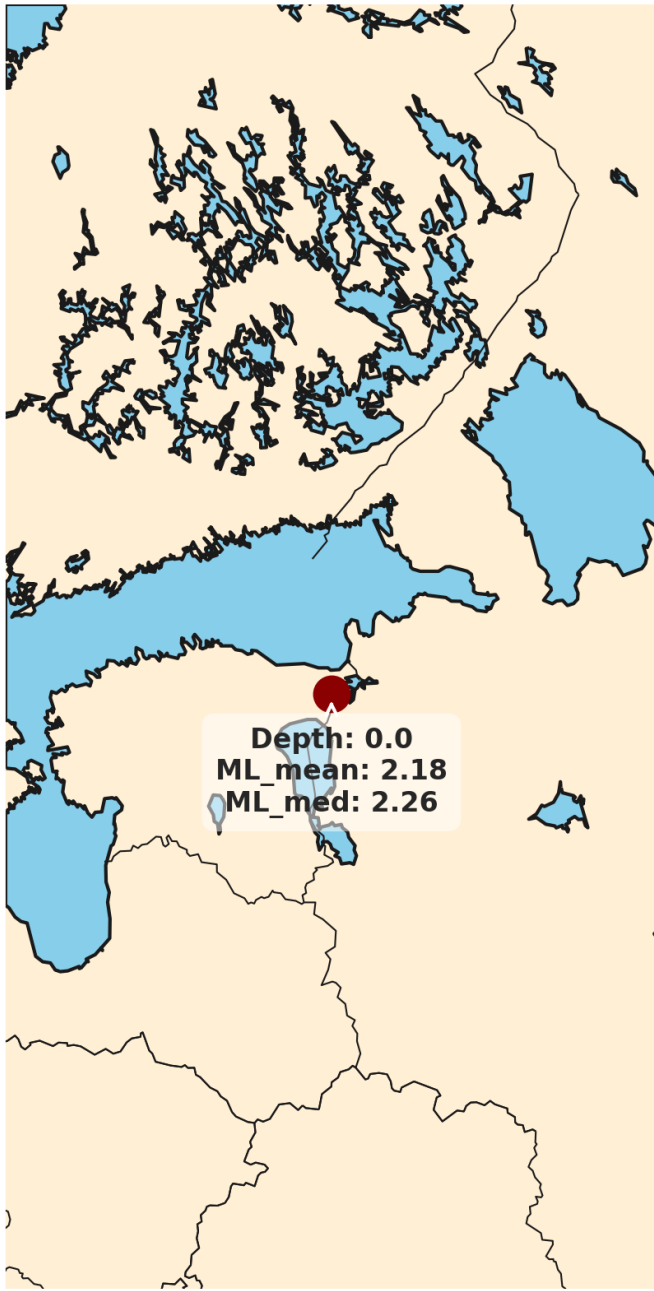
Šobrīd izmantotā metode



Piemēri



Earthquake Data on 2023-12-15 12:25:44

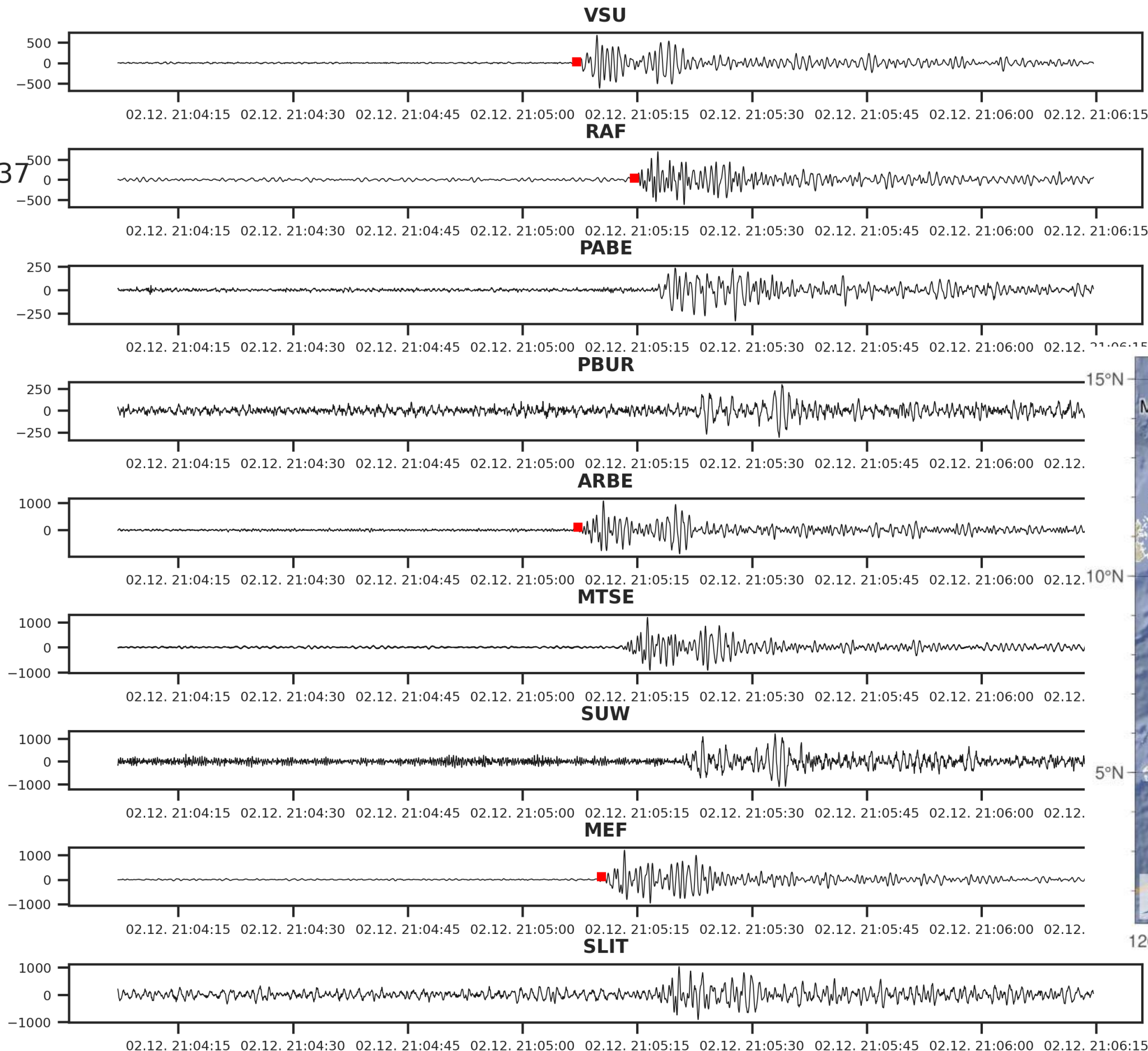
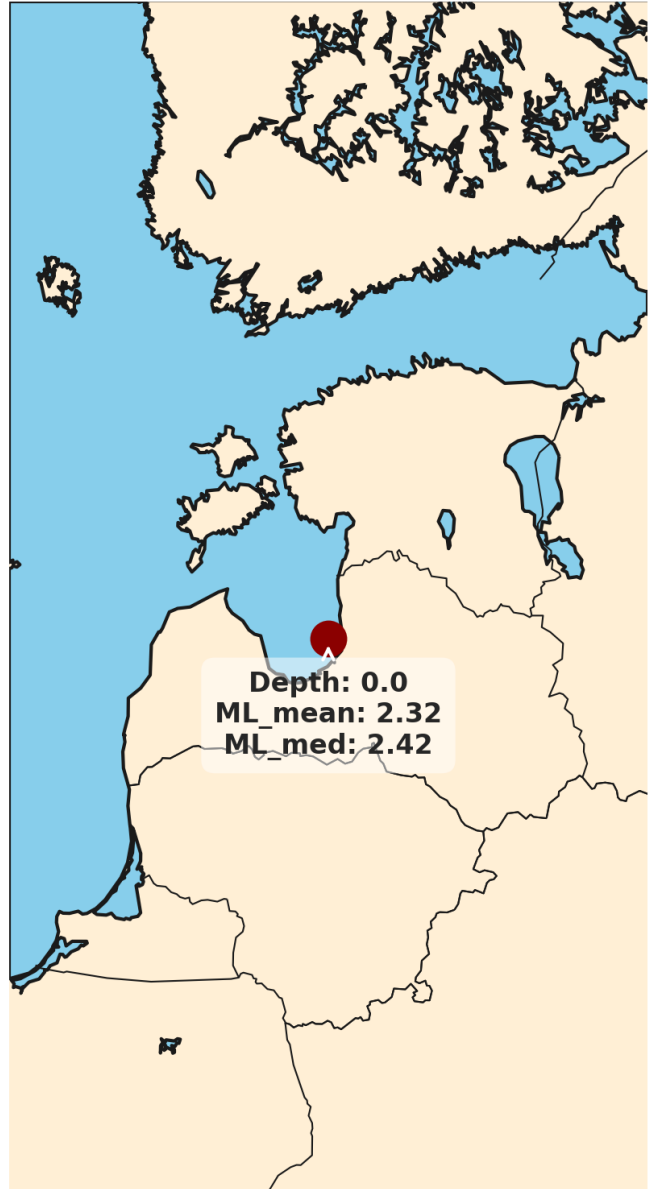


■ EQTransformer

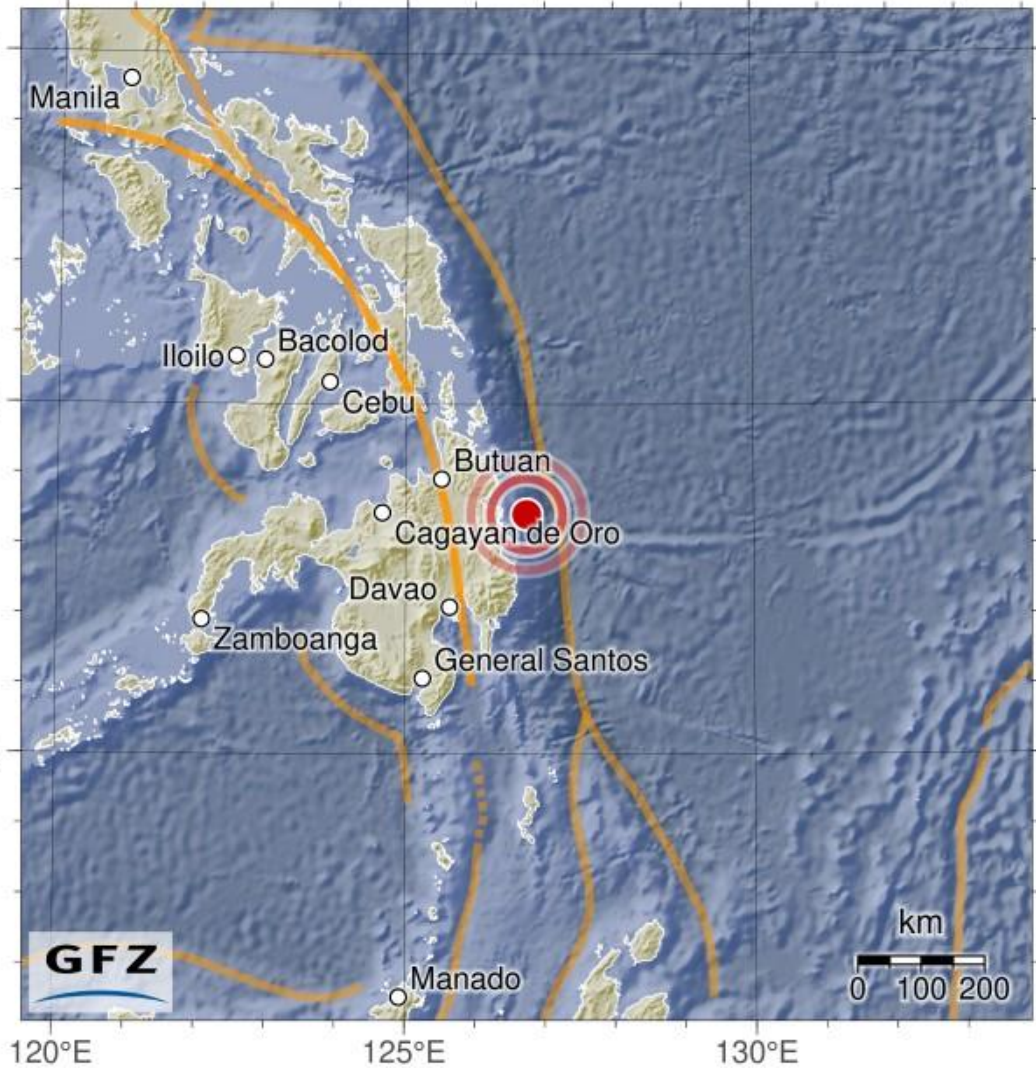
13. attēls. Automātiski atrasta zemestrīce 2023. gada 15. decembrī. Sarkans kvadrāts – P fāze, trijstūris – S fāze

Piemēri

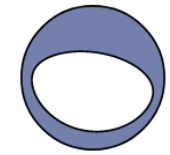
Earthquake Data on 2023-12-02 21:04:37



■ EQTransformer

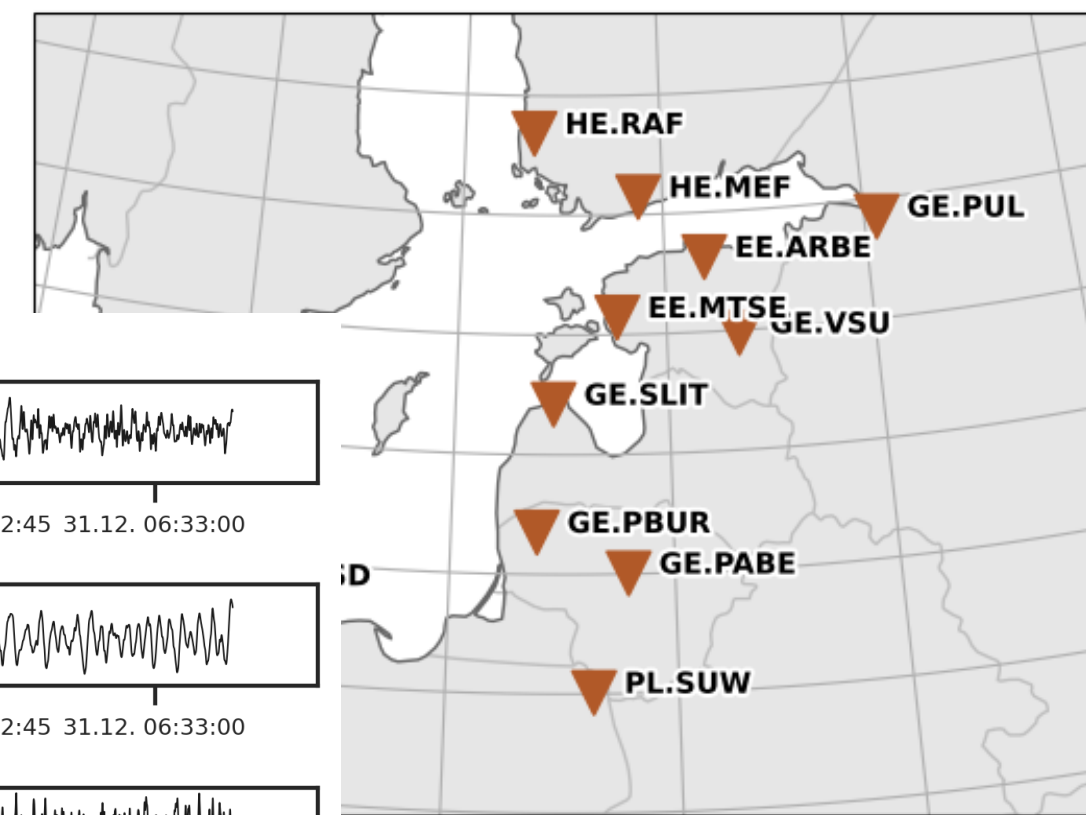


F-E Region Mindanao, Philippines
Time 2023-12-02 20:52:20.6 UTC
Magnitude 6.0 (Mw)
Epicenter [126.74°E 8.43°N](#)
Depth 33 km
Status M - manually revised

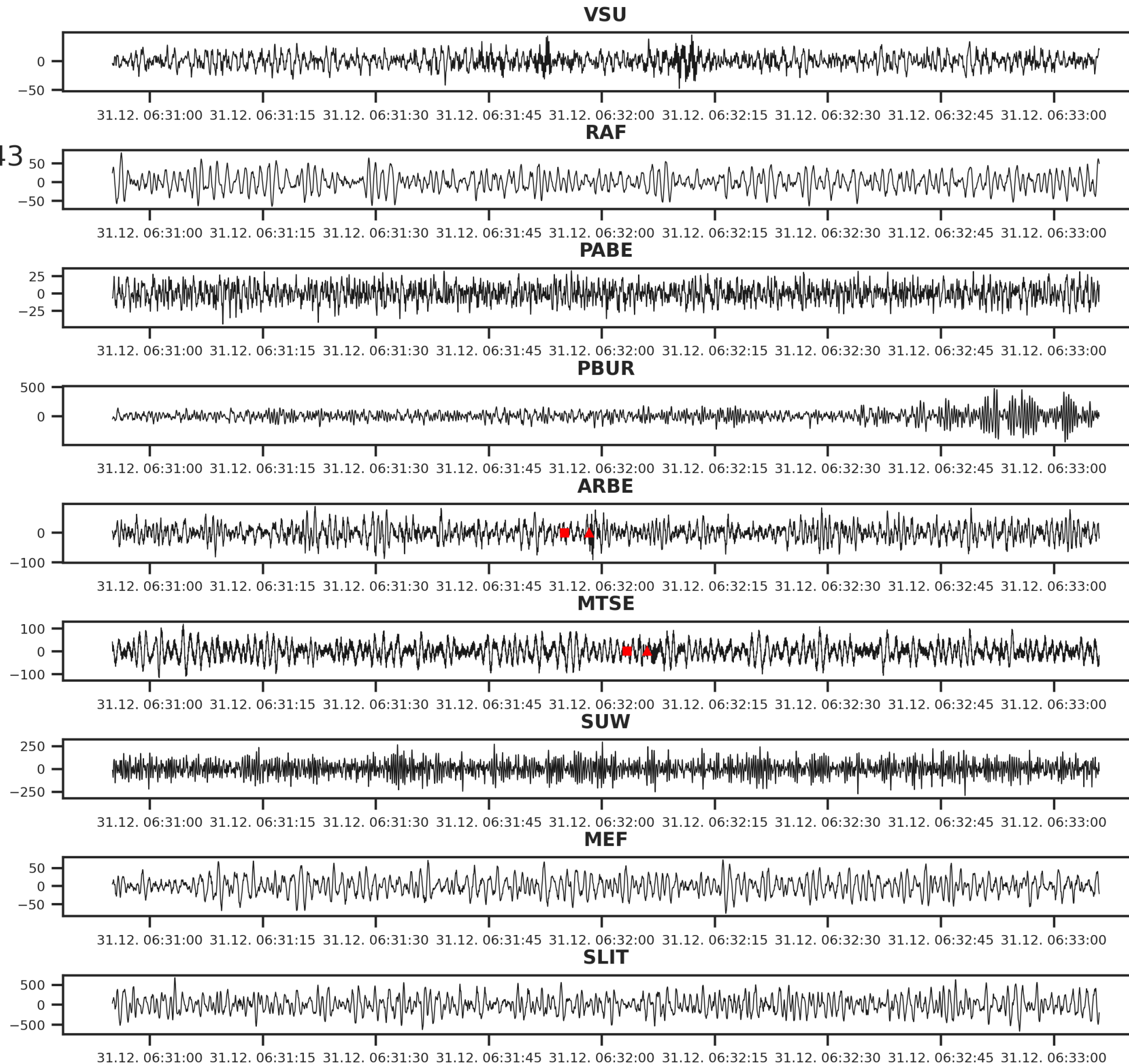
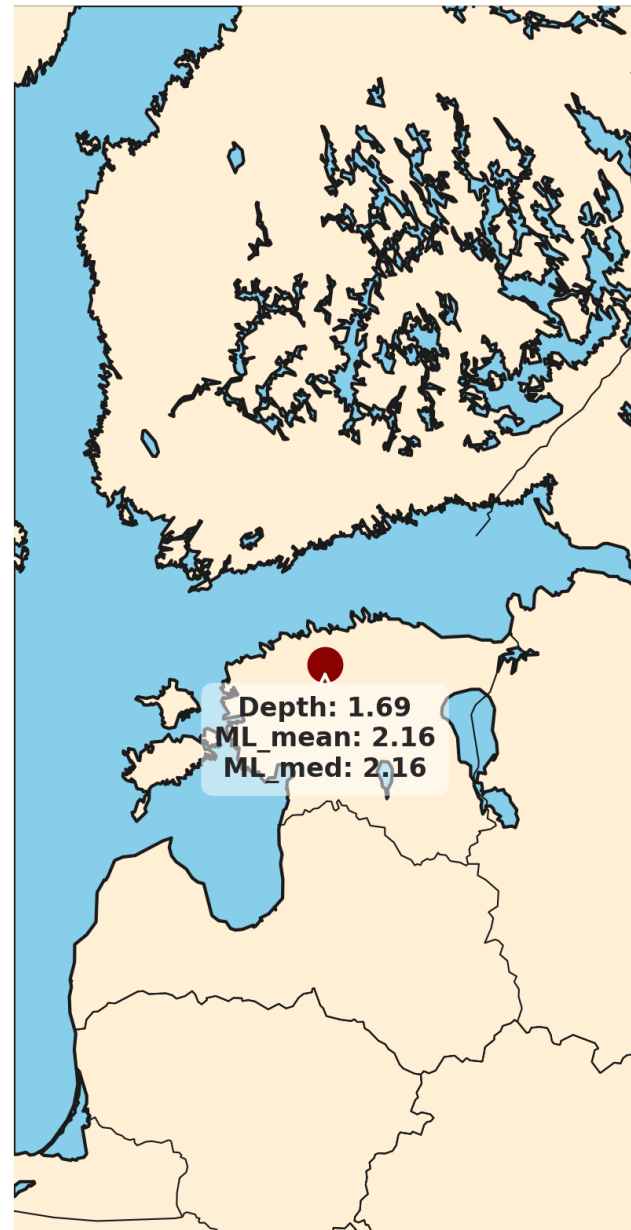


14. attēls. Nepareizi aprēķināta teleseismiskā zemestrīce. Sarkans kvadrāts – P fāze, trijstūris – S fāze

Piemēri



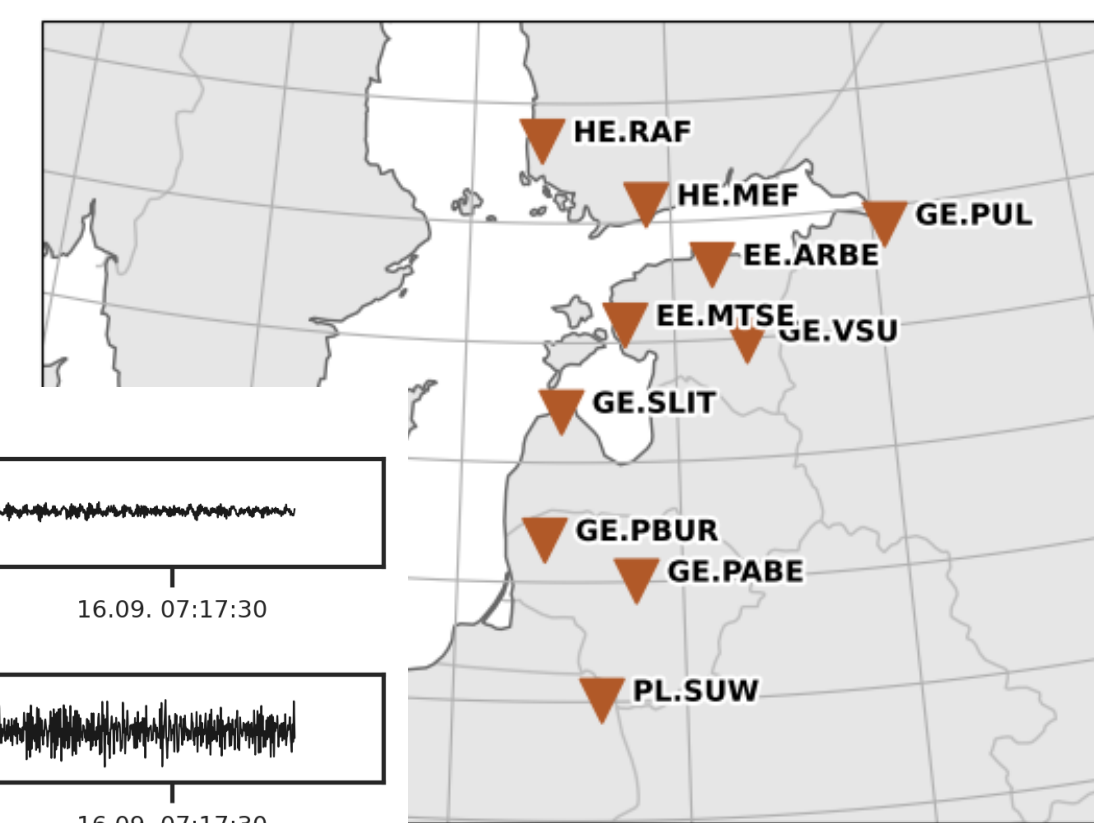
Earthquake Data on 2023-12-31 06:31:43



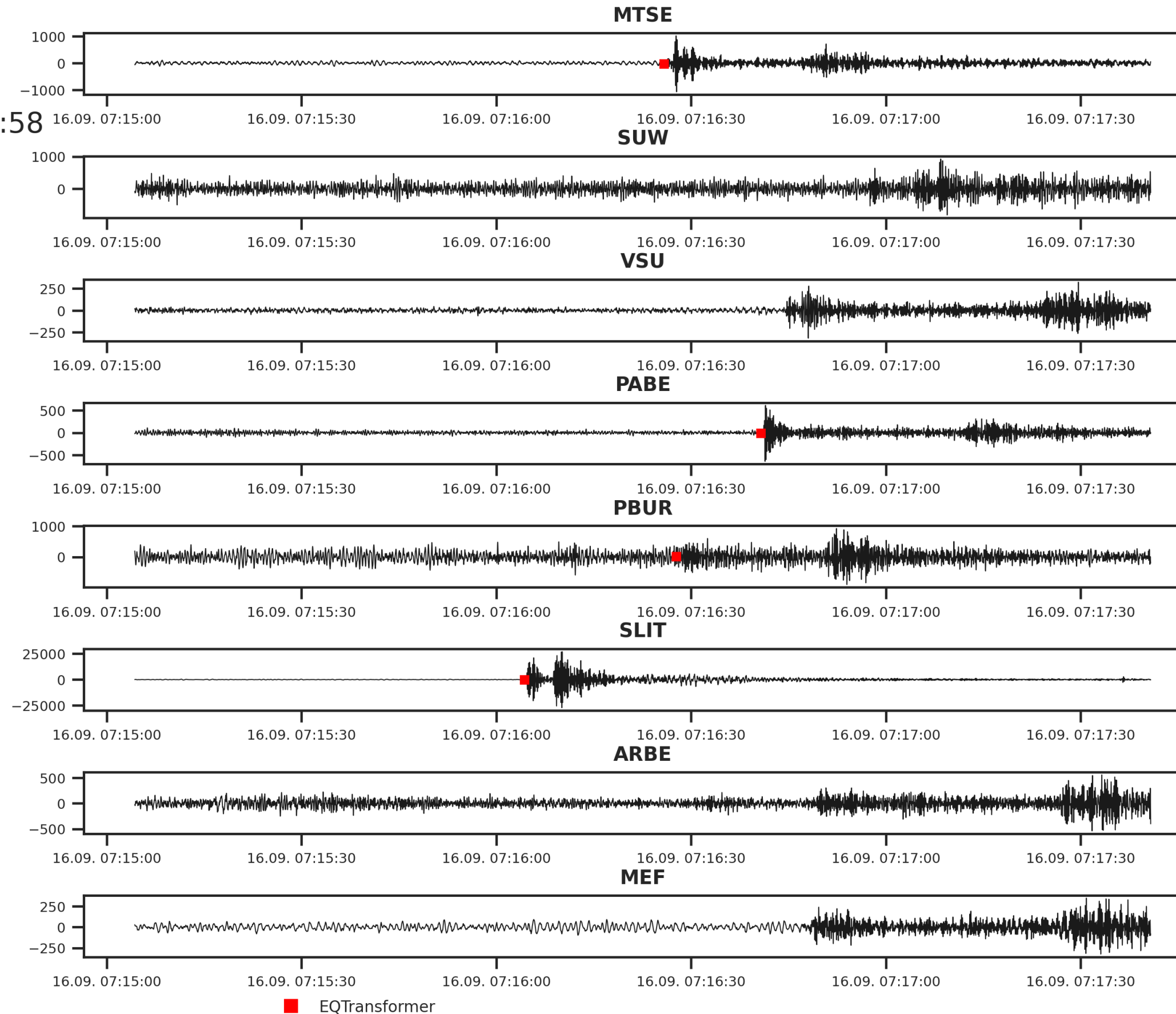
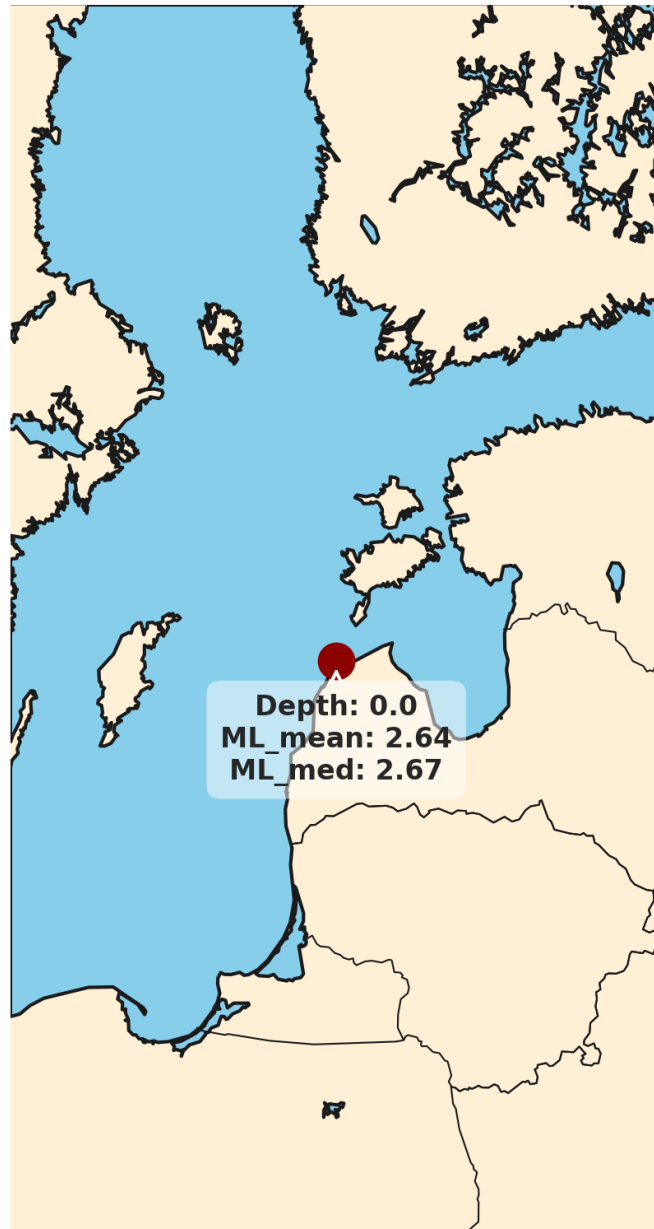
■ EQTransformer

15. attēls. 31.12.2023. Zemestrīce, ko algoritms atradis Igaunijas Ziemeļos. Sarkans kvadrāts – P fāze, trijstūris – S fāze

Piemēri



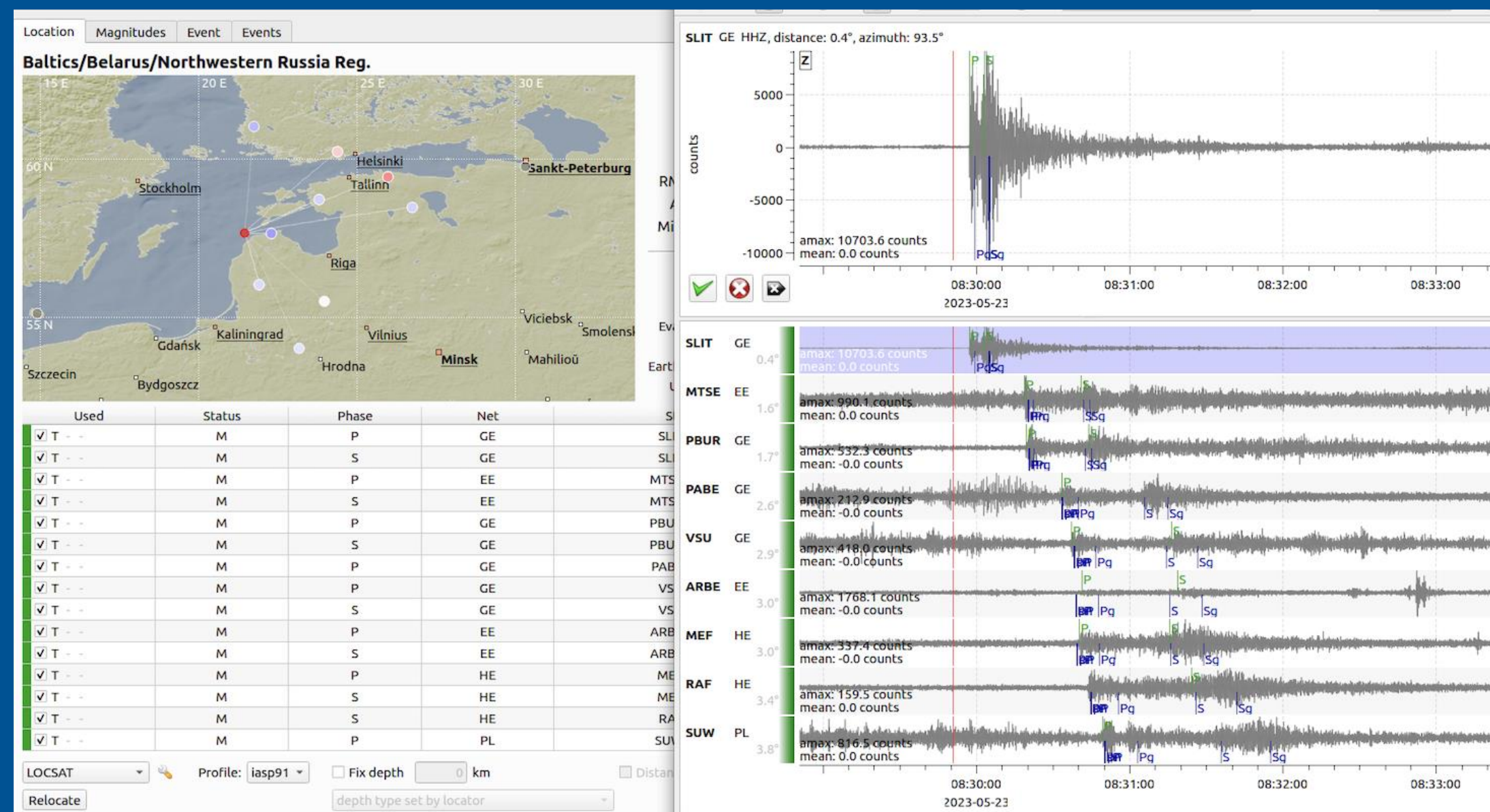
Earthquake Data on 2023-09-16 07:15:58



16. attēls. 16.09.2023. Notikums, ko algoritms atradis Latvijas piekrastē, pie Slīteres. Sarkans kvadrāts – P fāze, trijstūris – S fāze

Secinājumi un nākotnē paredzēti uzlabojumi

- Automātiskais notikumu meklēšanas algoritms strādā labi, bet nepieciešama cilvēka iesaiste notikumu verifikācijā
- Teleseismiskās zemestrīces bieži tiek klasificētas nepareizi
- Nākamais solis – statistiska analīze algoritma precizitātei
- Nepieciešams pārbaudīt, vai citi mašīnmācīšanās algoritmi veiksmīgāk neatrastu trūkstošās fāzes
- Bez automatizēšanas, sistēmā nepieciešams darbs pie lokālo magnitūdu korekcijas ieviešanas



18. attēls. Apstrādāts notikums seiscomp sistēmā.
2023. gada 23. maijs

Literatūras saraksts

- (1) IASPEI standard phase list. Pieejams: <http://www.isc.ac.uk/standards/phases/>
- (2) Zhu, W., McBrearty, I. W., Mousavi, S. M., Ellsworth, W. L., & Beroza, G. C. (2022). Earthquake Phase Association using a Bayesian Gaussian Mixture Model. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, *127*(5). <https://doi.org/10.1029/2021JB023249>
- (3) Bogdanova, S., Gorbatshev, R., Grad, M., Janik, T., Guterch, A., Kozlovskaya, E., Motuza, G., Skridlaite, G., Starostenko, V., Taran, L., & Groups, P. W. (2006). EUROBRIDGE : new insight into the geodynamic evolution of the East European Craton. *Geological Society, London, Memoirs*, *32*, 599–625. <https://doi.org/10.1144/GSL.MEM.2006.032.01.36>
- (4) IASPEI, 2011. New Manual of Seismological Observatory Practice (NMSOP-2). GFZ Potsdam library.
- (5) Woollam, J., Münchmeyer, J., Tilmann, F., Rietbrock, A., Lange, D., Bornstein, T., Diehl, T., Giunchi, C., Haslinger, F., Jozinović, D., Michelini, A., Saul, J., & Soto, H. (2022). SeisBench—A Toolbox for Machine Learning in Seismology. *Seismological Research Letters*, *93*(3), 1695–1709. <https://doi.org/10.1785/0220210324>
- (6) Zandersons, V., Karušs, J., Brants, M., 2023. Automatic Induced Seismic Event Detection in Low-seismicity Areas. IUGG General Assembly 2023 Berlin. Conference proceedings.
- (7) Beyreuther, M., Barsch, R., Krischer, L., Megies, T., Behr, Y., & Wassermann, J. (2010). ObsPy: A Python Toolbox for Seismology. *Seismological Research Letters*, *81*(3), 530–533. <https://doi.org/10.1785/gssrl.81.3.530>
- (8) Klein, Fred. W. (2014). *User's Guide to HYPOINVERSE-2000, a Fortran Program to Solve for Earthquake Locations and Magnitudes*.

Paldies par uzmanību!
Jautājumi?



**UNIVERSITY
OF LATVIA**