

Evaluation and optimization of local seismic networks operating in conditions of shallow and intense seismic activity in order to improve the accuracy of earthquake localization

One of the main tasks of seismic monitoring is the localization of seismic events. The locations are used in determining geological structures such as tectonic plate boundaries or faults and constitute crucial input data for seismic hazard analysis, which is of significant importance for the safety of people and infrastructure in seismically active regions. To monitor seismic activity, seismic networks are built, consisting of a set of sensors recording ground vibrations.

The primary goal of this doctoral thesis is to propose a comprehensive method for the evaluation and optimization of local seismic networks recording intense and shallow seismicity in terms of accurate determination of earthquake epicenters. Our method consists of two main stages. The first is the *evaluation* of the network, including an analysis of the quality of seismic stations, an analysis of the influence of picking and velocity model on localization results, and checking whether the network geometry allows recording events with assumed location errors. Based on the results, decisions are made regarding corrections related to input data and data processing. The second stage is the optimization of the seismic network, involving adjustments to the configuration of seismic stations and making corrections resulting from network evaluation. After the optimization process, the location uncertainty distribution is re-evaluated. Our method is distinguished by a unique approach to estimating the ranges of seismic stations based on the detection probability of individual stations. The ranges are then used to calculate the distribution of location uncertainty and to optimize the network geometry.

The solution has been tested using the LUMINEOS network as a case study. The network has been employed to monitor seismicity induced by mining activities in the Legnica-Głogów Copper District (LGCD). The choice of this network was dictated by the possibility of validating the results using data from existing underground seismic networks in the LGCD area, belonging to the KGHM company. The declared uncertainty in determining the earthquake epicenters for these networks is only a few tens of meters, which is due to the proximity of the events' foci to the seismometers and the simplicity and accuracy of the velocity model. Comparison of earthquake locations from the LUMINEOS network with declared more accurate locations from underground seismic networks allowed for the assessment of the calculated location uncertainty distributions and facilitated the selection of the most optimal solutions to improve the location accuracy for the LUMINEOS network.

Ewaluacja i optymalizacja lokalnych sieci sejsmicznych pracujących w warunkach płytkiej i intensywnej aktywności sejsmicznej w celu poprawienia dokładności lokalizacji wstrząsów

Jednym z głównych zadań monitoringu sejsmicznego jest lokalizacja ognisk wstrząsów sejsmicznych. Lokalizacje wspomagają wyznaczanie struktur geologicznych takich jak granice płyt tektonicznych lub uskoki oraz stanowią kluczowe dane wejściowe między innymi do analizy hazardu sejsmicznego, która ma istotne znaczenie dla bezpieczeństwa ludzi i infrastruktury w rejonach zagrożonych sejsmicznie. W celu monitorowania aktywności sejsmicznej buduje się sieci składające się z zestawu czujników rejestrujących drgania (tj. sejsmometrów, akcelerometrów itp.).

Głównym celem pracy doktorskiej jest zaproponowanie wszechstronnej metody służącej do ewaluacji i optymalizacji lokalnych sieci sejsmicznych rejestrujących intensywną, płytką sejsmiczność pod kątem dokładności wyznaczenia epicentrow wstrząsów. Zaproponowana przez nas kompleksowa metoda składa się z dwóch głównych etapów. Pierwszy z nich to *ewaluacja sieci*, obejmująca analizę jakości stacji sejsmicznych, wpływu pikowania i modelu prędkościowego na wyniki lokalizacji, oraz sprawdzenie, czy geometria sieci umożliwia rejestrowanie wstrząsów z założonymi błędami lokalizacji. Na podstawie tej analizy podejmowane są decyzje dotyczące wprowadzenia korekt związanych z danymi wejściowymi lub przetwarzaniem danych. Drugim etapem jest *optymalizacja sieci sejsmicznej*, obejmująca dostosowanie konfiguracji stacji sejsmicznych i wprowadzenie korekt wynikających z oceny sieci. Po zakończeniu procesu optymalizacji następuje ponowne oszacowanie rozkładu niepewności lokalizacji uwzględniające wprowadzone korekty. Nasza metoda wyróżnia się unikalnym podejściem do szacowania zasięgów stacji sejsmicznych na potrzeby obliczenia rozkładu niepewności lokalizacji oraz optymalizacji geometrii sieci, opartym na prawdopodobieństwie detekcji przez poszczególne stacje.

Rozwiązanie zostało przetestowane na przykładzie sieci LUMINEOS, wykorzystywanej do monitorowania sejsmiczności indukowanej działalnością górnictwem w Legnicko Głogowskim Okręgu Miedziowym (LGOM). Wybór tej sieci był podyktowany możliwością walidacji wyników dzięki istniejącym w rejonie LGOM podziemnym sieciom sejsmicznym, należącym do kopalni miedzi KGHM. Ich niepewność wyznaczania epicentrum wstrząsów wynosi zaledwie kilkadziesiąt metrów, co wynika z bliskości wstrząsów do sejsmometrów oraz prostoty i dokładności modelu prędkościowego. Porównanie lokalizacji wstrząsów z sieci LUMINEOS z deklarowanymi dokładniejszymi lokalizacjami z podziemnych sieci sejsmicznych pozwoliło ocenić obliczone rozkłady niepewności lokalizacji oraz wspomogło wybór najbardziej optymalnych rozwiązań w celu poprawy dokładności lokalizacji dla sieci LUMINEOS.