

**OCENA MOŻLIWOŚCI LOKALIZACJI
DETEKTORA DO BADAŃ ASTROFIZYCZNYCH
W POKŁADZIE SOLI KAMIENNEJ
KOPALNI POLKOWICE-SIEROSZOWICE**

**Assessment of possibilities for underground neutrino detector location
in rock salt bed in Sieroszowice-Polkowice Mine**

**Jarosław ŚLIZOWSKI¹, Kazimierz URBAŃCZYK², Leszek LANKOF¹
& Karolina SERBIN¹**

¹Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN;

ul. Wybickiego 7, 31-261 Kraków; e-mail: slizow2@min-pan.krakow.pl

²Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Górnictwa Surowców Chemicznych CHEMKOP Sp. z o.o.;

ul. Wybickiego 7, 31-261 Kraków

Od paru lat trwają prace badawcze w ramach unijnego projektu LAGUNA, w których uczestniczy Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN. LAGUNA jest akronimem od Large Apparatus studying Grand Unification and Neutrino Astrophysics. Chodzi tu o nowy, olbrzymich rozmiarów detektor neutrin, który służyłby do rejestracji neutrin reliktowych, słonecznych, pochodzących z wybuchów gwiazd supernowych, a także wiązki neutrin wysyłanej z CERN. Fizycy i astrofizycy łączą z nim duże nadzieje związane m.in. z teorią silnych oddziaływań i ich unifikacją z oddziaływaniami elektroslabymi, potwierdzeniem rozpadu protonu i wyjaśnieniem przewagi materii nad antymaterią we wszechświecie.

Celem obecnego etapu prac jest wybór lokalizacji i techniczno-ekonomiczna analiza budowy podziemnego laboratorium, w którym byłby umieszczony detektor. W projekcie rozważanych jest siedem lokalizacji przedstawionych na figurze 1, którymi są: kopalnia soli potasowych Boulby w Wielkiej Brytanii, tunel Frejus we Francji, Gran Sasso we Włoszech, tunel Canfranc w Hiszpanii, kopalnia metali Pyhäsalmi w Finlandii, kopalnia Polkowice-Sieroszowice KGHM w Polsce oraz kopalnia soli Unirea w Rumunii. Ostateczny wybór lokalizacji zależeć będzie od kosztów wykonania infrastruktury, oceny bezpieczeństwa funkcjonowania laboratorium w przewidywanym okresie 50 lat i względów fizykalnych, tj. odległości od CERN w Genewie oraz tła naturalnej promieniotwórczości.

Celem prac prowadzonych IGSMiE PAN było rozważenie możliwości wykonania komory dla detektora typu Glaciar w kształcie cylindra o średnicy 74 m i wysokości 38 m, mogącego pomieścić 100 kT ciekłego argonu.

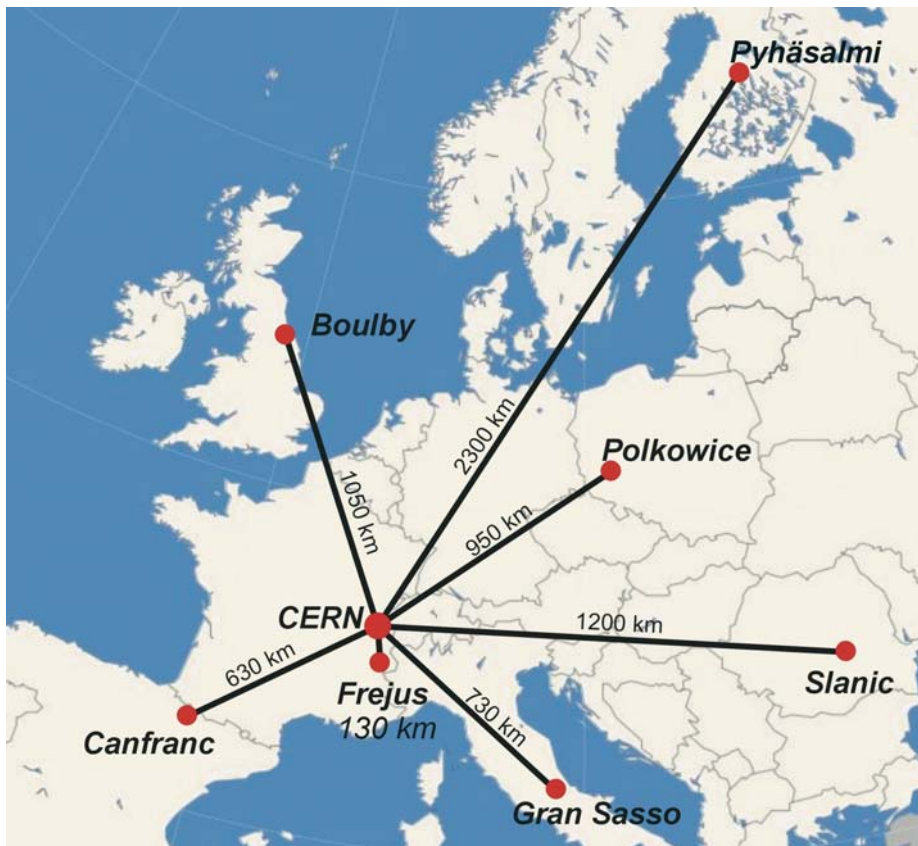


Fig. 1. Rozmieszczenie siedmiu potencjalnych lokalizacji laboratorium

Brano pod uwagę dwie możliwości lokalizacji komory detektora:

- pokład soli najstarszej, zalegającej na głębokości ok 1 km,
- pokład anhydrytu zalegającego na głębokości ok. 650 m p.p.t.

Dotychczas nie wykonywano tak dużych wyrobisk zlokalizowanych na tej głębokości i projektowane prace będą przedsięwzięciem nowatorskim w skali światowej.

Przeprowadzone wstępne rozpoznanie wykazało że wykonanie takiej komory jest możliwe tylko w jednorodnej i niezaburzonej tektonicznie warstwie skalnej – soli lub anhydrycie, przy zachowaniu odpowiedniej odległości od jej granicy. Przykład destrukcji górotworu na pograniczu warstw przedstawia figura 2.

W pierwszej kolejności analizowano możliwość lokalizacji komory w warstwie soli.

Wykonano studium parametryczne określające wpływ rozmiarów wyrobiska na zasięg jego oddziaływania. W przypadku soli kamienniej zasięg ten jest bardzo duży ze względu na jej silne właściwości reologiczne, które powodują redukcję naprężeń efektywnych na brzegu komory (w porównaniu z ośrodkami sprężystymi) i ich wzrost w głębi ociosu. Przedstawia to figura 3, na której porównano zasięgi oddziaływania dla trzech rozmiarów komór.



Fig. 2. Zniszczenie ociosu chodnika na kontakcie warstw soli i anhydrytu

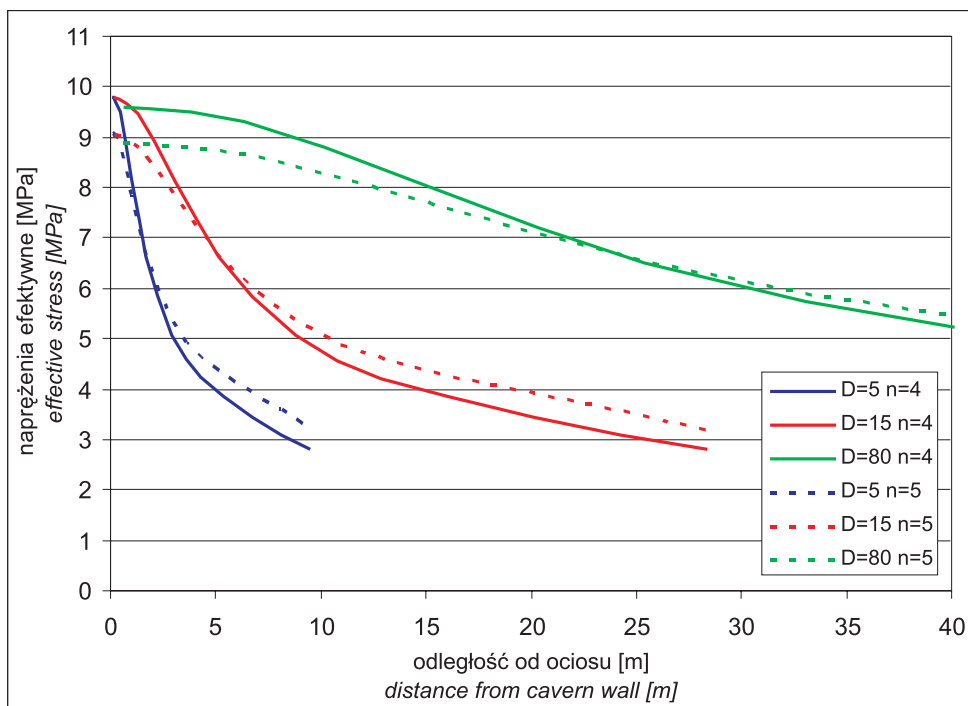


Fig. 3. Naprężenia efektywne w górotworze solnym dla różnych rozmiarów komór

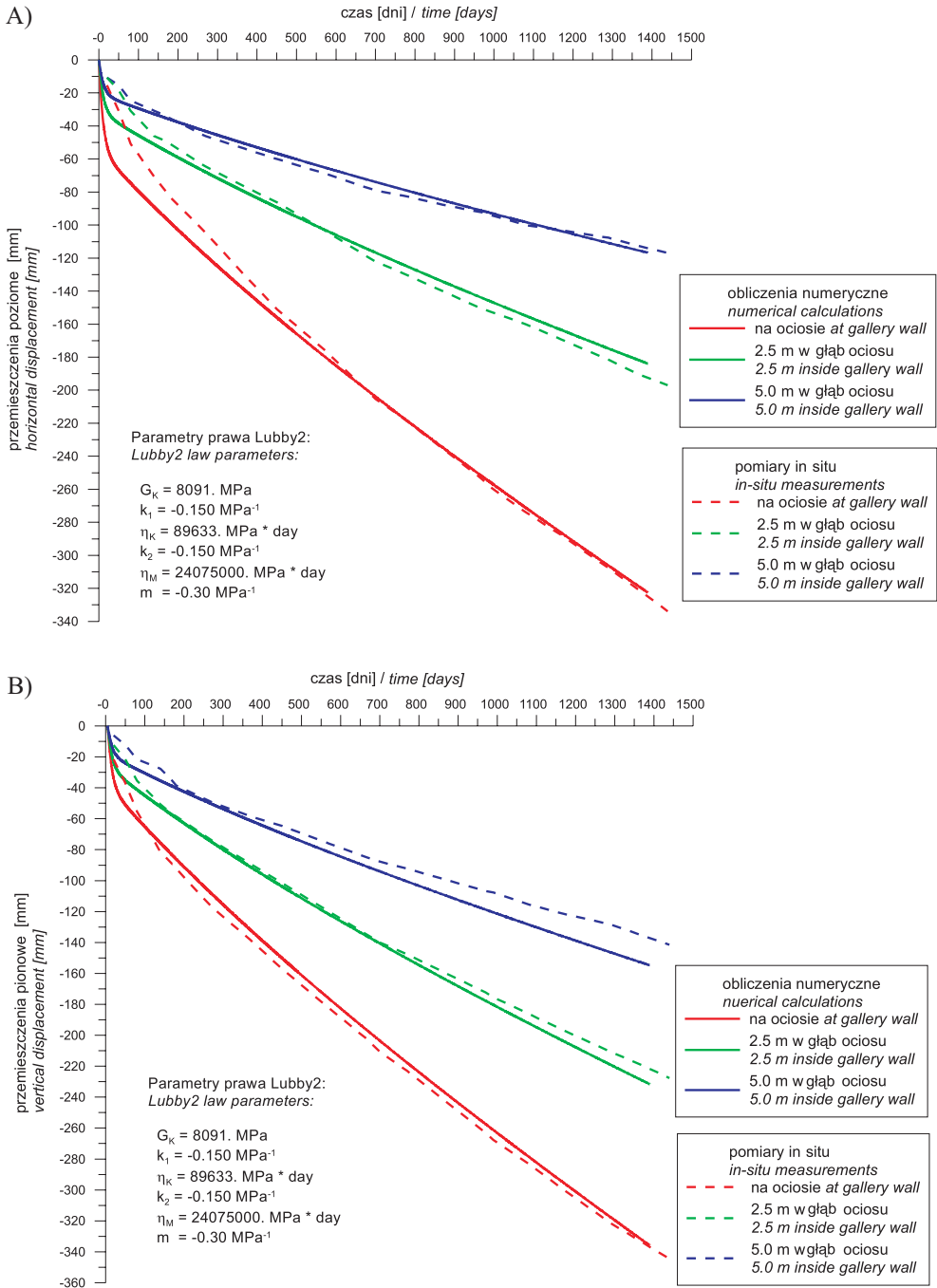


Fig. 4. Dopasowania do pomiarów konwergencji *in situ* w kopalni Sieroszowice. Prawo Lubby2:
A) konwergencja horyzontalna; B) konwergencja pionowa

Podstawowe znaczenie dla możliwości zastosowania wyników ma prawo pełzania użyte w obliczeniach. Z tego powodu wykonano niezależne symulacje, stosując dwa różne prawa pełzania Nortona i Lubby2, których parametry, zgrubnie określone na podstawie badań laboratoryjnych prób soli, uściślono, dopasowując do przemieszczeń *in situ* zmierzonych w kopalni Sieroszowice (Fig. 4).

Główny problem lokalizacji detektora w warstwie soli związany jest jednak z konwergencją, czyli zaciskaniem się wyrobiska w czasie. Ocenę tego zjawiska oparto na obliczeniach numerycznych symulujących zachowanie się skał solnych w otoczeniu komory modelami numerycznymi dwu- i trójwymiarowymi. Stwierdzono, że wysoka konwergencja komory stanowi problem przy jakiegokolwiek lokalizacji komory w pokładzie soli. Mimo że warstwy anhydrytu mogą ograniczyć przemieszczenia w górotworze solnym, to przy rozpatrywaniu 50-letniego okresu użytkowania komory trzeba się liczyć z przemieszczeniami rzędu kilku metrów, co przedstawia figura 5. Do podobnych wniosków prowadzi również ekstrapolacja rejestrowanych w kopalni przemieszczeń konturów wyrobisk na wyrobisko większych rozmiarów. Wyniki prac badawczych wskazują więc na brak odpowiedniego marginesu bezpieczeństwa przy tak kosztownej inwestycji.

Z tego powodu ostatecznie zarekomendowano lokalizację komory w pokładzie anhydrytu, po pozytywnym zweryfikowaniu jej stateczności w modelowaniach.

Niezależnie od IGSMiE PAN analizę stateczności wykonało KGHM Cuprum, dochodząc do identycznych wniosków (Pytel 2004, Ślizowski & Urabńczyk 2004).

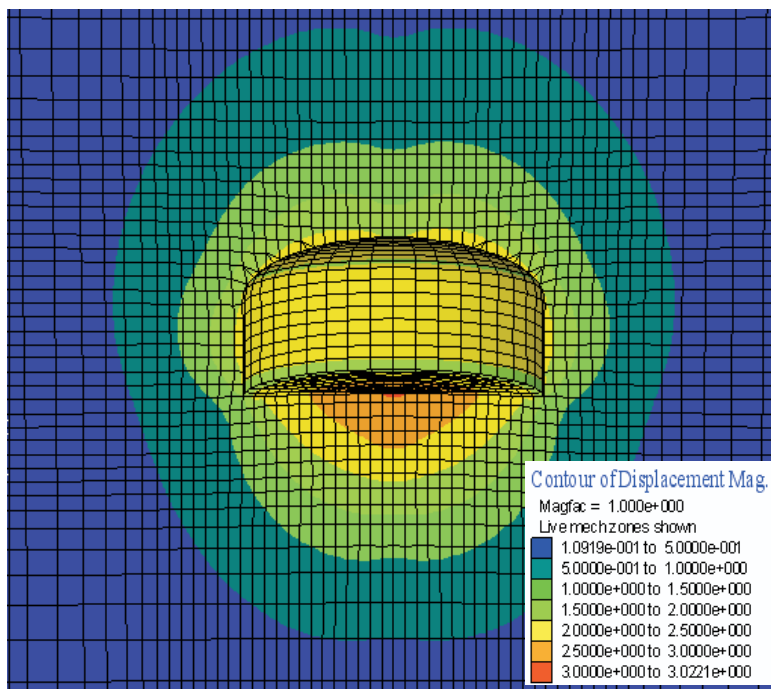


Fig. 5. Przemieszczenia ścian komory zlokalizowanej w pokładzie soli kamiennej

LITERATURA

- Pytel W., 2004. *Salt cavern stability analysis – preliminary study*. KGHM Cuprum, Wrocław.
- Ślizowski J. & Urbańczyk K., 2004. *Influence of depth on rock salt effort around the single chamber*. IGSMiE PAN, Kraków.

Summary

The Mineral and Energy Economy Research Institute of the Polish Academy of Sciences has been participating in the EU LAGUNA project for a few years. LAGUNA is the acronym for Large Apparatus studying Grand Unification and Neutrino Astrophysics. It means a new, huge detector of neutrinos, which could be used to register relic, solar and supernovae neutrinos as well as neutrino beams emitted from CERN. Physicists and astrophysicists have great expectations of the detector connected with strong interactions theory and grand unification, proton decay search, or accounting for dominance of matter in the Universe.

Seven potential localizations, presented in figure 1 are considered in the project, including potash mine Boulby in the UK, Frejus tunnel in France, Gran Sasso in Italy, Canfranc tunnel in Spain, metal mine Pyhäsalmi in Finland, Polkowice-Sieroszowice mine which is part of LGOM (Legnica-Głogów Copper Area) in Poland and the salt mine Unirea in Romania. The final selection of location will depend on cost of the investment, safety assessment for the planned period of 50 years of functioning of the laboratory and on physics reasons like the distance from CERN in Geneva and the background of natural radioactivity.

The aim of the work of the IGSMiE PAN was to assess the possibilities of excavation of a chamber for detector Glacier, which is a cylinder with a diameter of 74 m and a height 38 m filled with 100 kT of liquid argon.

Two types of geological structures were considered:

- 1) rock salt bed (PZ1) at about 1 km depth,
- 2) anhydrite layer at a depth of about 650 m below ground level.

Such large-scale chambers have not yet been excavated at this depth and the proposed work would be an innovative project.

A preliminary study has shown that the excavation of such a chamber is possible only in a homogeneous and tectonically stable layer of rock salt or anhydrite, while maintaining sufficient distance from the border. Example of rock destruction at the border of layers is shown in figure 2.

Location of chamber in rock salt was considered at first. The numerical calculations (parametrical study) were carried out to determine the effects of excavation size on the range of chamber influence on rock massif in chamber vicinity. In the case of rock salt, the range of influence is very large due to its strong rheological properties, which cause reduction of effective stress at the chamber wall (as compared to elastic bodies) and an increase at the chamber bottom. Figure 3 shows the comparison of chamber influence ranges for three sizes of chambers.

Creeping law is of essential importance to modeling results applicability. For this reason, two creeping laws were independently used in the simulation: Norton law and Lubby2 law. Parameters in these laws, roughly estimated after laboratory tests of salt samples, were next fitted to the displacements measured *in situ* in the Sieroszowice mine.

However, the main problem of detector location in the layer of rock salt is associated with the convergence i.e. loss of chamber volume in time. Analyses of the issue were based on numerical calculations that simulate the behavior of rock salt in the chamber vicinity using two and three-dimensional numerical models. It was found that the high convergence of the chamber would be a significant problem for any location in rock salt. Although anhydrite layers restrict the movement of rock salt massif, considering the 50-year period of chamber operation one may think of several meters of chamber wall displacement as shown in figure 5. Similar conclusions were deduced from an extrapolation of the wall displacements measured at the mine galleries to the chamber of larger dimensions. The results of the research showed a lack of a sufficient margin of safety for such a costly investment.

Finally, anhydrite layer was recommended as the host rock formation for the detector chamber, and its stability was positively verified in modeling.

Besides IGSMiE PAN, independent stability assessment was performed by KGHM Cuprum leading to the same conclusions (Pytel 2004, Ślizowski & Urbańczyk 2004).