

GEODEZYJNY MONITORING DEFORMACJI POWIERZCHNI TERENU NA OBSZARZE GZW

GEODETIC MONITORING OF GROUND SURFACE DEFORMATION IN THE GZW AREA

Hanna Romanik - Wydział Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji,
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

DOI:10.5604/01.3001.0055.5144

Streszczenie

Górnośląskie Zagłębie Węglowe (GZW) to jeden z najważniejszych obszarów górniczych w Europie, dysponujący zasobami węgla kamiennego, które według Państwowego Instytutu Geologicznego mogą pokryć nawet 80% krajowego zapotrzebowania na ten surowiec. Intensywna eksploatacja prowadzona głównie pod ziemią skutkuje jednak powstawaniem deformacji powierzchni terenu, co rodzi potrzebę systematycznego monitorowania tych zjawisk. Zadanie to realizuje geodezyjny monitoring deformacji, polegający na cyklicznym wykonywaniu pomiarów tych samych punktów w terenie i porównywaniu wyników z wartościami odniesienia. Obserwacje tego typu są kluczowe z punktu widzenia ochrony infrastruktury technicznej, zabytków oraz nieruchomości położonych na obszarach górniczych i pogórniczych.

W ramach zadania 7 projektu EPOS-PL+ prowadzono monitoring deformacji w rejonie Kopalni Węgla Kamiennego Marcel. W latach 2021–2023 wykonano pięć kampanii pomiarowych obejmujących sieć punktów reprezentujących powierzchnię terenu. Prace terenowe realizowane były przez Studenckie Koło Naukowe Geodetów Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu z wykorzystaniem klasycznych technik pomiarowych: niwelacji geometrycznej, tachimetrii oraz GNSS/RTN. Dzięki temu uzyskano współrzędne prostokątne płaskie z dokładnością $<0,03$ m oraz wysokości punktów z błędem $<0,01$ m, co pozwoliło na precyzyjną analizę przemieszczeń, z których najistotniejsze były pionowe osiadania.

Analiza wyników umożliwiła wskazanie obszarów największych deformacji, a następnie opracowanie profili niwelacyjnych obrazujących tempo i kierunek zmian w kolejnych kampaniach pomiarowych. Tego typu dane, przekazywane do działu mierniczego kopalni, stanowią cenne narzędzie wspierające procesy decyzyjne, m.in. dotyczące ewentualnego ograniczenia lub przerwania eksploatacji w celu minimalizacji zagrożeń dla powierzchniowych obiektów i infrastruktury.

Słowa kluczowe: geodezja, monitoring

Abstract

The Upper Silesian Coal Basin (GZW) is one of the most important mining areas in Europe, with hard coal resources that, according to the Polish Geological Institute, could cover up to 80% of the country's demand for this raw material. However, intensive underground mining causes surface terrain deformations, which necessitate systematic monitoring. Geodetic monitoring of deformations involves cyclic measurements of the same points in the field and comparing the results with reference values. Such observations are crucial for the protection of technical infrastructure, historical monuments, and properties located in mining and post-mining areas.

Within Task 7 of the EPOS-PL+ project, deformation monitoring was conducted in the area of the Marcel Hard Coal Mine. Between 2021 and 2023, five measurement campaigns were carried out covering a network of points representing the terrain surface. Fieldwork was performed by the Student Scientific Society of Surveyors at the Wrocław University of Environmental and Life Sciences using classical measurement techniques: geometric leveling, tacheometry, and GNSS/RTN. This allowed obtaining planar coordinates with an accuracy of <0.03 m and point heights with an error of <0.01 m, enabling precise analysis of displacements, with vertical subsidence being the most significant.

Analysis of the results made it possible to identify areas with the largest deformations and to develop leveling profiles illustrating the rate and direction of changes over successive measurement campaigns. These data, provided to the mine's survey department, serve as a valuable tool supporting decision-making processes, including the potential restriction or suspension of mining operations to minimize risks to surface structures and infrastructure.

Keywords: geodetic, monitoring

Wstęp

Geodezyjny monitoring deformacji jest jednym z kluczowych narzędzi oceny wpływu podziemnej eksploatacji górniczej na środowisko przyrodnicze i antropogeniczne na powierzchni. Szczególne znaczenie tego rodzaju badań uwidacznia się w regionach silnie uprzemysłowionych i zurbanizowanych, takich jak Górnośląskie Zagłębie Węglowe (GZW), gdzie intensywna eksploatacja węgla kamiennego prowadzona jest od ponad stu lat (WNP Górnictwo, 2009). Deformacje powierzchni terenu towarzyszące podziemnej eksploatacji górniczej obejmują głównie jego osiadanie oraz, w mniejszym stopniu, ruchy poziome. Powstawanie pustek w przestrzeni pokładu węglowego prowadzi do złożonych procesów geomechanicznych, w wyniku których dochodzi do zaburzenia stanu równowagi naprężeń w ośrodku skalnym. Następstwa tych procesów prowadzą do uszkodzenia budynków, zniekształcenia infrastruktury drogowej, zmiany stosunków wodnych czy zagrożenia dla instalacji podziemnych (Kaszkowska, 2007). Prawidłowo prowadzony monitoring geodezyjny pozwala na wczesne wykrycie tych zjawisk oraz ocenę ich dynamiki i rozmiaru.

Metody

W ramach realizacji zadań projektu EPOS-PL+ (System Obserwacji Płyty Europejskiej), którego jednym z konsorcjantów był Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, przeprowadzono geodezyjny monitoring deformacji powierzchni terenu w rejonie Markłowic. Jest to miejscowość położona w powiecie Wodzisławskim na Górnym Śląsku, na terenie której wydobywanie podziemne prowadzone jest w kopalni węgla kamiennego Marcel. Wybór obszaru nie był przypadkowy, wskazany on został przez Główny Instytut Górnictwa jako szczególnie aktywny sejsmicznie oraz narażony na zmiany na powierzchni terenu. Prace rozpoczęto w 2021 roku i trwały aż do końca trwania projektu EPOS-PL+ - do roku 2023. Kontynuowane są aktualnie dalej przez Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu przy wsparciu Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego w ramach programu SPUB.

W 2021 roku, zastabilizowano sieć kontrolno-pomiarową obejmującą 250 punktów obejmując swoim obszarem nieco ponad 20 km dróg utwardzonych i gruntowych (Instytut Geodezji i Geoinformatyki Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, 2021). Sieć rozszerzana była w kolejnych latach o nowe odcinki dróg, na których obserwowane były deformacje.



Rys. 1. Lokalizacja obszaru badań w rejonie Markłowic. Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z projektu

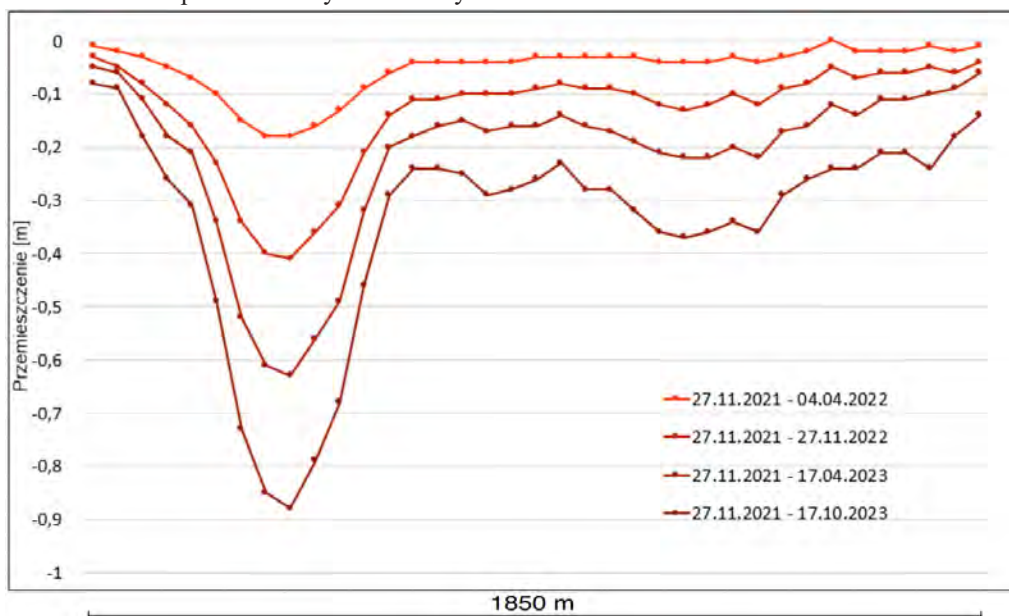
Aktualnie składa się z blisko 400 punktów, zajmując swoim obszarem ponad 450 hektarów (Geoforum, 2023), co stanowi ponad 32% (Geoportal Krajowy - Marklowice, n.d.) powierzchni gminy Marklowice. Monitoring ma na celu cykliczne określanie zmian położenia punktów należących do sieci kontrolno-pomiarowej metodami klasycznymi (niwelacja, GNSS, tachimetria). Zebrane dane pomiarowe tworzą rozbudowaną bazę informacji, obejmującą zarówno surowe obserwacje, jak i wyniki ich przetwarzania. Dane te służą do walidacji map deformacji powierzchni terenu, które powstają na podstawie danych fotogrametrycznych, skaningu laserowego (LIDAR) oraz technik interferometrii radarowej SAR (InSAR, DInSAR).

Studenckie Koło Naukowe Geodetów Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, odpowiedzialne było za wykonywanie terenowych pomiarów geodezyjnych. Kampanie pomiarowe odbywały się z częstotliwością 2 razy w roku - wiosną i jesienią. Założeniem każdej z nich było wyznaczenie wysokości punktów sieci kontrolno-pomiarowej z błędem $m_h < 0,01$ m oraz współrzędnych prostokątnych płaskich z błędem $m_p < 0,03$ m. Wyższa wymagana dokładność w odniesieniu do pomiarów wysokościowych

wynika z ciągłych zmian powierzchni terenu związanych z prowadzoną eksploatacją górniczą. W związku z powyższym, nawiązanie wysokościowe dla pomiarów niwelacyjnych zostało zrealizowane w oparciu o niwelację satelitarną GNSS, przeprowadzoną na sześciu wybranych punktach sieci, położonych na obszarach Marklowic, gdzie nie było planowane wydobywanie w latach 2021 - 2023.

Wyniki i dyskusja

Po zakończeniu prac terenowych, wyniki pomiarów poddano procesowi wyrównania sieci metodą najmniejszych kwadratów. Wyrównanie przeprowadzono z wykorzystaniem oprogramowania geodezyjnego, a jego wynikiem był spójny zestaw wysokości punktów dla każdej z pięciu kampanii pomiarowych. Umożliwiło to analizę zmian wysokościowych w czasie, które przedstawione zostały na profilach przemieszczeń. Do szczegółowego omówienia dynamiki deformacji powierzchni terenu wybrano trzy reprezentatywne profile pomiarowe, na których zaobserwowane największe wartości osiadań punktów, oznaczone jako A, B oraz C.



Rys. 2. Profil A – osiadanie terenu w rejonie Marklowic. Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z projektu

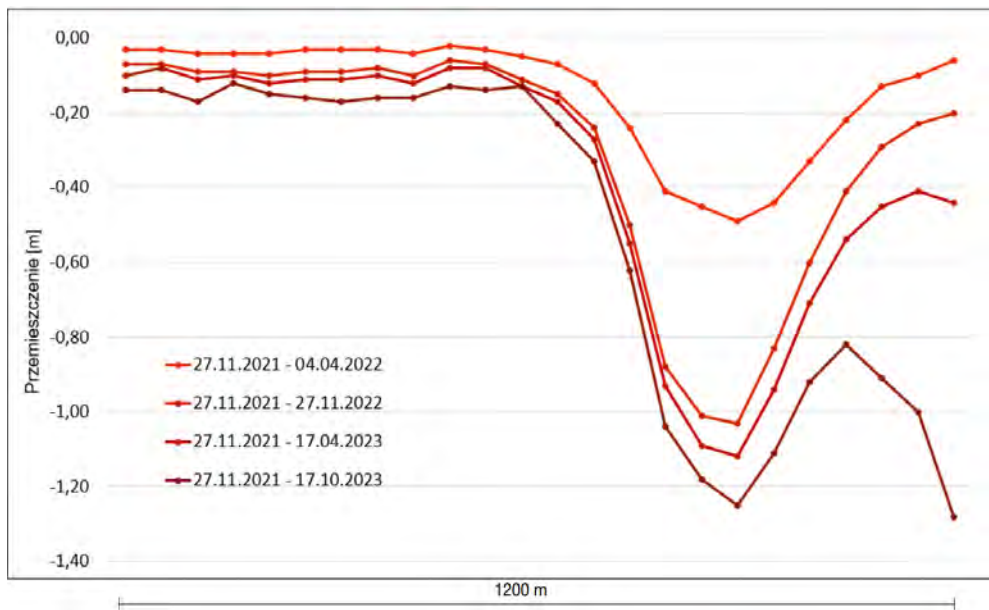
wynikała z charakteru deformacji na takich terenach, gdzie obserwuje się głównie osiadania punktów.

Wyniki przemieszczeń punktów sieci udostępniono do działu mierniczego kopalni Marcel, co umożliwiło dokładniejszą predykcję deformacji, opierającą się dotychczas na znacznie mniejszej liczbie punktów pomiarowych na tym obszarze. Pomiary zrealizowane w ramach projektu EPOS-PL+ stanowią przykład skutecznej współpracy nauki i przemysłu w zakresie badań nad wpływem eksploatacji górniczej na środowisko oraz bezpieczeństwo infrastruktury i ludności. Efektywność podjętych działań potwierdzono w kolejnych kampaniach pomiarowych, które wykazały stabilizację w niektórych rejonach objętych ograniczeniami eksploatacyjnymi.

W wyniku przeprowadzonej analizy, stwierdzono, że wszystkie punkty geodezyjnej osnowy wysokościowej zlokalizowane w promieniu 5 kilometrów od badanego obszaru posiadają nieaktualne wysokości. Taki stan rzeczy

Na profilu A widocznym na Rysunku 2 przedstawiono typowy przebieg zmian powierzchni w bezpośrednim otoczeniu eksploatowanego złoża. Na przestrzeni kolejnych kampanii pomiarowych zaobserwowano równomierne tempo osiadania wynoszące około 0,20 m w sześciomiesięcznym interwale, co wskazuje na stałą intensywność wpływów eksploatacyjnych. Na wykresie wyraźnie zaznacza się obecność leja osiadań – charakterystycznej formy deformacyjnej. Lej ten stanowi obszar największych osiadań i może być szczególnie niebezpieczny dla infrastruktury naziemnej.

Profil B widoczny na Rysunku 3 obejmuje teren przejściowy pomiędzy zasięgiem oddziaływań dwóch różnych zakładów górniczych: KWK „Marcel” oraz KWK „Jankowice”. W pierwszym analizowanym przedziale czasowym (między kampanią pierwszą a drugą) zarejestrowano gwałtowne osiadanie o wartości około 0,40 m, po czym teren ustabilizował się w okresie pomiędzy trzecią a czwartą kampanią pomiarową. Jednak w końcowym odcinku linii pomiarowej,



Rys. 3. Profil B – osiadanie terenu w rejonie Markłowic. Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z projektu

położonym już w zasięgu eksploatacji prowadzonej przez KWK „Jankowice”, zaobserwowano wyjątkowo intensywne osiadania rzędu 1 metra w ciągu zaledwie pół roku. Taka dynamika przemieszczeń jednoznacznie wskazuje na aktywną działalność wydobywczą w tym rejonie i potwierdza potrzebę stałego monitoringu również na granicach wpływów kilku kopalń.

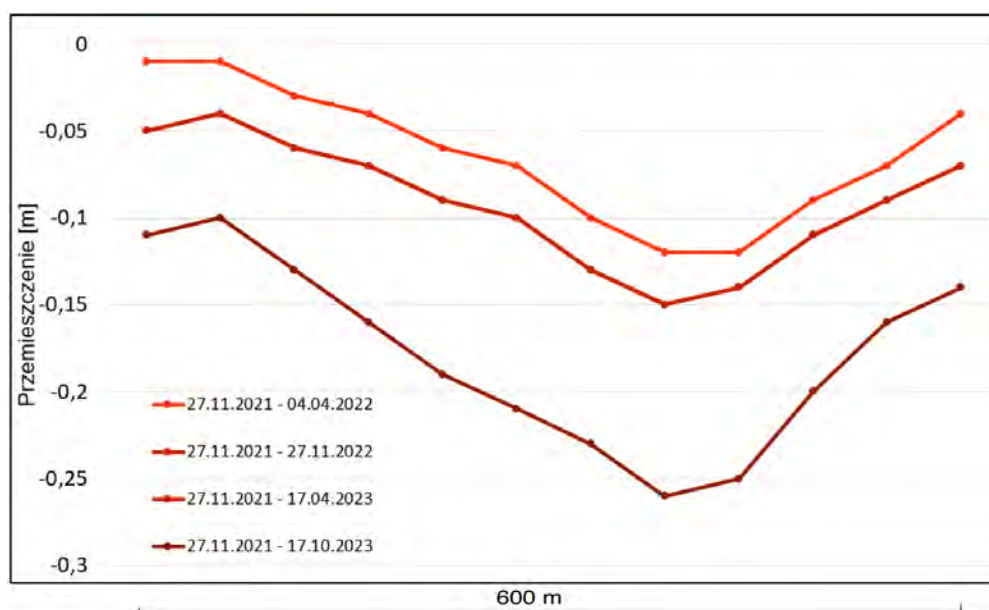
Rysunek 4 ukazuje profil C, na którym zaprezentowano bardziej złożony przebieg zmian wysokościowych, charakteryzujący się nieregularną dynamiką przemieszczeń. Początkowo, pomiędzy kampanią I a II, odnotowano osiadanie rzędu 0,10 m, które następnie uległo zahamowaniu – w okresie między kampanią III a IV teren pozostawał stabilny. Jednakże kolejne pomiary (IV – V kampania) ujawniły ponowną aktywizację osiadania.

Przedstawione profile stanowią jedynie wycinek całości przeprowadzonych analiz, jednak pozwalają na sformułowanie ogólnych wniosków dotyczących charakteru i zmienności deformacji w rejonie Markłowic. Obserwowana różnorodność form i intensywności osiadań potwierdza

istotność prowadzenia dalszego monitoringu geodezyjnego, szczególnie w kontekście zagrożeń dla bezpieczeństwa infrastruktury.

Podsumowanie

W dalszej części prac zaplanowano wykonanie analizy przemieszczeń sytuacyjnych punktów - oprócz niwelacji wykonywano każdorazowo pomiar RTK, z którego wyznaczono współrzędne X, Y punktów sieci. Dodatkowo na obszarze Markłowic wykonywano pomiary LIDAR i fotogrametryczne z pułapu drona, a także obszar monitorowany był techniką InSAR. Celem dalszym prac jest wytworzenie powierzchniowych map deformacji dla tego terenu i walidacja ich z wykorzystaniem danych z niwelacji.



Rys. 4. Profil C – osiadanie terenu w rejonie Markłowic. Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z projektu

Literatura

- [1] Instytut Geodezji i Geoinformatyki Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu. (2021, 7 grudnia). *Wyjazd studyjny studentów II roku kierunku Geodezja i Kartografia*. <https://www.igig.up.wroc.pl/?menu=Aktualnosci&id=482>
- [2] WNP.pl. (2010, 10 października). Oddział KWK Marcel. Wydobycie węgla w Polsce. https://web.archive.org/web/20101010181535/http://gornictwo.wnp.pl/kopalnie/oddzial-kwk-marcel,5162_2_0_0.html
- [3] Kaszowska, O. (2007). *Wpływ podziemnej eksploatacji górniczej na powierzchnię terenu*. Yadda. https://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-article-BAR0-0024-0036/c/httpwww_bg_utp_edu_plartpekol_2007kaszowska.pdf
- [4] Geoforum. (2023, 9 maja). *Studenci mierzyli deformacje terenu na Górnym Śląsku*. <https://geoforum.pl/news/33825/studenci-mierzyli-deformacje-terenu-na-gornym-slasku>
- [5] Studenckie Koło Naukowe Geodetów & Instytut Geodezji i Geoinformatyki, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu. (2022). *Dane pomiarowe dotyczące deformacji terenu KWK Marcel* [Dane niepublikowane].

