

## Eksploracja górnicza w Rudzie Śląskiej – Wirku, deformacje i ochrona kościoła

### Mining extraction in Ruda Śląska –Wirek, deformations and protection of the church building



*Dr hab. inż. Andrzej Kowalski  
prof. GIG\*<sup>\*)</sup>*



*Dr inż. Piotr Gruchlik\*<sup>\*)</sup>*



*Mgr inż. Piotr Polanin\*<sup>\*)</sup>*



*Mgr inż. Krzysztof Kielbiowski\*\*<sup>\*\*)</sup>*



*Dr inż. Tadeusz Rutkowski\*\*<sup>\*\*)</sup>*

*Słowa uczq,  
przykłady kształcq.  
NN.*

**Treść:** W artykule dokonano syntetycznej oceny dokonanej w latach 2000-2021 eksploatacji czterech pokładów węgla kamiennego, kolejno 416, 418, 413/2 i 414/2 w partii Środkowej ruchu Pokój kopalni Ruda. Eksploatacja była prowadzona pod dzielnicą Wirek i neogotyckim kościołem pod wezwaniem św. Wawrzyńca. Ocena obejmuje historię eksploatacji górnicznej, analizę pomierzonych deformacji na linii pomiarowej i budynku kościoła, a także działań profilaktycznych. Przez cały okres eksploatacji górnicznej był prowadzony monitoring geodezyjny i budowlany deformacji powierzchni i budynku kościoła. Na podstawie wyników pomiarów deformacji powierzchni określono wpływ doszczelniania zrobów zawałowych na zmniejszenie wartości współczynnika eksploatacyjnego. Ponadto określono wpływ prędkości frontu ściany na zmniejszenie prędkości narastania obniżen oraz uszkodzeń budynków.

**Abstract:** The paper presents synthetic evaluation of finished extraction of four hard coal seams respectively 416, 418, 413/2 and 414/2 which had been carried out in Central part of Ruda-Pokój colliery between 2000 and 2021. Mining operations were located in Wirek district and under building of Neo-Gothic style St. Lawrence church. The evaluation includes history of mining operations, analysis of ground deformations along measurement line and deformations of the church building and also prevention operations. Geodetic and building monitoring had been carried out all the time of mining operations which comprises ground deformations and deformation of the church building. On the basis of survey results of ground deformations, the impact of goafs caulking was determined in term of reducing the value of subsidence factor. Moreover, the impact of velocity of face advance was determined in term of reducing of subsidence increments and building damages.

\*<sup>\*)</sup> Główny Instytut Górnictwa

\*\*<sup>\*\*)</sup> PGG KWK Ruda

**Słowa kluczowe:**

eksploatacja górnicza, deformacje powierzchni, profilaktyka górnicza, szkody górniczne

**Keywords:**

mining extraction, ground deformations, mining prevention, mining damages

**1. Wstęp**

Kopalnia „Ruda” Ruch „Pokój” na przełomie lat 2020 i 2021 zakończyła eksploatację ścianami 147 i 148 w pokładzie 414/2, a tym samym swoją działalność. Aktualnie trwa proces likwidacji Ruchu „Pokój”, wcześniej samodzielnej kopalni.

Eksploatacja górnicza była prowadzona, pod zabudową dzielnicy Wirek w Rudzie Śląskiej (rys. 1), w tym pod kościołem pod wezwaniem św. Wawrzyńca, przez około 90 lat. W ubiegłym stuleciu wyeksploatowano głównie pokłady siodłowe (grupy 500), a od 2000 r. eksploatowano pokłady dolnorudzkie, kolejno 416, 418, 413/2 i 414/2 w partii Środkowej „południe” i „północ” złoża „Pokój”. Z uwagi na ochronę zabudowy dzielnicy i użytkowanie kościoła było to istotne przedsięwzięcie.

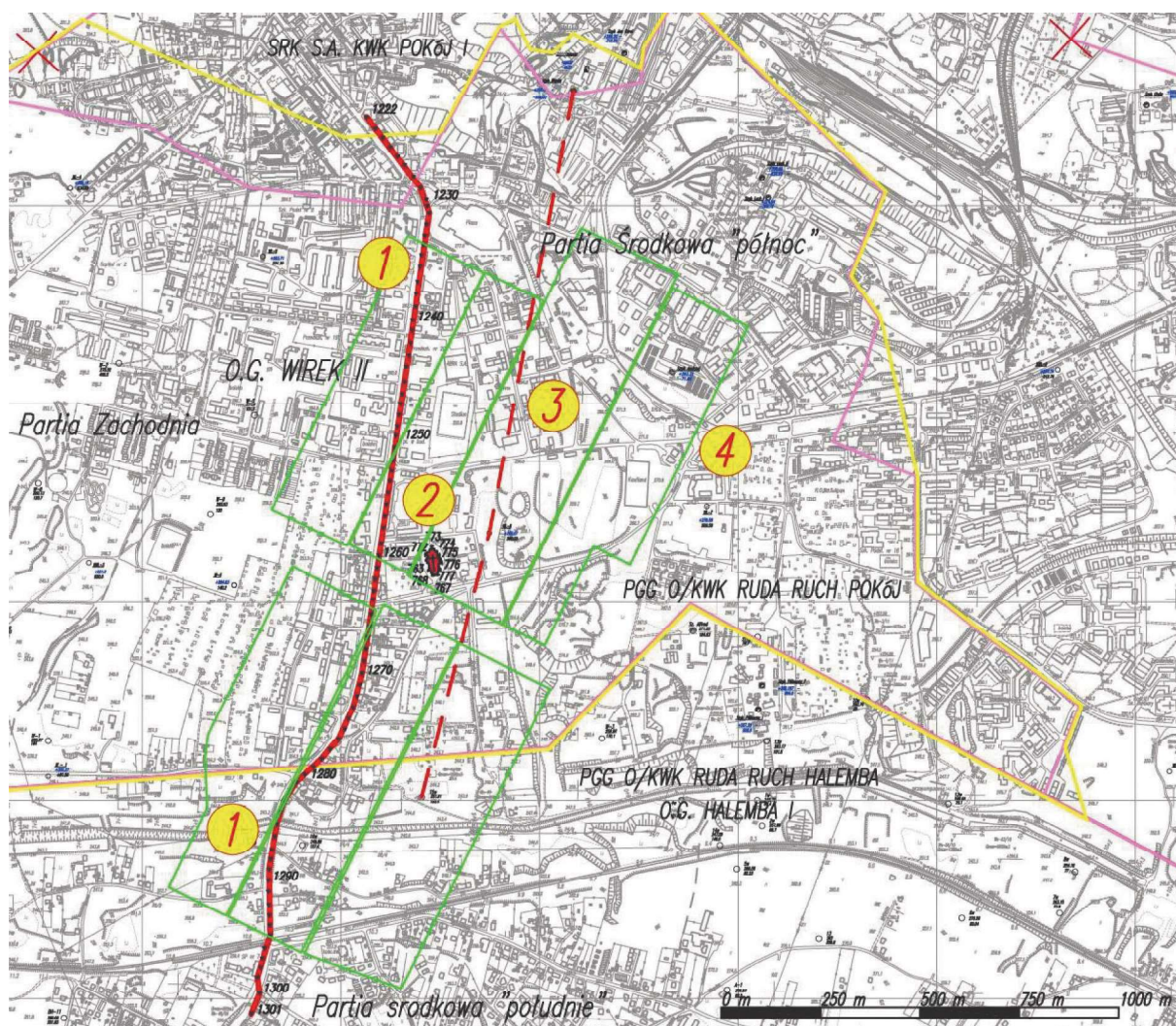
Przez cały okres eksploatacji górnicznej był wykonywany monitoring geodezyjny deformacji powierzchni i budynku

kościół oraz nadzór budowlany. Szczególnie cenne doświadczenia zgromadzono po 2000 roku, zwłaszcza podczas eksploatacji ostatniego pokładu 414/2 w latach 2015-2021.

Celem artykułu jest przedstawienie wyników pomierzonych deformacji wzdłuż głównej ulicy 1-go Maja dzielnicy Wirek i budynku kościoła oraz efektów profilaktyki górnicznej po 2005 roku, kiedy pozostawiono nieeksploatowane resztki w pokładach 416 i 413/2 oraz doszczelniano zroby zawałowe przy użyciu popiołów z elektrowni.

Wyniki geodezyjnych pomiarów deformacji, ich analizy, mają aspekt poznawczy i praktyczny. Zebrane doświadczenia poszerzają wiedzę o technologii eksploatacji górnicznej pod chronionymi obiektami na powierzchni oraz o kształtowaniu się deformacji.

Nadzór naukowy i ekspercki w zakresie górnictwa i budowlanym prowadzili pracownicy Głównego Instytutu Górnictwa i Instytut Techniki Budowlanej.



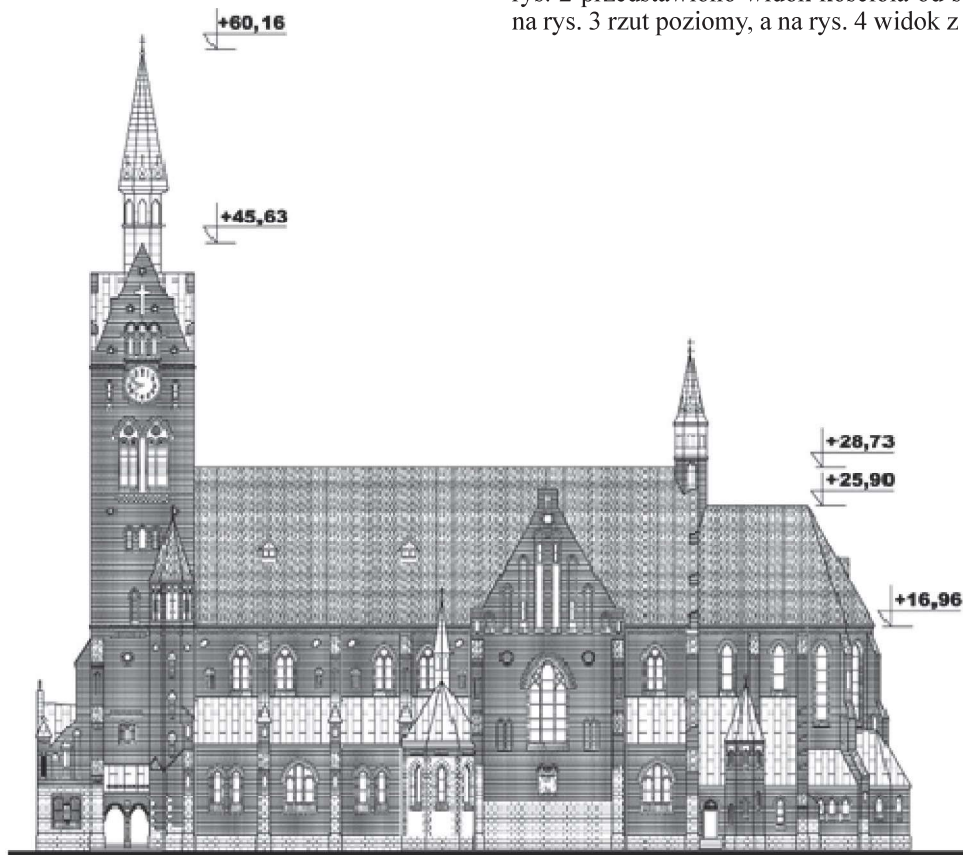
**Rys. 1. Dzielnica Wirek:** 1 – linia pomiarowa wzdłuż ul. 1-go Maja, 2 – budynek kościoła p.w. św. Wawrzyńca, 3 – linia przekroju geologicznego 4 – ściany w pokładzie 413/2 w partii Środkowej

**Fig. 1. Wirek district:** 1 – measurement line along First May Street, 2 – St. Lawrence Church building, 3 – geological cross-section, 4 – longwalls in 413/2 seam in Central part

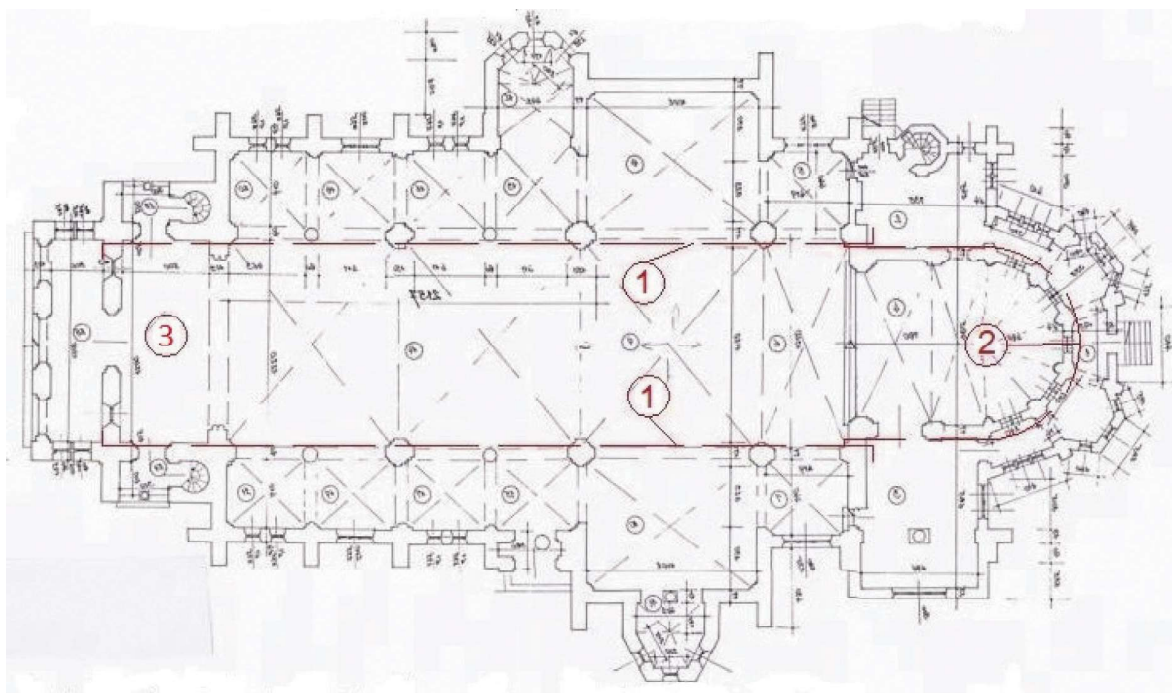
Ocena zgromadzonych danych ma charakter wstępny, ponieważ wykonano ją bezpośrednio po zakończeniu eksploatacji. Przypadek ten stanowi bogaty materiał dla dalszej analizy, w aspekcie oceny skutków eksploatacji pod dzielnicą Wirek.

## 2. Kościół pod wezwaniem św. Wawrzyńca

Kościół pod wezwaniem św. Wawrzyńca w dzielnicy Wirek został zbudowany w 1909 r. w stylu neogotyckim. Na rys. 2 przedstawiono widok kościoła od strony wschodniej, na rys. 3 rzut poziomy, a na rys. 4 widok z góry. Długość ko-



Rys. 2. Elewacja kościoła od wschodniej strony, na kierunku południe-północ (Drobiec i in. 2019)  
Fig. 2. East facade of the church building along south-north direction (Drobiec i in. 2019)



Rys. 3. Rzut poziomy z naniesionym schematem kotwienia kościoła według koncepcji ITB (kolor czerwony), na kierunku południe – północ: 1 – nawa, 2 – absyda, 3 – wieża  
Fig. 3. Horizontal section and bolting schema of church building according to ITB (color red), concept along south-north direction: 1 – the nave, 2 – the apse, 3 – the tower

ściola wynosi 54,0 m, szerokość w transepcie 32,0 m. Absyda ma kształt kolisty. Wieża kościoła ma wysokość 60 m, a jej wymiary w rzucie poziomym wynoszą 11,7 x 22 m. Kościół zbudowany jest z cegły.

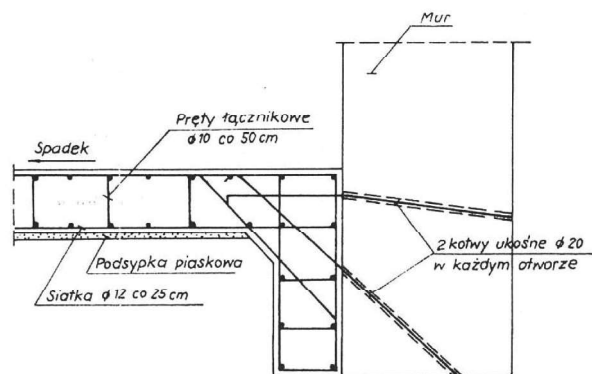
Przed eksploatacją pokładu 507, na przełomie lat 1976/1977, wykonano zabezpieczenie kościoła żelbetową tarczą usztywniającą według koncepcji prof. J. Ledwoń (Ledwoń 1983). Płyta usztywniająca budynek w poziomie terenu, została zrealizowana w obrysie zewnętrznym fundamentów kościoła na ich pełną głębokość. Całość jest połączona z fundamentami kotwami ukośnymi, rys. 5.

W trakcie eksploatacji ostatniej ściany 139 w pokładzie 413/2 i przed rozpoczęciem eksploatacji ściany 146 w pokładzie 414/2, w maju 2017 r., ujawniły się w budynku kościoła uszkodzenia, które zagrażały bezpieczeństwu jego użytkowania. Mając w planie eksploatację kolejnych ścian w pokładzie 414/2 przedsiębiorca górniczy zlecił wykonanie dodatkowego zabezpieczenia. Przede wszystkim zabudowano rusztowanie typu PERI, które utworzyło platformę roboczą chroniącą przed odpadnięciem kawałków cegły i tynku ze sklepienia nawy głównej, transeptu i prezbiterium. Ponadto rusztowanie umożliwiło kontrolę i naprawę sklepień kościoła rys. 6 i 7 (Piecha i in. 2019).



Rys. 4. Widok kościoła z drona, wokół żelbetowa tarcza usztywniająca według koncepcji prof. J. Ledwoń (Mika i in. 2018)

Fig. 4. View of the church building from drone, reinforced concrete shield one around J. Ledwoń

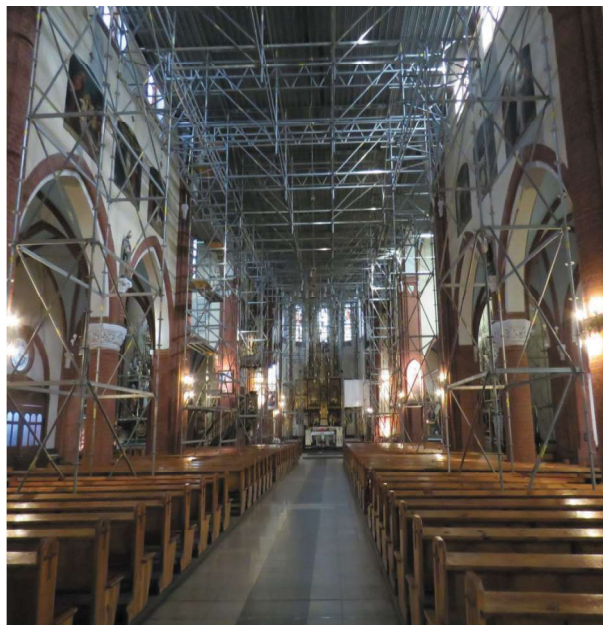


Rys. 5. Schemat żelbetowej tarczy usztywniającej według prof. J. Ledwoń (Ledwoń 1983)

Fig. 5. Schema of reinforced concrete shield one around prof. J. Ledwoń (Ledwoń 1983)

Rusztowanie pozostało w kościele podczas eksploatacji ostatniego pokładu 414/2 i zostanie wykorzystane do wykonania generalnego remontu planowanego po zakończeniu eksploatacji górniczej.

Ponadto przed rozpoczęciem eksploatacji ściany 147 w pokładzie 414/2 wykonano skotwienie wieży kościoła z jego zasadniczą bryłą – nawą (rys. 3). Wzmocnienie bryły kościoła pozwoliło ograniczyć ryzyko odchylania się wieży od bryły głównej kościoła i wystąpienie spękań sklepienia w polu nawy przy wieży. Wykonano też wzmocnienia łuków sklepienia zgodnie z nowatorskim rozwiązaniem T. Niemca, które miało zwiększyć odporność sklepienia na deformacje górnicze (Drobiec i in. 2019).



Rys. 6. Platforma zabezpieczająca sklepienie nawy głównej, transeptu oraz prezbiterium

Fig. 6. Platform protecting the vault of the main nave, transept and presbytery



Rys. 7. Rusztowanie przesuwne do obserwacji naprawy sklepienia

Fig. 7. Scaffolding sliding to observation and repairing of the vault

W trakcie eksploatacji pokładu 414/2 wykonano także naprawę żelbetowej tarczy usztywniającej według koncepcji prof. J. Ledwonía, w czterech miejscach; dwóch od strony zachodniej i dwóch od strony wschodniej, rys. 4 i 8. Uszkodzenie opaski wystąpiło w wyniku oddziaływań poziomych odkształceń o charakterze rozciągania, które spowodowały zerwanie jej zbrojenia i spękania struktury betonu.



Rys. 8. Naprawa tarczy usztywniającej według koncepcji prof. J. Ledwonía

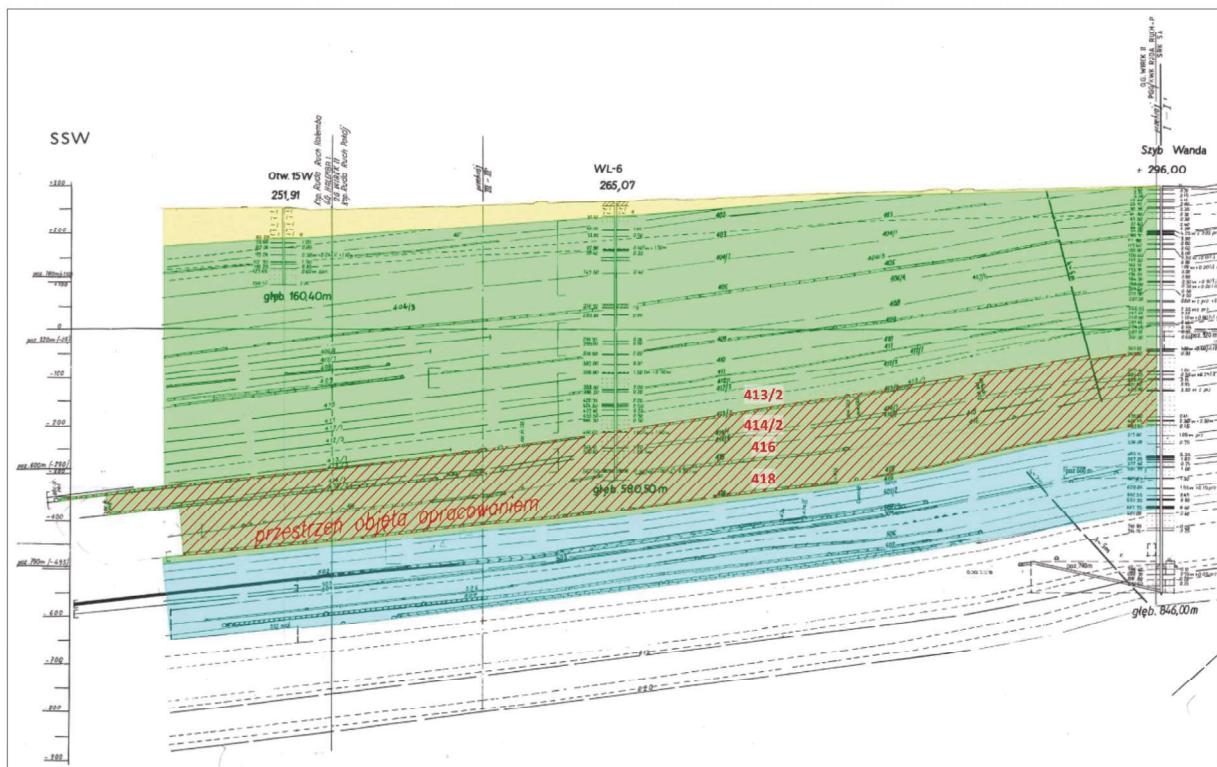
Fig. 8. Repair reinforced concrete shield one around of prof. J. Ledwoń

### 3. Warunki geologiczne i górnicze

#### 3.1. Warunki geologiczne

Na rys. 9 przedstawiono przekrój geologiczny przez partię Środkową złoża o przebiegu z południa na północ, na którym wyróżniono eksploatowane po 2000 r. kolejno pokłady 416, 418, 413/2 i 414/2.

Mięszkość utworów czwartorzędowych jest zmienna, w części południowej wynosi około 65 m i maleje na północy do zera. Czwartorzęd zbudowany jest ze żwirów, piasków różnoziarnistych i glin.



Rys. 9. Przekrój geologiczny przez złoża w partii Środkowej: kolor żółty – czwartorzęd, kolor zielony – warstwy rudzkie, kolor niebieski – warstwy siodłowe, kolor biały – warstwy porębskie (Rutkowski 2019)

Fig. 9. Geological cross-section through coal deposits in Central part: yellow color – Quaternary, green color – Ruda beds, blue color – Zabrze beds, white color – Poruba beds (Rutkowski 2019)

Karbon górny to warstwy rudzkie osiągające miąższość 650 m z pokładami węgla kamiennego o numerach od 401 do 419. Występujące w tych warstwach pokłady cechują się dużą zmiennością grubości i jakości. Skały występujące pomiędzy pokładami są reprezentowane przez piaskowce oraz łupki ilaste i piaszczyste. Miąższości pokładów 413/2 i 414/2 wynoszą około 2,1 m, a pokładów 416 i 418 od 2,5 m do 3,7 m. Warstwy siódłowe, zwane też zabrskimi z pokładami o numerach od 502 do 510 charakteryzują się regularnym zaleganiem, a ich grubość oscyluje około 160 m. Pokłady w nich występujące mają miąższość od 2,0 do 6,0 m.

Warstwy porębskie z pokładami grupy 600 w opisywanym złożu nie mają znaczenia przemysłowego.

Rozciągłość warstw karbońskich jest generalnie zbliżona do kierunku NW-SE z upadem na SW. Kąt zapadania warstw wynosi  $5^{\circ} \div 12^{\circ}$ .

W efekcie prowadzonej eksploatacji górniczej warstwy wodonośne zostały prawie całkowicie osuszone. Pozostałe wody posiadają lokalny zasięg i niewielkie zasoby.

### 3.2. Dokonana eksploatacja górnicza

Eksploatację górniczą w partii Środkowej (pod dzielnicą Wirek) rozpoczęto w 1930 roku, kiedy eksploatowano pokład 405 chodnikami na głębokości 220 m. Następnie eksploatowano dwa pokłady 409 i 411 z podsadzką hydrauliczną. W latach 1970 - 2000 wyeksploatowano siedem warstw w pokładach od 502 do 510, pięć z zawałem stropu i dwie z podsadzką hydrauliczną. Wysokości pokładu lub eksploatowanej warstwy wynosiły od 1,8 m do 3,0 m, a głębokość

eksploatacji zmieniała się w przedziale od 710 do 800 m.

Przedmiotem analizy deformacji jest eksploatacja prowadzona po 2000 r. w czterech pokładach 413/2, 414/2, 416 i 418, głównie z zawałem stropu i doszczelnianiem zrobów. Dane geologiczne i górnicze ścian eksploatacyjnych w tych pokładach przedstawiono w tabeli 1, a ich zakresy na kolejnych rysunkach: w pokładzie 416 - rys. 10, 418 - rys. 11, 413/2 - rys. 12 i 414/2 - rys. 13.

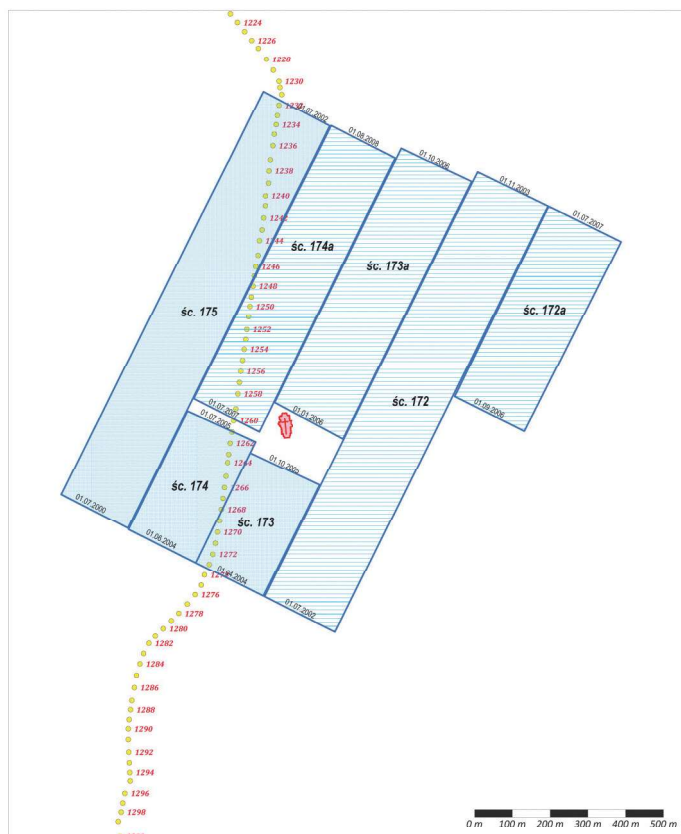
Do 2000 r. wyeksploatowano pokłady o sumarycznej grubości około 27 m, a w latach 2000-2021 około 9,0 m. Ostatnia eksploatacja pokładu 414/2 była prowadzona w warstwie o wysokości 2,1 m na głębokości 500-560 m. Odległość pionowa między pokładami 413/2 i 414/2 wynosi średnio 30 m.

Eksploatacje w pokładach od 413/2 do 418 prowadzono z zawałem stropu z południa na północ, w układzie poprzecznym, co stwarzało dogodną możliwość doszczelniania zrobów popioliami z elektrowni.

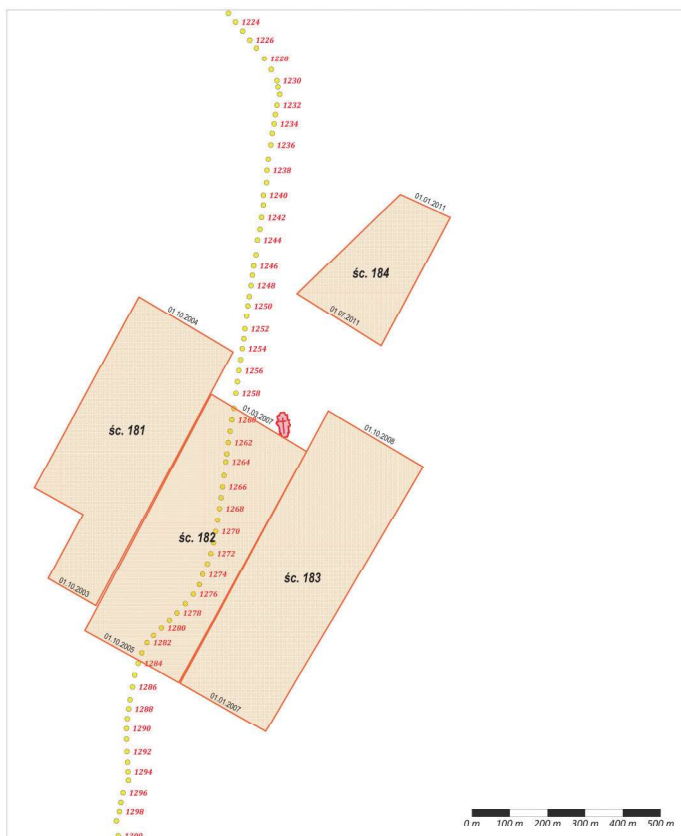
Istotny wpływ na kształtowanie się deformacji powierzchni w partii Środkowej w rejonie kościoła miała eksploatacja w pokładzie 416 (rys. 10), prowadzona początkowo z podsadzką hydrauliczną w warstwie o wysokość 3,1 - 3,7 m (ściany 173 i 174), która z uwagi na obwały skał w stropie została zatrzymana w 2005 r. Nowe ściany 173a i 174a eksploatowano z zawałem stropu i doszczelnianiem zrobów. Pozostawiony filar – resztką w pokładzie 416 – między ścianami 173 i 174 oraz 173a i 174a, był zlokalizowany pod kościołem! Równocześnie z eksploatacją pokładu 416 eksploatowano pokład 418 w części południowej, gdzie eksploatację zakończono w 2008 r. Następnie, na północ od kościoła eksploatowano tylko ścianę 184 w 2011 r. (rys. 11).

**Tabela 1. Zestawienie danych o dokonanej eksploatacji górniczej po 2000 r. w partii Środkowej**  
**Table 1. Dataset of finish mining exploitation after 2000 in Central part**

Pokład/ część	Nr ściany	Czas eksploatacji, lata	Wysokość eksploatacji, m	Głębokość eksploatacji, m	System eksploatacji	Położenie względem kościoła
1	2	3	4	5	6	7
416	175	07.2000-06.2002	3,1	570	podsadzka kamienna	na zachód
	172	07.2002-10.2003	2,7	570	zawał stropu z doszczelnianiem	na wschód
	173	04.2004-09.2005	3,7 3,1 2,1 2,1 2,1	560-570	podsadzka hydrauliczna zawał stropu z doszczelnianiem	na południe
	174	06.2004-06.2005				na północ
	173a	01.2006-09.2006				na zachód
	174a	07.2007-07.2008				na wschód
172a	09.2006-07.2007	na wschód				
418	181	10.2003-09.2004	2,7	650	zawał stropu z doszczelnianiem	na południu
	182	10.2005-02.2007		600	zawał stropu	na północnym wschodzie
	183	01.2007-09.2008				
	184	01.2011-06.2011				
413/2/ Północna	134	01.2007-12.2007	2,1 2,0 2,1 2,1	450-460	zawał stropu z doszczelnianiem	na wschód
	131	02.2008-01.2009				na zachód
	133	04.2009-06.2010				bezpośrednio pod
	132	03.2015-02.2016				na zachód
	Południowa	141	01.2012-03.2013	2,1	530	zawał stropu z doszczelnianiem
140		01.2014-03.2015				
139		07.2016-03.2018				
414/2/ Południowa	143	10.2015-09.2016	2,1	560	zawał stropu z doszczelnianiem	na południe
	144	11.2017-12.2018				
	145	06.2019-03.2020				
Północna	146	07.2017-05.2019	2,1	500	zawał stropu z doszczelnianiem	na wschód
	147	04.2019-12.2020				bezpośrednio pod
	148	03.2020-02.2021				na zachód



Rys. 10. Ściany w pokładzie 416 z lokalizacją linii pomiarowej i kościoła  
 Fig. 10. Longwalls in 416 seam with a location of the measurement line and the church building



Rys. 11. Ściany w pokładzie 418 z lokalizacją linii pomiarowej i kościoła  
 Fig. 11. Longwalls in 418 seam with a location of the measurement line and the church building

Kolejny pokład 413/2 eksploatowano w części północnej ścianami 131-134, a w części południowej ścianami 139-141, pozostawiając między nimi resztkę - filar o szerokości 90 - 120 m (rys. 12). Kościół znalazł się w rejonie krawędzi eksploatacyjnej. Eksploatację w części północnej zakończono w 2016 r., w części południowej w 2018 r.

W ostatnim pokładzie 414/2 eksploatowano wschodnie ściany 143 i 146, pozostawiając pomiędzy nimi w strefie eksploatacji filar (rys. 13). Natomiast kolejne ściany bezpośrednio pod i w sąsiedztwie kościoła eksploatowano „na czysto”, bez filara, najpierw w części południowej - ściany 144 i 145, potem w części północnej - odpowiednio ściany 147 i 148.

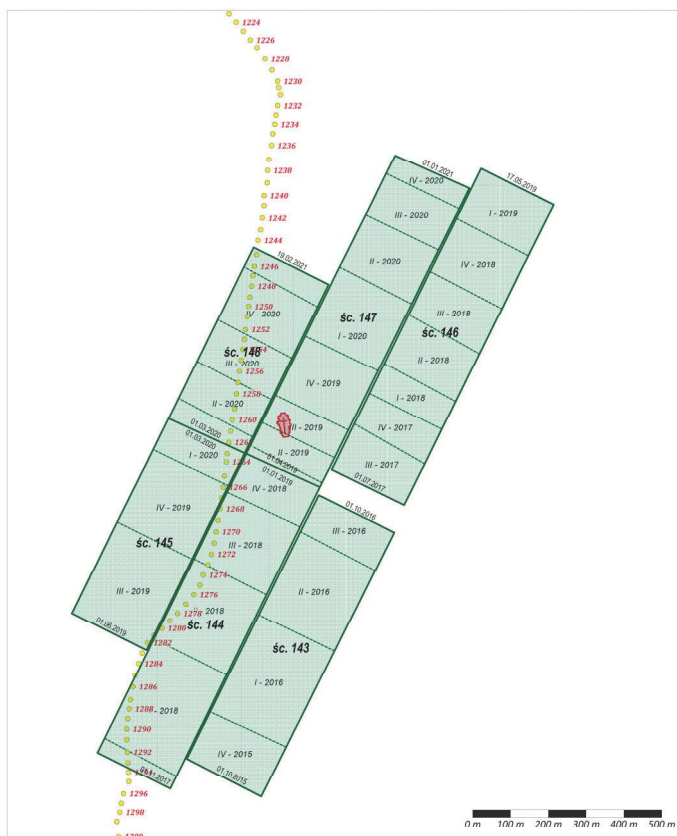
Rys. 12. Ściany w pokładzie 413/2 z lokalizacją linii pomiarowej i kościoła

Fig. 12. Longwalls in 413/2 seam with a location of the measurement line and the church building



Rys. 13. Ściany w pokładzie 414/2 z lokalizacją linii pomiarowej i kościoła

Fig. 13. Longwalls in 414/2 seam with a location of the measurement line and the church building





Eksploracja ścian 144/147 oraz 145/148 bez resztki (filara) była jednym z rygorów profilaktyki górniczej z uwagi na ochronę kościoła. Ściany 147 i 148 pod zabudową dzielnicy Wirek były ostatnimi. Ich zatrzymanie nastąpiło odpowiednio 01.01.2021 r. i 19.02.2021 r.

W czasie eksploatacji pod dzielnicą Wirek i kościołem można wydzielić cztery okresy eksploatacji (tabela 2):

- lata 2000-2005, eksploatacja podsadzka w pokładzie 416,
- lata 2006-2008, eksploatacja w pokładach 416 i 418,
- od 2007 do 2018 r. w pokładzie 413/2,
- od 2017 roku do 19.02.2021 r. w pokładzie 414/2.

#### 4. Wyniki geodezyjnych pomiarów deformacji powierzchni i kościoła

##### 4.1. Pomiary na linii wzdłuż ul. 1-go Maja

Dla określenia deformacji powierzchni powstałych w wyniku eksploatacji górniczej pod dzielnicą Wirek były prowadzone pomiary geodezyjne obniżenia, a także zmian długości (odkształcenia poziome) na linii pomiarowej wzdłuż ul. 1-go Maja (droga krajowa nr 925), o przebiegu zbliżonym do kierunku N-S, rys. 10-13. Równocześnie obserwowano, począwszy od 1966 r. deformacje bryły kościoła pod wezwaniem św. Wawrzyńca.

Wyniki pomiarów na linii pomiarowej obrazujące narastanie obniżenia spowodowanych eksploatacją pokładów 413/2,

414/2, 416 i 418, w okresie od grudnia 2000 do marca 2021 r, przedstawiono na rysunku 14. Z uwagi na dużą liczbę uszkodzonych punktów pomiarowych nie było możliwe wiarygodne określenie narastania pozostałych wskaźników deformacji (nachyleń, krzywizn i odkształceń poziomych).

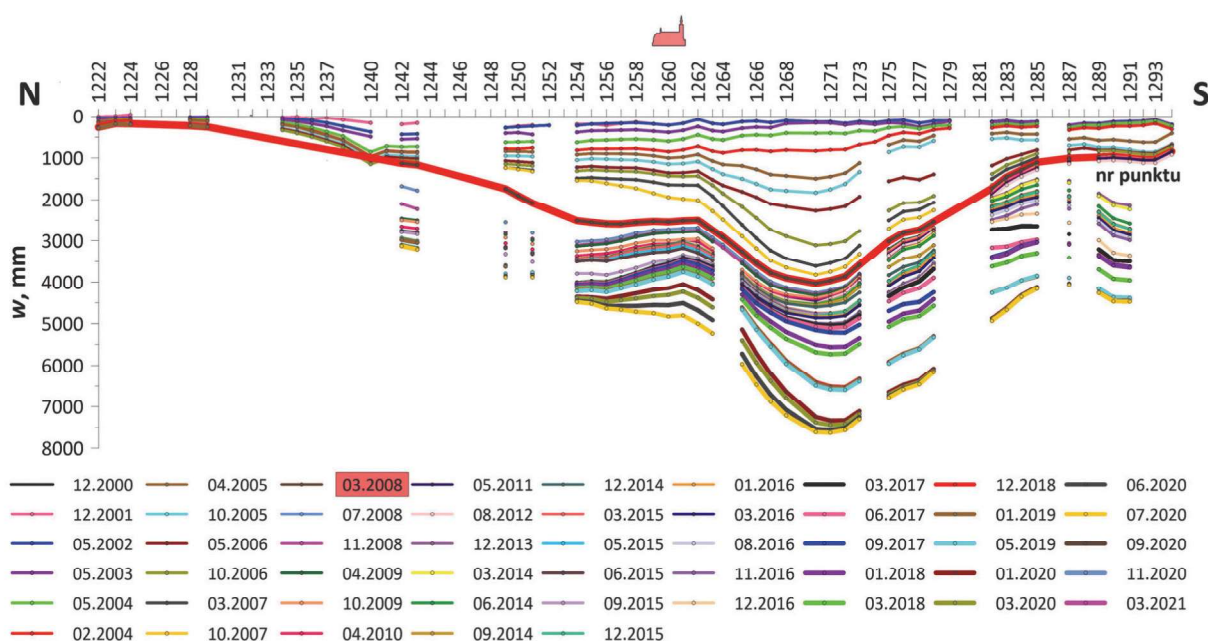
Możliwe było natomiast przedstawienie deformacji spowodowanych eksploatacją ostatniego pokładu 414/2 w okresie od 12.01.2018 r. do 09.03.2021 r. Na rys. 15 – 18 przedstawiono kolejno: obniżenia, nachylenia, krzywizny i odkształcenia poziome.

Z rys. 14 wynika, że tempo narastania obniżenia było związane z rozwojem eksploatacji w poszczególnych ścianach, pokładach i partiach, co pozwoliło na zgeneralizowanie wpływów do czterech okresów, tabela 2. W wyniku przeprowadzonej eksploatacji w okresie od 2000 r. do marca 2021 r. powstały obniżenia, tworzące dwie niecki. Jedna zlokalizowana na północ od kościoła, o największych obniżeniach 5,4 m, a druga na południe od kościoła, o maksymalnym obniżeniu do 6,73 m. Ekstremalne, za ten okres, nachylenia terenu dochodziły do 19 mm/m. Deformacje w części południowej są spowodowane eksploatacją czterech pokładów 416, 418, 413/2 i 414/2, w części północnej trzech pokładów 416, 413/2 i 414/2.

Z rys. 14 wynika, że począwszy od 2008 r. rozpoczyna się proces oddziaływania pozostawionej resztki w pokładzie 416, tzw. „garbu” w niecce, który początkowo wynosił 0,77 m, a po eksploatacji w pokładzie 413/2 około 1,7 m. Na taki rozkład deformacji powierzchni miała wpływ też eksploatacja pokładu 418, na południe od kościoła (rys. 11). Konsekwencją takiego

**Tabela 2. Ekstremalne obniżenia na linii pomiarowej spowodowane eksploatacją w latach 2000-2021**  
**Table 2. Extreme subsidence along measurement line caused by mining extraction between 2000 and 2021**

Eksploatacja pokładami	Czas	Obniżenia (m)		
		Część północna (pkt 1256)	Część południowa (pkt 1275)	Różnica obniżenia
416 (podsadzka)	2000-2005	1,03	1,34	0,31
+416+418	2000-2008	3,04	3,81	0,77
+413/2	2000-2018	4,22	5,92	1,70
+414/2	2000-2021	<b>5,40</b>	<b>6,73</b>	<b>1,33</b>



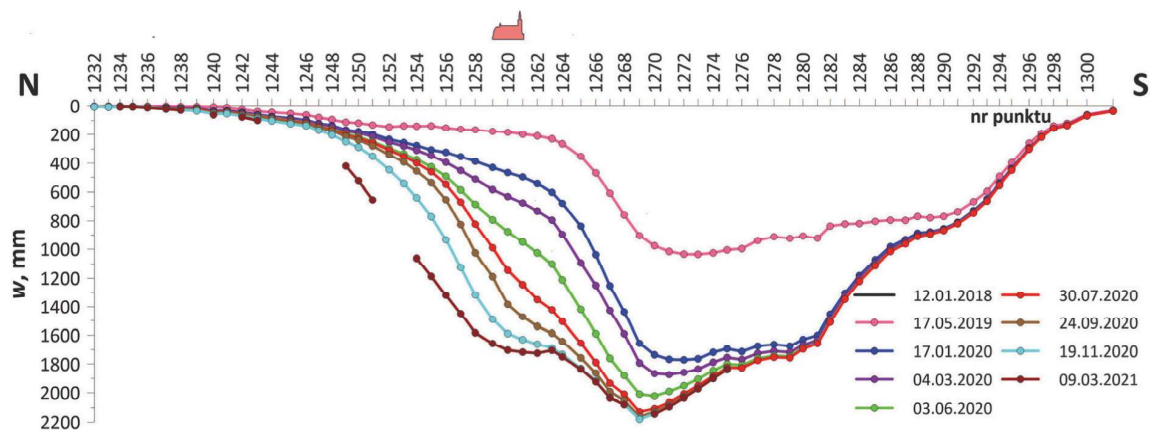
**Rys. 14. Obniżenia wzdłuż ul. 1-go Maja za okres od 10.2005 r. do 03.2021 r.**

**Fig. 14. Subsidence along First May Street between 10.2005 and 03.2021**

kształtowania się deformacji było wystąpienie w budynku kościoła odkształceń poziomych o charakterze rozciągania i powstania w maju 2017 r. uszkodzeń w sklepieniu kościoła.

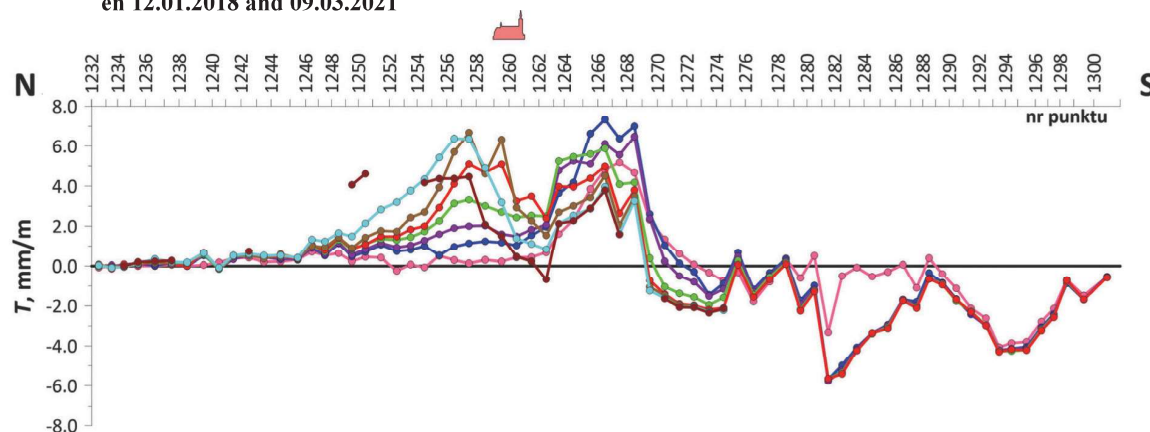
Z pomiarów deformacji od stycznia 2018 do marca 2021 r., wpływy eksploatacji pokładu 414/2 i częściowo ścian 139 w pokładzie 413/2 wynika, że podjęta profilaktyka górnicza (eksploatacja ścian 144/147 i 145/148, bez pozostawienia resztek) zmniejszyła nierównomierność obniżeń do 1,33 m, pomimo że nadal oddziaływały nieeksploatowane resztki po-

zostawione w wyżej zalegającym pokładzie 413/2 i niżej 416. Ekstremalne wartości wskaźników deformacji powierzchni na linii pomiarowej wynosiły: obniżenia 2,2 m (rys. 15), nachylenia od -6,0 do 7 mm/m (rys. 16), odkształcenia poziome od +2,2 do -4,0 mm/m (rys.18). Rozkład krzywizn jest typowy, cechujący się znacznymi fluktuacjami względem wartości średnich (wygładzonych). Ich wartości wynosiły od +0,10 do -0,14 km<sup>-1</sup> (promienie krzywizny odpowiednio 10,0 i 7,1 km). rys.17.



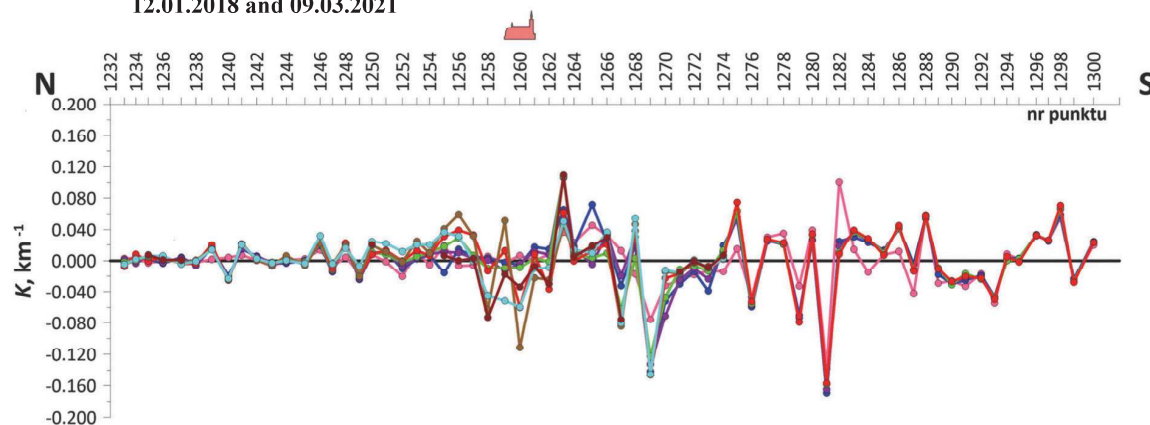
Rys. 15. Obniżenia punktów obserwacyjnych wzdłuż ulicy 1-go Maja spowodowane eksploatacją pokładu 414/2 od 12.01.2018 r. do 09.03.2021 r.

Fig. 15. Subsidence of observation benchmarks along First May Street caused by extraction of 414/2 seam between 12.01.2018 and 09.03.2021



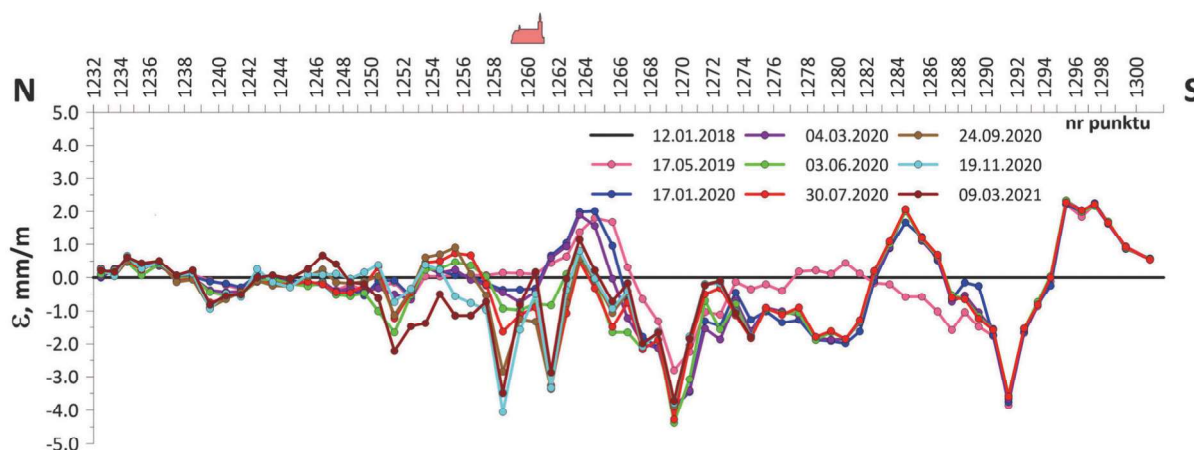
Rys. 16. Nachylenia na linii pomiarowej wzdłuż ul. 1-go Maja spowodowane eksploatacją pokładu 414/2 od 12.01.2018 r. do 09.03.2021 r.

Fig. 16. Slopes on the measurement line along First May Street caused by extraction of 414/2 seam between 12.01.2018 and 09.03.2021



Rys. 17. Krzywizny na linii pomiarowej wzdłuż ul. 1-go Maja spowodowane eksploatacją pokładu 414/2 od 12.01.2018 r. do 09.03.2021 r.

Fig. 17. Curvatures on the measurement line along First May Street caused by extraction of 414/2 seam between 12.01.2018 and 09.03.2021



Rys. 18. Odształcenia poziome na linii pomiarowej wzdłuż ul. 1-go Maja spowodowane eksploatacją pokładu 414/2 od 12.01.2018 r. do 09.03.2021 r.

Fig. 18. Horizontal strains on the measurement line along First May Street caused by extraction of 414/2 seam between 12.01.2018 and 09.03.2021

#### 4.2. Pomiary deformacji kościoła

Obserwacje geodezyjne kościoła wykonywane były na założonej sieci punktów geodezyjnych przedstawionych na rys. 19:

- na zewnętrznych ścianach kościoła (obniżenia),
- na punktach ziemnych wokół kościoła (obniżenia, odształcenia poziome),
- na zewnętrznej usztywniającej płycie betonowej, według koncepcji prof. J. Ledwonia (obniżenia, odształcenia poziome) wewnątrz kościoła na filarach (obniżenia, odształcenia poziome).

Na rys. 20 przedstawiono narastanie obniżenia na ścianach zewnętrznych kościoła od 01.09.1966 r. do 24.03.2021r., natomiast na rys. 21 i 22 obniżenia i prędkości obniżenia spowodowane eksploatacją głównie pokładu 414/2.

Sumaryczne obniżenia na budynku kościoła od 1966 r. wynoszą od 16 337 mm (punkt 771, na zachodniej ścianie) do 16 552 mm (punkt 776, na wschodniej ścianie). Różnica wynosi 215 mm, a nachylenie bryły kościoła w kierunku wschodnim rzędu 7,0 mm/m.

Przyjmując jako datę rozdzielającą ujawnienie się wpływów 4 lipca 2018 roku, a równocześnie początek ujawniania się wpływów ściany 144, to według ostatniego pomiaru z 24.03.2021r. na zewnętrznych ścianach budynku kościoła wystąpiły prawie jednakowe na obwodzie kościoła obniżenia 1700 -1710 mm, rys. 21.

W trakcie eksploatacji pokładu 414/2 w 2019 r. prędkości obniżenia wynosiły do 11 mm/dobę (incydentalnie 14,0 mm/dobę) i były spowodowane eksploatacją ściany 147. W I półroczu 2020 roku zmniejszyły się do 9,0 mm/dobę, w czerwcu do 5,5 mm/dobę, a z końcem 2020 roku do 1,5 mm/dobę.

Obniżenia bryły kościoła w postaci izolinii obniżenia wyznaczonych w oparciu o pomiary reperów na zewnątrz budynku, przedstawiono na rys. 23, z którego wynika, że wzdłuż kościoła, w kierunku osi połudźniej N-S (naw) pochylenia są niezauważalne, bliskie zera.

Pomiary deformacji płyty w otoczeniu kościoła (punktów w części zewnętrznej płyty jak i kilku punktów w terenie w jej bezpośrednim otoczeniu) rozpoczęto około 11 lat później, niż punkty na zewnątrz kościoła (767 -777), przez co ich wyniki

nie są kompletne i nie wynikają z nich dodatkowe informacje o deformacji budynku kościoła.

Na rys. 24 przedstawiono wyniki pomiarów wychyleń wieży i budynku kościoła z 2017 r., z których wynika, że:

- ściana zachodnia nawy wychyliła się w kierunku zachodnim,
- ściana wschodnia nawy i wieża wychyliła się w kierunku wschodnim, nastąpiło wychylenie ścian w przeciwnych kierunkach, co spowodowało rozciągnięcie powierzchni sklepienia i w konsekwencji jego uszkodzenie (Drobiec i inni 2019),
- wieża wychyliła się w kierunku południowo-wschodnim. Zróżnicowanie kierunków wychylenia bryły kościoła i wieży było powodem kotwienia wieży i nawy kościoła, które wykonano w 2017 r., o czym wspomniano w rozdziale 2.

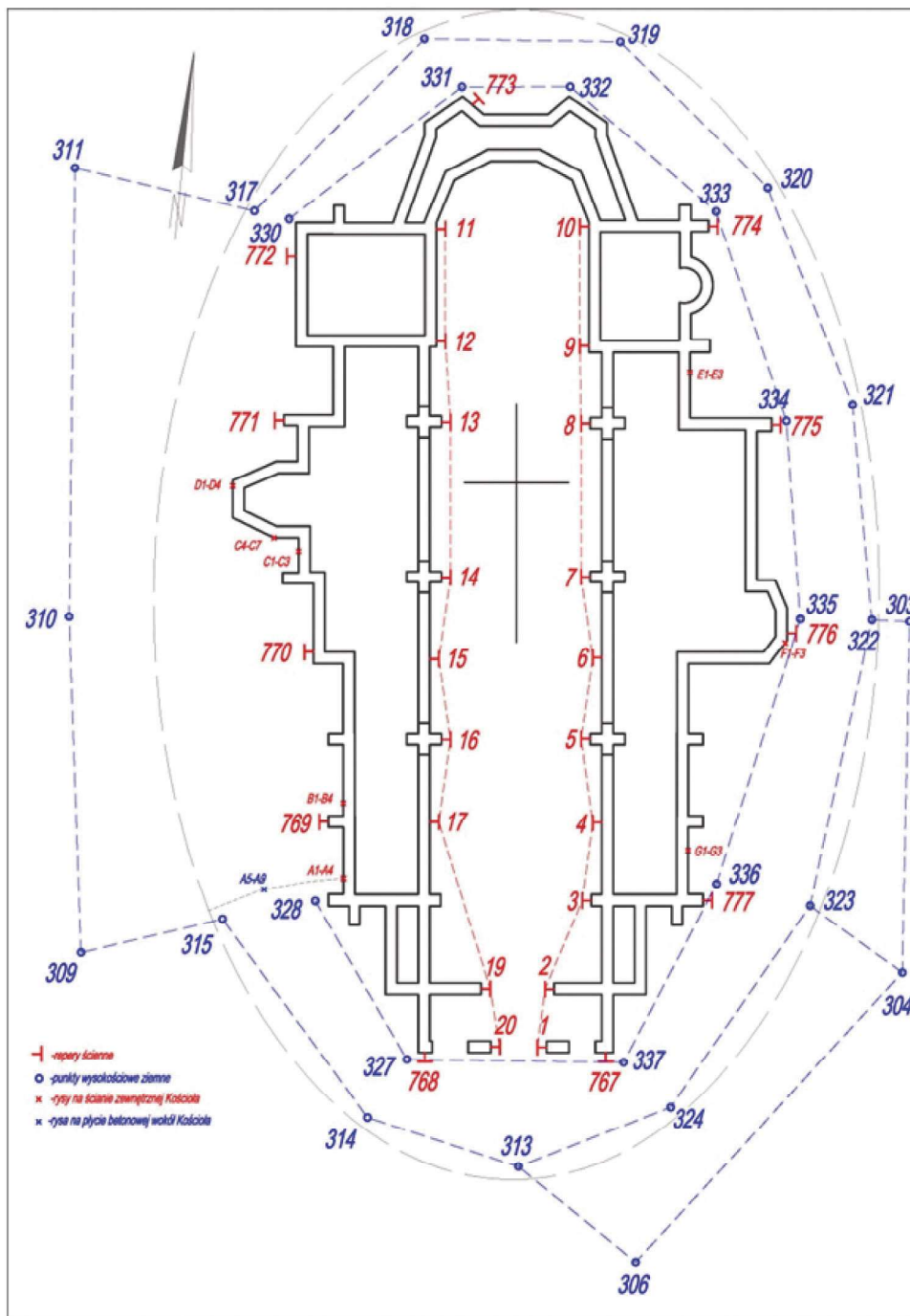
#### 4.3. Wyniki skanowania sklepienia kościoła

W trakcie eksploatacji górniczej, do badań deformacji kościoła wykorzystano nowe technologie, tj. skaner laserowy Trimble TX5 i drona (Phantom 4 Advanced). Z końcem 2018 r. przeprowadzono pomiar sklepienia budynku kościoła wykorzystując technologię naziemnego skanowania laserowego 3D. Skanowanie i opracowanie wyników wykonał dr inż. P. Gruchlik.

Wyniki pomiarów w postaci chmury punktów stanowiły podstawę do szczegółowej analizy przestrzennej stropu kościoła. Pomiary przeprowadzono na 17 stanowiskach (rys. 25).

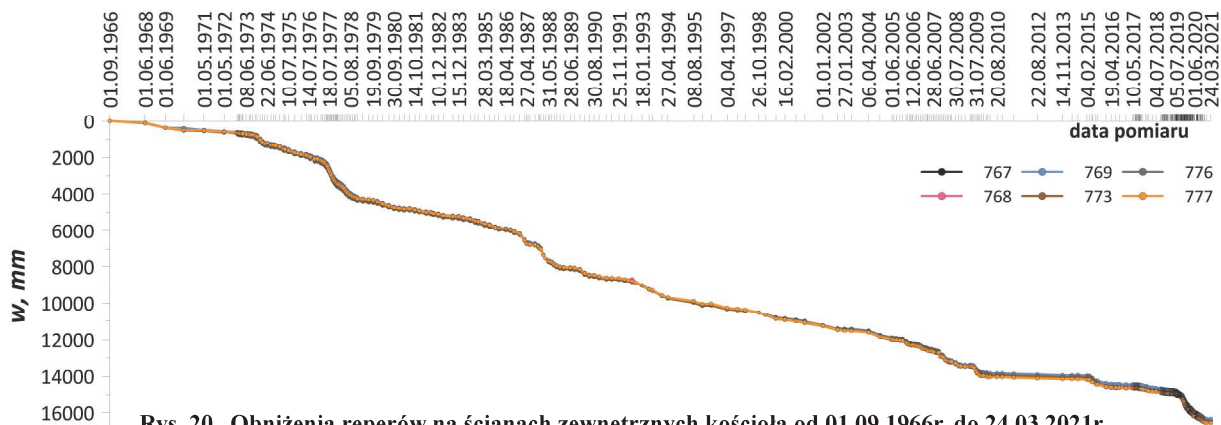
Uzyskane z pomiarów wyniki w postaci chmur punktów poddano rejestracji przy pomocy oprogramowania Trimble® Real Works. Rejestracja jest procesem łączenia chmur punktów tego samego obiektu z kilku stanowisk skanera. Punktom nadawana jest orientacja bezwzględna obliczona metodą najmniejszych kwadratów.

Orientacja bezwzględna w przypadku stropu kościoła została wykonana poprzez przetransformowanie wszystkich skanów do jednego, lokalnego układu referencyjnego. Transformację wykonano w oparciu o jednoznacznie identyfikowalne punkty wspólne chmur punktów z poszczególnych stanowisk pomiarowych. Całkowity błąd, mierzony jako średni bezwzględny błąd procentowy dopasowania chmur punktów ze wszystkich stanowisk, wynosił 4,62 mm. Na



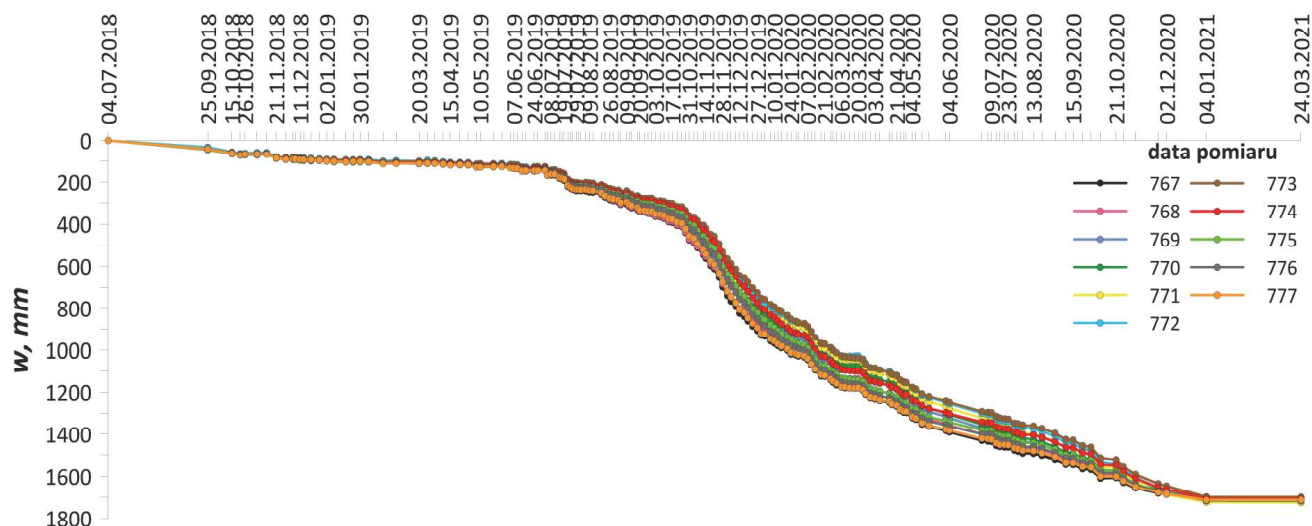
Rys. 19. Sieć pomiarowa na i w budynku kościoła pod wezwaniem św. Wawrzyńca oraz otoczeniu na tarczy żelbetowej według koncepcji prof. J. Ledwonia

Fig. 19. Measurement network inside and outside the building of St. Lawrence Church and around Ledwoń slab foundation



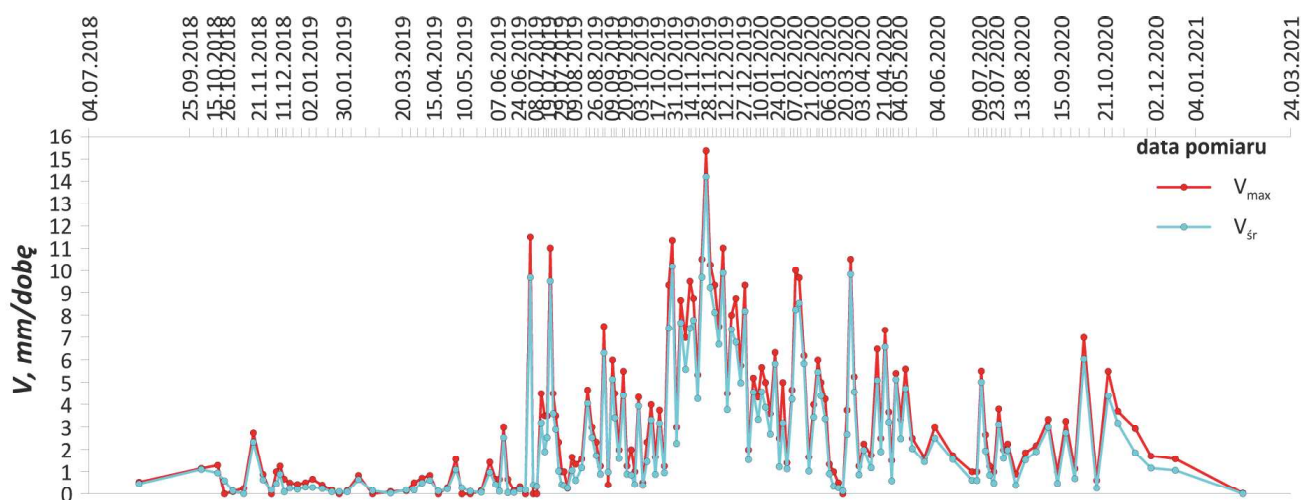
Rys. 20. Obniżenia reperów na ścianach zewnętrznych kościoła od 01.09.1966r. do 24.03.2021r.

Fig. 20. Subsidence of observation benchmarks set into outside walls of the church building between 01.09.1966 and 24.03.2021



Rys. 21. Obniżenia reperów na ścianach zewnętrznych kościoła od 04.07.2018 r. do 24.03.2021 r. (pokład 414/2)

Fig. 21. Subsidence of observation benchmarks set into outside walls of the church building between 04.07.2018 and 24.03.2021 (414/2 seam)



Rys. 22. Maksymalne i średnie prędkości obniżenia reperów zastabilizowanych na ścianach zewnętrznych kościoła od 04.07.2018 r. do 24.03.2021 r. (pokład 414/2)

Fig. 22. Maximum and average velocities of subsidence of observation benchmarks set into outside walls of the church building between 04.07.2018 and 24.03.2021 (414/2 seam)

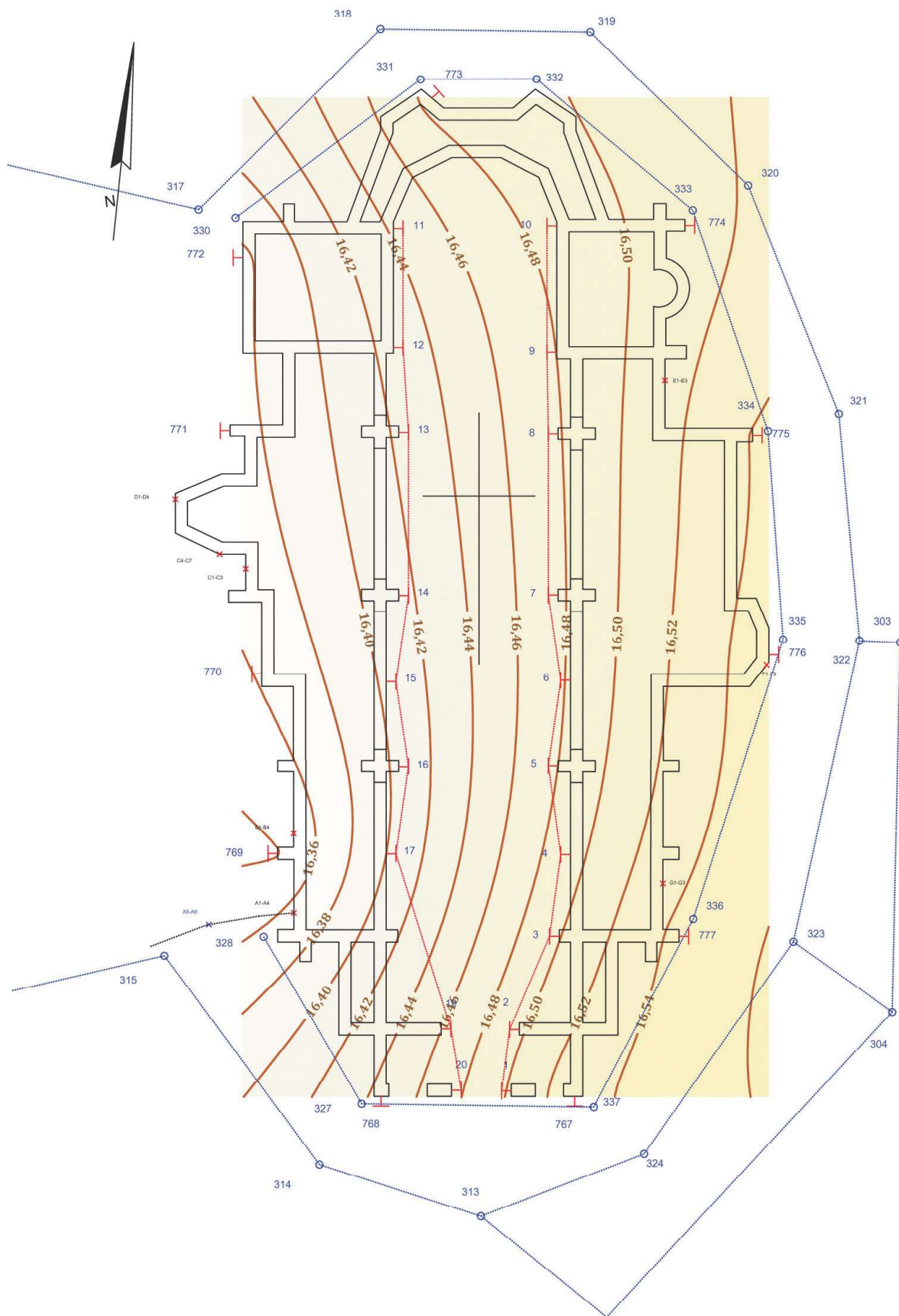
bazie pokolorowanych, zarejestrowanych chmur punktów opracowany został przestrzenny model stropu (rys. 26).

Wirtualny, trójwymiarowy model skanowanego obiektu umożliwia opracowywanie sugestywnych wizualizacji i prezentacji typu „wirtualny spacer” (rys. 27), pozwalających skutecznie prezentować stan techniczny obiektów oraz ocenę i rejestrację ich uszkodzeń.

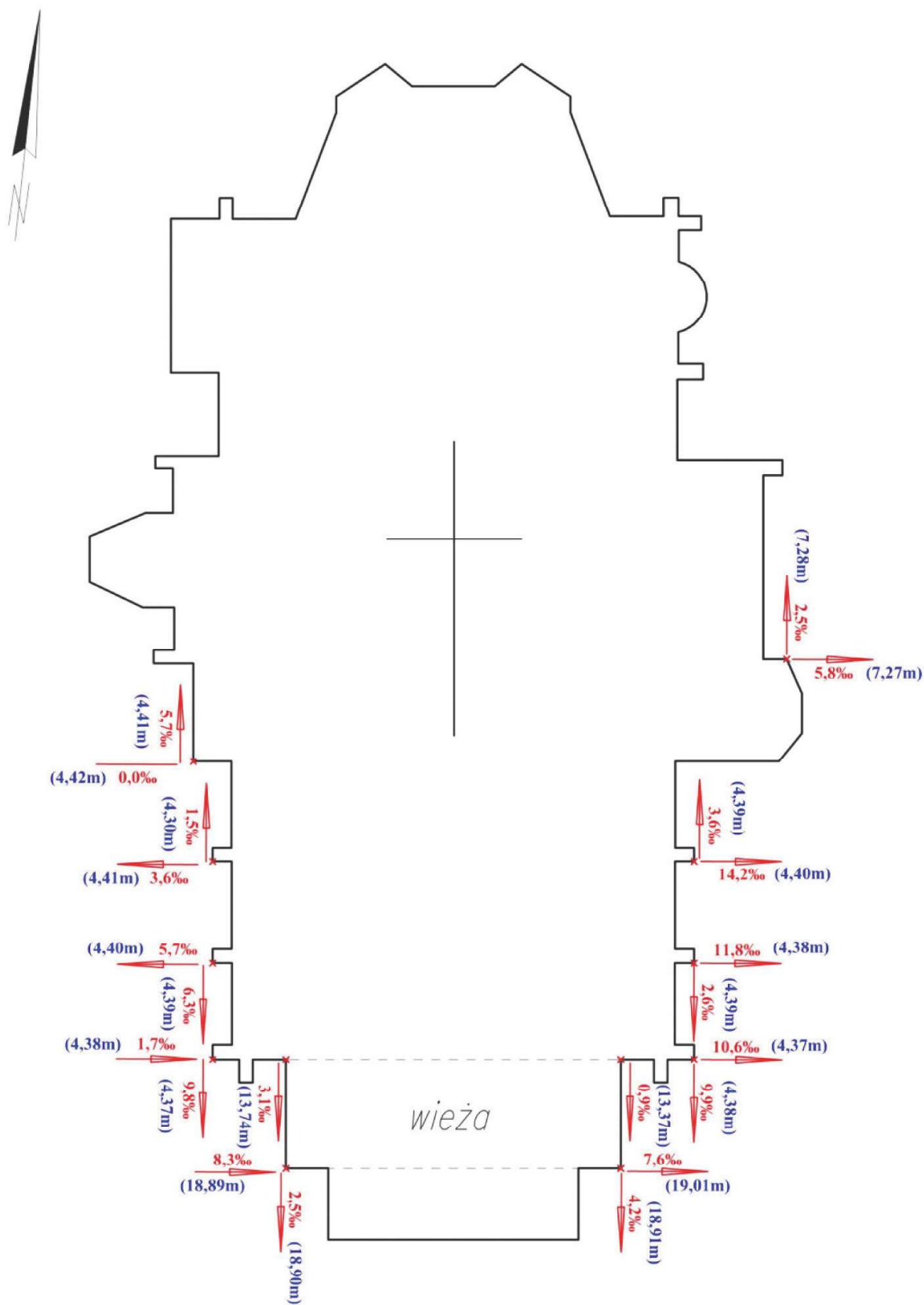
Otrzymane z procesu skanowania dane można dalej opracowywać w zakresie:

- tworzenia rysunków 2D (rzuty, przekroje, profile), (rys. 28 i 29),
- tworzenia baz danych łączących grafikę 3D z elementami opisowymi,
- porównywania zmian stanu rzeczywistego obiektu w czasie.

W ramach nadzoru budowlanego nad niedostępnymi fragmentami budynku kościoła wykonywano inspekcję stanu technicznego murów i dachu, wykorzystując drona, rys.4, (Mika i in. 2018).



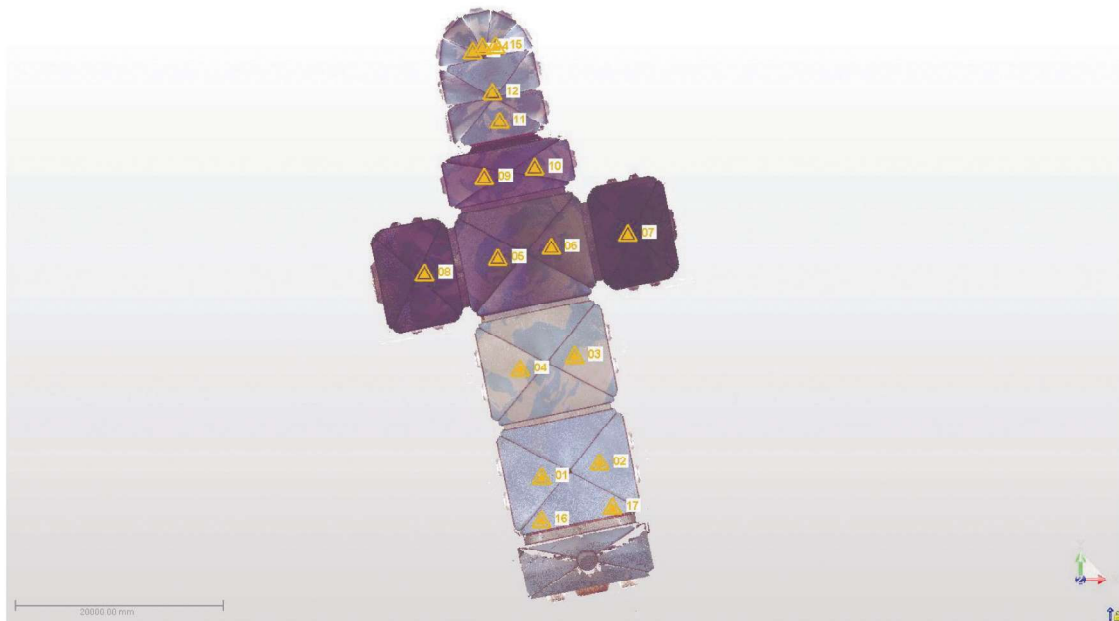
Rys. 23. Izolinie obniżen bryły budynku kościoła za okres 01.09.1966 r. do 24.03.2021 r.  
 Fig. 23. Subsidence contours of a solid of the building church between 01.09.1966 and 24.03.2021



(19,03m) - długość krawędzi na jakiej mierzono wychylenie

Rys. 24. Wektory wychyleń wieży i budynku kościoła według pomiaru z 10.11.2017 r.

Fig. 24. Inclination vectors of the church tower and building according to survey carried out in 10.11.2017



Rys. 25. Rozmieszczenie stanowisk pomiarowych skanera laserowego 3D Trimble TX5 (Kowalski 2020)  
 Fig. 25. Survey stations of 3D laser scanner Trimble TX5 (Kowalski 2020)



Rys. 26. Model 3D stropu kościoła – wynik przeprowadzonych pomiarów wewnątrz obiektu; widok od strony południowo-zachodniej (Kowalski 2020)  
 Fig. 26. 3D model of the church building roof – the result of surveys carried out inside the structure, south-west view (Kowalski 2020)

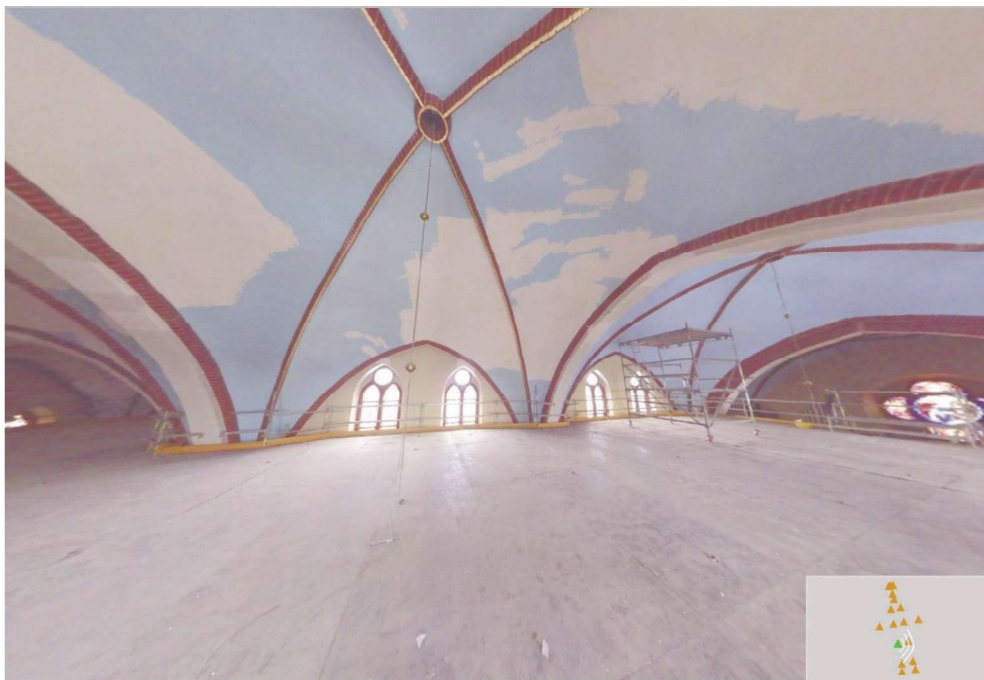
## 5. Doświadczenia kształtowania się deformacji powierzchni

### 5.1. Parametry teorii Knothego–Budryka dla eksploatacji wielokrotnej

Dysponując czasoprzestrzennym opisem geometrii parcel dokonanej eksploatacji i opisem położenia reperów linii po-

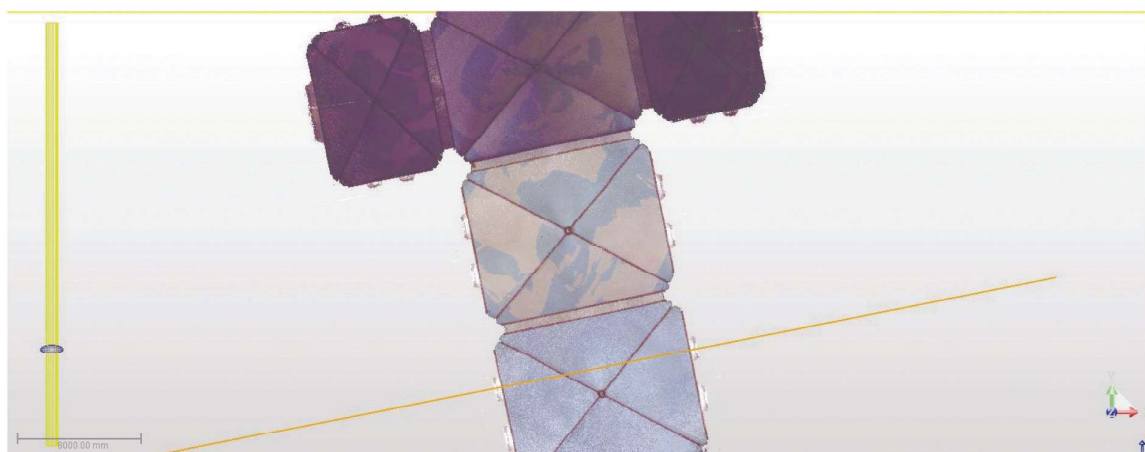
miarowej wraz z wartościami przyrostów pomierzonych obniżień, w analizowanych czasookresach (tab. 3), zamieszczono wartości wyznaczonych parametrów teorii Knothego-Budryka (Rutkowski 2019). Uwzględniając fakt występowania niepełnych niecek obniżeniowych, do ich wyznaczenia wykorzystano programy komputerowe serii EDBJ, (Białek 2003). Są to parametry: współczynnik eksploatacyjny ( $a$ ), parametr górotworu ( $\text{tg}\beta$ ) oraz tak zwane obrzeże eksploatacyjne ( $p$ ),





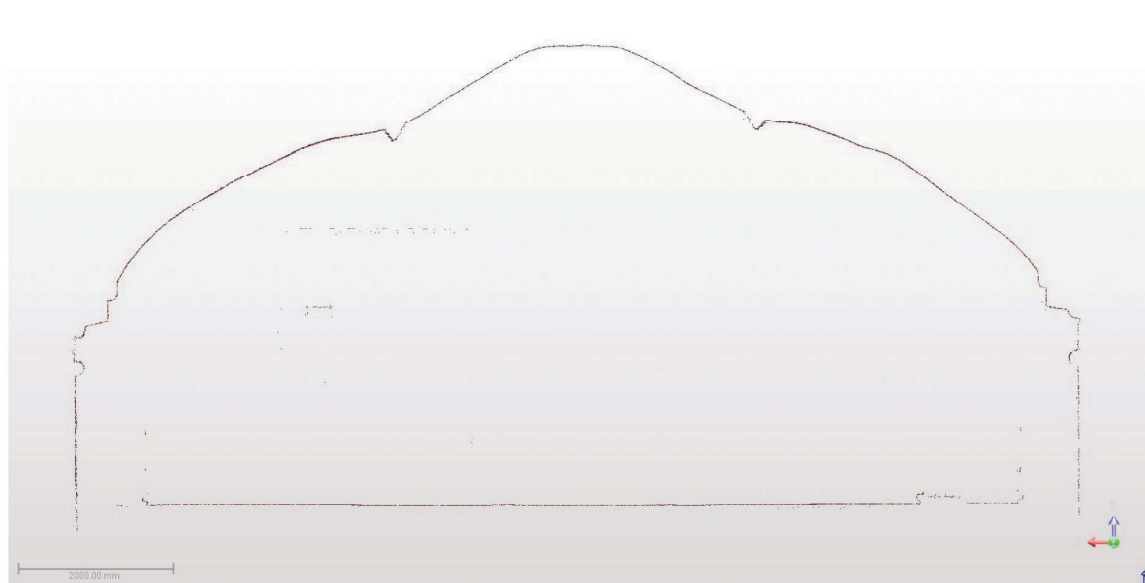
Rys. 27. Model 3D stropu kościoła – „wirtualny spacer” wewnątrz obiektu z możliwością oceny i pomiaru uszkodzeń stropu (Kowalski 2020)

Fig. 27. 3D model of the church building roof – “virtual walk” inside the structure enabling evaluation and survey of roof damages (Kowalski 2020)



Rys. 28. Lokalizacja linii przekroju pionowego przez sklepienie (Kowalski 2020)

Fig. 28. Location of vertical cross line through the vault (Kowalski 2020)



Rys. 29. Model 3D stropu kościoła – analiza wybranego przekroju stropu (Kowalski 2020)

Fig. 29. 3D model of the church building roof – the analysis of selected cross-section of the roof (Kowalski 2020)

kolumny 7-9. Ponadto obliczono odchylenia standardowe wyznaczonych parametrów, kolumny 11-13. W pozostałych kolumnach tabeli 3 znajdują się:

- kolumna 5 -  $h/g$  – iloraz teoretycznej wysokości odpadów w wyrobisku ścianowym  $h$  do grubości (wysokości -  $g$ ) eksploatowanego pokładu,
- kolumna 10 -  $\sigma_w$  – odchylenie standardowe dopasowania obniżeń obliczonych do pomierzonych.

Z tabeli 3 wynika, że dla eksploatacji wielokrotnej w analizowanych warunkach, wyznaczone wartości parametrów teorii Knothe-Budryka wynoszą:

- współczynnik eksploatacyjny  $a=0,78 \pm 0,02$ ,
- parametr górotworu  $\text{tg}\beta= 2,54 \pm 0,06$ ,
- obrzeże eksploatacyjne  $Aobr= 0,14 \pm 0,02$ .

Parametry dotyczą prowadzonej eksploatacji z zawalem stropu i doszczelnianiem zrobów odpadami z elektrowni w ścianach eksploatacyjnych w różnicowanym zakresie od 0,078 do 0,211  $h/g$ , średnio 0,127  $h/g$ . Dla eksploatacji z zawalem stropu bez doszczelniania zrobów wartość współczynnika eksploatacyjnego  $a=0,88 \pm 0,02$ .

**5.2. Wpływ doszczelnienia zrobów na zmniejszenie współczynnika eksploatacyjnego**

Dysponując zbiorem  $J$  punktów pomiarowych  $P_j$  położonych w centralnych rejonach niecek obniżeniowych, dla których wyznaczono wartości współczynników osiadania

$a_{pom-j}$ , oraz odpowiadające im wartości wskaźnika  $x_j=X(p_j)(h/g)$ , stosując metodę najmniejszych kwadratów (MNK), poszukiwano ocen estymatorów  $a_0, a_{hg}$  funkcji regresji określonej wzorem (Kowalski i in. 2021):

$$a_j = a_0 + a_{hg} \cdot x_j \tag{1}$$

gdzie:

- $a_j$  – teoretyczna (oczekiwana) wartość współczynnika eksploatacyjnego dla punktu  $P_j$
- $a_0$  – wartość współczynnika eksploatacyjnego bez doszczelniania zrobów,  $x = h/g$ .

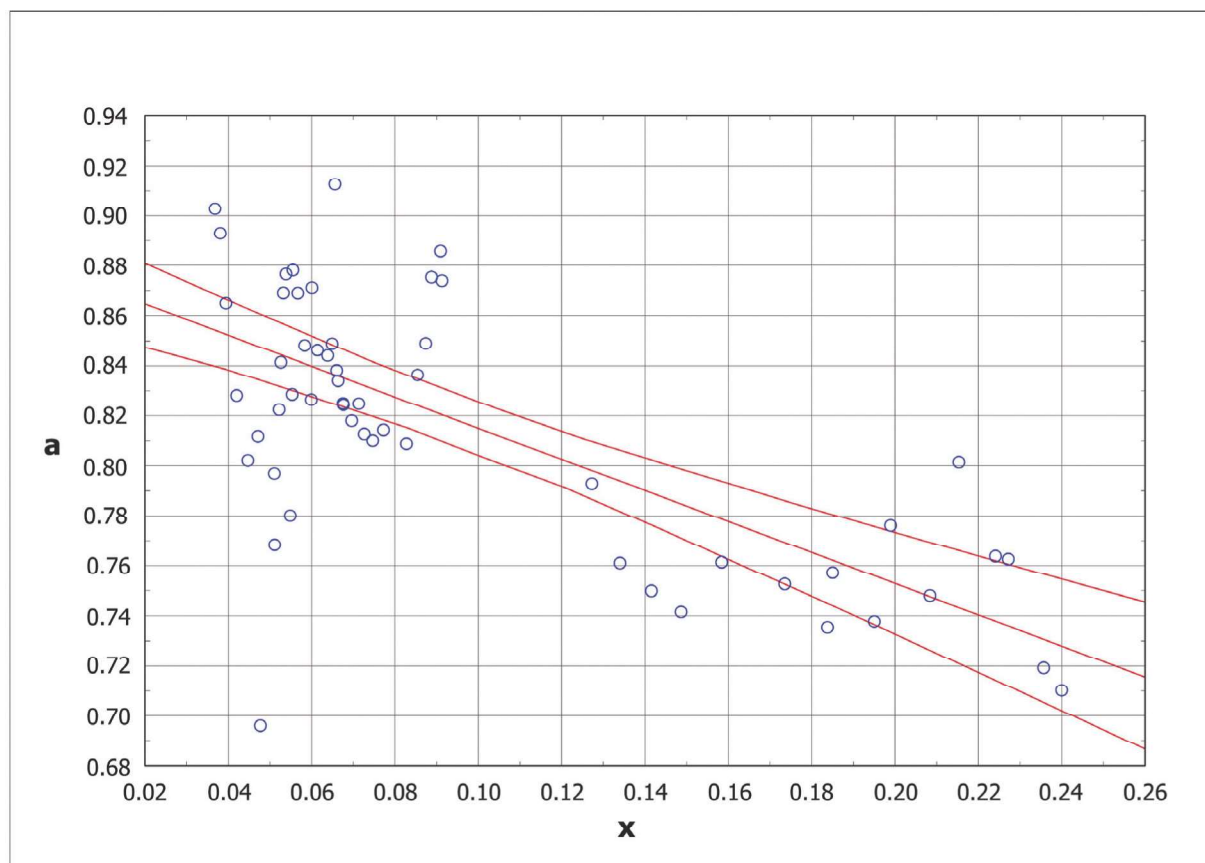
Parametrowi  $a_0$  przypisywana jest wartość współczynnika eksploatacyjnego, jaki zaobserwowano by bez doszczelniania zrobów podsadzką, natomiast parametr  $a_{hg}$  wskazuje na wpływ doszczelniania zrobów na wartości współczynnika eksploatacyjnego.

Na rys. 30 przedstawiono zależność empiryczną, zakładając nierównomierne rozmieszczenie mieszaniny popiołowo-wodnej w poszczególnych ścianach eksploatacyjnych (równomierne w okresach kwartalnych), którą uzyskano po zastosowaniu filtracji danych, punktów pomiarowych, dla których  $a_{pom-j} < 0,65$  oraz  $a_{pom-j} > 0,95$ . Wyznaczony rozkład charakteryzuje wartość współczynnika korelacji wynosząca  $R= -0,702$ , którą dla danych doświadczalnych można zaakceptować. Ponadto na rys. 30 zaznaczono także wyznaczony 95% przedział ufności.

**Tabela 3. Wartości wyznaczonych parametrów teorii dla wybranych zakresów eksploatacji na podstawie obserwacji obniżeń na linii pomiarowej wzdłuż ul. 1-Maja (Rutkowski 2019)**

**Table 3. The values of determined parameters of the Knothe-Budryk theory for selected ranges of exploitation on the basis of subsidence observations on measurement line along First May Street (Rutkowski 2019)**

Lp.	Pokład	Nr ściany	Czas eksploatacji	h/g	Odcinek linii pomiarowej	Wyznaczone parametry teorii			$\sigma_w$ [mm]	Odchylenia standardowe		
						a	tgβ	Aobr		$\sigma_a$	$\sigma_{tg\beta}$	$\sigma_{Aobr}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	413/2	139	07.2016-03.2018	0,078	1285-1301 (12.2013-09.2017)	0,78	2,49	0,01	32,7	0,012	0,113	0,012
	140	01.2014-03.2015										
	414/2	143	11.2015-09.2016									
2	413/2	139	07.2016-03.2018	0,084	1276-1301 (12.2013-01.2019)	0,80	2,41	0,09	25,9	0,004	0,038	0,005
	140	01.2014-03.2015										
	414/2	143	11.2015-09.2016									
3	413/2	131	12.2007-01.2009	0,170	1232-1249 (03.2007-08.2012)	0,61	3,45	0,29	45,9	0,042	0,075	0,030
	416	133	04.2009-07.2010									
	418	174a	08.2007-08.2008									
4	413/2	131	12.2007-01.2009	0,184	1233-1244 (03.2007-04.2010)	0,59	3,24	0,28	38,7	0,044	0,073	0,029
	416	174a	08.2007-08.2008									
5	418	182	10.2005-03.2007	0,100	1272-1297 (10.2005-10.2009)	1,05	1,97	0,22	54,9	0,024	0,064	0,008
		183	05.2007-11.2008									
6	413/2	132	03.2015-02.2016	0,211	1238-1258 (12.2013-03.2017)	0,60	1,78	0,00	21,7	0,021	0,056	0,044
7	414/2	144	11.2017-12.2018	0,103	1288-1301 (09.2017-01.2019)	0,86	2,58	0,16	10,9	0,026	0,061	0,005
8	413/2	139	07.2016-03.2018	0,083	1282-1301 (08.2016-01.2019)	0,97	2,38	0,09	10,7	0,004	0,031	0,002
	414/2	144	11.2017-12.2018									
Wartości średnie				0,127		0,78	2,54	0,14	30,2	0,022	0,064	0,017



Rys. 30. Zależność wartości współczynnika obniżeń dla eksploatacji z zawalem stropu z doszczelnianiem, w której założono nierównomierny rozkład podsadzki na wybiegu poszczególnych parcel, po filtracji danych (Kowalski i in. 2021)

Fig. 30. The dependence of the value of the subsidence factor for mining with caving and backfill caulking where uneven distribution of backfilling material was assumed along the length of selected parcels after the filtration of data (Kowalski i in. 2021)

Z wykonanej analizy wynika, że dla celów praktycznych, przy udziale podsadzki w zrobach dla przedziału  $0,0 < h/g < 0,26$  możliwe było zmniejszenie współczynnika eksploatacyjnego  $a$  z 0,88 do 0,72.

## 5.2. Prędkość frontu ścianowego a prędkość narastania obniżeń

Jednym z elementów profilaktyki górniczej zastosowanym podczas eksploatacji pokładu 414/2 było ograniczenie prędkości frontu eksploatacyjnego do 2,5 m/dobę. Do wyznaczenia tego parametru wykorzystano doświadczenie z wcześniejszej eksploatacji pod kościołem, podczas przemieszczania frontu ścianowego pod budynkiem kościoła, kiedy obserwowano prędkości obniżeń mniejsze od 12 mm/dobę.

Przyjmując wyznaczoną pomiarami prędkość obniżeń  $V_w = 12$  mm/dobę oraz średnią prędkość frontu ściany 144/147 wynoszącą  $v = 2,3$  m/dobę, empiryczna zależność ma postać

$$V_w = 5,2 v \quad (2)$$

## 5.4. Wpływ prędkości frontu ścianowego na szkody górnicze

Z analizy postępu ściany 144/147, a potem ściany 145/148 w pokładzie 414/2 (rys. 13) wynika, że w 2020 r., na skutek

pandemii koronawirusa, pod dzielnicą Wirek zaszła konieczność zmniejszenia prędkości frontu ścian. Przed pandemią prędkość frontu ściany 145 w okresie od 01.08.2019 r. do 01.02.2020 r. (6 miesięcy) wynosiła średnio 2,5 m/dobę, natomiast w czasie pandemii dla ściany 148 od 01.02 do 01.09.2020 r. (7 miesięcy) średnio 1,2 m/dobę. Była to istotna zmiana prędkości frontu ścian.

Uwzględniając powyższe, porównano liczbę zgłoszeń uszkodzeń obiektów budowlanych w zasięgu oddziaływania eksploatacji tych ścian w odpowiadających im okresach czasu. W okresie przy większej prędkości eksploatacji były 62 zgłoszenia szkód górniczych, w drugim okresie przy mniejszej prędkości - 34 zgłoszenia.

Z porównania wynika, że występuje relacja pomiędzy prędkością frontów ścianowych a powstawaniem uszkodzeń budynków. Najogólniej, w analizowanym przykładzie dla spadku prędkości wynoszącego 2,1 razy, liczba zgłoszeń szkód górniczych była 1,8 razy mniejsza. Jest to pierwsze przybliżenie, które będzie dokładniej analizowane.

Spostrzeżenie to potwierdza, że **regulowanie prędkością frontu ścian eksploatacyjnych jest skutecznym sposobem profilaktyki górniczej w aspekcie ochrony obiektów budowlanych**. Doświadczenie ma charakter uniwersalny, można go „przenosić” na inne kopalnie węgla kamiennego eksploatujące pod terenami zabudowanymi.

## 6. Wnioski

1. Ocena skutków dokonanej eksploatacji górniczej pokładów od 414/3 do 418 w aspekcie ochrony powierzchni nie jest jednoznaczna z uwagi na długi 20-letni okres jej oddziaływania i złożoność takiej oceny. Z jednej strony wydobyto znaczne zasoby węgla kamiennego przy zachowaniu funkcji kościoła, natomiast powstałe deformacje kościoła spowodowały jego uszkodzenia i potrzebę doraźnych napraw oraz dodatkowego zabezpieczenia. Wykazano jednak, że podjęte działania profilaktyczne (górnictwe i budowlane) były skuteczne i ograniczyły uszkodzenia budynku kościoła. Kościół przez czas eksploatacji górniczej był i jest nadal użytkowany.
2. Wymuszone względami górnictwymi, zmiana systemu kierowania stropem w pokładzie 416 oraz pozostawienie resztek w pokładach 416 i 413/2, wpłynęły niekorzystnie na rozkład deformacji powierzchni. Eksploatacja ostatniego pokładu 414/2, w którym w ramach profilaktyki górniczej eksploatowano ściany 144/147 i 145/148 bez pozostawienia resztek, zminimalizowała negatywne skutki w budynku kościoła.
3. Wyznaczone dla eksploatacji wielokrotnej (4 pokładów) wartości parametrów teorii wynoszą:
  - współczynnik eksploatacyjny  $a=0,78 \pm 0,02$ ,
  - parametr górotworu  $\text{tg}\beta= 2,54 \pm 0,06$ ,
  - obrzeże eksploatacyjne  $A_{obr}= 0,14 \pm 0,02$ .
 Wyznaczone parametry dotyczą prowadzonej eksploatacji z zawałem stropu i doszczelnianiem zrobów odpadami z elektrowni w ścianach eksploatacyjnych w zróżnicowanym zakresie od 0,078 do 0,211  $h/g$ , średnio 0,127  $h/g$ , gdzie  $h$  – teoretyczna wysokość odpadów w wyrobisku ścianowym,  $g$  – wysokość eksploatowanego pokładu. Wartość współczynnika eksploatacyjnego dla zawału stropu bez doszczelniania zrobów wynosi  $a=0,88 \pm 0,02$ .
4. W analizowanych warunkach kopalni Ruda Ruch „Pokój” doszczelnianie zrobów przy udziale popiołów dla przedziału  $0,0 < h/g < 0,26$  spowoduje zmniejszenie współczynnika eksploatacyjnego  $a$  z 0,88 do 0,72; czyli o 18%, przy wypełnieniu zrobów popiołami na wysokość 0,26g.
5. Empiryczna zależność pomiędzy prędkością narastania obniżenia  $V_w$  a prędkością frontu ścianowego  $v$  ma postać  $V_w = 5,2 v$ .

6. Określono relacje pomiędzy prędkością frontów ścianowych a powstawaniem uszkodzeń budynków. Najogólniej w analizowanym przykładzie - dla zmniejszenia prędkości wynoszącej 2,1 razy, liczba zgłoszeń szkód górniczych była 1,8 razy mniejsza.

## Literatura

- BIAŁEK J. 2003 - Algorytmy i programy komputerowe do prognozowania deformacji terenu górniczego. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej. Gliwice.
- DROBIEC L, NIEMIEC T., KAWULOK M., SŁOWIK L., CHOMACKI L. 2019 - The method of strengthening the church building in terms of the planned mining exploitation. MATEC Web of Conferences 284, ICSE. (Materiały konferencyjne Awary Budowlane).
- KOWALSKI A. 2007 - Nieustalone górnicze deformacje powierzchni w aspekcie dokładności prognoz. Wydawnictwo Głównego Instytutu Górnictwa. Katowice.
- KOWALSKI A. 2020 - Deformacje powierzchni na terenach górniczych kopalń węgla kamiennego. Wydawnictwo Głównego Instytutu Górnictwa. Katowice.
- KOWALSKI A., BIAŁEK J., RUTKOWSKI T. 2021 - Caulking of goafs formed by cave-in mining and its impact on surface subsidence in hard coal mines. Archives of Mining Sciences 66 (1) str. 85-100, doi:10.24425/ams.2021.136695.
- LEDWOŃ A. 1983 - Budownictwo na terenach górniczych. Arkady. Warszawa.
- MIKA W., FERENCA., CZAJA S. 2018 - Monitoring obiektów budowlanych z zastosowaniem drona, „Przeгляд Górnictwa” nr 1, s. 21-26
- PIECHA W., SZEWCZYK S., RUTKOWSKI T. 2019 - Ochrona powierzchni dzielnicy Wirek w świetle dokonanej i prowadzonej eksploatacji górniczej. „Przeгляд Górnictwa” nr 2, str. 55-66
- RUTKOWSKI T. 2019 - Ocena wpływu podsadzania zrobów zawałowych na obniżenia powierzchni terenu w warunkach Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Główny Instytut Górnictwa. Katowice (praca doktorska).

Artykuł wpłynął do redakcji – marzec 2021  
 Artykuł akceptowano do druku – 15.05.2021