

Zastosowanie skaningu laserowego 2D w ocenie stanu technicznego podziemnych obiektów geoinżynierskich

2D laser scanning system in the evaluation of the technical condition of underground geoenineering areas



Dr inż. Marek Rotkegel^{*)}



Dr inż. Adam Szade^{*)}



Mgr inż. Łukasz Szot^{*)}

Treść: W Głównym Instytucie Górnictwa w Katowicach opracowano mobilny system skanujący dla inwentaryzacji wyrobisk górniczych oraz oceny stanu technicznego podziemnych obiektów geoinżynierskich. Składa się on z urządzenia skanującego na bazie skanera 2D LMS511 SICK, laserowego systemu kontroli położenia, szynowego układu jezdnego lub obrotowego systemu mocowania, systemu rejestracji i analizy danych. Jest on o rząd wielkości tańszy od skanerów 3D. Urządzenie wykonane jest w wersji przeciwybuchowej i spełnia wymagania dyrektywy ATEX, co poświadczają stosowne certyfikaty. W artykule przedstawiono przykłady zastosowania skaningu 2D w ocenie stanu technicznego obudowy zbiornika retencyjnego oraz deformacji dwóch typów obudowy skrzyżowania.

Abstract: The Central Mining Institute in Katowice developed a mobile scanning system supporting the inventory of mine workings and assessment of the technical condition of underground workings. It comprises a scanning device based on a 2D scanner type SICK LMS511, a laser system for location control, rail chassis or a rotary clamping system, a system for data recording and analysis. The costs of the scanner are lower than the costs of a 3D model. The device is explosion proof and meets the requirement of ATEX directive which is certified by appropriate certificates. This paper presents examples of application of the 2D scanning system in the evaluation of the technical condition of the casing of a storage tank and deformation of two types of supports of an intersection.

Słowa kluczowe:

górnictwo, podziemne wyrobiska, profilowanie, skaner laserowy

Key words:

mining industry, underground workings, forming, laser scanner

1. Wprowadzenie

W polskim górnictwie węglowym, w pomiarach inwentaryzacyjnych wyrobisk i ich obudowy, coraz częściej stosowane są tachimetrie skanujące czy wręcz skanery laserowe 3D [5, 6, 7]. Stopniowo metody te wypierają tradycyjne pomiary geodezyjne, dostarczając zdecydowanie więcej informacji na temat geometrii mierzonego obiektu, w krótszym czasie i z większą dokładnością [2]. Sukces skanowania laserowego wynika także z dynamicznego rozwoju aparatury pomiarowej. Obecnie na rynku dostępnych jest wiele urządzeń, o różnych parametrach technicznych i walorach użytkowych. Należy tu wymienić skanery geodezyjne 3D takie jak: Leica ScanStation

C10, Callidus firmy CPS GmbH, Photon 120 firmy Faro i inne, przy czym niezależnie od typu i producenta sprzętu, efektem pomiaru jest chmura punktów o współrzędnych X,Y,Z, otrzymywana w układzie lokalnym i rzeczywistej skali (1:1). Wspomniana chmura stanowi materiał wejściowy do dalszej obróbki (pomiarów, modelowania 3D) w różnych programach graficznych [1, 3].

Pomimo wymienionych zalet, stosowanie skanerów laserowych w wyrobiskach górniczych jest utrudnione z uwagi na wymogi bezpieczeństwa. Stosunkowo niewiele urządzeń posiada stosowne certyfikaty, a ich ceny są bardzo wysokie. Przykładem może być pierwszy przeciwybuchowy skaner laserowy Z+F IMAGER 5006EX niemieckiej firmy DMT [14] z roku 2009. Koszt takiego urządzenia kształtuje się na poziomie 130 tys. euro. Posiada ono dopuszczenie wg ATEX

^{*)} Główny Instytut Górnictwa w Katowicach

z cechą IM2 d [1b], które wymaga wyłączenia zasilania urządzenia z chwilą pojawienia się atmosfery metanowej.

Pewną alternatywą jest stosowanie prostszych urządzeń, takich jak skanery dwuwymiarowe. Dostępna jest cała gama tanich skanerów, takich jak m.in. Moduloc LDA 2D (Wielka Brytania), Hokuyo UTM-30LX i URG-04LX (Japonia), Acuity 2D AR4000 (USA), SICK LD OEM 1000 i LD LMS serii 500 (Niemcy). W wielu zagadnieniach pomiarowych ich możliwości są wystarczające, a skanowanie tylko wybranych przekrojów zdecydowanie upraszcza proces obróbki danych pomiarowych. Przykładem takiego urządzenia może być opracowany w Głównym Instytucie Górnictwa skaner 2D [12,13], którego funkcjonalność potwierdzono licznymi badaniami dołowymi.

2. Aparatura pomiarowa

W latach 2012 - 2013 badania prowadzone w Głównym Instytucie Górnictwa pozwoliły na opracowanie laserowego modułu pomiarowego, zapewniającego automatyczny pomiar geometrii szybów, w tym deformacji obmurza i elementów jego wyposażenia [12, 13]. Laserowe systemy pomiaru i monitoringu szybów zostały w 2013 roku nagrodzone złotym medalem na targach wynalazczości Eureka w Brukseli oraz uhonorowane tytułem „Górniczego Sukcesu Roku 2013 w kategorii - Innowacyjność”.

W roku 2014 opracowano urządzenie skanujące do badań podziemnych wyrobisk kopalnianych [9]. Urządzenie ma postać hermetycznej skrzynki ze stali nierdzewnej (rys. 1), w której zabudowany jest skaner laserowy, rejestrator cyfrowy, autonomiczny zasilacz akumulatorowy, układ radiowej transmisji danych i sterowania. Autorskie (chronione patentem) rozwiązanie zasilacza z układem bezpieczeństwa, w skład którego wchodzi bariera, kontaktronowy układ wyłączający i załączający oraz gaz obojętny pod wymaganym ciśnieniem, zapewnia automatyczne odłączanie zasilania i blokadę ponownego uruchomienia przed przewietrzeniem urządzenia i powtórny uzyskaniem nadciśnienia gazu obojętnego [10]. Moduł pomiarowy wyposażony jest w skaner

laserowy LMS 511 2D firmy Sick [4, 8] o kącie widzenia 190°. Producent deklaruje, że skaner Sick LMS 511 jest urządzeniem optycznym posiadającym klasę 1 bezpieczeństwa urządzenia laserowego (bezpieczne dla oczu) zgodnie z normą DIN – EN 60825-1 (PN-EN 60825-1) dla promieniowania impulsowego w podczerwieni o długości fali $\lambda = 905$ nm. Dioda laserowa skanera pracuje impulsowo z częstotliwością 100 kHz, a głowica skanera obraca się z częstotliwością 25 Hz do 100 Hz. Średnica plamki laserowej związana z dystansem wynosi (dystans w mm) $\times 0,005$ rad + 13 mm. LMS511 wyposażony jest fabrycznie w system monitoringu obrotu głowicy, powodujący automatyczne wyłączenie diody laserowej w przypadku braku obrotu lub blokady obrotu głowicy. Warunki pracy skanera określone jw. i certyfikowane według normy EN 60825-1 gwarantują, że natężenie promieniowania nie przekracza 5 mW/mm² (39 mW z EN 60825/ 707 mm²) ani gęstości energii $0,1$ mJ/mm² (1 mJ z EN 60825-1/707 mm²). Parametry modułu skanującego GIG ze skanerem Sick LMS511 2D przedstawiono w tablicy 1.

W skład oprogramowania do obsługi urządzenia skanującego wchodzi:

- oprogramowanie konfiguracyjne skanera SOPAS Engineering Tool,
- aplikacje programowe w środowisku LabView,
- platforma programistyczna Microsoft .NET Framework 4, program pisany w języku Visual Basic .NET,
- oprogramowanie do tworzenia dokumentacji 3D - AutoCAD 2011.

Badania certyfikacyjne przeprowadzone zostały w notyfikowanej (NB 2057) Jednostce Opiniującej, Atestującej i Certyfikującej Wroby TEST w Siemianowicach Śląskich. Moduł skanujący uzyskał certyfikat badania typu WE nr TEST 13 ATEX 0083X, poprzez zgodność z normami: PN-EN 60079-0:2009, PN-EN 60079-2:2010, PN-EN 60079-28:2010.


3. Metoda pomiarowa

Górnicy skaner laserowy GIG wyposażony w moduł LMS 511 2D pozwala na wyznaczenie odległości do otaczających



Rys. 1. Widok modułu skanującego GIG
Fig. 1. Scanning module developed by GIG

Tablica 1. Parametry modułu skanującego GIG
Table 1. Scanning module parameters

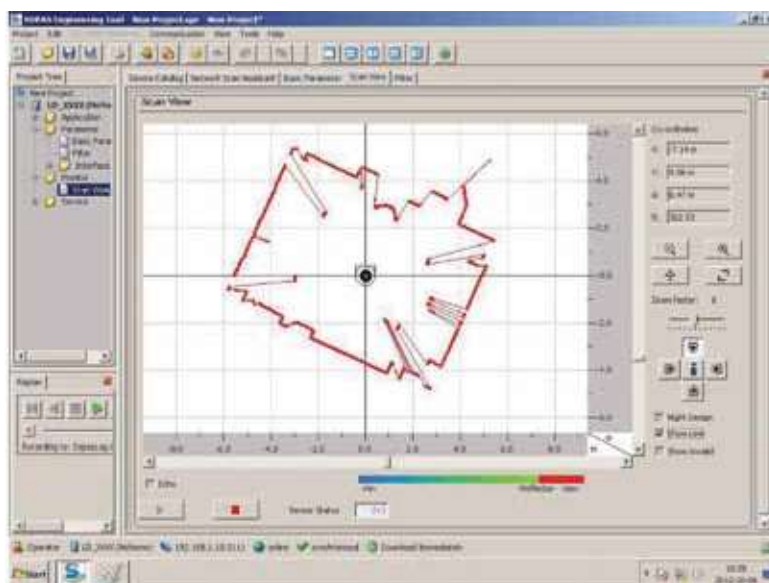
Częstotliwość skanowania	25 Hz -100 Hz
Zasięg roboczy	0,7 do 26 m ze stosowaniem filtra redukującego odbicia bliższe i dla 10% odbicia
Pole widzenia	190°
Maksymalna częstotliwość impulsów diody laserowej	100 kHz
Rozdzielczość kątowna	0,1667° – 1°
Średnica płamki	35 mm
Typ lasera	podczerwony 905 nm
Klasa lasera	1 (EN/IEC 60825-1), bezpieczny dla oczu
Czas reakcji	> 66 ms
Rozbieżność wiązki	5 mrad
Błąd statystyczny (1 σ) pomiaru odległości	+ 6 mm (1 – 10 m)
Temperatura pracy	5°C do 40°C
Wymiary	390 x 380 x 280 mm
Ciężar	18 kg
Rodzaj zasilania	wewnętrzny zasilacz akumulatorowy
Czas pracy	4 h
Stopień ochrony	min. IP 65 (DIN 40 050)
Rodzaj budowy wg ATEX	 I M2 Ex px [opis Ma] I Mb

powierzchni w płaszczyźnie skanowania, poprzez pomiar czasu przejścia fali optycznej. Umożliwia to tworzenie geometrycznych profili otoczenia w płaszczyźnie skanowania (przy nieruchomym urządzeniu, jak na rys. 2) lub tworzenia przestrzennej mapy badanego obiektu (obiektów) poprzez przemieszczanie urządzenia wzdłuż określonej osi lub ruch obrotowy i programowe tworzenie chmury punktów pomiarowych we współrzędnych kartezjańskich. Pozwala to na obrazowanie 3D wyrobiska w postaci chmury punktów oraz na geometryczne profilowanie przekroju chodnika, komory czy zbiornika wraz z wyposażeniem. Umożliwia ono również badanie konwergencji wyrobisk. W trakcie realizacji prac projektowych, a także na etapie produkcji i prób dołowych urządzenia skanującego rozwiązano istotne problemy związane z: dopasowaniem parametrów skanera do wymiarów skanowanych wyrobisk, zapewnieniem stabilnego ruchu skanera, rozwiązaniem systemów zasilania, rejestracji i analizy danych. Dokładność metody pomiarowej sprawdzono

w trakcie badań laboratoryjnych, które obejmowały skanowanie płaszczyzn i elementów znajdujących się w spoczynku i w ruchu. Wykazały one m.in., że dla nieruchomej powierzchni odbijającej maksymalne odchylenie pojedynczego pomiaru od regresji liniowej (dla 25 pomiarów do fragmentu białej powierzchni o szerokości 1 m) wyniosło $D_{max} = 6$ mm dla odległości 5 m. Możliwy był statystyczny odczyt odległości do powierzchni obiektu ze średnim odchyleniem standardowym $s_{sr.} = 6$ mm na odległości do 10 m i z katalogową rozdzielczością + 14 mm na 30 m [11]. Parametry te są wystarczające dla potrzeb projektowania obudowy wyrobisk i ewentualnych wzmocnień.

4. Ocena ubytku obudowy

Jednym z zastosowań skanera dwuwymiarowego w podziemiach kopalń może być profilowanie ubytków obudowy



Rys. 2. Widok ekranu monitora z profilem skanowanego pomieszczenia
Fig. 2. Screenshot of the profile of the scanned area

zbiorników retencyjnych. Specyfika obiektów typu zbiorniki retencyjne skłania do stosowania maksymalnie uproszczonych metod. Wynika to między innymi z bardzo krótkiego czasu dostępu do obiektu, wykluczającego instalowanie sieci punktów bazowych na obudowie zbiornika oraz trudnościami w ustawieniu i ustabilizowaniu skanera w opróżnionym zbiorniku. Mając powyższe na uwadze, badania z zadowalającym skutkiem prowadzi się z wykorzystaniem wspomnianego wcześniej skanera laserowego 2D. Przykładem takich badań może być ocena wielkości ubytku obudowy zbiornika retencyjnego w jednej z kopalń GOP. Przedmiotowy zbiornik wykonany jest głównie w obudowie betonowej, jedynie głowica została wykonana jako murowa z betonitów. W dolnym odcinku (w części stożkowej) zastosowano dodatkowo wykładkę z szyn. Część cylindryczna zbiornika o wysokości około 35 m posiada średnicę 10 m (w świetle obudowy). Część skośna o wysokości około 8 m zakończona jest stalowym wysypem.

W wyniku długotrwałej eksploatacji zbiornika doszło do uszkodzenia jego obudowy. Celem pomiarów było określenie wielkości ubytku obudowy i wyrwy w górotworze pod kątem przygotowania technologii naprawy zbiornika oraz kalkulacji tych robót. Ocenę wielkości uszkodzenia (ubytków) przeprowadzono z wykorzystaniem skanera laserowego 2D, opuszczanego do zbiornika na linie, pozycjonowanego i stabilizowanego przez dwuosobowy zespół z zastosowaniem technik dostępu linowego (rys. 3). Za takim sposobem pozycjonowania skanera przemawiało ukośne ukształtowanie wyrwy oraz miejscowe „podebranie” obudowy, tzn. zwiększająca się szerokość wybrania wraz z głębokością wyrwy (rys. 4, 5, 6). Wymagało to zmian usytuowania skanera na poszczególnych głębokościach zbiornika. Dla osiągnięcia głównego celu prowadzonych badań nie było istotne usytuowanie uzyskanych skanów względem np. pionu optycznego, a jedynie obrys wyrwy na poszczególnych głębokościach zbiornika (czyli powierzchnia przekroju ubytku) w odniesieniu do obrysu obudowy.

W wyniku prac otrzymano zarysy ubytku stopniowane co 1 m głębokości zbiornika. Kształt uzyskanych przekrojów oraz ich pola powierzchni pozwoliły na obliczenie objętości wyrwy w obudowie. Na rysunku 4 przedstawiono przykładowe, zarejestrowane zarysy fragmentu zbiornika. Natomiast na rysunku 5 - orientacyjny zarys ubytku na rozwinięciu obmurza zbiornika.

Jak widać zasadniczy ubytek obudowy zbiornika rozciąga się na długości około 30 m, to jest od głębokości 5,0 m do 35,0 m. Na rysunku 6 przedstawiono wyrwę na głębokości około 30 m. Na podstawie przeprowadzonych pomiarów objętość wyrwy w obudowie i górotworze określono na 199 m³.

Na podstawie szczegółowych danych odnośnie kształtu i objętości wyrwy w obudowie zbiornika, uzyskanych przy wykorzystaniu modułu skanującego GIG, została opracowana technologia jego naprawy wraz z listą zapotrzebowania materiałowego niezbędną do wykonania remontu oraz rzetelnej wyceny robót.

5. Ocena deformacji obudowy

Kolejnym z zastosowań skanera dwuwymiarowego w podziemiach kopalń jest kontrola deformacji obudowy skrzyżowania. W praktyce polega to na profilowaniu wybranych przekrojów w obszarze skrzyżowania, najczęściej w osiach belek projektowanej konstrukcji wzmacniającej. Uzyskane w ten sposób profile można łatwo nanieść na posiadaną dokumentację rysunkową np. w celu precyzyjnego zaprojektowania wzmocnień w przypadku znacznej zmiany geometrii względem wymiarów pierwotnych.

5.1. Pomiar geometrii skrzyżowania słupowego

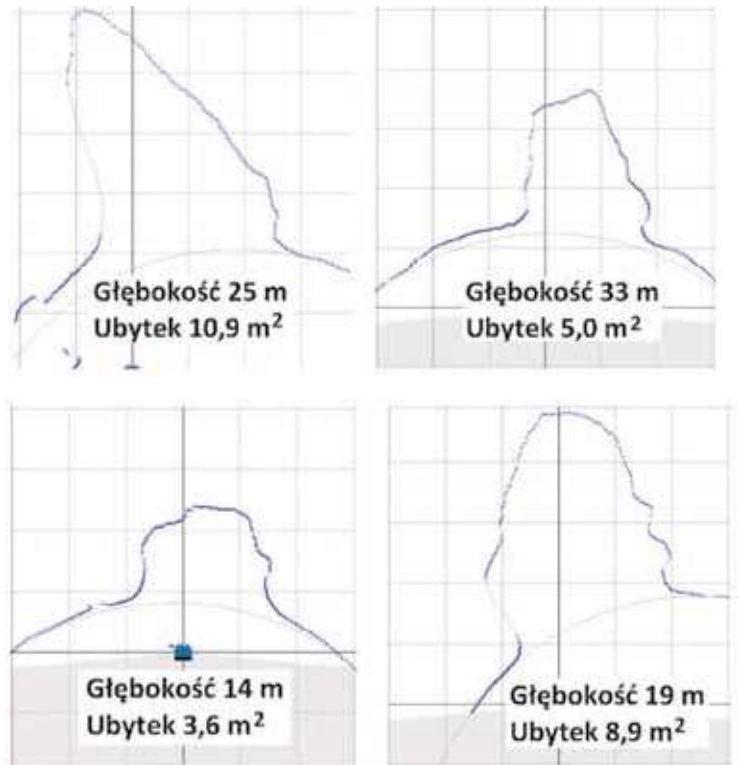
W pomiarach geometrii skrzyżowania chodnika diagonalnego N-13 z przecinką do chodnika i z przecinką odstawczą laserowe urządzenie skanujące montowano na obrotowej platformie pomiarowej mocowanej na statywie geodezyjnym (rys.7).

Profilowanie skrzyżowania w wybranych przekrojach przeprowadzono z czterech stanowisk, zgodnie z rysunkiem 8. Miejsca posadowienia skanera wynikały z optycznych, celowych dla optymalnej widoczności elementów zabudowy stropu, naprzeciwległych naroży wyrobisk i elementów wyposażenia.

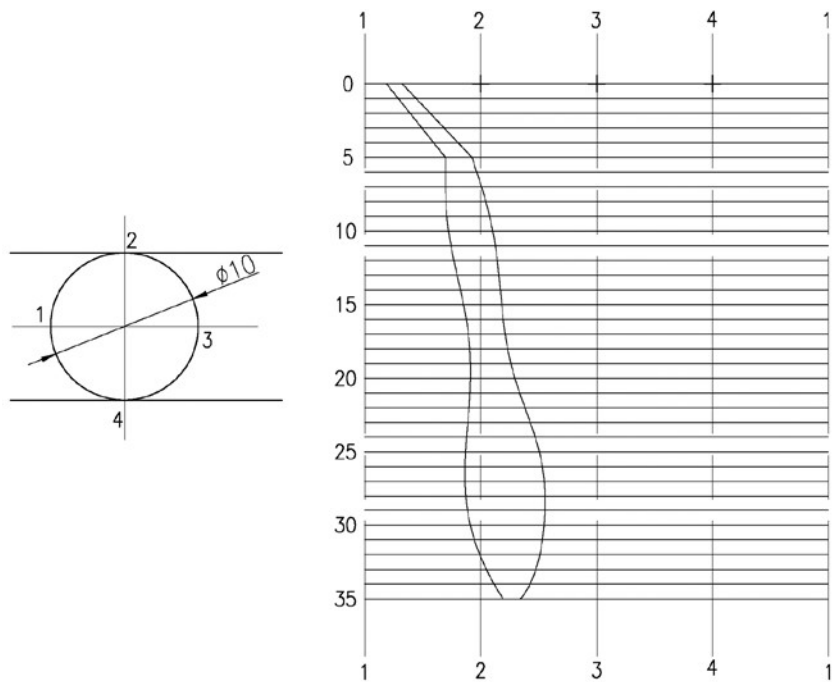
Na stanowisku I wykonano skanowanie przekroju I [A-C] w płaszczyźnie przechodzącej przez naroża A i C oraz w płaszczyznach obróconych horyzontalnie o $\pm 5^\circ$. Wykonano także skanowanie ciągłe z obrotem o 360° . Podobne czyn-



Rys. 3. Skaner laserowy przygotowany do opuszczenia oraz schemat prowadzenia pomiarów
Fig. 3. Laser scanner ready to be lowered and scheme of the performed measurements



Rys. 4. Przykładowe zarysy fragmentu obudowy zbiornika
 Fig. 4. Examples of outlines of a part of the tank's casing



Rys. 5. Lokalizacja głównego ubytku na obwodzie zbiornika
 Fig. 5. Location of the main cavity on the inside of the tank



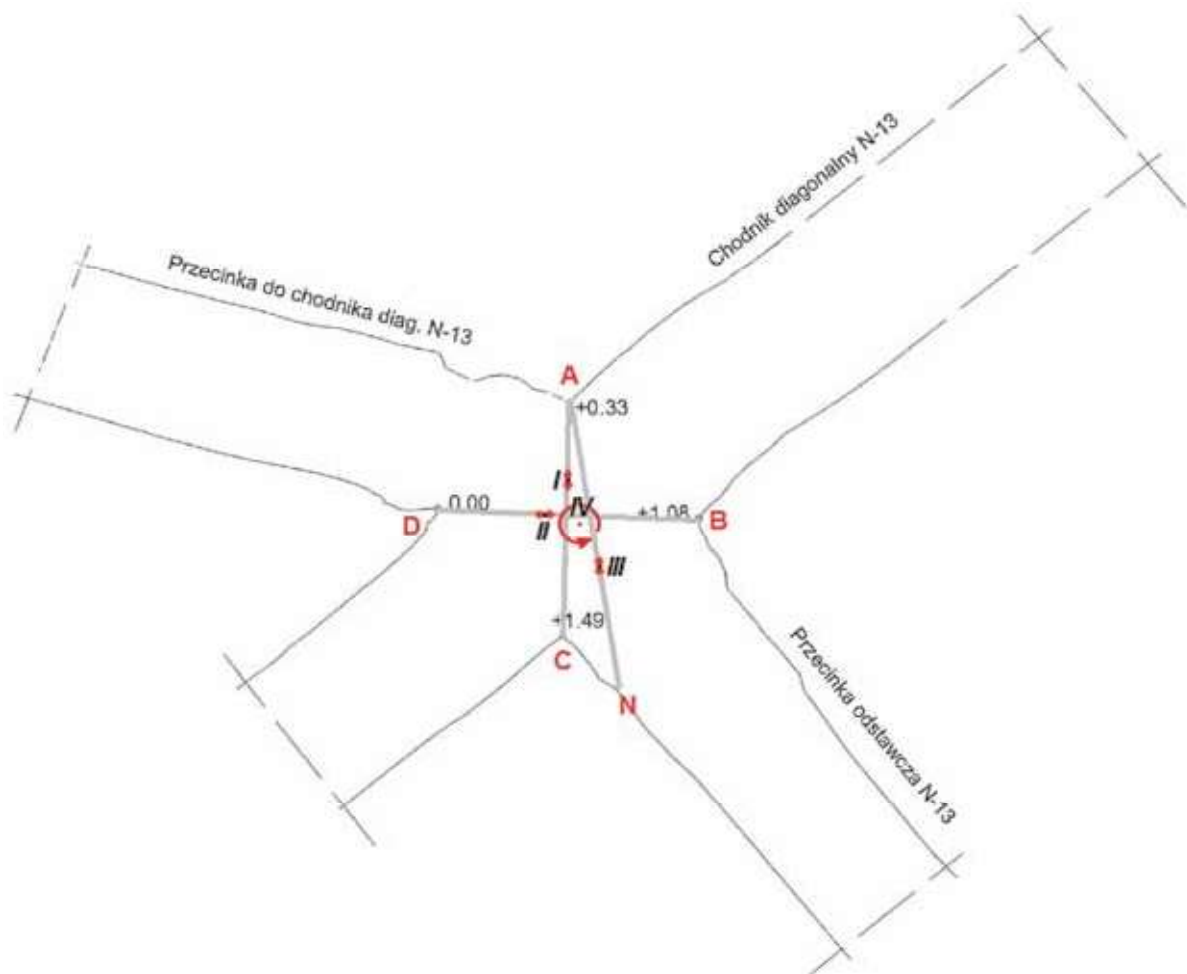
Rys. 6. Widok wyrwy w badanym zbiorniku reencyjnym
 Fig. 6. Rift in the tested storage tank



Rys. 7. Widok skanera na stanowisku pomiarowym
Fig. 7. Scanner in the tests bench

ności przeprowadzono dla stanowiska II (przekątna B-D), stanowiska III (płaszczyzna N-A, ze skanerem po drugiej stronie przenośnika taśmowego). Ostatnim było stanowisko IV z optymalnym wglądem na elementy zabudowy stropu i

możliwością skanowania w płaszczyznach równoległych do osi chodnika diagonalnego i osi przecinki. Na stanowisku tym wykonano skanowanie 360°.



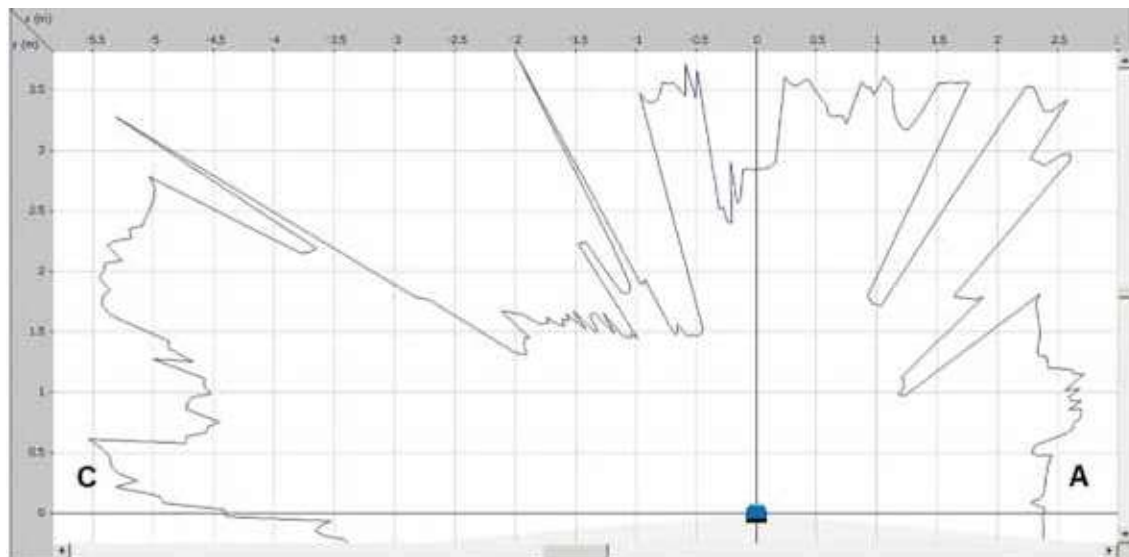
Rys. 8. Topografia pomiaru, A, B, C, D - naroża skrzyżowania chodnika diagonalnego N-13 z przecinkami: I, II, III, IV stanowiska pomiarowe - I – przekrój 1 [A-C] + skan $\pm 5^\circ$ - II – przekrój 2 [B-D] + skan $\pm 5^\circ$ - III – przekrój 3 [N-A] + skan $\pm 5^\circ$ - IV – skan 360°

Fig. 8. Topography measurement, A, B, C, D – corners of the intersection of N-13 diagonal gallery with headings: I, II, III, IV test benches - I – section 1 [A-C] + scan $\pm 5^\circ$ - II – section 2 [B-D] + scan $\pm 5^\circ$ - III – section 3 [N-A] + scan $\pm 5^\circ$ - IV – 360°scan

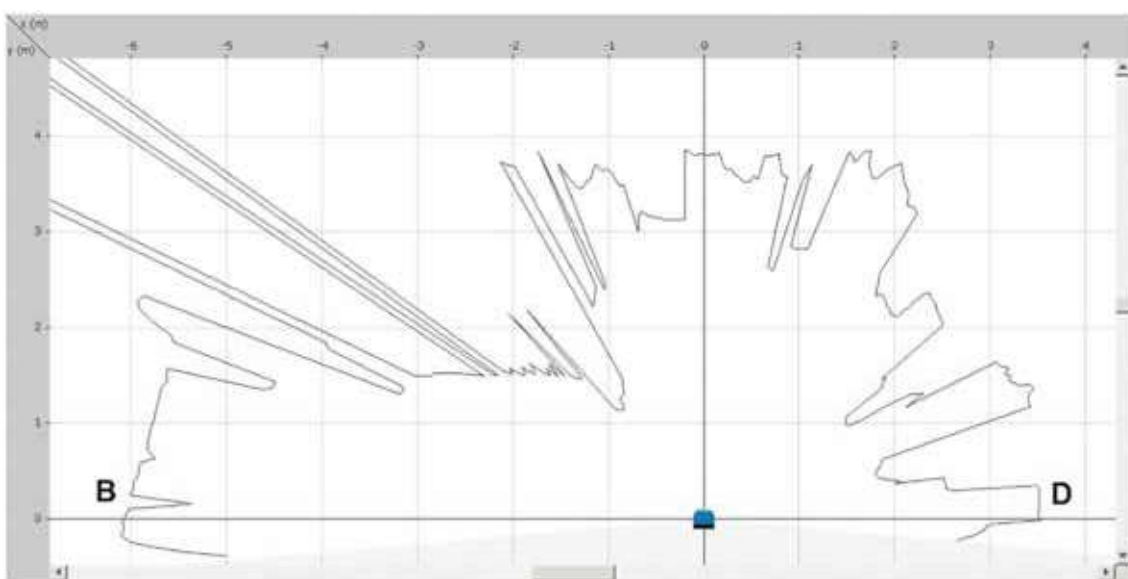
W wyniku przeprowadzonego skanowania uzyskano wiele przekrojów. Najistotniejsze z uwagi na projektowanie konstrukcji wzmacniającej przedstawiono na rysunkach 9 i 10. Natomiast na rysunku 11 przedstawiono złożenie dwóch skanów (wspólnym elementem odniesienia jest przenośnik taśmowy) wraz z opisem wyposażenia, a na rysunku 12 - wi-

dok ogólny na skrzyżowanie (skanowanie 3600 na stanowisku IV), uzyskany za pomocą przetworzenia danych ze współrzędnych biegunowych na współrzędne kartezjańskie (x, y, z). Obrazowanie graficzne chmury punktów realizowane jest za pomocą funkcji programu AutoCAD® 2013.

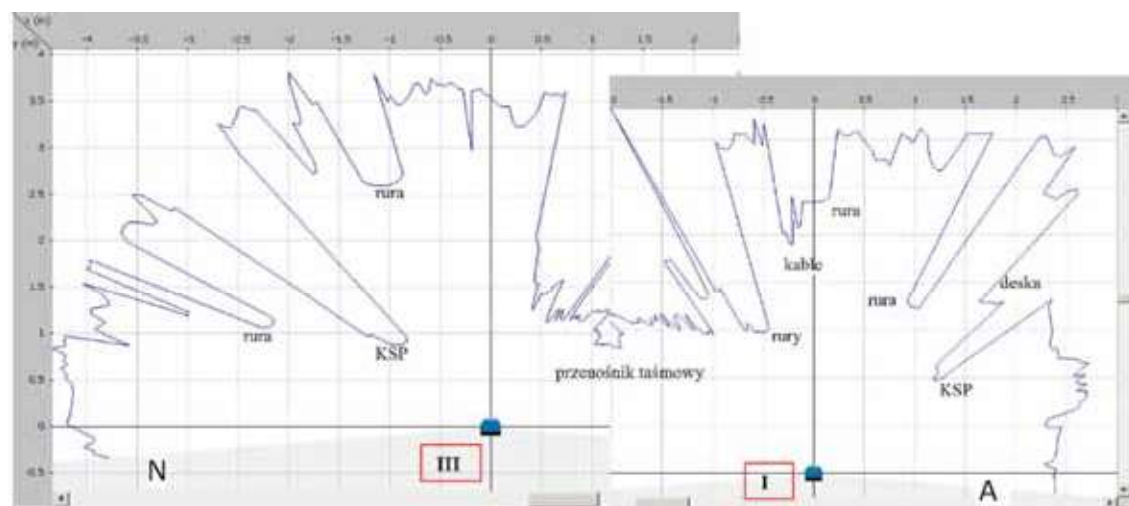
Rys. 9. Przekrój A-C
Fig. 9. A-C section

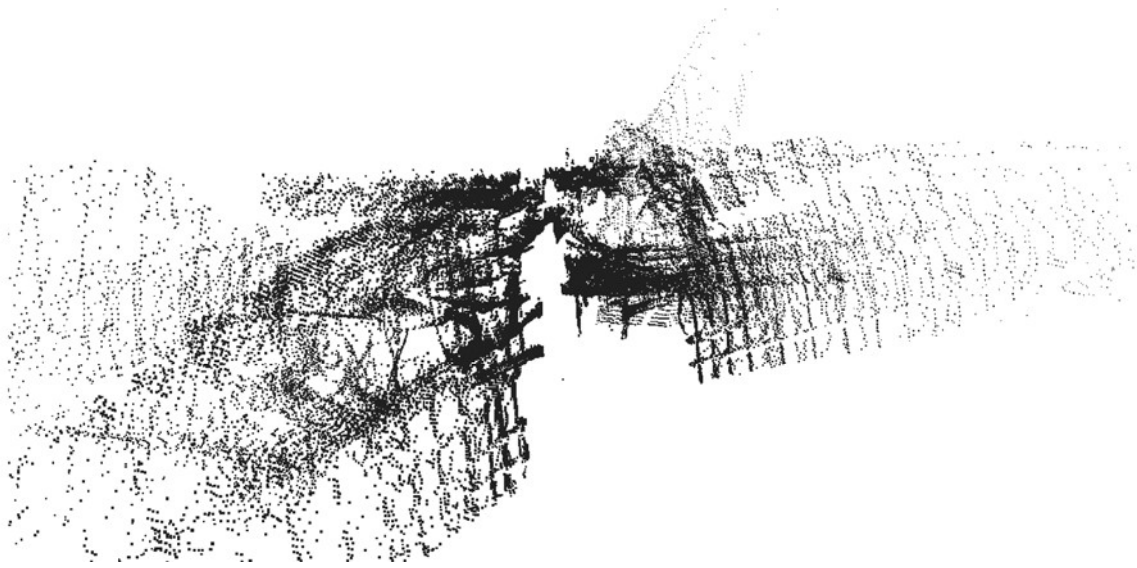


Rys. 10. Przekrój B-D
Fig. 10. B - D section



Rys. 11. Przekrój N-A
Fig. 11. N-A section

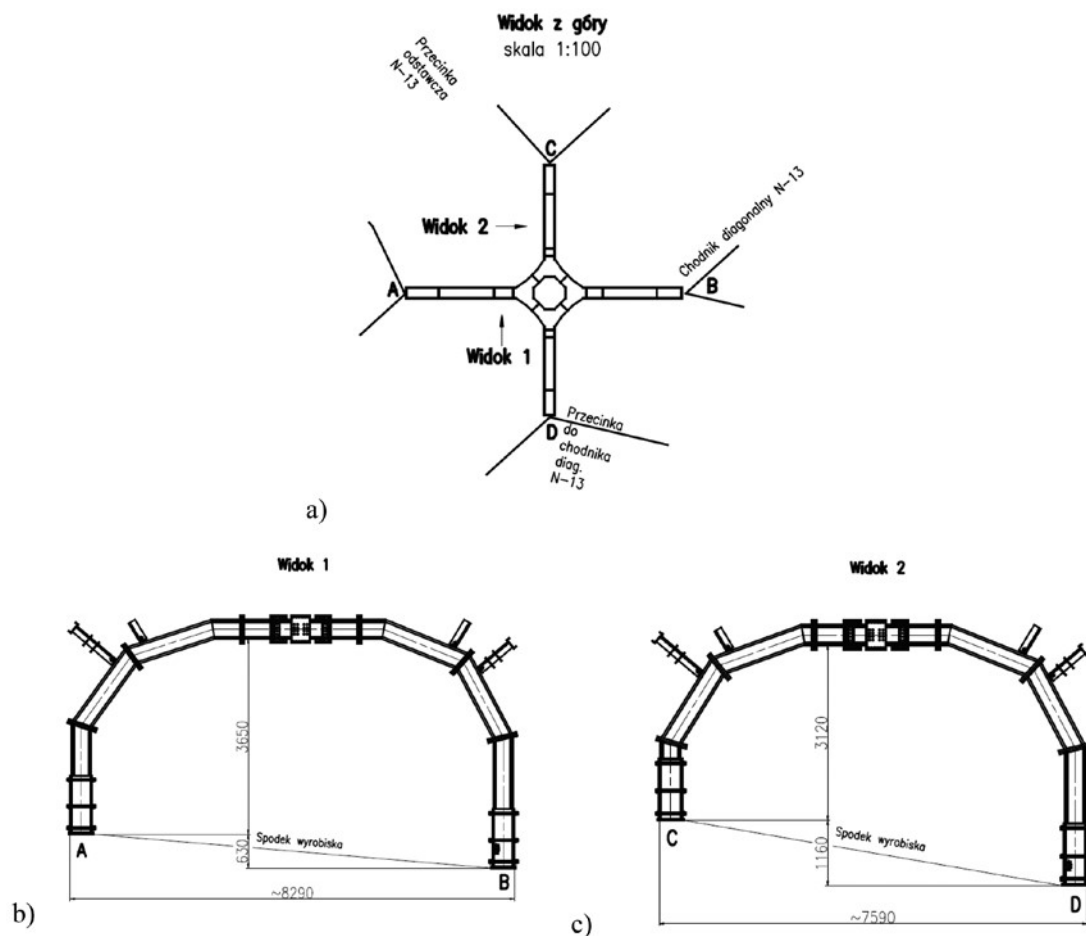




Rys. 12. Widok ogólny na skrzyżowanie
Fig. 12. Overall view of the intersection

Na podstawie wyników skanowania laserowego obszaru skrzyżowania, uzyskanych przy wykorzystaniu modułu skanującego GIG, została zaprojektowana konstrukcja portalkowa wzmacniająca istniejącą obudowę (rys. 13a-c). Dzięki wykonanym pomiarom uzyskano bardzo dobre dopasowanie

wzmocnienia do istniejącej obudowy, co w przypadku klasycznych metod pomiarowych byłoby utrudnione, szczególnie ze względu na dużą liczbę zabudowanego wyposażenia wyrobisk oraz posadowienie stóp wsporników na różnych wysokościach.



Rys. 13. Zaprojektowane wzmocnienie obudowy skrzyżowania: a) widok z góry, b) i c) przekroje z widokiem na poszczególne wsporniki

Fig. 13. Reinforcement of the intersection's support: a) top view; b) and c) sections with the overall view of individual brackets

5.2. Pomiar geometrii skrzyżowania portalowego

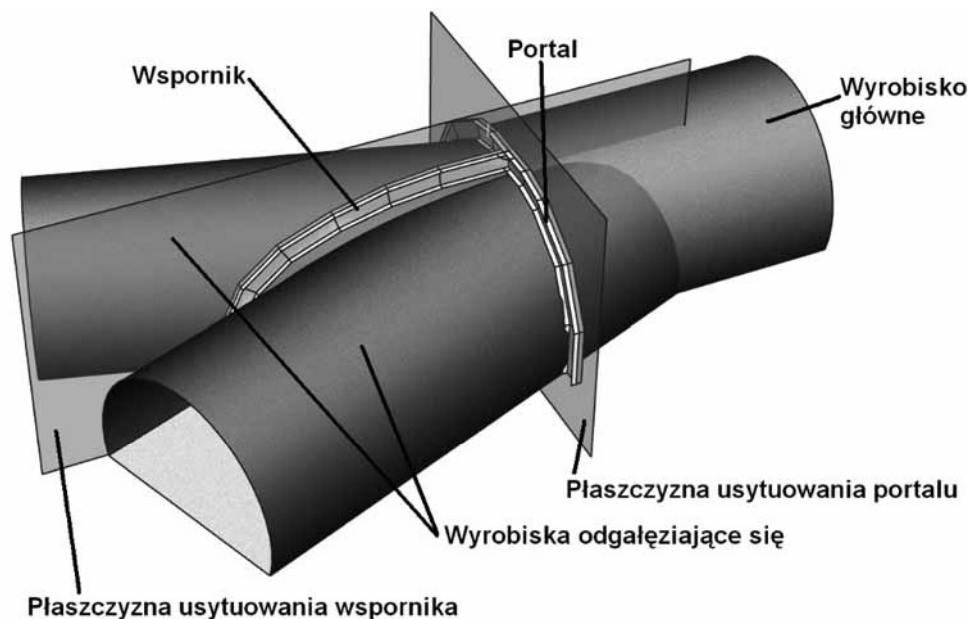
W pomiarach geometrii obudowy portalowej skrzyżowania chodników, laserowe urządzenie skanujące montowano na obrotowej platformie pomiarowej mocowanej na statywie geodezyjnym. Profilowanie skrzyżowania w wybranych przekrojach przeprowadzono z jednego stanowiska, umiejscowionego na przecięciu płaszczyzn przekrojów portalu oraz wspornika (rys. 14 i 15).

Skanowanie prowadzone było w celu oceny stopnia deformacji istniejącej obudowy skrzyżowania oraz zaprojektowania

konstrukcji wzmacniającej zdeformowaną (na skutek m.in. błędów montażowych) obudowę.

Miejsce posadowienia skanera wynikało z optycznych, celowych dla optymalnej widoczności wszystkich elementów obudowy skrzyżowania.

Na stanowisku wykonano skanowanie przekroju portalu (w dwóch pozycjach - dla lewej i prawej strony portalu, patrząc od osi wspornika) oraz w płaszczyźnie wspornika. Wykonano także skanowanie skrzyżowania z obrotem skanera o 360° w celu uzyskania chmury punktów do ewentualnej dalszej obróbki.



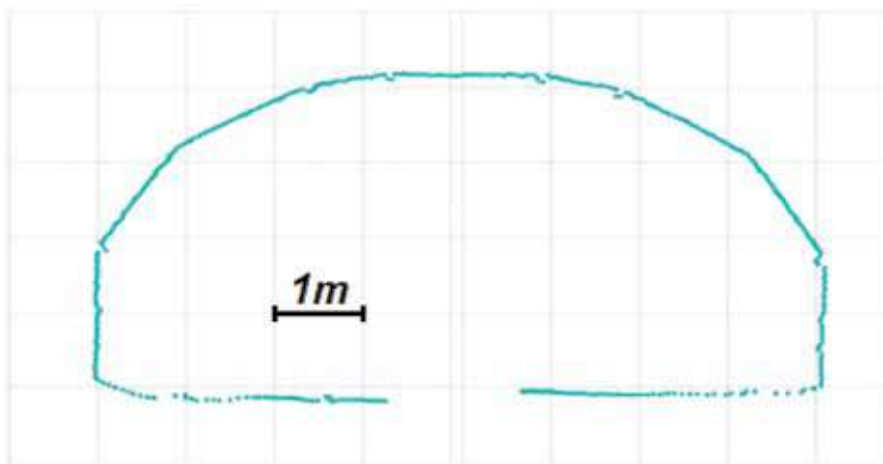
Rys. 14. Widok ogólny obudowy portalowej z zaznaczonymi płaszczyznami usytuowania portalu i wspornika

Fig. 14. Overall view of the portal support with marked location of the portal and bracket

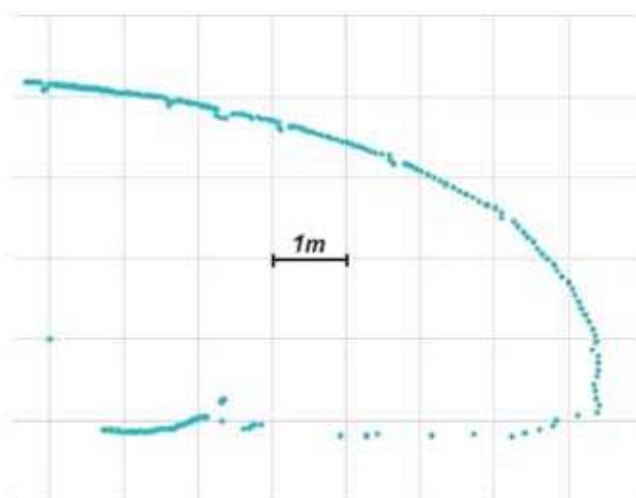


Rys. 15. Stanowisko pomiarowe na skrzyżowaniu: skanowanie w płaszczyźnie portalu (lewa) i w płaszczyźnie wspornika (prawa)

Fig. 15. Measuring post at the intersection: plane portal scans (left) and scans in the plane of the bracket (right)



Rys. 16. Profil geometryczny portalu
Fig. 16. Geometric profile of the portal



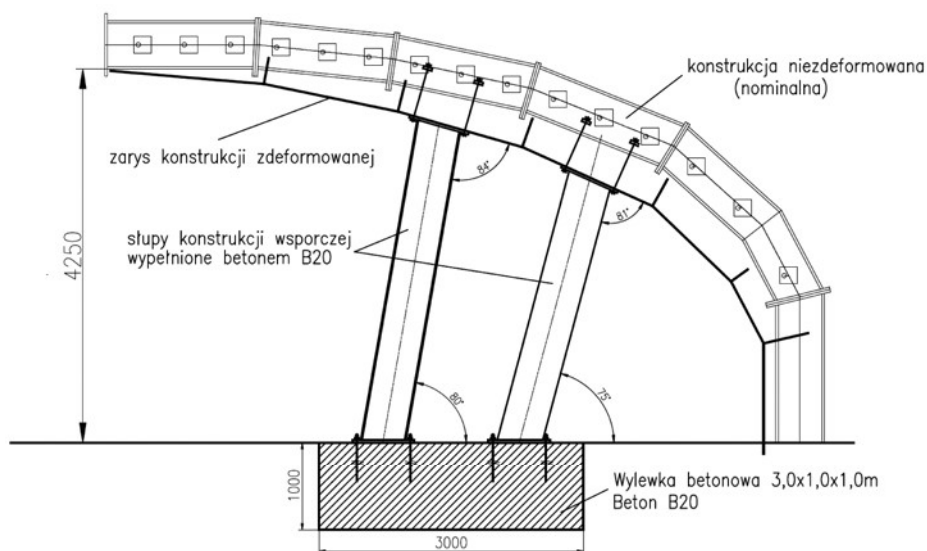
Rys. 17. Profil geometryczny wspornika
Fig. 17. Geometric profile of the bracket

Na podstawie danych uzyskanych ze skanera wykonany został profil portalu, jak na rysunku 16, z uwzględnieniem przesunięcia osi skanera, przy obrocie urządzenia o 180° .

Na rysunku 17 przedstawiono profil geometryczny wspornika.

Na podstawie przekrojów uzyskanych przy wykorzystaniu modułu skanującego GIG, zostały dobrane słupy stalowe

wzmacniające wspornik istniejącej obudowy skrzyżowania (rys. 18). Dzięki wykonanym pomiarom możliwe było precyzyjne określenie długości słupów oraz kąta ich cięcia, co pozwoliło uniknąć dodatkowych prac ślusarskich, niemożliwych do wykonania pod ziemią ze względu na atmosferę wybuchową.



Rys. 18. Zaprojektowane wzmocnienie obudowy skrzyżowania

Fig. 18. Reinforcement of the intersections' support

6. Podsumowanie i wnioski

Skanowanie laserowe jest coraz częściej stosowane w przemyśle do określania gabarytów, deformacji, przemieszczeń modernizowanych, przebudowywanych lub diagnozowanych konstrukcji i obiektów technicznych. Fakt ten dotyczy również przemysłu wydobywczego i podziemnych wyrobisk górniczych, gdzie pomimo trudnych warunków (zapylenie, ograniczona przestrzeń, zagrożenie metanowe, wycieki wód) od kilku lat prowadzi się udane próby skanowania. Przedstawione wcześniej przykłady mogą być tego doskonałym dowodem. Świadczą one również o możliwości i zasadności stosowania w tym celu także skanerów dwuwymiarowych – prostszych i tańszych urządzeń pozwalających uzyskać zadowalające efekty.

Literatura

1. *Koceski S., Koceska N., Zobel P. B., Durante F.*: Characterization and modeling of a 3D scanner for Mobil Robot Navigation, 17th Mediterranean conference on Control & Automation, IEEE 2009, 2789-5.
2. *Kukutsch R., Kajzar V., Konicek P., Waclawik P., Ptacek J.*: Possibility of convergence monitoring of gates in coal mining using terrestrial 3D laser scanner, *Journal of Sustainable Mining* 14 (2015), pp. 30-37.
3. *Maciaszek J.*: Skanowanie laserowe jako nowa technologia inwentaryzacji i wizualizacji zabytkowych komór solnych. „Gospodarka Surowcami Mineralnymi” 2008, t. 24, z. 3/2.
4. Operating Instructions: Laser Measurement Systems of the LMS 5xx Product Family, SICK 2010
5. *Pielok J.*: Geodezja górnicza. Wyd. AGH. Kraków 2011.
6. *Rotkegel M., Szot Ł., Witek M., Szewczyk B.*: Selection of the working support based on 3D laser scanner measurements. Freiberg 2015.
7. *Rotkegel M., Szot Ł., Witek M., Szewczyk B.*: Zastosowanie nowoczesnych narzędzi w projektowaniu obudowy chodnika podstawowego w pokładzie 510 w Zabytkowej Kopalni Węgla Kamiennego „Guido”. „Wiadomości Górnicze” 2015, nr 7-8.
8. SICK, <http://www.sick.com> (2011)
9. *Szade A. i In.*: P. 404367 z dn. 19.06.2013, Sonda automatycznego pomiaru geometrii obudowy i wyposażenia szybów.
10. *Szade A. i In.*: P. 404368 z dn. 19.06.2013, Układ autonomicznego zasilania urządzenia pomiarowego w osłonie gazowej z nadciśnieniem.
11. *Szade A., Bartmański C., Fisior M.*: Using a 2D laser scanner in the investigations of structures subjected to impact of static and dynamic effects, *Measurement Automation Monitoring*, vol. 61, no. 12/2015, pp. 561-564.
12. *Szade A., Bochenek W., Passia H. i In.*: Opracowanie laserowego sytemu automatycznego pomiaru geometrii obudowy i wyposażenia szybów. Prace Statutowe MNiSW w GIG, nr 10010112-170. 2012.
13. *Szade A., Bochenek W., Passia H. i In.*: Opracowanie laserowego sytemu automatycznego pomiaru geometrii obudowy i wyposażenia szybów - rozbudowa układu. Prace Statutowe MNiSW w GIG, nr 10011123-170. 2013.
14. www.dmt.de, Z+F IMAGER 5006EX Scanner

Szanowni Czytelnicy!

Przypominamy o wznowieniu

prenumeraty „Przeglądu Górniczego”

Informujemy też, że od 2009 roku w grudniowym zeszycie P.G. zamieszczamy listę naszych prenumeratorów.