



Ocena parametrów wytrzymałościowych obudowy szybów w oparciu o wyniki badań prób rdzeniowych pobranych przy użyciu innowacyjnego zestawu wierzącego

Stanisław DUŻY¹⁾, Grzegorz DYDUCH²⁾, Grzegorz STACHA³⁾

¹⁾ Politechnika Śląska, Gliwice

²⁾ Politechnika Śląska, Wydział Górnictwa, Inżynierii Bezpieczeństwa i Automatyki Przemysłowej, Gliwice, Poland, e-mail: grzegorz.dyduch@polsl.pl

³⁾ emeryt górniczy

<http://doi.org/10.29227/IM-2020-02-42>

Submission date: 27-10-2020 | Review date: 28-12-2020

Abstrakt

Ocena stanu technicznego obudowy szybów i szybków, zgodnie z obowiązującym w Polsce od listopada 2016 r. przepisami, wymaga wykonywania badań obmurza zarówno metodami nieniszczącymi jak i niszczącymi. Szczególne trudności sprawia pobieranie materiału do badań niszczących z uwagi na brak urządzeń przystosowanych do wykonywania w szybach odwiertów rdzeniowych. Aby umożliwić bezpieczne i precyzyjne pobieranie prób do badań wytrzymałościowych w specyficznych warunkach szybów górniczych opracowano innowacyjny zestaw wierzący o napędzie pneumatycznym. Dla potwierdzenia skuteczności opracowanego urządzenia wykonano próby ruchowe w warunkach dołowych. Pobrane z obmurza rdzenie oceniono pod kątem jakości i precyzji wykonania. Następnie, w oparciu o wyniki badań niszczących popranych prób rdzeniowych, określono możliwości ich wykorzystania do oceny parametrów wytrzymałościowych obudowy szybów.

Keywords: szyby górnicze, wiertnica, stan techniczny obudowy, próby rdzeniowe

Wstęp

Obowiązujące w Polsce od listopada 2016 r. przepisy, dotyczące prowadzenia ruchu podziemnych zakładów górniczych nakładają na rzeczoznawców ds. ruchu zakładu górniczego nowe obowiązki w zakresie badania stanu technicznego obudowy szybów i szybków. Obligatoryjne stało się wykonywanie badań obmurza zarówno metodami nieniszczącymi jak i niszczącymi [9].

Metody nieniszczące umożliwiają ocenę parametrów wytrzymałościowych materiałów wbudowanych w konstrukcje obudów szybowych w oparciu o zależność matematyczną, wiążącą ich wytrzymałość na ściskanie z mierzoną wielkością fizyczną (np. twardość materiału, prędkość rozchodzenia się fal ultradźwiękowych itp.). W badaniach tego typu wykorzystuje się zwykle sklerometry lub betonoskopy ultradźwiękowe. Konieczność weryfikacji wyników badań niszczących w odniesieniu do badań niszczących, przeprowadzonych na próbkach pobranych z obmurza szybu, wymaga najczęściej wykonania odwiertów rdzeniowych. Szyby górnicze są zwykle zawilgocone i zaliczane do pomieszczeń zagrożonych wybuchem, co w większości przypadków eliminuje możliwość stosowania popularnych w budownictwie powierzchniowym wiertnic zasilanych silnikami elektrycznymi. Stąd też zaistniała konieczność opracowania urządzenia pozwalającego na bezpieczne i precyzyjne wykonywanie odwiertów rdzeniowych w specyficznych warunkach szybów górniczych. W tym celu zaprojektowano i zlecono wykonanie lawety umożliwiającej montaż i prowadzenie dowolnej górniczej wiertarki ręcznej przy zapewnieniu wszelkich wymogów bezpieczeństwa pracy w wyrobiskach górniczych. Aby potwierdzić skuteczność opracowanego urządzenia należało wykonać próby

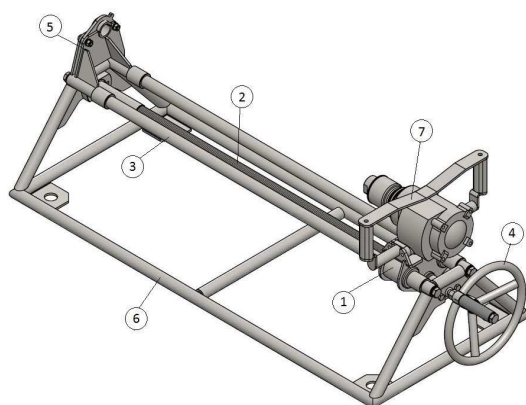
ruchowe w warunkach dołowych, ocenić jakość rdzeni wiertniczych i określić możliwość skorelowania parametrów wytrzymałościowych konstrukcji obudowy szybu, uzyskanych z prób niszczących, w odniesieniu do badań sklerometrycznych wykonanych w miejscu pobrania rdzeni.

Zestaw wierzący do pobierania prób rdzeniowych

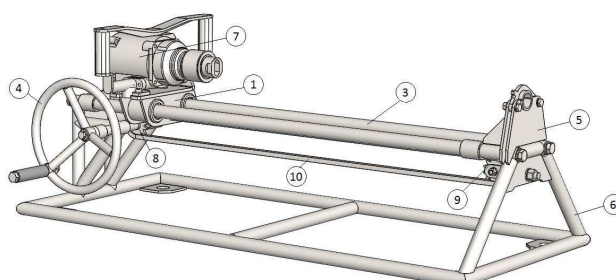
Opracowany zestaw wierzący do pobierania prób rdzeniowych składa się z dwóch zasadniczych części:

- pneumatycznej wiertarki ręcznej PWR II firmy MOJ S.A.,
- lawety umożliwiającej zamocowanie oraz precyzyjne prowadzenie wiertarki ręcznej wykonanej wg projektu autorów niniejszej pracy.

Górnicza pneumatyczna wiertarka ręczna PWR II przeznaczona jest do wiercenia otworów w skałach miękkich i średniotwardych. Jedną z głównych zalet urządzenia jest możliwość stosowania w pomieszczeniach ze stopniem „c” niebezpieczeństwa wybuchu metanu oraz klasy B zagrożenia wybuchem pyłu węglowego. W związku z powyższym oraz z uwagi na prostą konstrukcję, niewielką wagę i gabaryty urządzenia zdecydowano o jego przystosowaniu do prowadzenia wierceń w obiektach budowlanych, a w szczególności w obmurzu szybów górniczych. Wiertarka zasilana jest sprężonym powietrzem przepływającym przez smarownicę i współpracuje z różnymi typami żerdzi do obrotowych wierceń bezrdzeniowych. Dzięki odpowiedniej modyfikacji żerdzi uzyskano możliwość prowadzenia wierceń rdzeniowych z płuczką wodną. Aby umożliwić precyzyjne prowadzenie wiertarki ręcznej opracowano specjalną lawetę umożliwia-



Rys. 1. Laweta z śrubowym mechanizmem posuwu: 1) suport, 2) śruba napędowa, 3) prowadnice, 4) pokrętło, 5) centralizator, 6) rama, 7) wiertarka
 Fig. 1. Drill guide with screw drive: 1) support, 2) screw drive, 3) guide, 4) knob, 5) centralizer, 6) frame, 7) drill



Rys. 2. Laweta z łańcuchowym mechanizmem posuwu: 1) suport, 3) prowadnice, 4) pokrętło, 5) cen-tralizator, 6) rama, 7) wiertarka, 8) zębátka napędowa, 9) zębátka bierna, 10) łańcuch napędowy
 Fig. 2. Drill guide with chain drive: 1) support, 3) guide, 4) knob, 5) cen-tralizator, 6) frame, 7) drill, 8) drive sprocket, 9) passive sprocket, 10) chain drive

jącą stabilizację urządzenia i płynny posuw podczas prowadzenia robót wiertniczych, a w szczególności pobierania prób rdzeniowych. W tym celu przewidziano zastosowanie ręcznie napędzanego, śrubowego lub łańcuchowego mechanizmu posuwu, dzięki czemu wiercenie odbywa się bez wysiłku, a operator w pełni kontroluje proces wiercenia. Do podstawowych zalet zaprojektowanego urządzenia można zaliczyć wydajność wiercenia, bezpieczeństwo i komfort pracy operatora, jakość i powtarzalność wykonanych odwiertów oraz mniejsze zużycie żerdzi wiertniczych.

Lawetę do prowadzenia górniczych wiertarek ręcznych zaprojektowano w dwóch rozwiązaniach, tj. z napędem śrubowym i napędem łańcuchowym. Na rysunku 1 przedstawiono lawetę z napędem śrubowym, natomiast na rysunku 2 lawetę z napędem łańcuchowym.

Próby ruchowe zestawu wierzącego do pobierania prób rdzeniowych

W celu potwierdzenia przydatności praktycznej zaprojektowanego urządzenia zlecono wykonanie prototypu lawety z napędem śrubowym firmie Archon Sp. z o.o., na której zamocowano pneumatyczną wiertarkę ręczną PWR II. Następnie urządzenie wyposażono w zestaw ciśnieniowy do wiertnic, umożliwiający prowadzenie płuczki wodnej, wąż ciśnieniowy do podawania sprężonego powietrza oraz diamentową koronkę rdzeniową o średnicy 62 mm do wiercenia w elementach żelbetowych, betonowych i murowych.

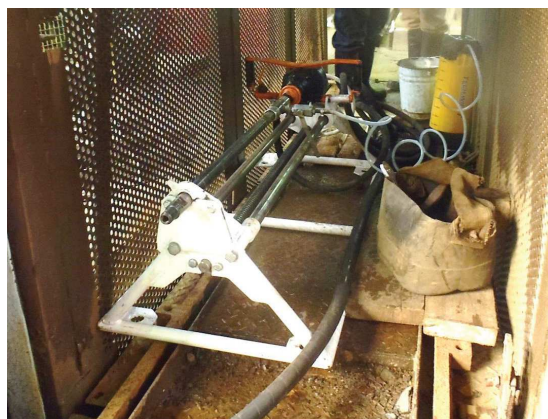
Dla tak przygotowanego urządzenia wykonano próby ruchowe w dwóch szybách jednej z kopalń należących do PGG SA, wyposażonych w klatki do jazdy ludzi.

Po zamontowaniu zestawu wierzącego na piętrze klatki (rys. 3) i podłączeniu przewodu ze sprężonym powietrzem przystąpiono do pobierania prób rdzeniowych. W tym celu opuszczano klatkę poniżej zrębu/poziomu i w wybranych miejscach prowadzono wiercenia w obmurzu (rys. 4). Po pobraniu próby rdzeniowej otwór każdorazowo likwidowano spoiwem mineralnym. Po zakończeniu wiercenia w miejscach pobrania prób rdzeniowych wykonywano serię badań sklerometrycznych.

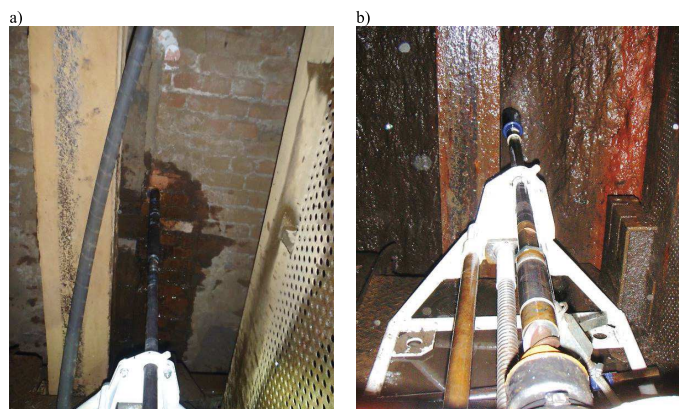
W celu wykonania badań obudowy metodą inwazyjną i nieinwazyjną wybrano miejsca umożliwiające łatwy dostęp do obmurza i pozwalające na wykonanie testów zarówno na elementach z cegły jak i z betonitów [8]. Przy ustalaniu lokalizacji miejsc badawczych uwzględniono również głębokość i miąższość horyzontów wodonośnych, chemizm i stopień agresywności wód w stosunku do materiału obudowy, szczelność obudowy oraz ciśnienie wód [6,7].

Badania niszczące materiału obudowy wykonano na próbkach rdzeniowych pobranych ok. 10 m poniżej zrębu jednego z szybów oraz w rejonie podszybi dwóch poziomów dostępnych z drugiego z szybów (rys. 5 ÷ 7).

Rdzenie odwiercono na głębokość ok. 2/3 projektowanej grubości obudowy. Proces wiercenia przebiegał bez zakłóceń a jakość uzyskanych rdzeni była dobra. Po serii przeprowadzonych prób stwierdzono, że testowany zestaw wierzący nadaje się w pełni do wykorzystania w warunkach ruchowy. Na tej podstawie podjęto również decyzję o zgłoszeniu lawety do prowadzenia górniczych wiertarek ręcznych do ochrony patentowej.



Rys. 3. Widok zestawu wierzącego w trakcie montażu na piętrze klatki
Fig. 3. View of drilling set in pit cage



Rys. 4. Widok zestawu wierzącego w trakcie pobierania próbek rdzeniowych w obmurzu wykonanym z a) cegły, b) betonitów
Fig. 4. View of drilling set in the course of core sampling from shaft lining made of: a) brick, b) concrete

Ocena parametrów wytrzymałościowych obudowy szybów w miejscach pobrania próbek rdzeniowych

Z rdzeni pobranych z obmurza wycięto próbki o smukłości 2, które poddano badaniom niszcącym w maszynie wytrzymałościowej MMC6431 firmy Multiserw (rys. 8) zgodnie z PNEN 125041:201908. Szczegółowa analiza próbek na etapie ich obróbki i przygotowania do badań nie wykazała występowania uszkodzeń spowodowanych procesem wiercenia.

W miejscach pobranych rdzeni wykonano również po trzy serie badań sklerometrycznych materiału obudowy, zawierające po dziewięć odczytów, przy użyciu młotka Schmidta typu NR [1,3,5].

Na podstawie uzyskanej wartości liczby odbicia oraz wyników badań niszczących próbek pobranych z obmurza określono wytrzymałość charakterystyczną materiału, z którego zostały wykonane obudowy szybów.

Wytrzymałość na ściskanie materiału, określoną w oparciu o wyniki badań próbek w maszynie wytrzymałościowej ($f_{c, is}$), przedstawiono w tabeli 1 [4].

Wytrzymałości na ściskanie materiału dla poszczególnych miejsc pomiarowych uzyskane na podstawie badań nieniszczących skorelowano następnie z wynikami badań niszczących próbek pobranych z obmurza szybów wg wzoru [1]:

$$c_k = \frac{f_{cm, is}}{f_{L(n), is}} \quad (1)$$

gdzie: c_k – współczynnik korygujący wg instrukcja ITB nr

210; $f_{cm, is}$ – średnia wartość wytrzymałości na ściskanie materiału, określona w oparciu o wyniki badań próbek w maszynie wytrzymałościowej; $f_{L(n), is}$ – wytrzymałości na ściskanie materiału dla poszczególnych miejsc pomiarowych uzyskane na podstawie badań nieniszczących. Wyniki obliczeń przedstawiono w tabeli 2.

Parametry muru, z którego wykonano obudowę szybów wyznaczono zgodnie z wynikami przeprowadzonych badań oraz wymogami normy PNB03002:2007. Przyjęto, że mur wykonano na zaprawie zwykłej. Wytrzymałość charakterystyczną muru na ściskanie obliczono z wzoru [2]:

$$f_k = K \cdot f_b^{0,65} \cdot f_m^{0,25}, \text{ MPa}, \quad (2)$$

gdzie: K – współczynnik do potęgi 0,10, którego wartość dla murów z elementów murowych gr. 1 o $5 \text{ MPa} \leq f_b \leq 40 \text{ MPa}$ można przyjmować na poziomie 0,5 MPa; f_b – znormalizowana wytrzymałość na ściskanie elementu murowego, którą wyznacza się z wzoru:

$$f_b = \eta_w \cdot \delta \cdot f_{B'}, \text{ MPa}, \quad (3)$$

gdzie: η_w – współczynnik uwzględniający stan wilgotności badanych elementów, w przypadku gdy element badany jest w stanie innym niż powietrznosuchy; δ – współczynnik przeliczeniowy [2]; $f_{B'}$ – wytrzymałość średnia elementu murowego na ściskanie, MPa; f_m – wytrzymałość na ściskanie zaprawy, MPa.



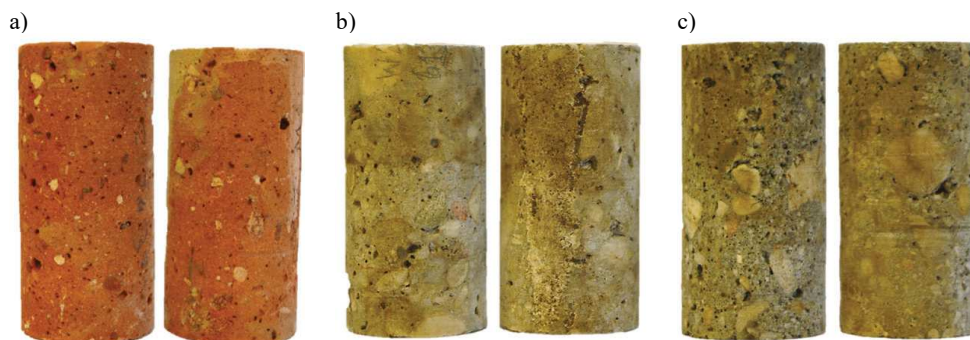
Rys. 5. Widok rdzenia pobranego z obmurza szybu ok. 10 m poniżej zrębu
Fig. 5. Core taken from the shaft lining about 10 m below the shaft outset



Rys. 6. Widok rdzenia pobranego z obmurza szybu w rejonie poziomiu I
Fig. 6. Core taken from the shaft lining at the level I



Rys. 7. Widok rdzenia pobranego z obmurza szybu w rejonie poziomiu II
Fig. 7. Core taken from the shaft lining at the level II



Rys. 8. Próbkę wycięte z rdzeni pobranych z obmurza szybów: a) ok. 10 m poniżej zrębu, b) w rejonie poziomiu I, c) w rejonie poziomiu II
Fig. 8. Samples cut from cores taken from shaft lining: a) about 10 m below the shaft outset, b) at the level I, c) at the level II

Z uwagi na brak informacji odnośnie klasy zaprawy przyjęto, że do wykonania wyrobisk wykorzystano zaprawę klasy M5, natomiast średnią wytrzymałość elementów murowych na ściskanie określono w oparciu o wyniki przeprowadzonych badań nieniszczących i niszczących.

Wytrzymałość obliczeniową muru na ściskanie obliczono z wzoru [2]:

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_m} \quad (4)$$

gdzie: f_k – jak we wzorze (2); γ_m – częściowy współczynnik bezpieczeństwa muru uzależniony od kategorii wykonania robót oraz kategorii produkcji elementów murowych.

Parametry wytrzymałościowe muru w konstrukcji obudowy analizowanych wyrobisk przedstawiono w tab. 3.

Jak wynika z przeprowadzonych badań jakość materiału pozyskanego z konstrukcji obudów przy użyciu zaprojektowanego urządzenia jest dobra i umożliwia skorelowanie wyników badania prób rdzeniowych z wynikami uzyskanymi metodą sklerometryczną. Pozwala to na określenie parametrów wytrzymałościowych obudowy szybów zgodnie z wymogami zawartymi w Rozporządzeniu Ministra Energii z dnia 23 listopada 2016 r [9].

Podsumowanie

Zgodnie z obowiązującymi w Polsce od listopada 2016r. przepisami, ocena stanu technicznego obudowy szybów i szybików wymaga wykonywania badań obmurza zarówno metodami nieniszczącymi jak i niszczącymi [9]. Szczególnie trudności sprawia pobieranie materiału do badań niszczących z uwagi na brak urządzeń przystosowanych do wykonywania

Tab. 1. Wytrzymałości na ściskanie materiału w konstrukcji obudowy szybów określona metodą niszczącą

Tab. 1. Compressive strength of material in shaft linings construction determined by the destructive method

Miejsce pobrania	Materiał obudowy	Próbka 1	Próbka 2	$f_{cm, is}$
		$f_{c, is}$		
		MPa		
ok. 10 m poniżej zrębu szybu	cegła	14,0	18,6	16,3
Poz. I	betonity	51,9	47,1	49,5
Poz. II	betonity	44,6	50,6	47,6

Tab. 2. Skorelowane wartości wytrzymałości na ściskanie materiału w konstrukcji obudowy w oparciu o wyniki badań wykonanych metodami niszczącymi i nieniszczącymi

Tab. 2. Correlated values of compressive strength of shaft linings construction based on the results of tests carried out by destructive and non-destructive methods

Miejsce pobrania	Materiał obudowy	Seria 1	Seria 2	Seria 3	$f_{ckm, is}$
		$f_{ck, is}$			
		MPa			
ok. 10 m poniżej zrębu szybu	cegła	16,3	15,0	17,6	16,3
Poz. 613	betonity	48,0	59,6	41,7	49,8
Poz. 680	betonity	40,5	54,2	48,6	47,8

Tab. 3. Zestawienie obliczonych parametrów wytrzymałościowych obudowy szybów w miejscach prowadzonych badań obmurza

Tab. 3. Summary of calculated strength parameters of shaft linings at test sites

Parametr	Jednostka	ok. 10 m poniżej zrębu	Poz. I	Poz. II
Materiał obudowy		cegła	betonity	betonity
f_b	MPa	10,3	43,5	41,6
f_m	MPa	5	5	5
f_k	MPa	2,9	7,4	7,2
f_d	MPa	1,3	3,4	3,3

w szybach odwiertów rdzeniowych. Dlatego zaprojektowano i zlecono wykonanie lawety umożliwiającej montaż i prowadzenie dowolnej górniczej wiertarki ręcznej przy zapewnieniu wszelkich wymogów bezpieczeństwa pracy w wyrobiskach górniczych. Skuteczność opracowanego urządzenia potwierdzono następnie podczas prób ruchowych w warunkach dołowych. Proces wiercenia przebiegał bez zakłóceń a jakość uzyskanych rdzeni była dobra. Po serii przeprowadzonych prób stwierdzono, że testowany zestaw wierzący nadaje się w pełni do wykorzystania w warunkach ruchowy. Następnie, w oparciu o wyniki badań niszczących cylindrycznych próbek wyciętych z rdzeni pobranych z obmurza wykonanego z cegły i betonitów, określono parametry wytrzymałościowe materiału obudowy. W miejscach pobrania prób rdzeniowych wykonano również badania nieniszczące metodą sklerometryczną. Jakość materiału pozyskanego z konstrukcji obudów przy użyciu zaprojektowanego urządzenia pozwoliła na skorelowanie wyników badania prób rdzeniowych z przeprowadzonymi badaniami sklerometrycznymi i określenie parametrów wytrzymałościowych obudowy szybów. Potwierdza to przydatność zaprojektowanego zestawu wierzącego do stosowania w warunkach ruchowych. Do najważniejszych zalet zaprojektowanego i wykonanego urządzenia należy:

- wykorzystanie jako urządzenia wierzącego górniczej pneumatycznej wiertarki ręcznej PWR II co daje możliwość stosowania zestawu w pomieszczeniach ze stopniem „c” niebezpieczeństwa wybuchu metanu

- oraz klasy B zagrożenia wybuchem pyłu węglowego,
- wykonanie wszystkich elementów zestawu ze stali,
- możliwość dostosowania lawety do dowolnego typu urządzenia wierzącego,
- specjalna konstrukcja żerdzi umożliwiająca wiercenie z płuczką wodną,
- brak konieczności mocowania lawety do obudowy szybu co ułatwia prowadzenie wierceń w obmurzu skorodowanym, zanieczyszczonym i pokrytym natłem,
- brak konieczności prowadzenia robót bez osłony klatki szybowej czy daszków głowicy naczynia wyciągowego, co przyczynia się do poprawy bezpieczeństwa pracy,
- brak zagrożenia porażeniem prądem elektrycznym,
- możliwość prowadzenia wierceń przy dużej wilgotności (urządzenie wierzące odporne na działanie wody),
- stabilna i wytrzymała konstrukcja lawety,
- prosty montaż w naczyniu wyciągowym,
- możliwość zastosowania w innych robotach wiertniczych, wymagających precyzyjnego prowadzenia koronki wiertniczej.

Na podstawie przeprowadzonych prób ruchowych oraz wyników badań korelacyjnych podjęto decyzję o zgłoszeniu lawety do prowadzenia górniczych wiertarek ręcznych do ochrony patentowej.

Literatura – References

1. Instrukcja stosowania młotków Schmidta do nieniszczącej kontroli jakości betonu w konstrukcji. Instrukcja Instytutu Techniki Budowlanej nr 210. Warszawa, 1977.
2. PN-B-03002:2007 Konstrukcje murowe niezbrojone - Projektowanie i obliczanie.
3. PN-B-06262:1974 Nieniszczące badania konstrukcji z betonu. Metoda sklerometryczna badania wytrzymałości betonu na ściskanie za pomocą młotka Schmidta typu N.
4. PN-EN 12504-1:2019-08 Badanie betonu w konstrukcjach – Część 1: Próbki rdzeniowe. Pobieranie, ocena i badanie wytrzymałości na ściskanie.
5. PN-EN 12504-2; PN-EN 12504-2:2002/Ap1:2004 Badania betonu w konstrukcjach. Część 2: Badanie nieniszczące. Oznaczanie liczby odbicia
6. PN-G-04210:1996 Szyby górnicze. Obudowy i zbrojenie szybów. Ogólne zasady badań.
7. PN-G-06001:1974 Szyby górnicze. Obudowa murowa i betonowa. Wymagania i badania.
8. PN-G-14002:1997 Betonity do obudowy wyrobisk górniczych. Wymagania i badania.
9. Rozporządzenie Ministra Energii z dnia 23 listopada 2016 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących prowadzenia ruchu podziemnych zakładów górniczych (Dz.U. 2017, poz. 1118).

The Assessment of Shaft Lining Strength Parameters Based on the Results of Core Tests Taken Using an Innovative Drilling Set

In accordance with the regulations in force in Poland since November 2016, the assessment of the technical condition of ore pass and shaft linings requires the testing of the shaft wall both by non-destructive and destructive methods. The collection of material for destructive testing is particularly difficult due to the lack of devices adapted for core drilling in shafts. In order to enable safe and precise sampling for strength tests in conditions characteristic for mining shafts, an innovative drilling assembly with pneumatic drive was developed. To confirm the effectiveness of the developed equipment, underground test runs have been carried out. Cores taken from the shaft wall were assessed for quality and precision of workmanship. Then, on the basis of the results of destructive testing of the taken core samples, the possibilities of their use for assessing the strength parameters of the shaft lining were determined.

Keywords: *mining shafts, drilling rig, technical condition of the casing, core tests*