



Krzysztof SKRZYPKOWSKI*

Wpływ wielkości modelu kasztu górniczego wypełnionego skałą płoną na przebieg charakterystyki obciążeniowo-odkształceniowej

Streszczenie: Analiza zmian właściwości mechanicznych drewnianych kasztów górniczych pod wpływem różnych rodzajów obciążenia eksploatacyjnego jest zagadnieniem, którym zajmuje się wiele ośrodków naukowych w kraju i za granicą. Duże zainteresowanie tą tematyką wynika ze wzrostu głębokości prowadzonej eksploatacji, który przyczynia się do wzrostu zarówno wartości ciśnienia pionowego jak i złożoności warunków geologiczno-górniczych oraz intensyfikacji zagrożeń naturalnych. Inną przyczyną jest tendencja zmniejszania się miąższości eksploatowanego złoża. Zarówno w podziemnym górnictwie rudnym, jak i węglowym oraz solnym stosowana jest obudowa kasztowa. Kaszty o różnych konfiguracjach są szczególnie przydatne przy utrzymywaniu wyrobisk za frontem ścianowym oraz do dodatkowego wzmocnienia skrzyżowań wyrobisk górniczych. W szczególności w górnictwie rudnym w miejscach stwierdzonych poszerzeń wyrobisk lub pogorszonych warunków stropowych stosuje się dodatkową obudowę wzmacniającą w postaci kasztów drewnianych (stosów podporowych), które pozostawia się puste lub wypełnia skałą płoną. Podczas prowadzenia podziemnej eksploatacji wytwarzana jest skała płonna, która pochodzi z wyrobisk udostępniających, przygotowawczych oraz z bieżących pól wybierkowych. W przypadku podziemnej eksploatacji rud miedzi skała płonna jest stosowana do wypełniania pustek poeksploatacyjnych jako podsadzka sucha. Ponadto jest wykorzystywana do wypełniania kasztów górniczych, jako sztuczna podpora oraz do utwardzania dróg przewozowych.

W artykule zaprezentowano wyniki wytrzymałościowych badań laboratoryjnych przeprowadzonych na modelach kasztów czteropunktowych, wykonanych z bukowych belek drewnianych w skali 1:10, ustawionych poziomo. W badaniach laboratoryjnych zastosowano modele kasztów o wymiarach 200 × 200 × 200 mm oraz 100 × 100 × 100 mm. Określono maksymalne podpomości kasztów składających się tylko z belek oraz wypełnionych skałą płoną. Ponadto przedstawiono odkształcenia pionowe kasztu przy maksymalnej sile oraz odkształcenie właściwe. Na podstawie badań laboratoryjnych stwierdzono, że przy wykorzystaniu tej samej ilości drewna oraz zagospodarowaniu skały płonnej wypełnienie czteropunktowych kasztów skałą płoną pozwoliło kilkukrotnie zwiększyć jego podpomość.

Słowa kluczowe: rudy miedzi, badania modelowe, obudowa kasztowa

* Dr inż., AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, Kraków;
e-mail: skrzypko@agh.edu.pl

The influence of dimension of mining crib model filled by waste rock on the course of load – displacement characteristic

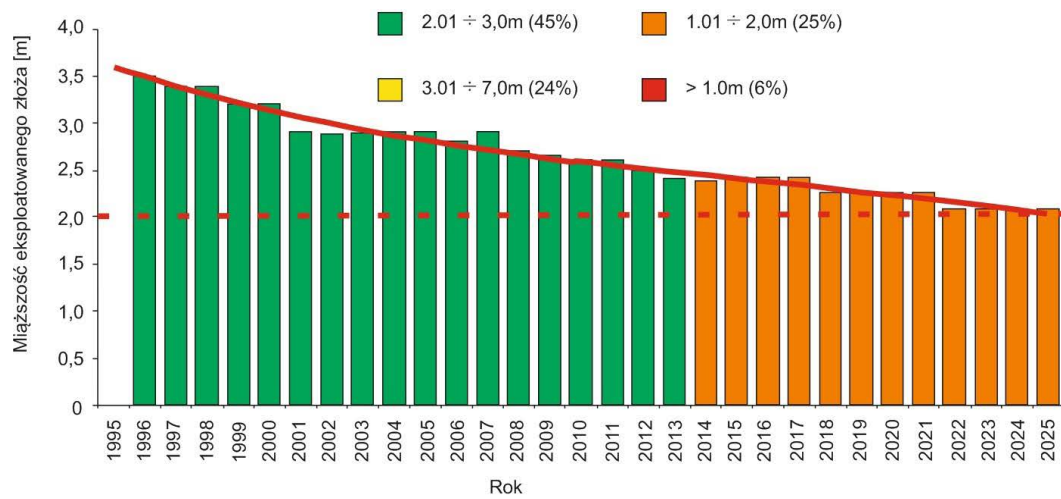
Abstract: The analysis of changes in the mechanical properties of wooden mining cribs under the influence of different types of exploitation loads is the question for which deals with many domestic and abroad research centers deal with. High The high interest in this subject results from the increase of the conducted depth exploitation, which contributes to the increase in both the vertical pressure and the complexity of geological – mining conditions and in- the intensification of natural hazards. Another reason is the tendency of decreasing the thickness of the exploited ores deposits. Wooden crib support is used Both both in underground ore, hard coal and salt mining is used wooden crib support. Mining cribs with various configurations are especially useful for the reinforcement of excavations workings behind the front and for further strengthen of the crossings. In particular, additional reinforcement support in the form of wooden cribs (pile supporting), which shall be left empty or filled with waste rock is applied in the ore mining in places where found extended rooms or drifts are found or in places with degraded roof conditions, applies additional reinforcement support in the form of wooden cribs (pile supporting), which shall be left empty or filled with waste rock. During underground exploitation is produced waste Waste rock, which comes from the access, prepar-atory excavations and from ongoing field of exploitation is produced during underground exploitation. In the case of the underground exploitation of copper ore, waste rock is used to fill voids after exploitation as rock stowing. It is also used for filling mining wooden cribs, as an artificial support and for harder transportation roads.

This paper presents the results of the laboratory strength tests performed on models of four-point timber cribs, built with beams set horizontally, at the geometrical scale of 1:10. In the laboratory research Research wooden cribs models with size 200 × 200 × 200 mm and 100 × 100 × 100 mm were used in the laboratory. The paper describes the maximum loading capacity of the cribs consisted consisting only of beams and filled with waste rocks. In addition, a vertical and appropriate strain of cribs at maximum force was shown. On the basis of laboratory research it was found that the use of the same number of timbers and the management of waste rocks, the filling of the four-point cribs with the waste rocks allowed several times to increase its support to be increased several times.

Keywords: copper ore, model testing, wooden cribs

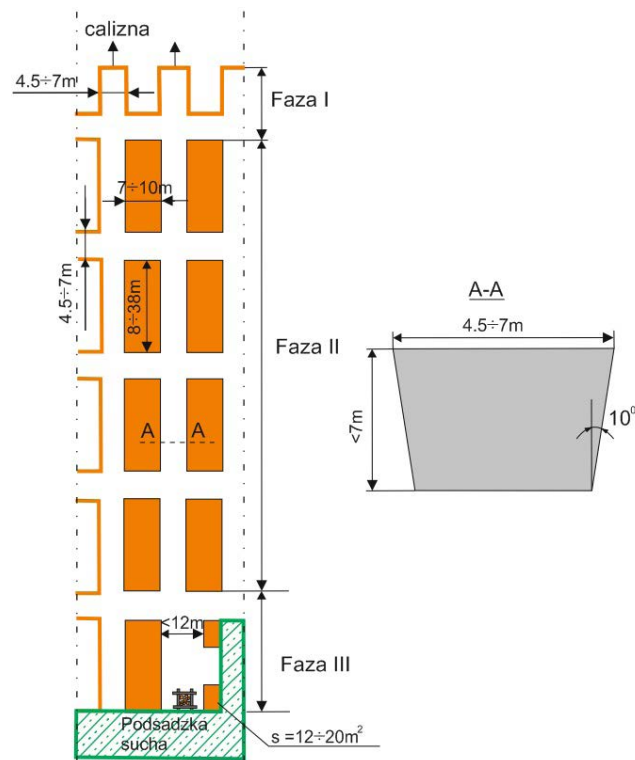
Wprowadzenie

Obudowa drewniana kasztowa powszechnie jest stosowana do wzmacniania podziemnych wyrobisk górniczych korytarzowych i komorowych. Aby lepiej zrozumieć mechanizm przejmowania obciążenia przez obudowę kasztową wykonywane są badania laboratoryjne w geometrycznej skali 1:1 (Madejczyk 2016), badania modelowe w skali 1:10 (Korzeniowski i Skrzypkowski 2012; Korzeniowski i in. 2014, 2015), a także badania w warunkach *in situ* (Rak 2011; Korzeniowski i in. 2013). Podporność obudowy kasztowej zależy między innymi od: geometrii i ilości punktów styku poszczególnych wieńców między sobą, rodzaju użytego drewna, rodzaju zacięć węglowych oraz sposobu wypełnienia pustej przestrzeni. Przykładowo, kaszt sześcienny wykonany z drewna sosnowego o boku 1,5 m wypełniony rumoszem skalnym charakteryzuje się podpornością wynoszącą 6,75 MN przy 25% ściśliwości oraz 13,50 MN przy 50% ściśliwości. Natomiast dla drewna dębowego przy takiej samej konfiguracji, podporność wynosi 11,25 MN przy ściśliwości 25% oraz 45 MN przy ściśliwości 50% (Zagożdżon i Madziarz red. 2008). Współczesne badania kasztów pustych w geometrycznej skali 1:1 zostały przeprowadzone w Laboratorium Badań Instytutu Techniki Górniczej Gliwicach. W badaniach zastosowano kaszty drewniane o wysokości od 3,03 m do 4,0 m o podstawie równoległoboku, wykonane z prefabrykowanych elementów z drewna bukowego, połączonych pomiędzy sobą za pomocą skośnych zacięć



Rys. 1. Zmniejszająca się miąższość złoża rudnego (na podstawie KGHM 2013)

Fig. 1. Decreasing the thickness of the ore deposit



Rys. 2. Wycinek frontu eksploatacyjnego w systemie komorowo-filarowym z ugięciem stropu

Fig. 2. A section of exploitation front in a room and pillar mining system with roof bending

węglowych. Kaszty charakteryzowały się podpornością wynoszącą co najmniej 2100 kN oraz odkształceniem mniejszym niż 10% (Madejczyk 2016). Obecnie jednym z podstawowych zagadnień z jakim będzie musiało się zmierzyć współczesne górnictwo rud miedzi jest tendencja zmniejszania się miąższości eksploatowanego złoża i związany z tym dobór ma-



Rys. 3. Przestrzeń poeksploatacyjną wypełnioną podsadzką suchą (skała płonna) w systemie komorowo-filarowym w ZG Polkowice–Sierszowice (fot.: K. Skrzypkowski)

Fig. 3. Post mining area filled by waste rock stowing in a room and pillar mining system in Polkowice–Sierszowice mine (photo: K. Skrzypkowski)



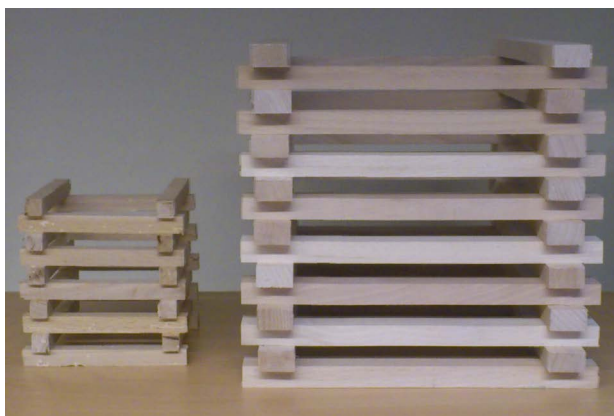
Rys. 4. Kaszt górniczy zabudowany w przestrzeni poeksploatacyjnej (fot.: K. Skrzypkowski)

Fig. 4. Wooden crib built in a post mining area (photo: K. Skrzypkowski)

szyn i obudowy (rys. 1). Podziemna eksploatacja złóż rud miedzi w Legnicko-Głogowskim Okręgu Miedziowym jest aktualnie prowadzona w czynnych polach eksploatacyjnych na głębokości $H = 500\text{--}1210$ m. W polach niezagospodarowanych złoża rud miedzi rozeznane jest do głębokości 1500 m. Wraz z głębokością stwierdza się wyraźne zmniejszenie miąższości złoża (Konopko i Piernikarczyk 2014). W systemach komorowo-filarowych z ugięciem stropu na froncie eksploatacyjnym można wydzielić fazę robót rozcinkowych, rozwiniętej eksploatacji oraz robót likwidacyjnych, która polega na przybieraniu filarów technologicznych do wymiarów resztkowych (rys. 2). Podczas ostatniej fazy następuje likwidacja przestrzeni pozłożowych, polegająca na wygradzeniu wybranej części złoża, np. za pomocą kasztów (rys. 4) i samoczynnym przejściu w stan zawalu w dalszej odległości od linii zrobów, oczywiście po wcześniejszym ugięciu się warstw stropowych. Przestrzeń poeksploatacyjna może być wypełniona podsadzką suchą (rys. 3).

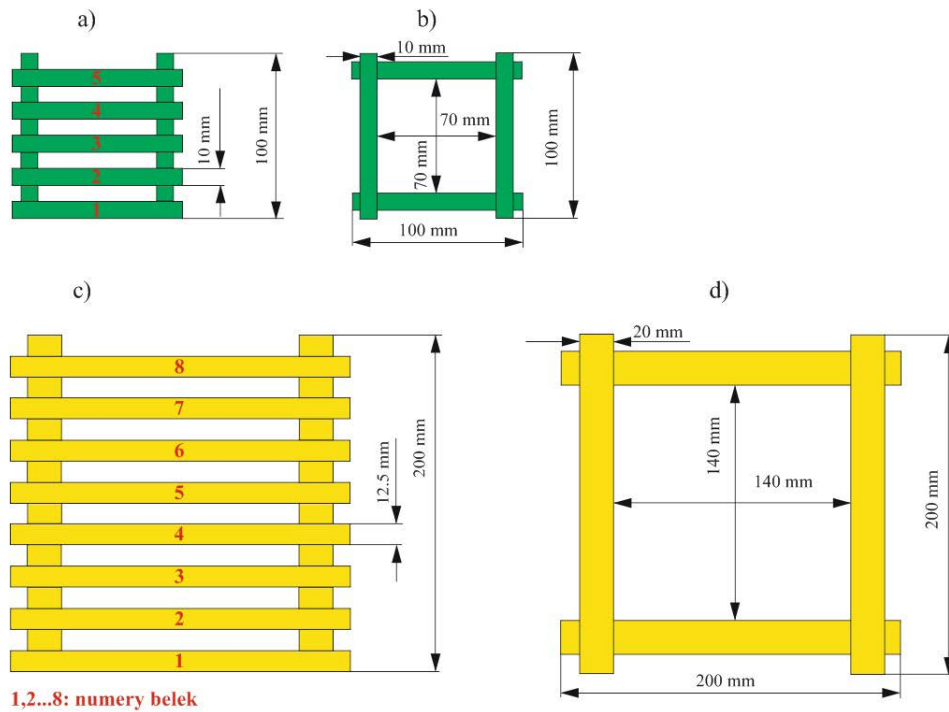
1. Badania laboratoryjne modeli kasztów górniczych

W badaniach laboratoryjnych zastosowano kaszty górnicze czteropunktowe wykonane z bukowych belek drewnianych o przekroju poprzecznym prostokątnym. Modele kasztów wykonano w geometrycznej skali liniowej 1: 10. Belki kasztu ułożono poziomo. Zastosowano dwa modele kasztów. Model I o wymiarach: $100 \times 100 \times 100$ mm oraz model II o wymiarach: $200 \times 200 \times 200$ mm (rys. 5). Zastosowano dwie różne geometrie belek o wymiarach $200 \times 20 \times 12,5$ mm oraz $100 \times 10 \times 10$ mm (rys. 6a–d). Dla każdego modelu wykonano po pięć próbek. Kaszty wypełniono wapieniem dolomitycznym o uziarnieniu od 5 do 18 mm (rys. 7a–c). Bryły wapienia dolomitycznego pobrano z komory eksploatacyjnej kopalni rud cynku i ołowiu Olkusz–Pomorzany, a następnie rozdrobniono w kruszarce szczękowej. Parametry wytrzymałościowe próbek skalnych odpowiadają minimalnym parametrom wytrzymałościowych skał z podziemnych kopalń Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego. Wytrzymałość na ściskanie wapienia dolomitycznego określono na próbkach



Rys. 5. Kaszty czteropunktowe (fot.: K. Skrzypkowski)

Fig. 5. Four-point cribs (photo: K. Skrzypkowski)



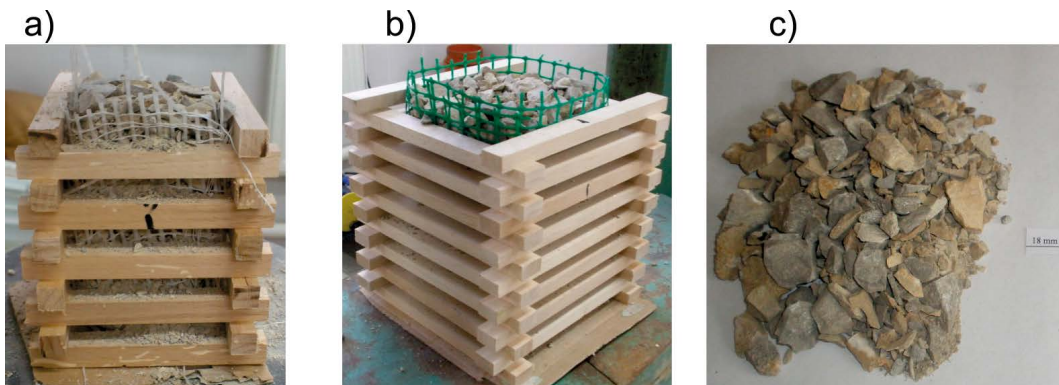
1,2...8: numery belek

Rys. 6. Kaszt czteropunktowy

a) model I – widok z przodu, b) model I – widok z góry, c) model II – widok z przodu,
d) model II – widok z góry

Fig. 6. Four-point crib

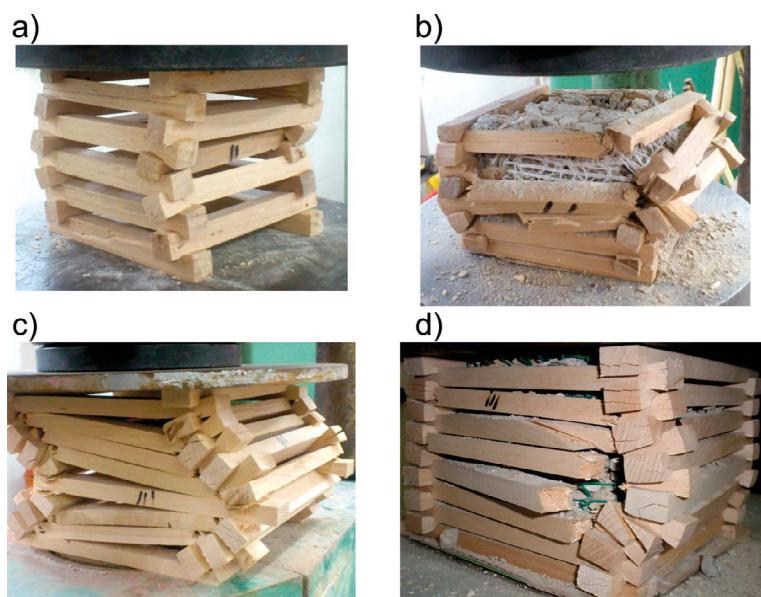
a) model I – side view, b) model I – plan view, c) model II – side view, d) model II – plan view



Rys. 7. Kaszt wypełniony skalą płoną; a) model I, b) model II c) rozdrobniony wapień dolomityczny
(fot.: K. Skrzypkowski)

Fig. 7. Crib filled with waste rocks; a) model I, b) model II, c) crushed dolomitic limestone
(photo: K. Skrzypkowski)

walcowych o stosunku wysokości (h) do średnicy (d); $h:d$ 2:1 ($d = 48$ mm) wynosiła ona 50 MPa (Borowski i Swolkień red. 2016). Wewnętrzną opinkę kasztu stanowiła siatka budowlana z włókna szklanego o oczku 5 oraz 20 mm. Badania zachowania się kasztów pustych oraz wypełnionych skałą płoną, pod wpływem obciążenia ich siłą ściskającą, wykonano na Wydziale Górnictwa i Geoinżynierii AGH w laboratorium Katedry Górnictwa Podziemnego na maszynie wytrzymałościowej typu ZD40 (rys. 8a–d). Wyniki badań zestawiono w tabeli 1



Rys. 8. Ściskanie kasztu czteropunktowego
a) model I – pusty, b) model I z wypełnieniem, c) model II – pusty, d) model II z wypełnieniem
(fot.: K. Skrzypkowski)

Fig. 8. Compression of four-point cribs
a) model I – empty, b) model I with filling, c) model II – empty, d) model II with filling
(photo: K. Skrzypkowski)

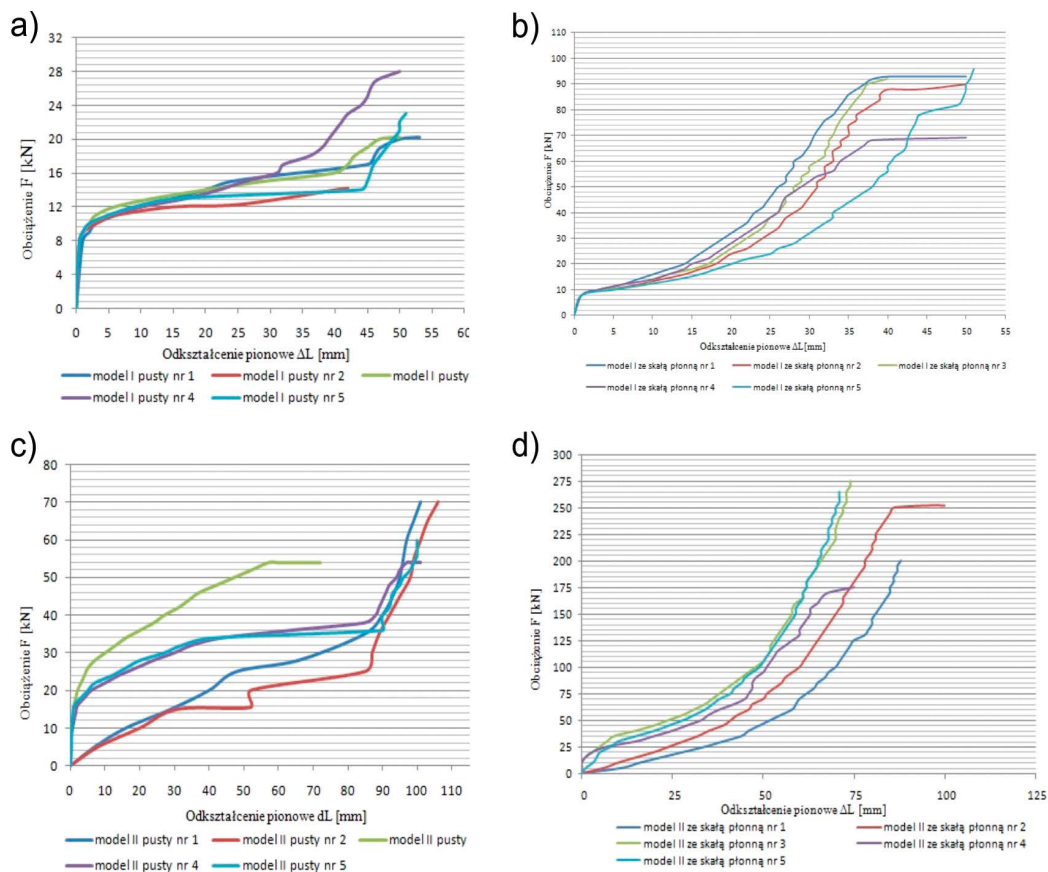
TABELA 1. Zestawienie parametrów obciążeniowo-odkształceniowych badanych kasztów czteropunktowych

TABLE 1. Summary of load-strain parameters of the tested four-point cribs

Lp.	Model kasztu	Maksymalna siła nacisku F , [kN] (podporność)			Odkształcenie „pionowe” ΔL [mm] przy maksymalnym obciążeniu			Średnie odkształcenie właściwe ε [%]
		od	do	średnia	od	do	średnia	
1	I pusty	14,2	28	21,12	42	53	49,2	49,2
2	I z skałą płoną	69	96	88	40	51	48,2	48,2
3	II pusty	54	72	61,6	70	101	96,0	48,0
4	II z skałą płoną	175	275	233,4	71	100	81,6	40,8

oraz przedstawiono na rysunkach 9a–d. Zróżnicowane przebiegi charakterystyk obciążeniowo-przemieszczeniowych są odzwierciedleniem niejednorodnego sposobu niszczenia się poszczególnych próbek ściskanych w prasie wytrzymałościowej.

Dla modeli kasztów nr I w charakterystyce obciążeniowo-przemieszczeniowej można wyróżnić dwie fazy. Pierwsza faza związana jest ze sztywnością konstrukcji w szczególności drewnianych belek. Zarówno dla modelu pustego jak i wypełnionego obciążenie charakterystyczne dla tej fazy zawiera się w zakresie 8–10 kN, co odpowiada odkształceniu pionowemu równemu 1–2 mm. Po przekroczeniu tego zakresu rozpoczyna się druga faza związana z deformacją, zagniataniem belek do momentu kiedy próbka zmniejszy swoją wysokość do 50% wartości początkowej. Taki zakres został przyjęty z uwagi na zachowanie minimalnych odstępów ruchowych w odniesieniu do wyrobisk górniczych. W przypadku modeli kasztów nr II przebieg charakterystyki nie wykazuje jednorodności. Dla kilku próbek można wydzielić pierwszą fazę, dla której obciążenie zawiera się w zakresie 8–10 kN,



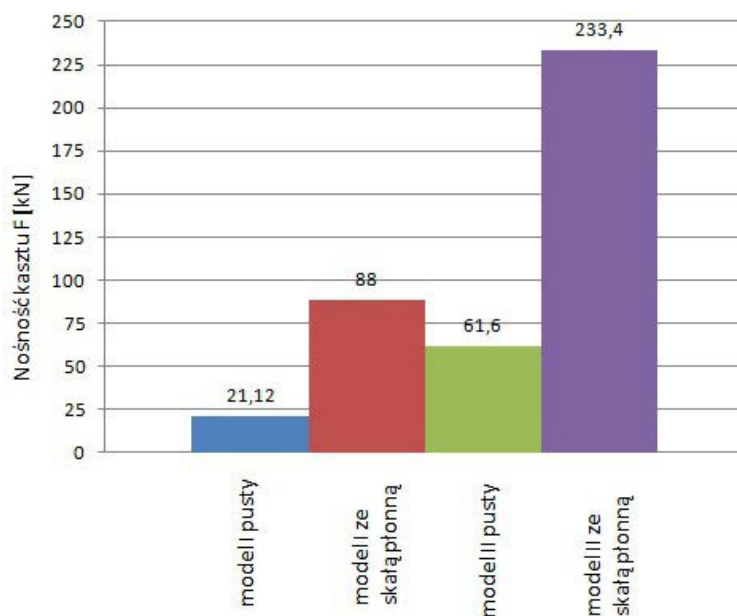
Rys. 9. Charakterystyki obciążeniowo-przemieszczeniowe kasztów
a) model I – pusty, b) model I z wypełnieniem, c) model II – pusty, d) model II z wypełnieniem

Fig. 9. Load – displacement characteristics of cribs
a) model I – empty, b) model I with filling, c) model II – empty, d) model II with filling

co odpowiada odkształceniu pionowemu równemu 1–2 mm. Natomiast niektóre modele charakteryzowały się dużym upodatkowaniem od samego początku testu ściskania aż do momentu osiągnięcia odkształcenia właściwego w zakresie 40–48%. Przyczyny rozbieżności pomiędzy obciążeniem a odkształceniem dla poszczególnych serii wynikają z parametrów wytrzymałościowych drewna oraz sposobu i jakości wypełnienia kasztu rozdrobnionymi nieforemnymi bryłami skalnymi. Drewno jako materiał anizotropowy wykazuje się dużym zróżnicowaniem w zależności od kierunku działania sił.

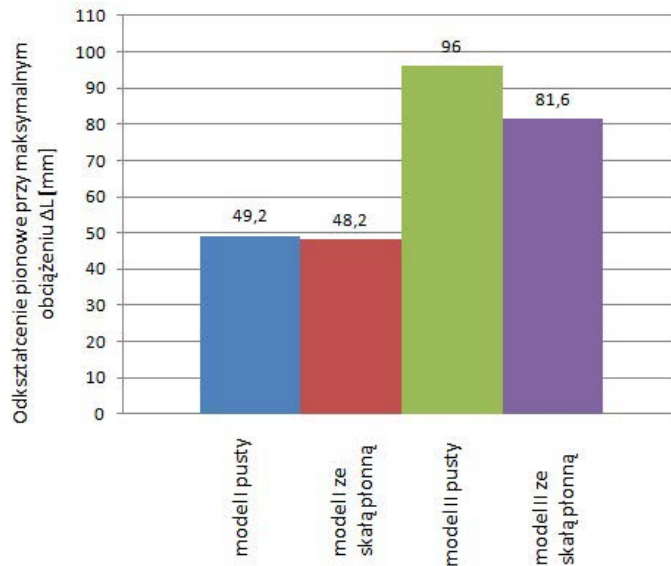
Modele kasztów, które były wypełniane skałą płoną, zostały wyposażone w siatkę z tworzywa sztucznego na bazie polipropylenu. W badaniach zastosowano siatkę o oczku 5 mm i 15 mm odpowiednio dla I i II modelu. Podstawowym zadaniem siatki było niedopuszczenie do wysypywania się rozdrobnionej skały. Można sądzić, że zastosowana siatka przyczyniła się do ścisłego dopasowania próbek skalnych wewnątrz kasztu.

Badania nośności przeprowadzono w maszynie wytrzymałościowej w pełnym zakresie odkształceń, aż do całkowitego zniszczenia modelu. Mierzono siłę nacisku oraz wartości odkształceń pionowych modeli, uzyskując w ten sposób charakterystyki obciążeniowo-odkształceniowe. Prędkość obciążenia wynosiła 0,5 kN/s. W porównaniu zestawiono następujące konfiguracje kasztów czteropunktowych: model I pusty, model I wypełniony skałą płoną, model II pusty oraz model II wypełniony skałą płoną (rys. 10, 11).



Rys. 10. Porównanie nośności kasztów

Fig. 10. Comparison of load capacity of the cribs



Rys. 11. Porównanie odkształcenia „pionowego” (ΔL , mm) kasztów przy maksymalnym obciążeniu

Fig. 11. Comparison of vertical stain (ΔL , mm) of cribs at maximal loading

Podsumowanie

Obecnie w podziemnych wyrobiskach górniczych coraz częściej stosuje się nowoczesne obudowy o stale zwiększających się podpornościach łącznie z drewnianą obudową kasztową. W szczególności przy eksploatacji złóż rud miedzi w Legnicko-Głogowskim Okręgu Miedziowym kaszty stawiane w środku rozpiętości wyrobisk lub przy ociosach stanowią element wzmacniający obudowę kotwową i jednocześnie pełnią funkcję elementu wygradzającego dostęp do odcinka zagrożonego obwałem. Przede wszystkim kaszty stanowią podporę, zmniejszającą rozpiętość stropu wyrobiska.

Porównując kaszty o różnym wysokościach i wypełnieniu, można stwierdzić, że:

1. Model I kasztu czteropunktowego zbudowany tylko z 20 poziomo ułożonych belek bukowych, bez wypełnienia, wykazał średnią podporność na poziomie 21 kN. Jednocześnie model II kasztu, również z belkami ułożonymi poziomo w ilości 36 uzyskał podporność równą 61,6 kN. Model II kasztu był dwukrotnie większy niż model I.
2. Wypełnienie skałą płoną zarówno I jak i II modelu kasztu spowodowało czterokrotne zwiększenie ich nośności, w stosunku do kasztów pustych. Natomiast różnica nośności pustych i wypełnionych kasztów skałą płoną pomiędzy modelem I a II była prawie trzykrotna.

3. Średnie odkształcenia pionowe kasztów czteropunktowych pustych oraz z wypełnieniem skałą płoną dla modelu I o wymiarach 100 × 100 × 100 mm były bardzo zbliżone do siebie i różnica wyniosła zaledwie 1%. Należy jednak zauważyć, że badania były prowadzone do momentu kiedy próbka zmniejszyła swoją wysokość do 50% wartości początkowej. Podczas gdy dla modelu II o wymiarach 200 × 200 × 200 mm różnica była powyżej 14%. Duże odkształcenia kasztów czteropunktowych dla modelu II były spowodowane powierzchnią styku belek. Odstęp pionowy pomiędzy belkami wynosił 12,5 mm.
4. Zaletą kasztów drewnianych jest duża powierzchnia podparcia. Badania wykazały ewidentnie znacznie korzystniejsze parametry obciążeniowo-odkształceniowe kasztów wypełnionych skałą płoną w porównaniu z kasztami pustymi.
5. Zastosowane bryły skalne do wypełniania drewnianych kasztów charakteryzowały się strukturą zbitą. Makroskopowo w próbkach skalnych brak było widocznych elementów ziarnowych i jakichkolwiek skamieniałości. Po rozdrobieniu próbki skalne miały kształty nieforemne. W przyszłości planuje się rozdrobnić bryły skalne do kształtów foremnych i określić ich wpływ na jakość wypełnienia kasztu oraz przebieg charakterystyki obciążeniowo-przemieszczeniowej.
6. Ze środowiskowego punktu widzenia wypełnienie drewnianych kasztów skałą płoną przyczynia się do jej zagospodarowania w warunkach *in situ* bez konieczności składowania jej na powierzchni.

Artykuł wykonano w ramach pracy statutowej o numerze: 11.11.100.005.

Literatura

- Borowski, M. i Swolkiń, J. red. 2016. *Selected issues related to mining and clean coal technology*. Wyd. 1, t.1. Kraków: Agencja Wydawniczo-Poligraficzna ART-TEKST, s. 632.
- KGHM 2013. *Uwarunkowania rozwoju polskiej bazy zasobowej KGHM Polska Miedź S.A.* [Online] Dostępne w: <http://www.ing.pan.pl> [Dostęp: 7.07.2017].
- Konopko, W. i Piernikarczyk, A. 2014. Koncepcja technologii eksploatacji cienkiego złoża rud miedzi. *CUPRUM – Czasopismo Naukowo-Techniczne Górnictwa Rud* nr 4, s. 17–33.
- Korzeniowski i in. 2013 – Korzeniowski, W., Herezy, L., Krauze, K., Rak, Z. i Skrzypkowski, K. 2013. *Monitoring górotworu na podstawie analizy pracy sekcji obudowy zmechanizowanej*. Kraków: Wyd. AGH.
- Korzeniowski i in., 2014 – Korzeniowski, W., Skrzypkowski, K. i Szumiński, A. 2014. Charakterystyka modelu kasztu górnictwa o zwiększonej podporności. *Przegląd Górniczy* t. 70, nr 3, s. 26–33.
- Korzeniowski i in., 2015 – Korzeniowski, W., Skrzypkowski, K., Szumiński, A. i Zagórski, K. 2015. Badania laboratoryjne nośności i charakterystyk obciążeniowo-odkształceniowych kasztów czteropunktowych wypełnionych skałą płoną. *Rudy i Metale Nieżelazne Recykling* rok 60, nr 7, s. 303–308.
- Korzeniowski, W. i Skrzypkowski, K. 2012. Badania porównawcze nośności i charakterystyk obciążeniowo-odkształceniowych kasztów o różnym wypełnieniu. *Przegląd Górniczy* t. 68, nr 4, s. 36–40.
- Madejczyk, W. 2016. Badania nośności kasztów drewnianych. *Maszyny Górnicze* nr 2, s. 13–19.
- Rak, Z. 2011. Utrzymanie wyrobisk przyścianowych za frontem eksploatacji w trudnych warunkach geologiczno-górnictwowych na przykładzie Kopalni LW „Bogdanka” S.A. – część I – przegląd technologii. *Przegląd Górniczy* t. 66, nr 1–2, s. 33–42.
- Zagożdżon, P. i Madziarz, M. red. 2008. *Historia i rozwój kasztów drewnianych w górnictwie. Dzieje górnictwa – element europejskiego dziedzictwa kultury*. Wyd. 1, t. 1. Wrocław: Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, s. 316.

