



Dr inż. Andrzej Pytlik*)

Badania metodą „testu skrzyniowego” statycznej nośności siatek okładzinowych stosowanych w obudowie podporowej i kotwiowej

Study based on “box test” of static load-capacity of mining grids applied in the standing support and roof bolting

Treść: W artykule przedstawiono wyniki badań statycznej nośności siatek okładzinowych metodą „testu skrzyniowego”. Test skrzyniowy pozwala określać nośność i odkształcalność torkretu i membran [9] oraz różnego rodzaju okładzin górniczych np. stalowych siatek zgrzewanych, a także obliczać pracę jaką wykonują podczas ich obciążania. Zaproponowany sposób badania jest bardziej zbliżony do rzeczywistej pracy okładzin górniczych i powłok natryskowych w wyrobisku górniczym, niż dotychczas stosowane testy wykonywane w oparciu o normy dotyczące: okładzin siatkowych - PN-G-15050:1996 [6], okładzin żelbetowych - PN-G-06021:1997 [4] oraz betonu natryskowego - PN-G-14100:1997 [5]. Badaniom poddano siatki okładzinowe łańcuchowo-węzłowe typu ciężkiego, siatkę zaczepową typu ciężkiego oraz siatkę osłonową zwijaną, lekką, stosowaną w obudowie kotwiowej.

Abstract: This paper presents the results of the study on static load-capacity of mining grids by use of the “box test”. The box test allows to determine the load-capacity and deformability of the gunite and membranes [9] as well as different types of mining grids, such as the welded wire mesh, and to calculate work it performs when loaded. The proposed method of testing is closer to the actual work of mine lining and spray coats in excavations than it was with the test performed on the basis of the standards of mesh linings - PN-G-15050:1996 [6], ferroconcrete linings - PN-G-06021:1997 [4] and shotcrete - PN-G-14100:1997 [5]. This study includes the heavy chain-nodal meshes, a heavy detent mesh and a light shield folding mesh which is applied in the roof bolting.

Słowa kluczowe:

obudowa podporowa; obudowa kotwiowa; okładzina siatkowa; test skrzyniowy; nośność statyczna; praca

Key words:

standing support, roof bolting, mesh lining, box test, static load-capacity, work

1. Wprowadzenie

Konieczność prowadzenia eksploatacji pokładów węgla kamiennego na coraz większych głębokościach powoduje wzrost zagrożeń związanych z utratą stateczności obudowy górniczej w wyniku nadmiernych obciążeń statycznych i dynamicznych.

Jednym z istotnych elementów obudowy górniczej są okładziny górnicze.

Główne zadania okładzin górniczych [1; 4; 6] stosowanych w obudowie LP są następujące:

- przeciwstawianie się ciśnieniu górotworu i przenoszeniu je na odrzwia obudowy,
- dodatkowe powiązanie między sobą szeregu odrzwi (połączonych ze sobą za pomocą rozpór dwustronnego działania) w celu wspólnego przeciwdziałania ciśnieniu górotworu,

- podtrzymywanie powierzchni skał w wyrobisku, aby zapobiec ich pękaniu oraz wypadaniu odłamków skał z calizny,
- zabezpieczenie wolnej przestrzeni między odrzwiami poprzez przejmowanie masy obrywających się lub osuwających, luźnych brył węgla, kamienia, rud lub innych kopalin.

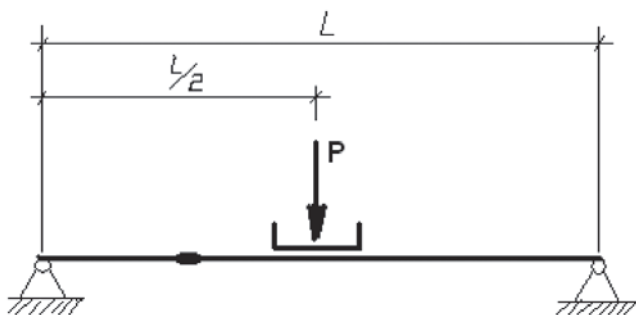
W obudowie kotwiowej [7; 8] zadaniem opinki jest współpraca z kotwiami oraz zabezpieczenie wyrobiska przed odpadaniem odłamków skalnych.

W zależności od warunków górniczo-geologicznych stosowane są okładziny sztywne np. żelbetowe [4] - przeznaczone głównie do przenoszenia obciążeń statycznych - oraz siatkowe [3, 6] (podatne) - przeznaczone zarówno do przenoszenia obciążeń statycznych, jak i dynamicznych. W zależności od typu okładzin, pracują one w różny sposób. Okładziny żelbetowe są poddawane zginaniu, natomiast siatki stalowe zginaniu i rozciąganiu [10].

*) Główny Instytut Górnictwa, Katowice

Obecnie w wyrobiskach górniczych narażonych na wstrząsy indukowane działalnością górniczą stosowane są najczęściej siatki okładzinowe zgrzewane, które wykonane są w wielu odmianach. Do niedawna stosowane siatki zaczepowe zgrzewane, ze względu na ich nadmierną podatność przy niewystarczającej nośności [2], obecnie są wypierane przez siatki łańcuchowe i łańcuchowo-węzłowe odznaczające się o wiele większą nośnością oraz pewnością połączenia z odrzwiami obudowy.

W zakresie obciążeń statycznych wymagania dla siatek określone są w normie [6]. Schemat obciążenia wg normy przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Schemat obciążenia okładziny siatkowej łańcuchowo-węzłowej; L – rozstaw odrzwi obudowy

Fig. 1. Scheme of load on the chain-nodal mesh; L – door frame space of the support

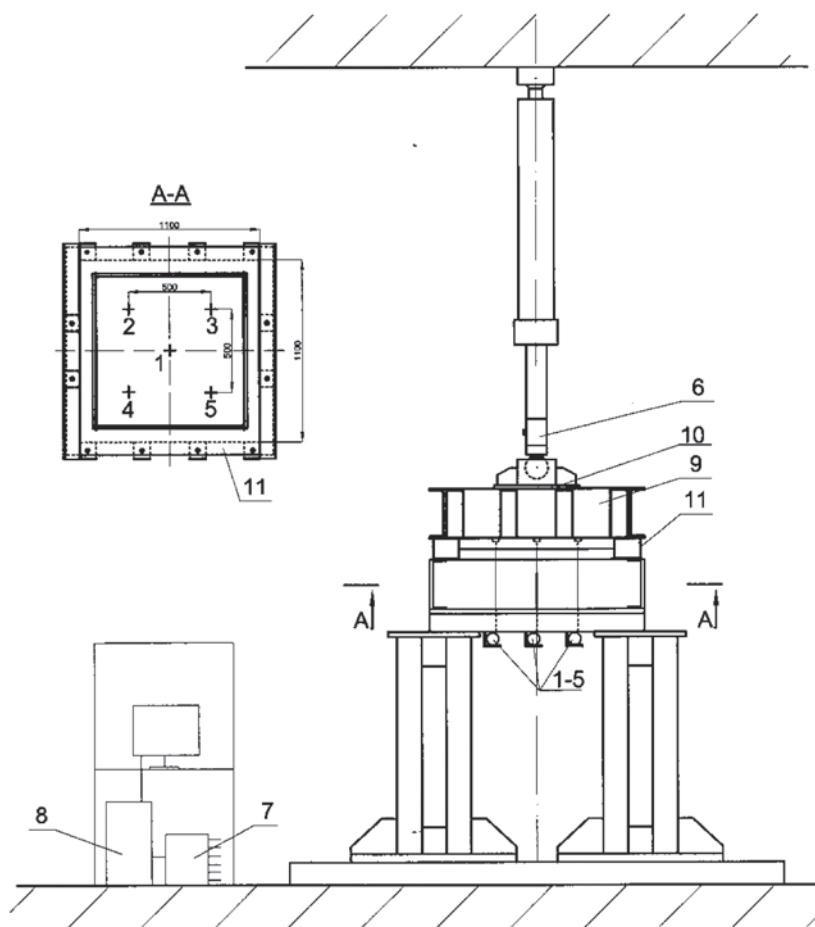
Badania wykonywane wg powyższej normy służą głównie potrzebom certyfikacyjnym oraz porównaniu między sobą wytrzymałości bardzo wielu konstrukcji siatek stosowanych w kopalniach.

2. Metodyka badań siatek okładzinowych za pomocą „testu skrzyniowego”

Sprawdzenie statycznej nośności i odkształcalności siatek podczas „testu skrzyniowego”, wykonano w stanowisku badawczym, przedstawionym schematycznie na rys. 2, w którym wykonywane są również badania torkretu i membran natryskowych [9].

Metodyka badań siatek okładzinowych łańcuchowo-węzłowych i zaczepowych, mocowanych na odrzwiach ŁP, obejmowała następujące etapy:

1. Ułożenie siatek (o szerokości $A = 500$ mm i długości odpowiedniej do rozstawu odrzwi $T = 1000$ mm – oznaczenia wg normy [6]) na dwa przeciwległe obrzeża skrzyni (symulujące dwoje odrzwi ŁP).
2. Napelnienie skrzyni warstwą kruszywa i płytek granitowych o łącznej masie 625 kg, w następującej kolejności (od dołu skrzyni):
 - płytki granitowe (wymiary nieregularne) – grubość warstwy ok. 40 mm,
 - kruszywo – grubość warstwy ok. 260 mm.
3. Ustawienie skrzyni w stanowisku badawczym zgodnie z rys. 2 oraz przymocowanie do siatek pięciu czujników przemieszczenia.
4. Uruchomienie rejestracji siły obciążającej F siatki oraz przemieszczenia ΔL w funkcji czasu, a następnie roz-



Rys. 2. Schemat stanowiska badawczego podczas „testu skrzyniowego”

1 – 5 – potencjometryczne czujniki przemieszczenia; 6 – tensometryczny czujnik siły F zamocowany w tłoczysku siłownika hydraulicznego; 7 – wzmacniacz pomiarowy połączony z czujnikami pomiarowymi i komputerem – 8; 9 – skrzynia badawcza; 10 – element obciążający połączony z siłownikiem hydraulicznym; 11 – śruby z podkładkami; 12 – stalowa rama z badaną siatką

Fig. 2. Scheme of test bench during the “box test”:

1 – 5 – potentiometric displacement sensors; 6 – tensometric force sensor F mounted in the piston rod of the hydraulic cylinder; 7 – measurement amplifier combined with measurement sensors and the computer – 8; 9 – testing box; 10 – loading component combined with the hydraulic cylinder; 11 – bolts with washers; 12 – steel frame with the tested mesh

poczęcie obciążania siłą narastającą wywieraną za pomocą siłownika hydraulicznego aż do zniszczenia siatek.

- Zapisanie wartości pomiarowych w pliku tekstowym za pomocą programu komputerowego CATMAN, wyznaczenie maksymalnej siły F_{\max} oraz obliczenie pracy W siły oporu F , jaką stawia badana siatka podczas jej deformacji L .

W przypadku badania siatki przeznaczonej do stosowania jako dodatkowe zabezpieczenie ociosów i stropu w samodzielnej obudowie kotwiowej, kotwiowo-podporowej lub podporowo-kotwiowej przed obrywającymi się bryłami skalnymi, siatkę o wymiarach 1300×1300 mm nakłada się na wierzchnią warstwę płytek granitowych oraz mocuje w czterech otworach umiejscowionych w narożach skrzyni o wymiarach 1000×1000 mm za pomocą śrub M20 (symulujących żerdzie kotwi) oraz podkładek kotwi 150×150×8 mm.

Pozostałe czynności podczas badania wykonuje się analogicznie jak dla siatek montowanych na odrzwiach ŁP.

Przykładową sekwencję zdjęć w kolejności a+c z przebiegu przygotowania skrzyni do badania siatek zaczepowych przedstawiono na rys. 3.

W celu przeprowadzenia analizy porównawczej działania siatek okładzinowych różnych typów, obliczana jest praca W siły oporu F , jaką stawia badana siatka podczas jej obciążania do momentu jej zniszczenia, ze wzoru

$$W = \int_{L_p}^{L_k} F dL, J \quad (1)$$

gdzie:

- F – mierzona siła obciążająca odpowiadająca sile oporu siatki, kN
- L – deformacja siatki (przyjęto deformację w środku siatki – przemieszczenie siatki w punkcie 1 jak na rys. 2), mm
- L_p – początkowa wartość deformacji siatki,
- L_k – końcowa wartość deformacji siatki (w momencie zniszczenia siatki).

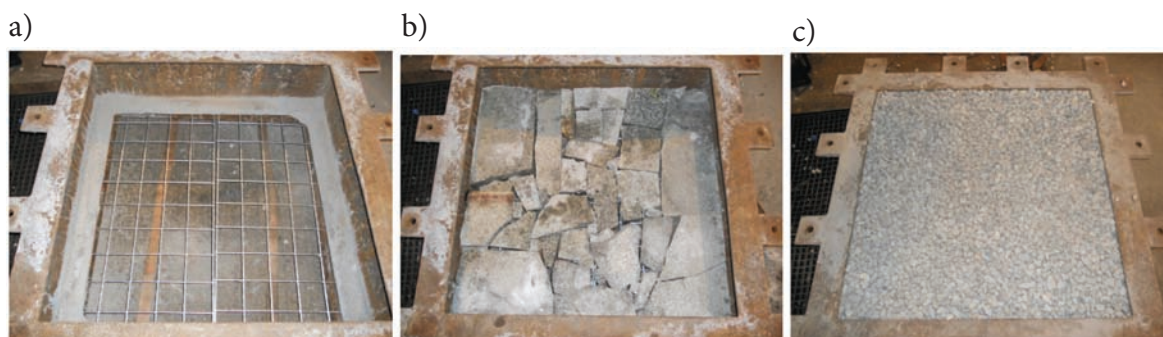
Obliczenia pracy wykonywane są za pomocą programu CATMAN, przy użyciu modułu całkującego wykorzystującego zarejestrowane dane pomiarowe.

3. Wyniki badań

Do badań służyły powszechnie stosowane w górnictwie węgla kamiennego siatki okładzinowe zgrzewane, spełniające wymagania normy PN-G-15050: 1996 [6].

Badaniom poddano siatki okładzinowe łańcuchowo-węzłowe typu ciężkiego (typu MWK) firmy CARBOMASZ Sp. z o.o., zaczepowe typu ciężkiego (wg normy [6]) firmy ZAKŁADY METALOWE SIWEK Sp. z o.o. oraz siatkę osłonową zwijaną (typu KOZ-L) firmy KALMET S.A.

Przykładowe wykonanie siatki łańcuchowo-węzłowej, ciężkiej, typu MWK, przedstawiona na rys. 4,

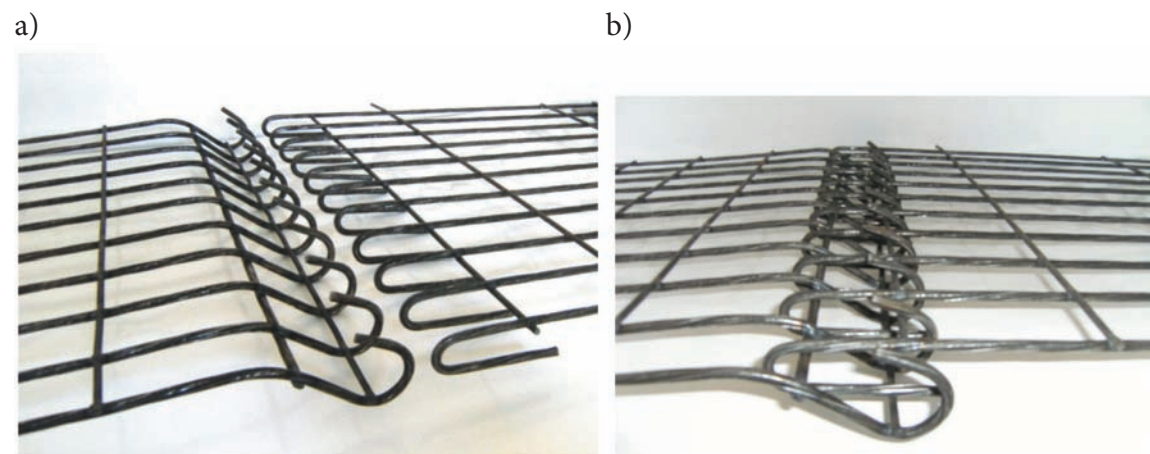


Rys. 3. Kolejne fazy przygotowywania skrzyni do badania siatek zaczepowych

a – dwie siatki zaczepowe, b – płytki granitowe, c – kruszywo

Fig. 3. Successive phases of preparation of the box for detent mesh tests

a – two detent meshes, b – granite plates, c – aggregate



Rys. 4. Sposób łączenia siatki łańcuchowo-węzłowej (za zgodą CARBOMASZ Sp. z o.o.) a – siatka łańcuchowo-węzłowa przed połączeniem; b – siatka łańcuchowo-węzłowa po połączeniu

Fig. 4. Method of chain-nodal mesh connection (by courtesy of CARBOMASZ Sp. z o.o.) a – chain-nodal mesh before linking; b – chain-nodal mesh after linking

W badaniach użyto siatki o wymiarze oczka 50×50 mm, wykonanej z następujących prętów:

- podłużnych, spiralnie walcowanych, o średnicy 8 mm,
- poprzecznych, gładko walcowanych, o średnicy 6 mm,
- pręta poprzecznego zaczepowego, spiralnie walcowanego, o średnicy 8 mm,
- pręta poprzecznego zaczepowego, spiralnie walcowanego, o średnicy 6 mm.

Siatka ta może być stosowana zarówno do montowania na odrzwiach obudowy (jako typowa opinka pracująca w kontakcie ze stropem lub ociosem), jak i stanowić element zestawu segmentowego naprawczego, który służy do zabezpieczania stropu i ociosów wyrobiska w przypadku uszkodzenia opinki pierwotnej. Zestaw segmentowy typu „CARBOMASZ” składa się z samonośnej, górniczej siatki okładzinowej łańcuchowo-węzłowej typu MWK, która mocowana jest do kształtownika odrzwi za pomocą elementów montażowo-mocujących, tj. śrub hakowych M14 oraz jarzm wykonanych z płaskowników.

W teście skrzyniowym siatkę łańcuchowo-węzłową badano w sposób odpowiadający jej zamontowaniu na odrzwiach obudowy.

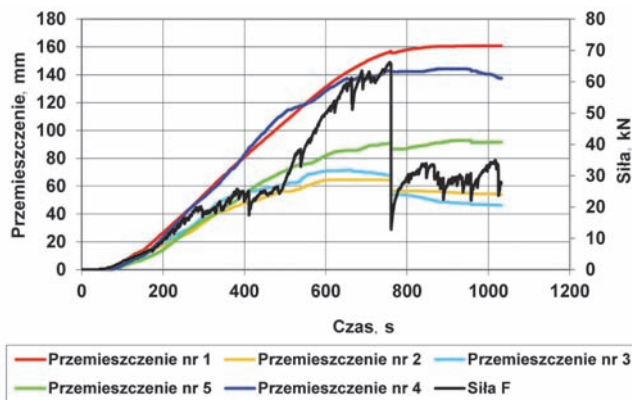
Siatka zaczepowa firmy ZAKŁADY METALOWE SIWEK Sp. z o.o., (konstrukcja przedstawiona w normie [6]) miała wymiar oczka 100×100 mm i wykonana była z prętów podłużnych o średnicy 8 mm i poprzecznych o średnicy 6 mm.

Siatka osłonowa zwijana KOz-L lekka o szerokości 1300 mm, przeznaczona do pracy w połączeniu z kotwiami, produkowana jest z prętów podłużnych $\phi 3,0 \pm 0,2$ mm i poprzecznych $\phi 4,0 \pm 0,2$ mm gładkich zgrzanych w matę. Dostarczona do badań siatka wykonana była z prętów podłużnych o średnicy $\phi 3,0$ mm oraz prętów poprzecznych o średnicy $\phi 3,9$ mm zgrzanych ze sobą i tworzących oczka o wymiarach 50×50 mm.

Podczas „testu skrzyniowego” obciążenie na siatkę przykładowe jest pośrednio, poprzez kruszywo, za pomocą elementu obciążającego o wymiarach 520×520 mm, usytuowanego na końcu siłownika hydraulicznego, jak na rys. 2. Siatki łańcuchowo-węzłowe badano w różnych konfiguracjach ułożenia względem osi obciążenia, aby sprawdzić jaki ma to wpływ na ich nośność.

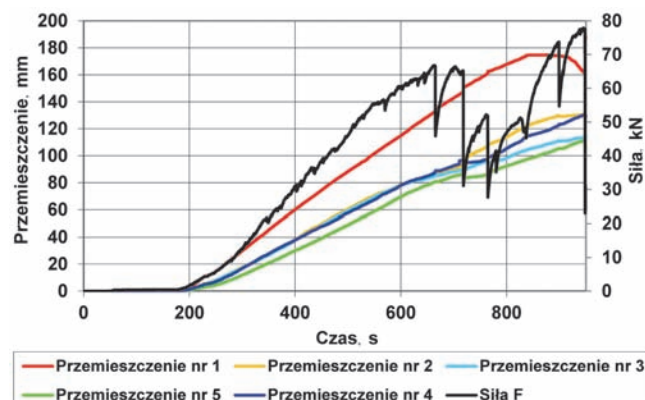
Wynik badania dwóch siatek łańcuchowo-węzłowych typu ciężkiego (w układzie jedna w środku skrzyni i dwie połówki przyległe, po bokach) przedstawiono w postaci wykresu na rys. 5, a widok siatki podczas badań przedstawiono w postaci sekwencji a-c na rys. 6.

Wynik badania dwóch siatek łańcuchowo-węzłowych (w układzie 2 siatki ułożone przyległe obok siebie) typu ciężkiego przedstawiono w postaci wykresu na rys. 7, a widok siatek podczas badań przedstawiono w postaci sekwencji zdjęć a i b na rys. 8.



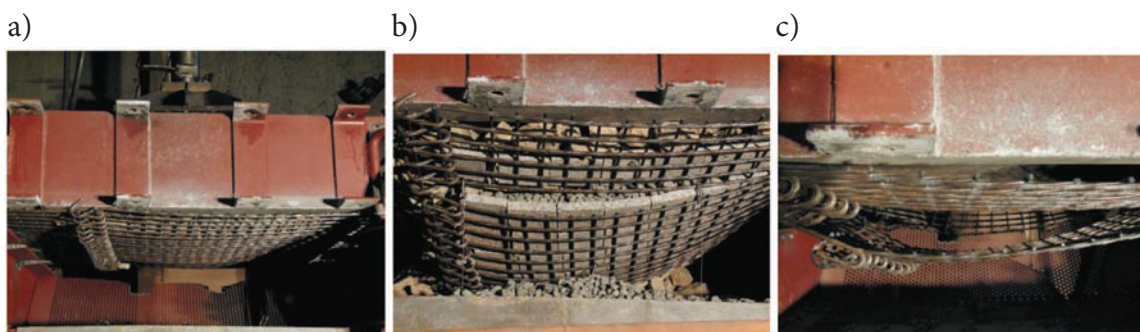
Rys. 5. Przebieg badania siatki łańcuchowo-węzłowej typu ciężkiego (w układzie jedna w środku skrzyni i dwie połówki przyległe, po bokach)

Fig. 5. Course of the heavy chain-nodal mesh test (one mesh in the middle of the box and two halves adjacent, on sides)



Rys. 7. Przebieg badania siatki łańcuchowo-węzłowej typu ciężkiego (w układzie dwie siatki ułożone przyległe obok siebie)

Fig. 7. Course of the heavy chain-nodal mesh test (two meshes adjacent to each other)

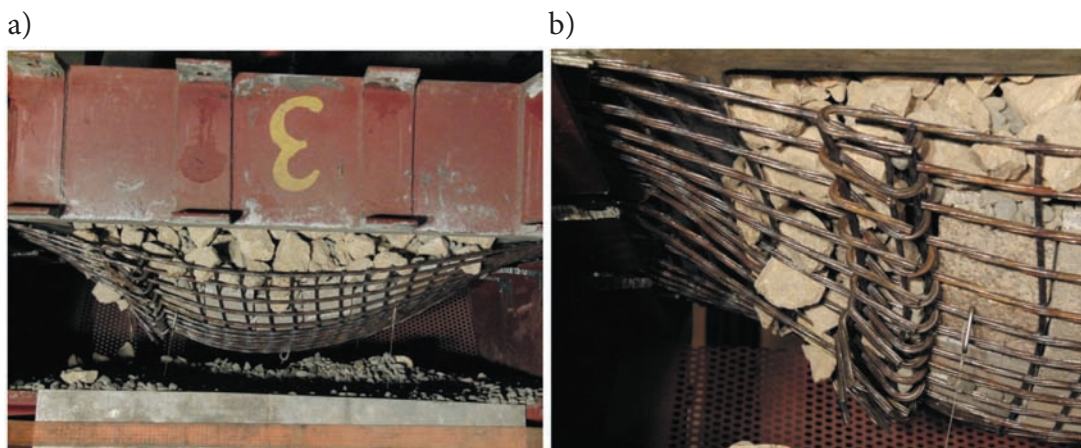


Rys. 6. Siatka łańcuchowo-węzłowa w kolejnych fazach badania

a – przed badaniem, b – po badaniu, c – deformacja siatki po badaniu

Fig. 6. Chain-nodal mesh in the successive phases of the test

a – before the test, b – after the test, c – mesh deformation after the test

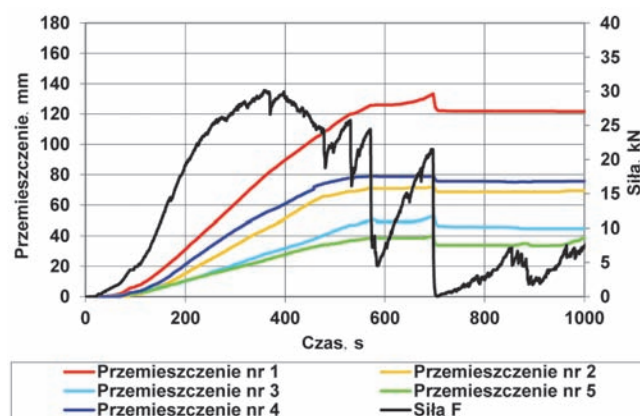


Rys. 8. Siatka łańcuchowo-węzłowa (dwie siatki ułożone obok siebie) po badaniu
 a – po badaniu, b – deformacja połączenia siatek

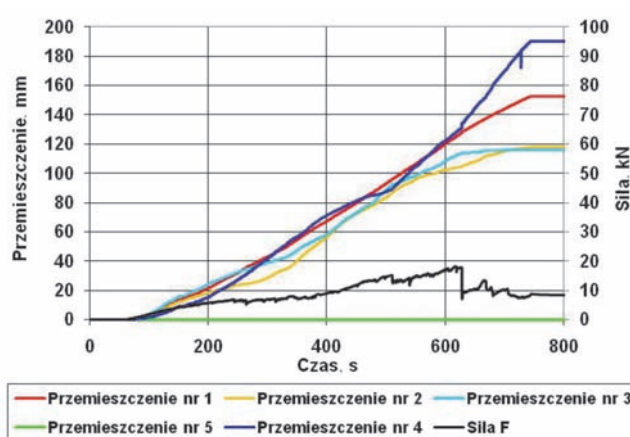
Fig. 8. Chain-nodal mesh (two meshes adjacent to each other) after the test
 a – after the test, b – deformation of the meshes' connections

Wynik badania dwóch siatek zaczepowych typu ciężkiego (ułożonych obok siebie) przedstawiono w postaci wykresu na rys. 9, a widok siatki podczas badań przedstawiono w postaci sekwencji zdjęć a–c na rys. 10.

Wynik badania siatki osłonowej zwijanej KOz-L lekkiej, o szerokości 1300 mm, przedstawiono w postaci wykresu na rys. 11, a widok siatki podczas badań przedstawiono w postaci sekwencji zdjęć a i b na rys. 12.



Rys. 9. Przebieg badania siatki zaczepowej typu ciężkiego
 Fig. 9. Course of heavy detent mesh test

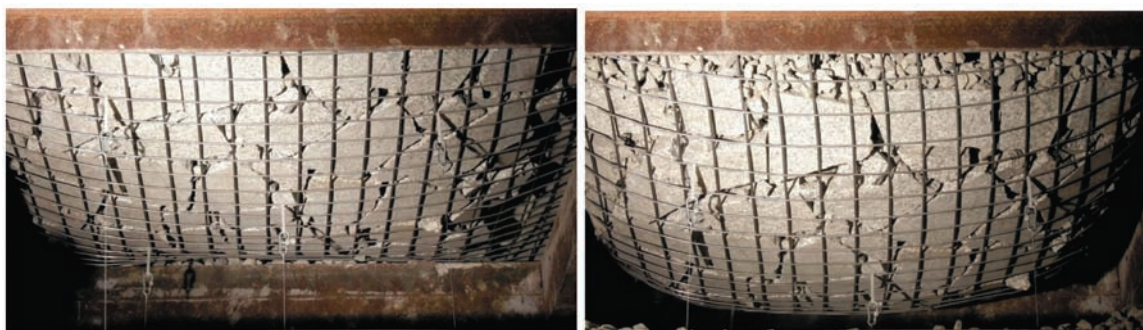


Rys. 11. Przebieg badania siatki osłonowej zwijanej KOz-L lekkiej o szerokości 1300 mm
 Fig. 11. Course of light shield folding mesh KOz-L test, 1300 mm in width



Rys. 10. Siatka zaczepowa (dwie siatki ułożone obok siebie) w stanowisku badawczym
 a – przed badaniem, b – podczas badania, c – po badaniu

Fig. 10. Detent mesh (two meshes adjacent to each other) on the test bench
 a – before the test b – during the test c – after the test



Rys. 12. Siatka osłonowa zwijana w stanowisku badawczym:

a – przed badaniem, b – po badaniu.

Fig. 12. Shield folding mesh on the test bench:

a – before the test, b – after the test

W tabeli 2 przedstawiono zestawienie wyników badań siatek okładzinowych.

Tabela 2. Zestawienie wyników badań siatek okładzinowych
Table 2. Summary of the mesh tests results

Nazwa siatki	F_{\max} , kN	ΔL (przy F_{\max}), mm	W , J
Łańcuchowo-węzłowa typu ciężkiego MWK (w układzie jedna w środku skrzyni i dwie połówki przyległe, po bokach)	66,2	155	4312
Łańcuchowo-węzłowa typu ciężkiego MWK (w układzie dwie siatki ułożone przyległe obok siebie)	77,9	175	7089
Zaczepekowa typu ciężkiego wg normy [6] (w układzie dwie siatki ułożone przyległe obok siebie)	30,1	79	4134
Siatka osłonowa zwijana KOz-L lekka	18,3	127	4405

4. Podsumowanie

Wyniki badania wskazują, że najwyższą nośność uzyskała siatka łańcuchowo-węzłowa typu ciężkiego (w układzie dwie siatki ułożone przyległe obok siebie - oczka 50×50 mm z prętów podłużnych i poprzecznych o średnicy $\phi 8/\phi 6$ mm), która również charakteryzuje się największą odkształcalnością. Obliczona praca W siły oporu F , jaką stawia siatka łańcuchowa, jest większa o ok. 64% od pracy tej samej siatki badanej w drugim ułożeniu (jedna siatka w osi obciążenia i dwie siatki po bokach). Należy mieć jednak na uwadze to, że w tym drugim ułożeniu symulowany układ obciążenia stropowego miał dwa miejsca odsłonięcia „stropu” (na styku łączonych siatek), co na pewno wpłynęło na obniżenie siły obciążającej i równocześnie spowodowało szybszą utratę stateczności zasymulowanych w teście skał stropowych. Wskazuje to na potrzebę łączenia siatek między sobą, co zapewni większą ich nośność oraz „szczelność” opinki.

Na uwagę zasługuje siatka zwijana KOz-L lekka, która pomimo najmniejszej nośności i lekkiej konstrukcji (oczka 50×50 mm z prętów podłużnych i poprzecznych o średnicy $\phi 3/\phi 4$ mm) wykazała się pracą przewyższającą nawet siatki ciężkie oraz bardzo dobrą szczelnością zapewniającą większe bezpieczeństwo pracy w warunkach opadających odłamków skalnych.

5. Wnioski

Opracowana metodyka badań w postaci „testu skrzyniowego” pozwala określać nośność i odkształcalność różnego ro-

dzaju okładzin górniczych np. stalowych siatek zgrzewanych, a także obliczać pracę jaką wykonują podczas ich obciążania. Zaproponowany sposób badania jest bardziej zbliżony do rzeczywistej pracy w wyrobisku górniczym, niż dotychczas stosowane testy wykonywane w oparciu o przedmiotowe normy, poprzez symulowane obciążenie całej powierzchni siatki za pomocą statycznego obciążenia wywieranego przez kruszywo oraz działającego na nie obciążenia realizowanego za pomocą siłownika hydraulicznego.

Rozpowszechnienie badań wg zaproponowanej metodyki pozwoli na stworzenie bazy dotyczącej okładzin siatkowych, która w przyszłości pozwoli na opracowanie ilościowych kryteriów ich oceny oraz przydatności do stosowania w określonych warunkach geologiczno-górniczych.

Wskazane jest kontynuowanie badań nośności siatek okładzinowych przy obciążeniu dynamicznym, które pozwolą na określenie takich parametrów siatek jak: nośność dynamiczna oraz maksymalna energia udaru mas skalnych jaką jest w stanie przenieść siatka bez jej zniszczenia.

Literatura

- Chudek M.: Obudowa wyrobisk górniczych. Część 1. Obudowa wyrobisk korytarzowych i komorowych. Wyd. 2. Wydawnictwo „Śląsk”. Katowice 1986.
- Gluch P.: Badania nośności węzłów siatek łańcuchowo-węzłowych dla oceny ich podatności w trudnych warunkach geologiczno-górniczych. Seminarium pt.: Problemy utrzymania wyrobisk korytarzowych. Nowoczesne Technologie Górnicze 2006. Wydział Górnictwa i Geologii Politechniki Śląskiej w Gliwicach. Ustroń 2006.
- Nierobisz A., Barecki Z.: Opinka chodnikowa o podwyższonej wytrzymałości oraz odporności dynamicznej - badania stanowiskowe. „Przeгляд Górnicy” 2011, nr 6.
- Norma PN-G-06021:1997 – Obudowa górniczych wyrobisk korytarzowych – Okładziny żelbetowe.
- Norma PN-G-14100:1997 – Podziemne wyrobiska korytarzowe i komorowe – Beton natryskowy – Wymagania i badania.
- PN-G-15050: 1996 – Obudowa wyrobisk górniczych – Siatki okładzinowe zgrzewane.
- Norma PN-G-15091:1998 – Kotwie górnicze – Wymagania.
- Norma PN-G-15092:1999 – Kotwie górnicze – Badania.
- Pytlík A.: Badania torkretu oraz cienkościennych membran natryskowych metodą testu skrzyniowego. „Przeгляд Górnicy” 2013, nr 12.
- Rotkegel M.: Wpływ sposobu montażu siatek okładzinowych na ich pracę. „Przeгляд Górnicy” 2014, nr 3.