

Wyznaczanie nośności siatek okładzinowych zgrzewanych

dr inż. Włodzimierz Madejczyk
Instytut Techniki Górniczej KOMAG

Determination of welded mesh claddings' load-bearing capacity

Streszczenie:

W 2018 r. wprowadzono do stosowania normę PN-G-15050:2018-01 „Obudowa wyrobisk górniczych. Siatki okładzinowe zgrzewane”, która zastąpiła normę, o takim samym tytule, z 1996 r. Jedną z istotnych, wprowadzonych zmian dotyczy sposobu wyznaczania nośności siatki. W publikacji przedstawiono sposób wyznaczania wartości równoważnika M_g nośności siatek typu O i typu S oraz nośności siatki typu K. Wyniki obliczeń porównano z wartością momentu zginającego wyznaczonego zgodnie z dotychczasową normą. Zinterpretowano wymagania zawarte w nowej normie.

Abstract:

PN-G-15050:2018-01 Standard „Mining support. Net lining welded” which replaced the standard of the same title of 1996 was implemented in 2018. The method for determination of mesh cladding load-bearing capacity is one of the most important changes. Procedure for determination of load-bearing capacity equivalent M_g for the O type and S type meshes as well as determination of load-bearing capacity of K type meshes are presented. Calculation results are compared with the bending momentum determined according to the replaced standard. Requirements included in the new standard are interpreted.

Słowa kluczowe: górnictwo, obudowa wyrobisk, siatki okładzinowe, nośność

Keywords: mining industry, roadway support, mesh cladding, load-bearing capacity

1. Wprowadzenie

Norma PN-G-15050:2018-01 „Obudowa wyrobisk górniczych. Siatki okładzinowe zgrzewane” [4] dotyczy siatek okładzinowych zgrzewanych, stosowanych jako zabezpieczenie przed obrywającymi lub osuwającymi się bryłami węgla, kamienia, rud lub innych kopalin. Zastąpiła ona normę o takim samym tytule i numerze, z 1996 r. W aktualnie stosowanej normie wyróżnia się 3 typy siatek okładzinowych zgrzewanych do obudowy:

- odrzwiowej (typu O),
- ścianowej (typu S),
- kotwowej (typu K).

W zależności od konstrukcji, rozróżnia się następujące rodzaje siatek okładzinowych zgrzewanych: proste P, zaczepowe Z, łańcuchowe L, łańcuchowo-węzłowe LW, zaczepowo-łańcuchowe ZL i zestawy naprawcze.

Poszerzono w niej wymagania dotyczące wytrzymałości siatek, wprowadzając pojęcie równoważnika M_g nośności siatki, w zastępstwie momentu zginającego M_z , wyznaczonego dotychczas.

W zależności od wartości równoważnika nośności siatki rozróżnia się odmiany siatek okładzinowych zgrzewanych:

- typu O:
 - lekkie, o minimalnej wartości równoważnika nośności $M_{gmin} = 3,00$ kNm,
 - ciężkie, o minimalnej wartości równoważnika nośności $M_{gmin} = 6,25$ kNm,
 - ciężkie wzmocnione, o minimalnej wartości równoważnika nośności $M_{gmin} = 10,00$ kNm,

- typu S
 - lekkie, o minimalnej wartości równoważnika nośności $M_{gmin} = 15,00$ kNm,
 - ciężkie, o minimalnej wartości równoważnika nośności $M_{gmin} = 24,00$ kNm,
 - ciężkie wzmocnione, o minimalnej wartości równoważnika nośności $M_{gmin} = 30,00$ kNm.

W przypadku siatek typu K do obudowy kotwowej, zamiast równoważnika nośności siatki, wyznacza się nośność N_{Smax} siatki. W normie [4] zawarto wymagania dotyczące minimalnej wartości nośności N_{Smax} oraz maksymalnej strzałki ugięcia.

Jakkolwiek w nowo opracowanej normie [4] zawarto zalecenia dotyczące rozmiaru siatki, a w szczególności jej szerokości, to przedstawiono również zależności umożliwiające porównywanie siatek o dowolnych rozmiarach, z siatkami o rozmiarach zalecanych.

Zmiany dotyczące toku obliczeń parametrów charakteryzujących nośność siatki zilustrowano przykładami analizy wyników badań siatki typu O do obudowy odrzwiowej zaczepowej i siatki typu K do obudowy kotwowej o rozstawie kotwi (siatce kotwienia), różniącym się od rozstawu zalecanego w normie.

2. Badania wytrzymałości siatek typu O

Badania wytrzymałościowe wykonano na 3 siatkach okładzinowych zgrzewanych typu O rodzaju zaczepowego ciężkiego o oczkach 100x100, wykonanych z prętów podłużnych o średnicy 8,0 mm spiralnie walcowanych i prętów poprzecznych o średnicy 6,0 mm spiralnie walcowanych, do opinki obudowy o rozstawie odrzwi $T=1,0$ m [1].

Badania te polegają na statycznym obciążeniu, działającym prostopadle do płaszczyzny siatki. W trakcie badania wykonywane są równoczesne pomiary wartości siły i strzałki ugięcia. Badanie prowadzi się do osiągnięcia wymaganej wartości strzałki ugięcia siatki lub do jej zniszczenia [3, 4].

Na podstawie wyników badań oblicza się wartość momentu zginającego M_z wg PN-G-15050:1996 [3] lub równoważnika M_g nośności siatki wg PN-G-15050:2018-01 [4].

Zgodnie z normą PN-G-15050:1996 [3] moment zginający M_z siatki oblicza się wg wzoru:

$$M_z = \frac{F_{max} \cdot L_c}{4} \quad (1)$$

gdzie:

- F_{max} – maksymalna wartość siły uzyskana przy ugięciu siatki typu O, w przedziale od zera do wartości 100 mm, kN
- L_c – całkowita długość czynna siatki, m

Równoważnik M_g nośności siatki można obliczyć zgodnie z załącznikiem A.1 aktualnej normy [4] wg wzoru:

$$M_g = \frac{F_{max} \cdot T}{4} \quad (2)$$

gdzie:

- F_{max} – maksymalna wartość siły, uzyskana przy ugięciu siatki w przedziale od zera do wartości 100 mm, w przypadku siatki typu O i do wartości 250 mm w przypadku siatki typu S, kN
- T – rozstaw odrzwi (siatki typu O) lub podziałka sekcji obudowy (siatki typu S), m

W tabeli 1 przedstawiono wyniki porównania wartości momentu zginającego M_z oraz równoważnika M_g nośności siatki podczas badań wytrzymałości siatek zaczepowych.

Wyniki porównania wartości momentu zginającego M_z i równoważnika nośności siatki M_g podczas badań wytrzymałości siatek zaczepowych

Tabela 1

Nr siatki	Siła obciążająca [kN]	Moment zginający M_z [kNm]	Równoważnik nośności M_g [kNm]	Strzałka ugięcia siatki [mm]
100.2	29,41	8,82	7,35	100
100.3	28,56	8,57	7,14	
100.4	28,54	8,56	7,13	

Do obliczeń momentu zginającego M_z siatki zaczepowej, wg normy PN-G-15050:1996 [3], przyjmowano czynną długość siatki. W przypadku rozstawu odrzwi $T=1$ m czynna długość siatki zaczepowej wynosi 1,2 m. Do obliczeń równoważnika nośności M_g siatki zaczepowej, wg normy PN-G-15050:2018-01 [4], należy przyjąć jako długość siatki rozstaw odrzwi T . W związku z powyższym uzyskane wartości równoważnika nośności M_g siatki zaczepowej wg normy PN-G-15050:2018-01 [4] są mniejsze od wartości momentów zginających wyznaczonych wg normy PN-G-15050:1996 [3]. Należy jednak zaznaczyć, że sposób wyznaczania równoważnika M_g nośności siatki według nowej normy [4] w większym stopniu odpowiada rzeczywistemu sposobowi obciążenia siatki, niż sposób obliczeń zalecany w starej normie [3].

Z tabeli 1 wynika, że badana siatka spełnia wymagania stawiane siatkom rodzaju ciężkiego, gdyż zgodnie z PN-G-15050:1996 [3] $M_z > M_{zmin} = 6,25$ kNm. Według PN-G-15050:2018-01 [4] $M_g > M_{gmin} = 6,25$ kNm.

Znowelizowana norma PN-G-15050:2018-01 [4] umożliwia porównywanie siatek o różnych szerokościach, wprowadzając wzory przeliczeniowe, sprowadzające uzyskane wartości równoważnika nośności M_g siatek o innych rozmiarach do równoważnika M_g siatki o rozmiarach zalecanych w normie tj. do szerokości 0,5 m – siatki typu O i szerokości 0,8 m – siatki typu S. Wartość przeliczeniową równoważnika nośności M_{g1} siatki wyznacza się zgodnie ze wzorami podanymi w załączniku A.2 omawianej normy.

Równoważnik M_{g1} nośności siatki o szerokości różnej od szerokości zalecanej należy obliczyć wg wzoru:

$$M_{g1} = \frac{M_g \cdot S_1}{S} \tag{3}$$

gdzie:

S_1 – pole powierzchni siatki o dowolnej szerokości, m^2

S – pole powierzchni siatki o zalecanej szerokości A , obliczane wg wzoru:

$$S = T \cdot A \tag{4}$$

przy czym:

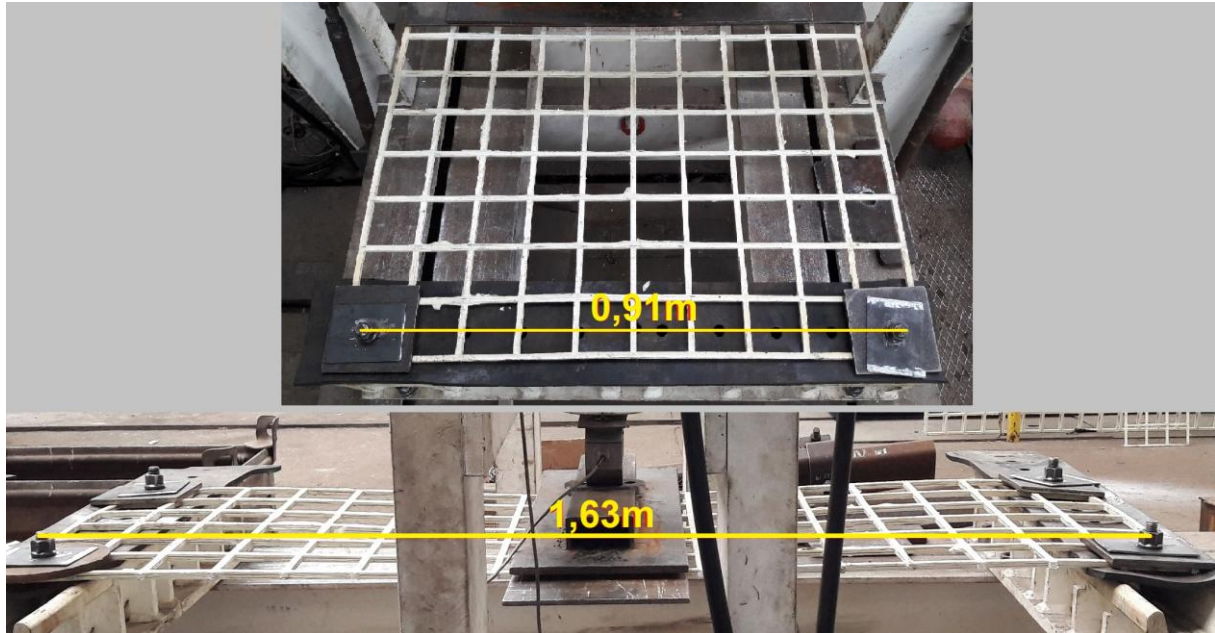
T – rozstaw odrzwi (siatki typu O) lub podziałka sekcji obudowy (siatki typu S), m

$A = 0,5$ m (siatki typu O)

$A = 0,8$ m (siatki typu S)

3. Sprawdzenie wytrzymałości siatek typu K

Przedmiotem badań były 3 siatki kompozytowe (typu K) o długości 1720 mm i szerokości 1010 mm, przeznaczone do opinania stropów i ociosów wyrobisk chodnikowych i komór specjalnego przeznaczenia, w przypadku stosowania obudowy kotwowej w zakładach górniczych. Badania przeprowadzono w stanowisku do badań siatek okładzinowych w Laboratorium Badań ITG KOMAG w Gliwicach (rysunek 1).



Rys. 1. Widok siatki zamocowanej w stanowisku [2]

Celem badań było sprawdzenie nośności siatki typu K, wg pkt. 6.2.7 normy PN-G-15050:2018-01 [4], na zgodność z wymaganiami pkt. 2.4.3.1 normy PN-G-15091:1998 [5] i pkt. 4.4 normy PN-G-15050:2018-01 [4]. Rozstaw kotwi badanych siatek wynosił $C1 \cdot C2 = 1,63 \text{ m} \cdot 0,91 \text{ m}$ i był różny od zalecanego w normie [4] rozstawu kotwi $C1 \cdot C2 = 1,0 \text{ m} \cdot 0,5 \text{ m}$.

Badanie polegało na statycznym obciążeniu, działającym prostopadle do płaszczyzny siatki. Siatka obciążona była poprzez belkę ułożoną prostopadle do dłuższych prętów siatki. W trakcie badania wykonywano równoczesne pomiary wartości siły F_{kl} i strzałki ugięcia l . Badanie prowadzono aż do zniszczenia siatki. Bezpośrednio z wykresu siły F_{kl} w funkcji strzałki ugięcia l odczytywano nośność N_{S1max} siatki, równą maksymalnej wartości siły F_{kl} . Wyniki uzyskane w trakcie badań przedstawiono w tabeli 2, podając wartość siły co 10 mm ugięcia l oraz ugięcie l przy sile maksymalnej.

Wyniki badań wytrzymałości siatek o rozstawie kotwi $C1 \cdot C2 = 1,63 \text{ m} \cdot 0,91 \text{ m}$ [2]

Tabela 2

Nr wewnętrzny siatki					
116.1		116.2		116.3	
Strzałka ugięcia	Siła uzyskana	Strzałka ugięcia	Siła uzyskana	Strzałka ugięcia	Siła uzyskana
l [mm]	F_{kl} [kN]	l [mm]	F_{kl} [kN]	l [mm]	F_{kl} [kN]
0	0,00	0	0,00	0	0,00
10	3,29	10	3,03	10	2,49

20	8,81	20	6,26	20	6,53
30	12,25	30	9,82	30	9,82
40	16,20	40	13,65	40	13,38
50	22,13	50	18,54	50	18,07
60	28,89	60	24,00	60	23,85
70	36,82	70	30,11	70	30,79
max 76	41,53	80	38,18	max 77	37,08
---		max 89	45,36	---	

Według pkt. 4.4 normy PN-G-15050:2018-01 [4] nośność siatki N_{Smax} nie powinna być mniejsza niż 11,8 kN i odnosi się do siatki o rozstawie kotwi $C1 \cdot C2 = 1,0 \text{ m} \cdot 0,5 \text{ m}$. W przypadku siatki o innym rozstawie kotwi należy otrzymany wynik nośności przeliczyć zgodnie z wytycznymi zamieszczonymi w załączniku A.3 normy PN-G-15050:2018-01 [4].

Nośność N_{S1max} siatki obliczono wg wzoru:

$$N_{S1max} = \frac{N_{Smax} \cdot S_1}{S} \quad (5)$$

gdzie:

N_{Smax} – nośności siatki typu K o rozstawie kotwi (siatce kotwienia) $C1 \cdot C2 = 1,0 \text{ m} \cdot 0,5 \text{ m}$, kN

S_1 – pole powierzchni siatki kotwienia o dowolnych wymiarach, m^2

S – pole powierzchni siatki kotwienia [m^2], obliczone wg wzoru:

$$S = C1 \cdot C2 \quad (6)$$

przy czym:

$C1 = 1 \text{ m}$

$C2 = 0,5 \text{ m}$

Zgodnie z powyższą zależnością w badanym przypadku po podstawieniu wartości 11,8 kN zamiast N_{Smax} , wartość N_{S1max} wynosiła 35,01 kN.

Dla porównywania uzyskanych wyników badań siatek, o różnym rozstawie kotwi, wygodniejsze jest przedstawianie wyników w postaci przeliczeniowej wartości nośności N_S .

Wartości te otrzymuje się przekształcając równanie (5) w następującą zależność:

$$N_S = \frac{N_{S1} \cdot S}{S_1} \quad (7)$$

gdzie:

N_{S1} – nośność siatki typu K odczytana w trakcie badań, kN

S_1 – pole powierzchni siatki kotwienia o dowolnych wymiarach, m^2

S – pole powierzchni siatki kotwienia zalecane w normie, m^2

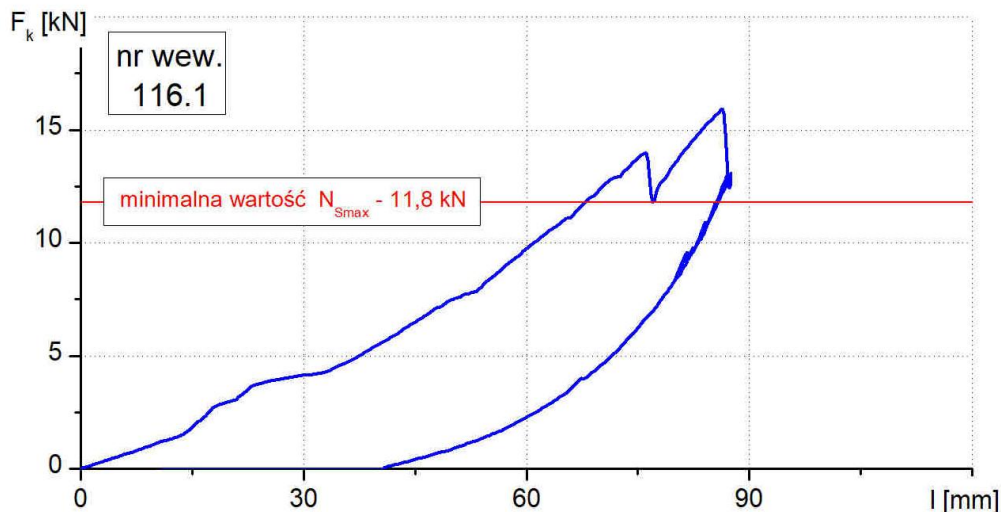
Wyniki badań wyznaczenia nośności N_S w tym N_{Smax} siatki zestawiono w tabeli 3 [2] jako wartości przeliczeniowe nośności, zgodnie z przekształconą zależnością z załącznika A.3 normy PN-G-15050:2018-01 [4].

Wyniki badań wytrzymałości siatek o rozstawie kotwi $C1 \cdot C2 = 1,63 \text{ m} \cdot 0,91 \text{ m}$ przeliczone do siatek o rozstawie kotwi $C1 \cdot C2 = 1,0 \text{ m} \cdot 0,5 \text{ m}$

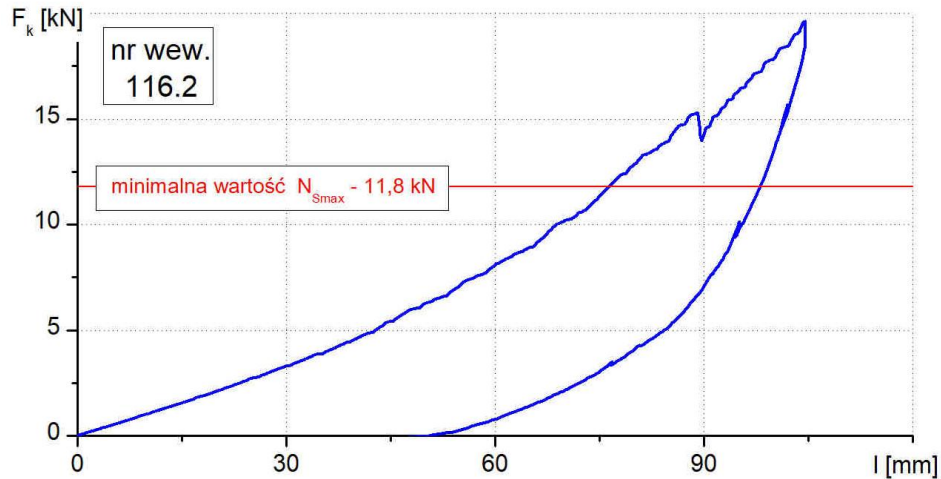
Tabela 3

Nr wew. siatki					
116.1		116.2		116.3	
Strzałka ugięcia	Siła przeliczeniowa	Strzałka ugięcia	Siła przeliczeniowa	Strzałka ugięcia	Siła przeliczeniowa
l [mm]	F_k [kN]	l [mm]	F_k [kN]	l [mm]	F_k [kN]
0	0,00	0	0,00	0	0,00
10	1,11	10	1,02	10	0,84
20	2,97	20	2,11	20	2,20
30	4,13	30	3,31	30	3,31
40	5,46	40	4,60	40	4,51
50	7,46	50	6,25	50	6,09
60	9,74	60	8,09	60	8,04
70	12,41	70	10,15	70	10,38
max 76	14,00	80	12,87	max 77	12,50
---		max 89	15,29	---	

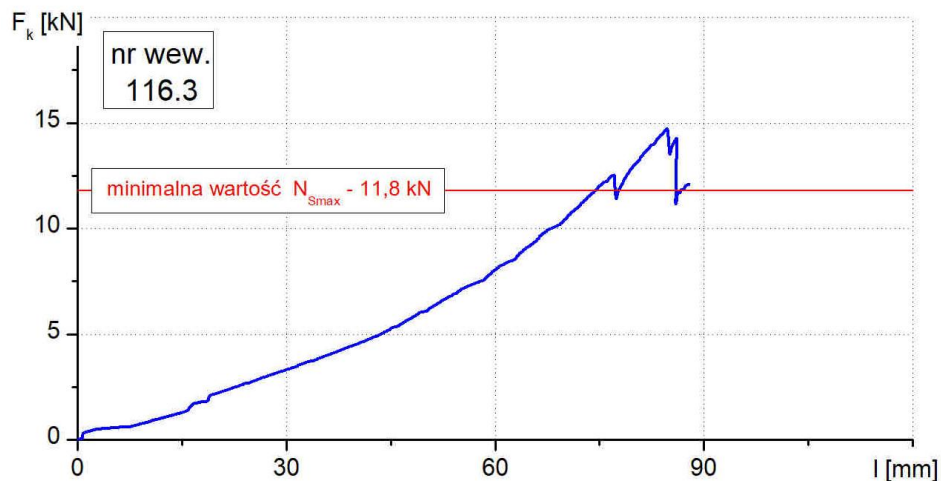
Na rysunkach 2÷4 przedstawiono wykresy zależności siły F_k obciążającej siatkę w funkcji strzałki ugięcia siatki l, rejestrowane w trakcie próby obciążenia siatki, aż do zniszczenia. Wartości siły i ugięcia zestawione w tabeli 3 dotyczą monotonicznego narastania siły F_k , aż do pierwszego uszkodzenia siatki, objawiającego się gwałtownym zmniejszeniem wartości siły F_k .



Rys. 2. Wykres siły przeliczeniowej w funkcji strzałki ugięcia dla siatki o nr 116.1 [2]



Rys. 3. Wykres siły przeliczeniowej w funkcji strzałki ugięcia dla siatki o nr 116.2 [2]



Rys. 4. Wykres siły przeliczeniowej w funkcji strzałki ugięcia dla siatki o nr 116.3 [2]

4. Podsumowanie

Przeprowadzona analiza wyników badań pozwala na sformułowanie następujących stwierdzeń:

- Wartości równoważnika nośności M_g , wyznaczone zgodnie z aktualną normą PN-G-15050:2018-01 są mniejsze od wartości momentu zginającego M_z wyznaczonego w dotychczasowej normie, gdyż w obliczeniach równoważnika M_g uwzględnia się rozstaw odrzwi T, a nie długość siatki zaczepowej.

Analizowane siatki typu O (p. 2) spełniają wymagania obu norm. Jednakże, siatki charakteryzujące się momentem zginającym M_z o wartości zbliżonej do wartości wymaganej według starej normy prawdopodobnie nie będą spełniały wymagań nowej normy.

W analizowanym przypadku, wartość równoważnika nośności M_g siatki do opinki obudowy o rozstawie odrzwi $T = 1$ m jest o około 17% mniejsza od momentu zginającego M_z .

Dla siatek zaczepowych przeznaczonych do opinki obudowy o większym rozstawie odrzwi, procentowa różnica wartości tych parametrów będzie się zmniejszała i np. dla rozstawu odrzwi $T = 1,5$ m będzie wynosić około 11%.

Powyższe uwagi odnoszą się jedynie do siatek rodzaju zaczepowego. Dla pozostałych siatek wyniki obliczeń momentu zginającego M_z , wyznaczonego wg normy PN-G-15050:1996 i równoważnika nośności M_g siatki, wyznaczonego wg normy PN-G-15050:2018-01, będą zgodne.

- Nowa norma zaleca, aby maksymalna szerokość siatki typu O nie była większa niż $500 \text{ mm} \pm 1\%$, a siatki typu S nie większa niż $800 \text{ mm} \pm 1\%$. Norma nie obliuguje do wykonywania badań na określonym wymiarze siatki, a jedynie do przedstawienia ujednoczonych wyników badań odniesionych do siatki o wymiarach zalecanych. W przypadku siatek o dowolnej szerokości obliczyć należy równoważnik M_g nośności siatki wg wzoru (3).
- Wyniki nośności siatki typu K o rozstawie kotwi $C1 \cdot C2 = 1 \text{ m} \cdot 0,5 \text{ m}$ należy wyznaczać bezpośrednio z wykresu siły obciążającej w funkcji strzałki ugięcia. Nośność maksymalną siatki typu K, o rozstawie kotwi innym niż $C1 \cdot C2 = 1 \text{ m} \cdot 0,5 \text{ m}$ należy obliczyć wg wzoru (5).
Nośność badanej siatki kompozytowej o rozstawie kotwi $C1 \cdot C2 = 1,63 \text{ m} \cdot 0,91 \text{ m}$ wynosiła $N_{S1} = 37,08 \text{ kN}$. W związku z tym minimalna wartość nośności, odniesiona do siatki o zalecanym rozstawie kotwi $C1 \cdot C2 = 1,0 \text{ m} \cdot 0,5 \text{ m}$, wyniosła $12,5 \text{ kN}$, co spełnia warunek pkt. 4.4 normy ($N_{S\max} \geq 11,8 \text{ kN}$ lub po przeliczeniu wg wzoru (5) $N_{S1\max} \geq 35,01 \text{ kN}$).
Z powyższego wynika, że w przypadku siatek typu K norma nie obliuguje do wykonywania badań na próbkach o określonym rozstawie kotwi, a jedynie do przedstawienia ujednoczonych wyników badań, odniesionych do siatki o rozstawie kotwi $C1 \cdot C2 = 1,0 \text{ m} \cdot 0,5 \text{ m}$. Należy podkreślić, że rozstaw kotwi nie jest tożsamy z wymiarami siatki.
- Przedstawienie ujednoczonych wyników badań odniesionych do siatek o wymiarach zalecanych, w przypadku siatek typu O i typu S, oraz do rozstawu kotwi, w przypadku siatek typu K, dokonuje się w celu porównywania otrzymanych wyników badań z wymaganiami normy oraz z wynikami uzyskanymi dla siatek o innych wymiarach lub rozstawie kotwi, co umożliwi ujednoczenie oceny.

Literatura

- [1] Badania siatek okładzinowych zgrzewanych typu zaczepowego rodzaju ciężkiego dla rozstawu odrzwi do 1 m. Sprawozdanie nr 96/DLB-2/2015. Laboratorium Badań ITG KOMAG, Gliwice sierpień 2015 (materiały niepublikowane)
- [2] Badania laboratoryjne siatek kompozytowych. Sprawozdanie nr 14/DLB-2/2018. Laboratorium Badań ITG KOMAG, Gliwice styczeń 2018 (materiały niepublikowane)
- [3] PN-G-15050:1996 Obudowa wyrobisk górniczych - Siatki okładzinowe zgrzewane
- [4] PN-G-15050:2018-01 Obudowa wyrobisk górniczych - Siatki okładzinowe zgrzewane
- [5] PN-G-15091:1998 Kotwie górnicze - Wymagania