



## Wpływ sposobu montażu siatek okładzinowych na ich pracę

### Influence of the method of lagging sheets mounting on their operation

Dr inż. Marek Rotkegel<sup>\*)</sup>

**Treść:** Okładziny są jednym z ważniejszych elementów obudowy wyrobisk korytarzowych. Przenoszą one obciążenia ze strony górotworu z przestrzeni pomiędzy odrzwiami na odrzwia. Stąd też wymagana jest ich odpowiednia sztywność wynikająca z konstrukcji lub sposobu zabudowy. W niniejszym artykule przedstawiono wyniki analiz wytrzymałościowych siatek okładzinowych zaczepowych zabudowanych poprawnie i nieprawidłowo.

**Abstract:** Linings are one of the most important components of mine workings support. They transfer the load from the rock mass to the steel support frames in space between them. Therefore, they require adequate rigidity resulting from the construction or building process. This paper presents the results of analyzes of the strength of correctly and incorrectly built lagging sheets.

#### Słowa kluczowe:

obudowa chodnikowa, opinka, badania wytrzymałościowe

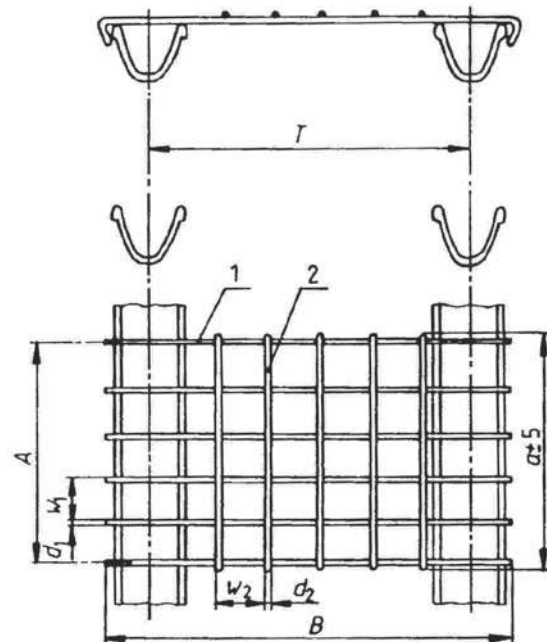
#### Key words:

road support, lining, endurance test

### 1. Wprowadzenie

Okładziny zgodnie z definicją zawartą w Leksykonie Górniczym [4] to elementy z drewna, blachy, siatki metalowe lub prefabrykaty żelbetowe, które układa się za odrzwia dla uzyskania stateczności obudowy i zabezpieczenia przed obwałem skał z pułapu i ociosu wyrobiska. Ponadto zadaniem okładzin (opinki) jest przenoszenie obciążenia z przestrzeni międzyodrzwiowej na odrzwia. Stanowią zatem istotny element obudowy. Najczęściej stosowanym typem są siatki zgrzewane, w zdecydowanej większości zaczepowe, przedstawione na rysunku 1. Norma PN-G-15050 [9] uwzględnia wiele różnych rozwiązań technicznych siatek zaczepowych.

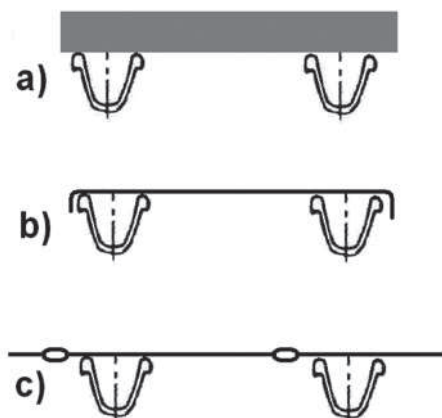
Z konstrukcji okładzin przyjętych w projekcie technicznym wyrobiska wynika sposób ich obciążenia. W przypadku okładzin z betonitów mamy do czynienia wyłącznie ze zginaniem poszczególnych elementów. W przypadku siatek zaczepowych obciążenia mają charakter początkowo zginania, a następnie rozciągania połączonego ze zginaniem - po „wykasowaniu” luzów pomiędzy kołnierzami kształtowników i zaczepami siatek. Jedynie w siatkach łańcuchowo-węzłowych po „skasowaniu” luzów na węzłach, mamy głównie do czynienia z najkorzystniejszym schematem obciążenia – z rozciąganiem. Sytuację tę przedstawia rysunek 2. W przypadku siatek okładzinowych, z uwagi na niewielkie przekroje prętów oraz wynikające z nich niskie wskaźniki wytrzymałości na zginanie, odpowiednia zabudowa sprowadzająca obciążenia prętów do rozciągania, pozwala uzyskać lepsze parametry ich pracy.



Rys. 1. Jedno z rozwiązań technicznych siatki zaczepowej  
Fig. 1. One of the technical solutions of the lagging sheets

Sposób obciążenia okładzin siatkowych w normalnych warunkach ich pracy znalazł odzwierciedlenie w procedurach badawczych oraz w normie PN-G-15050 [9]. Coraz częściej prowadzi się także badania siatek w układzie testu skrzy-

<sup>\*)</sup> Główny Instytut Górnictwa, Katowice



**Rys. 2. Różne rozwiązania techniczne okładzin górniczych**

- a) okładzina żelbetowa poddawana jedynie zginaniu,  
 b) okładzina siatkowa zaczepowa pracująca na zginanie,  
 a następnie na rozciąganie, c) okładzina siatkowa łańcuchowo-węzłowa pracująca głównie na rozciąganie

**Fig. 2. Various technical solutions for mine linings**

- a) the lining of reinforced concrete subjected to bending only  
 b) lagging sheet lining working on bending and tensile  
 c) chain-mesh lining working mainly on stretching

niowego [5], który pełniej oddaje pewne aspekty obciążenia siatek w wyrobisku. Zgodnie z ww. normą w badaniach stanowiskowych siatek okładzinowych zgrzewanych określa się ich wytrzymałość oraz siłę ścinającą zgrzeinę. Norma określa minimalne wymagania stawiane w tym zakresie siatkom.



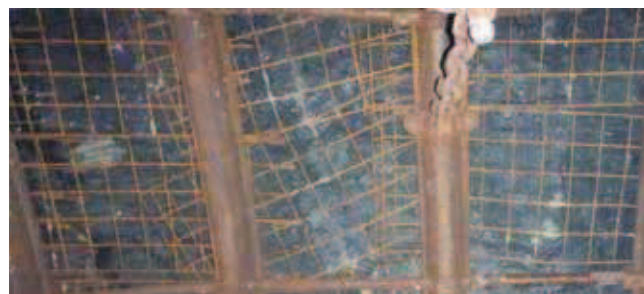
**Rys. 3. Stanowisko badawcze i siatka po badaniu wytrzymałości**  
**Fig. 3. Test stand and the lagging sheet after the endurance test**

Badanie wytrzymałości przeprowadza się w specjalnym stanowisku, przedstawionym na rysunku 3. Dodatkowo, norma określa wymagania co do wytrzymałości na rozciąganie materiału stosowanego na pręty siatek.

Z zastosowania konkretnego typu okładziny wynika sposób jej zabudowy, zgodny ze stosowanymi instrukcjami eksploatacyjnymi. W przypadku najczęściej stosowanych okładzin z siatek zaczepowych zgrzewanych, haki powinny być zaczepione o kołnierze kształtownika V. Zasadne jest przy tym zminimalizowanie wszelkich luzów na zaczepach. Jednak jak wynika z praktyki górniczej, siatki zaczepowe często są montowane w sposób niewłaściwy - niezgodnie z instrukcjami stosowania. Sytuacje takie przedstawiają rysunki 4 i 5. W takich przypadkach siatki nie są obciążane w sposób optymalny - pracują wyłącznie na zginanie, a zaczepy nie spełniają swojej roli. O funkcji zaczepów można także wnioskować na podstawie oględzin siatek po badaniach. Często haki w trakcie prób zostają wyprostowane, jak to pokazano na rysunku 6.



**Rys. 4. Niestaranne ułożenie siatek zaczepowych**  
**Fig. 4. Negligent lagging sheets arrangement**



**Rys. 5. Niewłaściwy, ukośny sposób montażu siatek zaczepowych, wykluczający ich prawidłową pracę**  
**Fig. 5. Inappropriate, diagonal mounting of lagging sheets, precluding their proper operation**

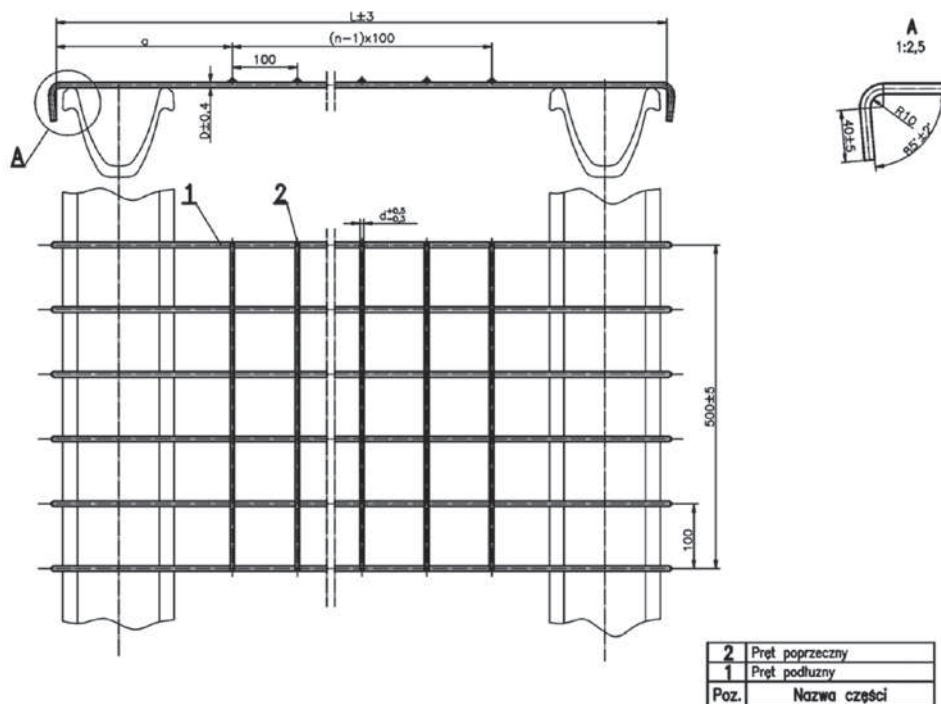


**Rys. 6. Wyprostowane zaczepy siatki po badaniu**  
**Fig. 6. Straightened lagging sheets after the test**

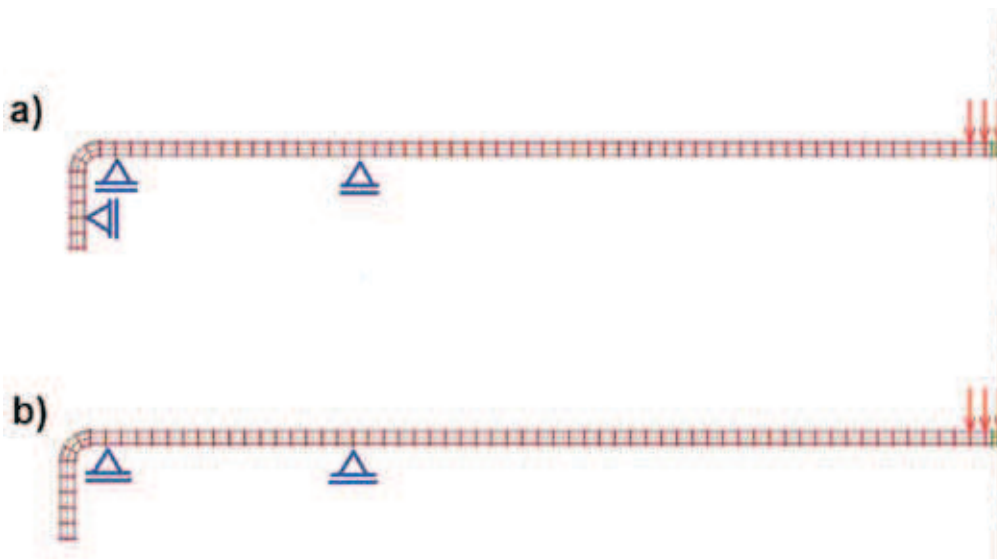
**2. Analiza stanu wyężenia siatek zaczepowych**

Dla odzwierciedlenia pracy okładzin siatkowych zaczepowych w przypadkach różnych sposobów zabudowy przeprowadzono analizę ich stanu wyężenia. Badania prowadzono metodą elementów skończonych za pomocą programu COSMOS/M [2, 3, 7]. W pierwszym kroku uwzględniono schemat podparcia i obciążenia zgodny z założeniami normy PN-G-15050 [9]. Z uwagi na symetrię układu oraz powtarzalność elementów model ograniczono do połowy jednego pręta. Na rysunku 7 przedstawiono postać analizowanej siatki zaczepowej ciężkiej (pręty wzdłużne Ø10), natomiast na rysunku 8 - kompletny model poddawany analizie.

budowy modelu wykorzystano 680 elementów bryłowych typu SOLID, pozwalających w pełni uwzględnić nieliniowość. Badania prowadzono z uwzględnieniem nieliniowości fizycznej związanej z parametrami materiału i nieliniowości geometrycznej wynikającej z dużych przemieszczeń. W związku z tym analizy prowadzono z wykorzystaniem iteracyjnego algorytmu Newtona-Raphsona (NR) [1, 6]. W trakcie analiz w każdej iteracji zwiększana jest wartość obciążenia i w zależności od stanu naprężenia w poszczególnych elementach automatycznie nadawane są im odpowiednie parametry opisane charakterystyką materiałową. Jako materiał przyjęto stal zgodną z PN-H-84042 [10], a charakterystykę zdefiniowano jako biliniową.



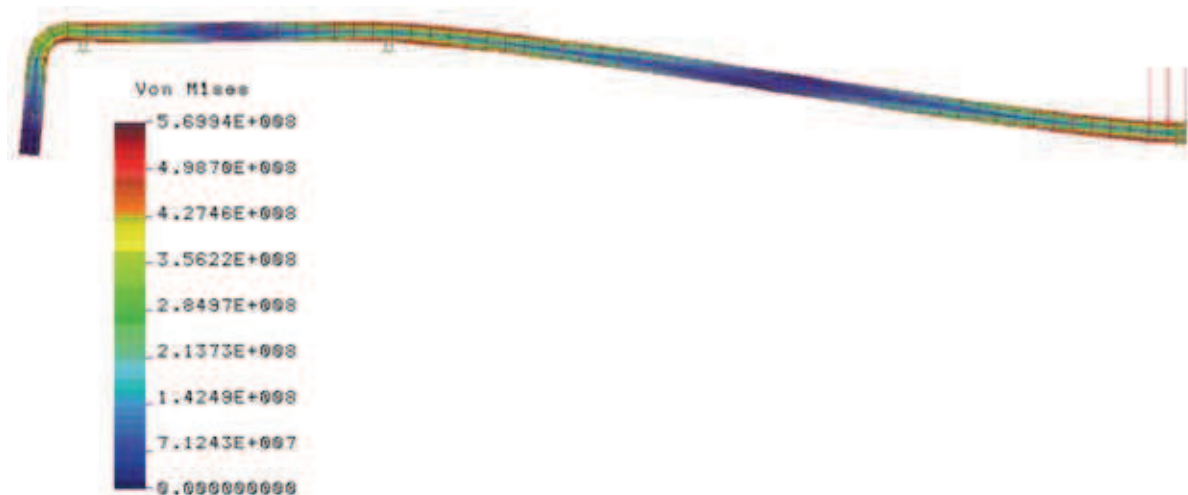
Rys. 7. Siatka zaczepowa poddana analizie  
Fig. 7. Lagging sheets subjected to analysis



Rys. 8. Modele siatki zaczepowej:  
a) podpartej i obciążanej zgodnie z PN-G-15050, b) ze zwolnionymi zaczepami  
Fig. 8. Models of lagging sheets:  
a) simply supported and loaded in accordance with PN-G-15050, b) with loose hooks

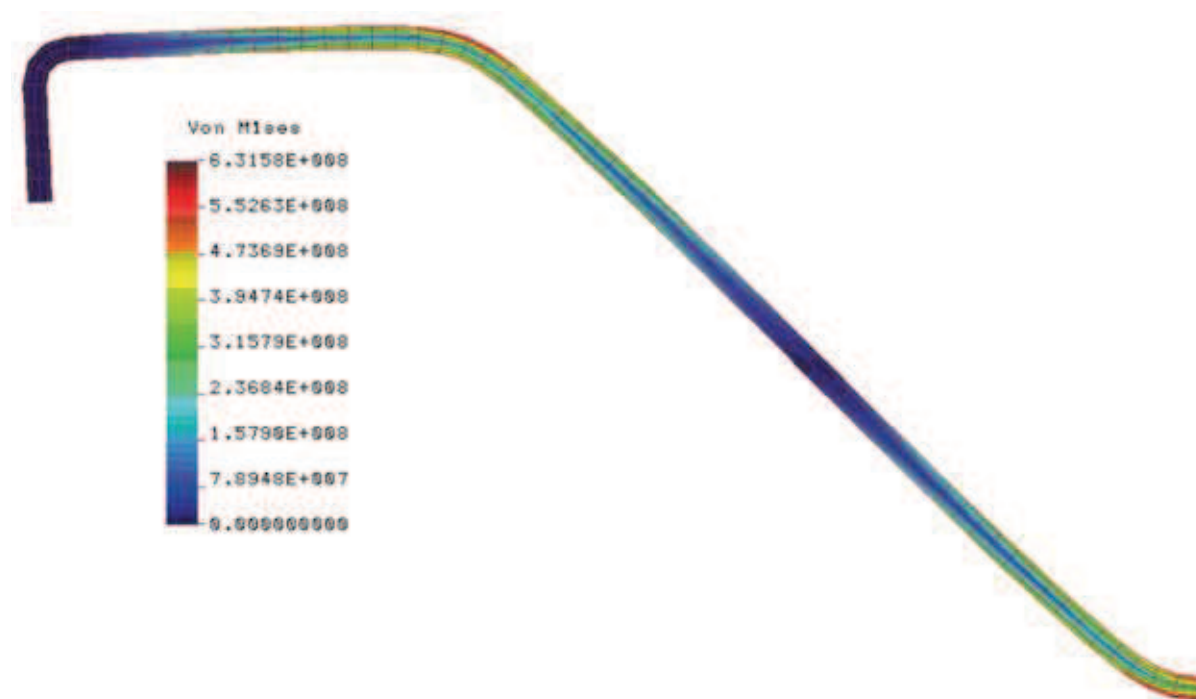
W wyniku przeprowadzonych analiz otrzymano między innymi ugięcia modelu oraz rozkład naprężeń zredukowanych. Na rysunkach 9 i 10 zestawiono dla porównania stan wyężenia prętów siatki w przypadku mocowania z użyciem zaczepów oraz ze zwolnionymi zaczepami. Stan wyężenia odpowiada zbliżonym war-

tościom obciążenia działającego w przeliczeniu na całą siatkę -  $F \approx 9,8$  kN. Obciążenie to, w przypadku braku mocowania na zaczepach, odpowiada prawdopodobnemu uszkodzeniu siatki w miejscach największych deformacji - w miejscu kontaktu z kołnierzem kształtownika lub w połowie długości.



Rys. 9. Rozkład naprężeń zredukowanych dla siatki z mocowaniem na zaczepach ( $F = 9,9$  kN,  $y = 52,8$  mm, naturalna skala deformacji, naprężenia w Pa)

Fig. 9. Reduced stress distribution for lagging sheet fixed on hooks ( $F = 9.9$  kN,  $y = 52.8$  mm, natural deformation scale, stress in Pa)



Rys. 10. Rozkład naprężeń zredukowanych dla siatki bez mocowania na zaczepach ( $F = 9,73$  kN,  $y = 273$  mm, wysunięcie z podpór 109,8 mm, naturalna skala deformacji, naprężenia w Pa)

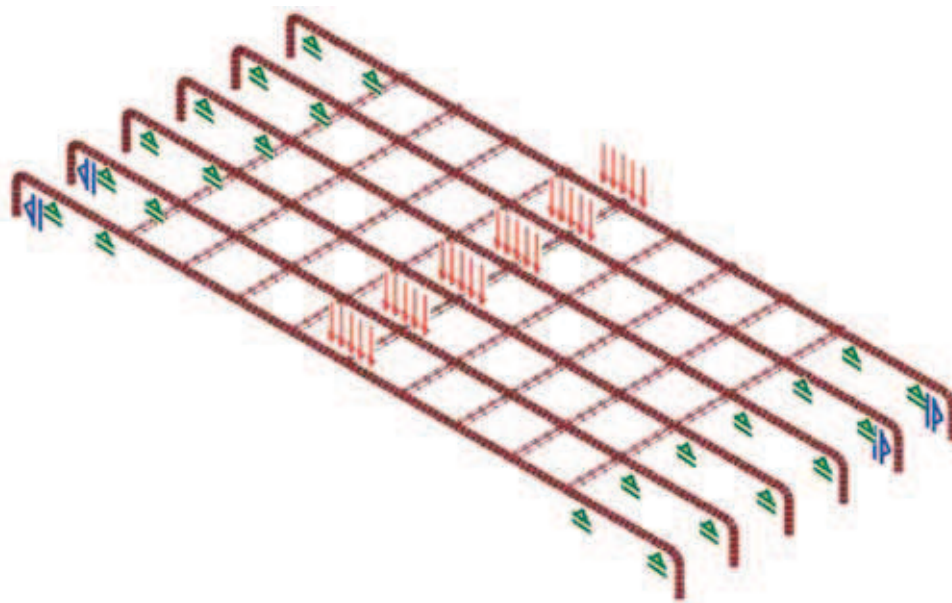
Fig. 10. Reduced stress distribution for lagging sheet without mounting on hooks ( $F = 9.73$  kN,  $y = 273$  mm, sliding of the supports 109.8 mm, natural deformation scale, stress in Pa)

W kolejnym etapie analizy stanu wyężenia siatek w zależności od sposobów ich zabudowy rozszerzono o przypadek częściowego podparcia na zaczepach, po przekątnej siatki. Schemat takiego podparcia przedstawiono na rysunku 11.

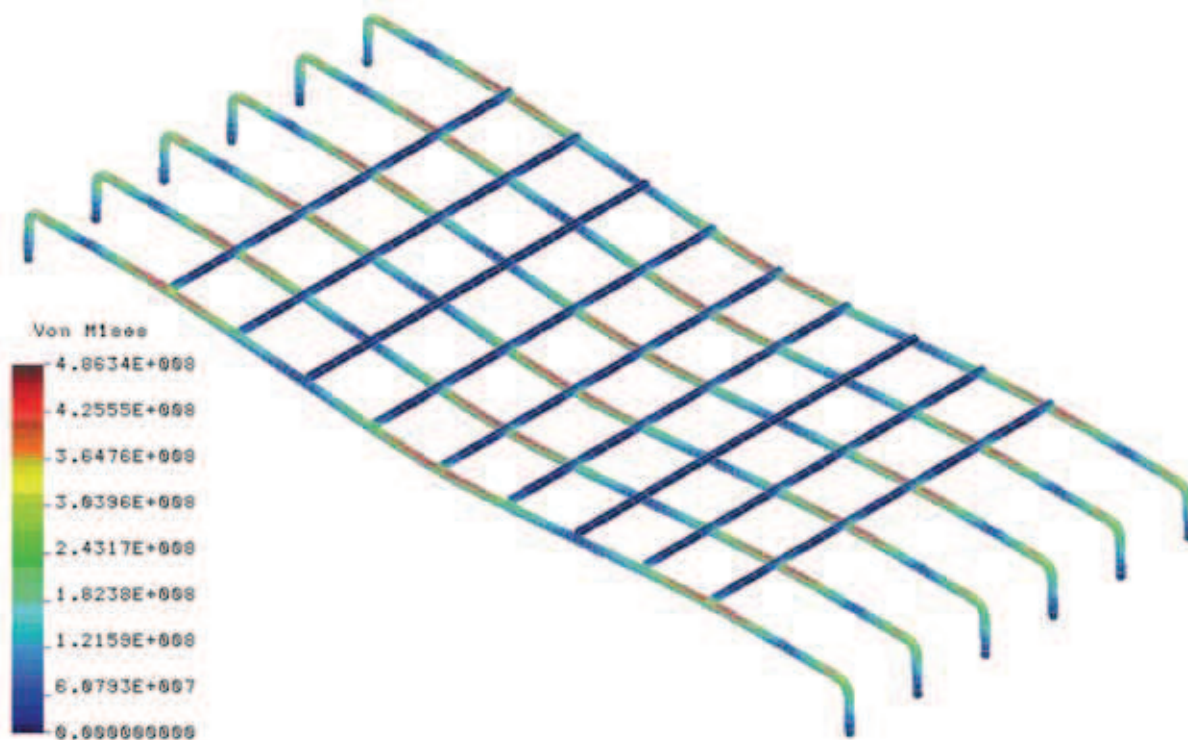
Dla uzyskania możliwości przeprowadzenia porównań, analizowano trzy modele. Pierwszy podparty z wykorzystaniem zaczepów, drugi z brakiem podparcia na zaczepach oraz trzeci z zablokowanymi zaczepami po przekątnej. W związku z niesymetrycznym sposobem podparcia konieczne było zbudowanie kompletnych modeli obejmujących całe siatki, co wpływa znacząco na czas obliczeń i objętości plików z wynikami. Analizy,

podobnie jak poprzednio prowadzono z uwzględnieniem nieliniowości fizycznej i geometrycznej w oparciu o iteracyjny algorytm Newtona-Raphsona (NR) [1, 6].

W wyniku przeprowadzonych analiz metodą elementów skończonych za pomocą programu COSMOS/M [2, 3, 7] z uwzględnieniem nieliniowości fizycznej i geometrycznej uzyskano między innymi ugięcia i rozkłady naprężeń zredukowanych każdego z modeli dla każdej iteracji obliczeniowej. Na rysunkach 12–14 zestawiono mapy naprężeń zredukowanych dla poszczególnych wariantów podparcia siatki wywołanych podobnym obciążeniem  $F = 7,2$  kN.

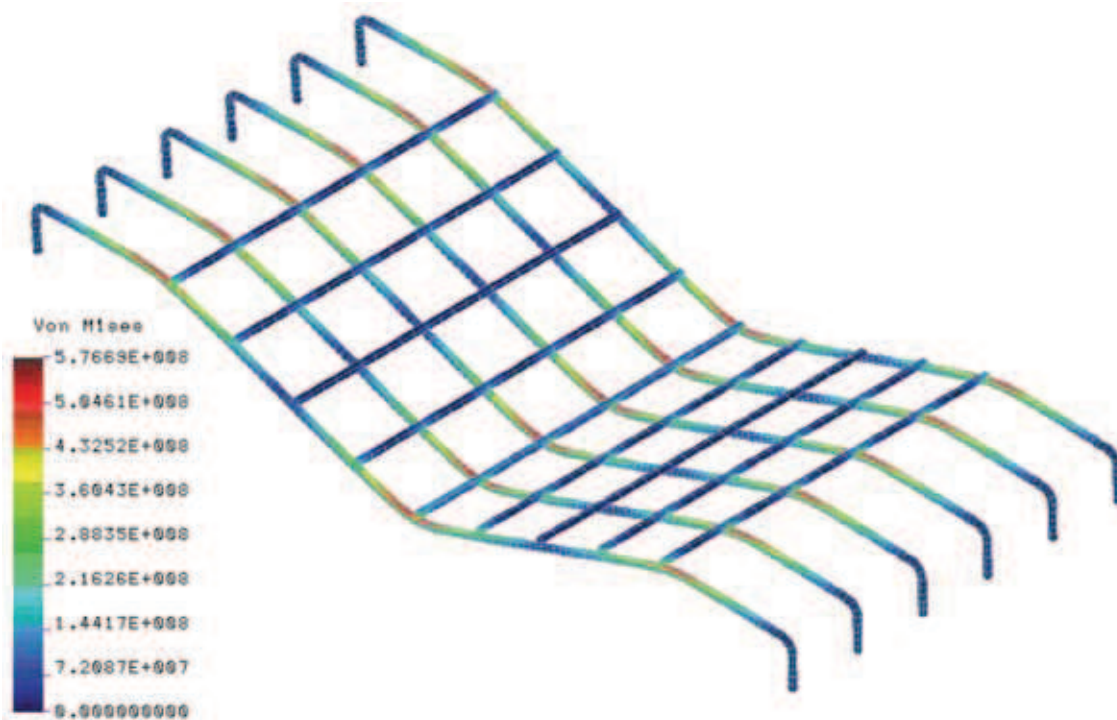


Rys. 11. Schemat podparcia na zaczepach po przekątnej  
Fig. 11. Scheme of diagonally located hook support



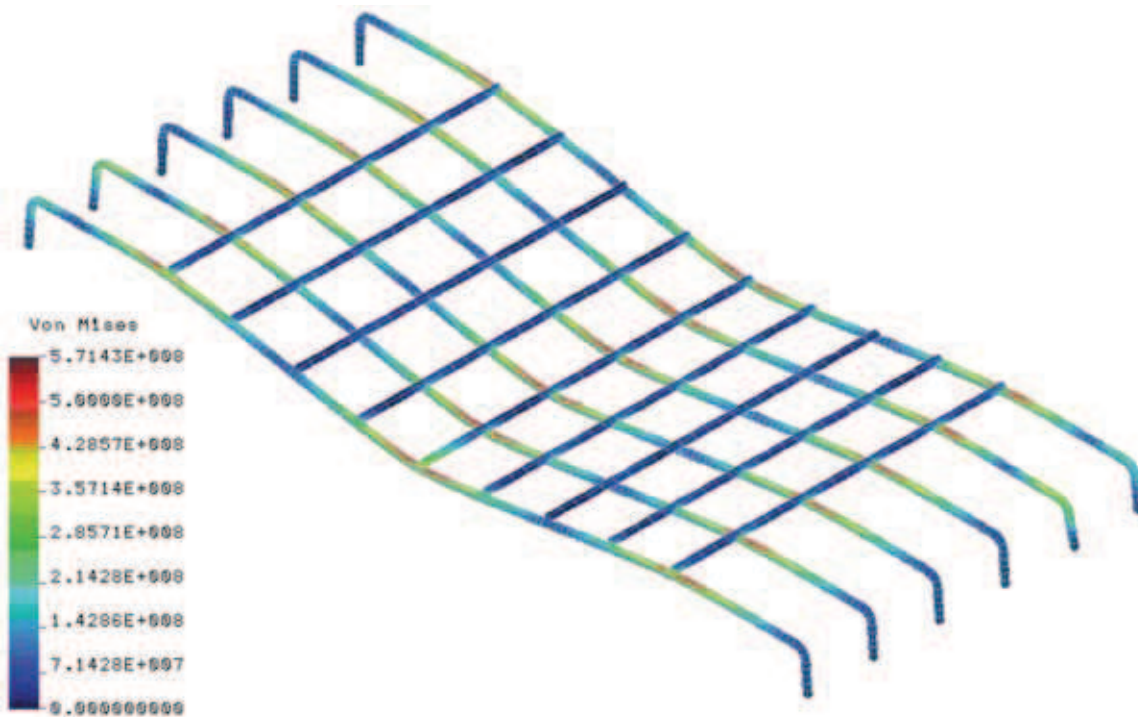
Rys. 12. Mapa naprężeń zredukowanych w siatce z podparciem na zaczepach ( $F = 7,20$  kN,  $y = 29,7$  mm, naturalna skala deformacji, naprężenia w Pa)

Fig. 12. Map of reduced stresses on the lagging sheet with support on hooks ( $F = 7.20$  kN,  $y = 29.7$  mm, natural deformation scale, stress in Pa)



Rys. 13. Mapa naprężeń zredukowanych w siatce bez podparcia na zaczepach ( $F = 7,20$  kN,  $y = 129,7$  mm, naturalna skala deformacji, naprężenia w Pa)

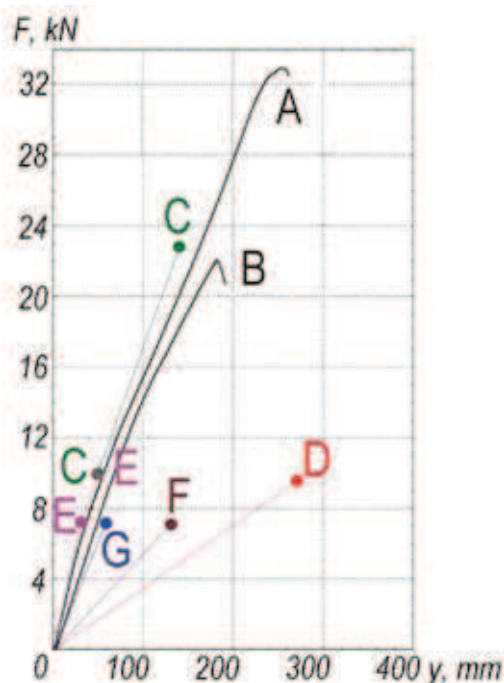
Fig. 13. Map of reduced stresses on the lagging sheet without support on hooks ( $F = 7.20$  kN,  $y = 129.7$  mm, natural deformation scale, stress in Pa)



Rys. 14. Mapa naprężeń zredukowanych w siatce z częściowym podparciem na zaczepach (po przekątnej) ( $F = 7,28$  kN,  $y = 60,5$  mm, naturalna skala deformacji, naprężenia w Pa)

Fig. 14. Map of reduced stresses on the lagging sheet with partially fixed hooks (on diagonal) ( $F = 7.28$  kN,  $y = 60.5$  mm, natural deformation scale, stress in Pa)

Dla odniesienia wyników analizy do rzeczywistej próby w stanowisku badawczym wartości siły obciążającej i odpowiadającej jej ugięcia siatki dla wybranych kroków obliczeniowych naniesiono na przykładowy wykres z prób wytrzymałościowych siatek zaczepowych ciężkich i lekkich. Zestawienie to przedstawiono na rysunku 15.



**Rys. 15. Porównanie wyników badań modelowych (C – G) z przykładowymi próbami laboratoryjnymi (A, B)**

F – siła obciążająca siatkę, y – ugięcie siatki, A – charakterystyka siatki ciężkiej wyznaczona w laboratorium, B – charakterystyka siatki lekkiej wyznaczona w laboratorium, C – wyniki analizy dla wybranych iteracji dla siatki z mocowaniem na zaczepach (model uproszczony), D – wyniki analizy dla wybranych iteracji dla siatki bez mocowania na zaczepach (model uproszczony), E – wyniki analizy dla wybranych iteracji dla siatki z mocowaniem na zaczepach (model pełny), F – wyniki analizy dla wybranych iteracji dla siatki bez mocowania na zaczepach (model pełny), G – wyniki analizy dla wybranych iteracji dla siatki z częściowym mocowaniem na zaczepach (model pełny).

**Fig. 15. Comparison of the results of model tests (C – G) with examples of laboratory tests (A, B)**

F - loading force applied on grid, y - deflection of the grid, A - characteristics of heavy lagging sheet determined in the laboratory, B - characteristics of lightweight lagging sheet determined in the laboratory, C - results of analysis for selected iterations for lagging sheet fixed on hooks (simplified model), D - results of analysis for selected iterations for lagging sheet without mounting on hooks (simplified model), E - results of analysis for selected iterations for lagging sheet fixed on hooks (full model), F - results of analysis for selected iterations for lagging sheet without mounting on hooks (full model), G - results of analysis for selected iterations for lagging sheet with partial fixation on hooks (full model)

Jak widać z przedstawionych wyników, siatka, która została zabudowana w sposób niewłaściwy, bez mocowania na zaczepach (modele D i F) lub ze znacznymi luzami, wykazuje znacznie mniejszą sztywność niż siatka zabudowana poprawnie, w której obciążenie przenoszone jest przez zaczepy (modele C i E). Ugięcie takiej siatki (bez mocowania na zaczepach) znacznie przekracza dopuszczalne wartości określone normą PN-G-15050 (100 mm). Ponadto w siatce takiej pod wpływem stosunkowo niewielkiego obciążenia powstają naprężenia o znacznych wartościach, osiągających wytrzymałość prętów na rozciąganie.

Pomiędzy tymi skrajnymi wariantami lokuje się przypadek częściowego podparcia, którego odzwierciedleniem jest model G. Zatem najbardziej korzystnym sposobem zabudowy siatek jest podparcie z wykorzystaniem zaczepów, tak jak to przewidują normy PN-G-15050 [9] i PN-G-06011 [8]. Podparcie na zaczepach powoduje zmiany w stanie obciążenia siatki – pręty podłużne poddawane są rozciąganiu ze zginaniem. W przypadku braku podparcia na zaczepach pręty te są wyłącznie zginane.

### 3. Podsumowanie

Jak wynika z przeprowadzonych analiz, sposób zabudowy siatek okładzinowych zaczepowych istotnie wpływa na stan ich wyężenia, sztywność i nośność, a przez to na ich skuteczność i funkcjonalność. Niewłaściwy montaż powoduje zwiększone naprężenia w prętach wzdłużnych oraz większe ugięcia całej siatki. Istotą poprawności zabudowy jest wsparcie zaczepów (haków) o kołnierze kształtowników. Odpowiednie wykorzystanie zaczepów powoduje zmianę w schemacie podparcia okładziny. W efekcie tego pręty wzdłużne w mniejszym stopniu poddawane są zginaniu, a w większym rozciąganiu, co pozwala pełniej wykorzystać wytrzymałość siatki.

### Literatura

1. Cook R.D., Malkus D.S., Plesha M.E., Witt R.J.: Concepts and applications of finite element analysis. John Wiley & Sons, Inc. USA, 2002.
2. COSMOS/M v 2.5. User's Guide. Structural Research & Analysis Corporation, 1999.
3. Konderla P., Kasprzak T.: Metody komputerowe w teorii sprężystości. Część I. Metoda elementów skończonych. Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław 1997.
4. Leksykon Górniczy. Wydawnictwo Śląsk. Katowice 1989.
5. Pytlík A.: Badania porównawcze nośności powłok natryskowych i siatek okładzinowych metodą „testu skrzyniowego”. Górnicze Zagrożenia Naturalne 2013. Prewencja Zagrożeń Naturalnych. Praca zbiorowa pod redakcją Józefa Kabieszka. Główny Instytut Górnictwa. Katowice 2013, s. 384-394.
6. Rakowski G., Kacprzyk Z.: Metoda elementów skończonych w mechanice konstrukcji. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1993.
7. Rusiński E.: Metoda elementów skończonych. System COSMOS/M. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 1994.
8. PN-G-06011 – Wyrobiska korytarzowe poziome i pochyle w kopalniach. Wyrobiska obudowane odrzwaniami z kształtowników korytkowych. Wymagania i badania przy odbiorze.
9. PN-G-15050 – Obudowa wyrobisk górniczych. Siatki okładzinowe zgrzewane.
10. PN-H-84042: 2009 – Stale mikrostopowe na kształtowniki i akcesoria górnicze.