

*Marek Cała**, *Andrea Roth***

MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWANIA SIATEK STALOWYCH W WARUNKACH ZAGROŻEŃ DYNAMICZNYCH

1. Wprowadzenie

Na podstawie danych statystycznych [10] dotyczących aktywności sejsmicznej górotworu, rejestrowanej podczas prowadzenia eksploatacji górniczej, można stwierdzić, że około 40% wydobycia węgla kamiennego i 100% wydobycia rud miedzi pochodzi z rejonów zagrożonych występowaniem zjawisk dynamicznych (wstrząsów, tąpnięć). W górnictwie podziemnym węgla kamiennego od wielu lat utrzymuje się tendencja wzrostu liczby tąpnięć o skutkach zaistniałych w wyrobiskach korytarzowych, co zostało zasygnalizowane m.in. w pracy Tajdusia i Cały [23]. Generalnie wyrobiska ścianowe posiadają obudowę o wysokiej odporności, aktywnie współpracującą z górotworem. Obudowa wyrobisk korytarzowych jest na ogół pasywna. Składa się z siatki stalowej oraz odrzwi stalowych, niekiedy wzmacnianych kotwiami. Podporność obudowy ścianowej jest ponad 10 razy większa niż podporność obudowy wyrobiska korytarzowego.

W wielu krajach na świecie (m.in. Kanada, RPA, Chile) w rejonach silnie zagrożonych zjawiskami dynamicznymi stosuje się aktywną obudowę kotwioną zamiast pasywnej obudowy łukowej [2–4, 6, 11, 15, 22].

Generalnie obudowa w warunkach zagrożeń dynamicznych powinna być zaprojektowana tak, aby praca wykonana przez nią w trakcie zaistnienia wstrząsu sejsmicznego (którego wynikiem może być tąpnięcie) była większa od energii kinetycznej wydzielonej z górotworu [21]. Jest zatem oczywiste, że obudowa powinna charakteryzować się zarówno dużą podatnością, jak i odpowiednią zdolnością do absorbowania energii.

* Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

** Geobrug Protection Systems, Romanshorn, Switzerland

2. Dynamika mas skalnych w trakcie tąpnięcia

Masy skalne w trakcie ich gwałtownego przemieszczenia do wyrobiska posiadają pewną energię kinetyczną określaną zależnością

$$E = \frac{1}{2}mv_e^2$$

gdzie:

- m — masa wyrzuconej skały,
- v_e — prędkość wyrzutu.

Liczne opracowania poświęcone temu zagadnieniu wskazują, że największe kontrowersję budzi oszacowanie prędkości mas skalnych wyrzucanych do przestrzeni roboczej wyrobisk (ścianowych, korytarzowych) w trakcie tąpnięcia. Kaiser [3] podaje, że dla przypadków tąpnięć w kopalniach kanadyjskich przyjmuje ona wartość z przedziału 2÷4 m/s. Podobnie Wojno i Jager [32] podają, że 80% tąpnięć odnotowanych w górnictwie podziemnym RPA zaistniało przy prędkości mas wyrzutowych nie większej niż 3 m/s. W Polsce panuje przekonanie, że prędkość ta wynosi od 5 do 15 m/s, a niekiedy może być znacznie większa [1]. Podobny pogląd prezentują niektórzy badacze południowoafrykańscy, którzy twierdzą, że prędkość ta dochodzi do 80 m/s [22].

Rozważmy uproszczony model tąpnięcia, przyjmując, że do wyrobiska zostaje wyrzucony blok skalny z prędkością 10 m/s, o wymiarach kostki sześciiennej o boku 1 m. Wymiar 1 m przyjęto z uwagi na fakt, że jest to często stosowana odległość pomiędzy kotwiami. Prędkość 10 m/s jest średnią prędkością mas wyrzutowych dla warunków polskich kopalń węglowych. Przyjmując ciężar objętościowy skał równy 25 kN/m³ otrzymujemy zatem wartość energii kinetycznej wynoszącą 125 kJ. Tak obliczona wartość energii kinetycznej będzie traktowana w dalszej części niniejszego opracowania jako pewien energetyczny poziom odniesienia. Należy nadmienić, że jest to energia, jaką powinien pochłonąć system obudowy na 1 m² konturu wyrobiska.

3. Systemy obudowy stosowane w warunkach zagrożeń dynamicznych

W pracy Kaisera *et al.* [5] zamieszczono dane odnoszące się do wartości energii pochłoniętej przez poszczególne elementy obudowy (tab. 1). Podobne badania prowadził Yi [34]. Wyniki tych badań były bardzo zbliżone.

Analiza danych zestawionych w tabeli 1 wykazała, że tradycyjnie stosowane kotwie prętowe z siatką charakteryzuje bardzo niska zdolność pochłaniania energii. Zatem do po-

chłonięcia energii 135 kJ potrzebna byłaby zabudowa ponad 30 kotwi wklejanych lub mechanicznych z siatką, co w warunkach in situ jest rozwiązaniem nierealnym.

TABELA 1
Charakterystyka wybranych elementów obudowy [5]

Element	Obciążenie przy zniszczeniu kN	Przemieszczenie przy zniszczeniu mm	Energia kJ
Kotew wklejana żywicą, średnica 19 mm	100÷170	10÷30	1÷4
Kotew linowa, średnica 16 mm	160÷240	20÷40	2÷6
Kotew mechaniczna, średnica 16 mm, długość 2 m	70÷120	20÷50	2÷4
Kotew linowa, średnica 16 mm, długość 4 m	160÷240	30÷50	4÷8
Gładki pręt wklejany, średnica 16 mm	70÷130	50÷100	4÷10
Kotew Swellex	80÷90	100÷150	18÷25
Kotew Super Swellex	180÷190	100÷150	18÷25
Kotew Split Set	50÷100	80÷200	5÷25
Kotew Cone Bolt, średnica 16 mm	90÷150	100÷200	10÷25
Siatka zgrzewana	20÷45	100÷200	1,5÷4/m ²
Siatka ogrodzeniowa	30÷35	350÷450	3÷4/m ²

O wiele bardziej efektywne okazują się kotwie cierne, a w szczególności kotew Cone-bolt. Z najnowszych badań wynika, że kotew Cone-bolt o średnicy 16 mm jest w stanie pochłonąć energię 40 kJ, a o średnicy 22 mm energię dochodzącą nawet do 100 kJ przy wysuwie 0,5 m. Kotew ta spełnia zatem wymogi warunków górnictwa RPA, dotyczące zdolności pochłaniania energii rzędu 25 kJ/m² [21, 31].

Bardzo duże zdolności pochłaniania energii wykazują także kotwie rurowo-cierne Sewllex i Split Set. Należy nadmienić, że są one o wiele tańsze i prostsze w instalacji aniżeli kotwie Cone-bolt (które osadza się w otworze na zaprawie cementowej).

Ponieważ zjawisko pochłaniania znacznych ilości energii dynamicznej przez kotwie posiada szczególne znaczenie, należy także określić cechy podkładek stanowiących element nośny tej obudowy. Z praktyki górniczej wynika, że podkładki również narażone są na obciążenia dynamiczne. Według Kidybińskiego *et al.* [6] podkładka musi posiadać odpowiednio duże wymiary, np. 250 × 250 × 12 mm i musi być wykonana ze stali o wysokich parametrach wytrzymałościowych.

Innym rozwiązaniem na dodatkowe upodatkowanie systemów obudowy jest zastosowanie podatnych wkładek posiadających zdolności do absorbowania energii [33]. Na podstawie eksperymentów laboratoryjnych oraz analitycznych stwierdzili oni, że odporność układu kotew — siatka stalowa na obciążenia dynamiczne może być poprawiona za pomocą układu upodatniającego podkładki, umiejscowionego pomiędzy siatką i metalową podkładką (tego typu badania przeprowadził także Nierobisz [13]).

Dane zamieszczone w tabeli 1 pokazują, że najsłabszym elementem obudowy jest siatka stalowa (zarówno zgrzewana, jak i z drutu — ogrodzeniowa). Dowiedziono, że zdolności tradycyjnych siatek do pochłaniania energii są zbyt małe. Stacey *et al.* [22] stwierdzają, że sama siatka stalowa może pochłonąć energię rzędu $1,4 \text{ kJ/m}^2$. Według badań odporności dynamicznej siatki stalowej przeprowadzonych w RPA [17] energia ta jest znacznie większa i w zależności od typu siatki może osiągać wartości rzędu $10\div 15 \text{ kJ/m}^2$. Tego badania nie potwierdza jednak Yi [34], który oszacował, że siatka stalowa może maksymalnie pochłonąć energię rzędu $3\div 7 \text{ kJ/m}^2$.

Znacznie mniejsze zdolności do pochłaniania energii ma torkret i w zależności od grubości warstwy, np. 5 cm, 10 cm oraz 15 cm, jest w stanie pochłonąć odpowiednio energie rzędu 4 kJ/m^2 , $5,5 \text{ kJ/m}^2$ i 9 kJ/m^2 . Oznacza to, że np. w przypadku zastosowania obudowy składającej się z siatki stalowej, 10 cm warstwy torkretu oraz sztywnych kotwi stalowych prędkość bloku skalnego wyrzuconego do wyrobiska spada z 10 m/s do 9,6 m/s, co świadczy o nieskuteczności takiej obudowy w przypadku zaistnienia tąpnięcia. Według badań kanadyjskich [24, 25] torkret zbrojony siatką stalową może pochłonąć znacznie większe ilości energii — od 15 kJ/m^2 aż do 23 kJ/m^2 . Warto również wspomnieć o badaniach porównawczych prowadzonych w RPA, dotyczących własności torkretu i torkretu zbrojonego szpilkami stalowymi [7–9]. Z doświadczeń tych wynika, że parametry wytrzymałościowe torkretu z siatką stalową oraz torkretu zbrojonego (3% objętości stanowiły szpilki stalowe typu Dramix, długości 30 mm, średnicy 0,5 mm) są porównywalne. Z pracy Ortleppa *et al.* [17] wynika, że torkret zbrojony Dramixem (długość 40 mm, 2,5% objętości) jest w stanie pochłonąć około 20 kJ/m^2 , zaś torkret zbrojony włóknami polipropylenowymi 15 kJ/m^2 . Zastosowanie torkretu czy też torkretu zbrojonego w wyrobiskach zagrożonych występowaniem zjawisk dynamicznych może być dość uciążliwe technologicznie.

Po analizie zdolności pochłaniania energii przez poszczególne elementy obudowy należy zastanowić się nad zdolnością pochłaniania energii przez systemy obudowy. Warto przytoczenia są tutaj wyniki badań przeprowadzonych przez Yi [34], które zamieszczono w tabeli 2.

Okazuje się, że zdolność do pochłaniania energii przez różne systemy obudowy jest bardzo zróżnicowana. Tradycyjne systemy obudowy złożone z kotwi i siatki stalowej cechują się bardzo niską odpornością na zjawiska dynamiczne. Zastosowanie torkretu (niezbrojonego) nie wpływa korzystnie na zdolność systemu do pochłaniania energii. Najlepiej sprawdzają się obudowy złożone z kotwi linowych, siatek z dodatkowym sznurowaniem linami stalowymi. Okazuje się jednak, że nawet najbardziej odporne na zjawiska dynamiczne obudowy nie są w stanie pochłonąć energii przyjętej jako poziom odniesienia i wynoszącej 125 kJ.

Ilość energii pochłanianej przez dotychczas stosowane siatki wydaje się być zbyt niska. Stalowa siatka zgrzewana jest zdecydowanie najsłabszym elementem systemu obudowy odpornej na wpływy dynamiczne, co jasno dowodzą eksperymenty *in situ* przeprowadzone przez Nierobisza [14]. Stalowe siatki zgrzewane wprawdzie dobrze radzą sobie z obciążeniem pochodzącym od strefy zniszczonego górotworu w otoczeniu wyrobiska, ale nie są w stanie przenieść obciążeń dynamicznych. Należy zatem rozważyć możliwości zastosowania w warunkach zagrożeń dynamicznych siatek stalowych o wysokiej wytrzymałości.

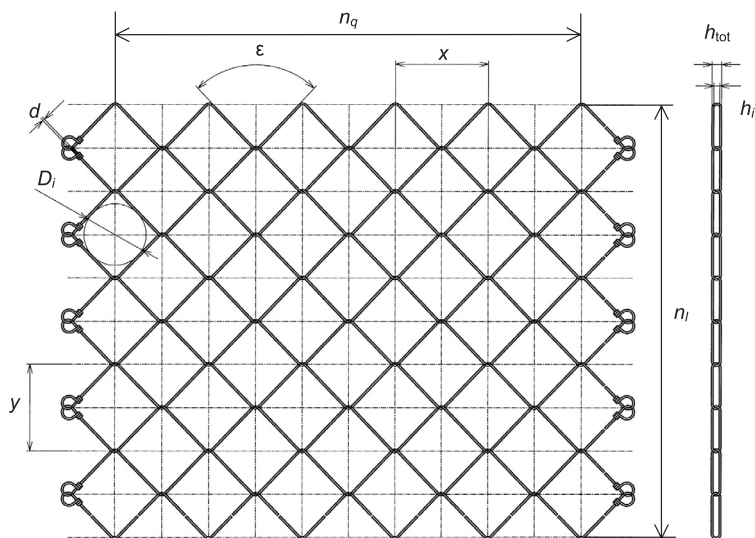
TABELA 2
Energie pochłaniane przez wybrane systemy obudowy [34]

System obudowy	Pochłaniana energia kJ/m ²
Kotwie mechaniczne (siatka 1,2 × 1,5 m)	3
Kotwie mechaniczne (siatka 1,2 × 1,5 m), siatka zgrzewana	8
Kotwie wklejane (siatka 1,2 × 1,5 m), siatka zgrzewana	15
Kotwie linowe, podwójne (siatka 1,2 × 1,5 m) siatka zgrzewana	34
Kotwie linowe, podwójne (siatka 1,2 × 1,5 m) siatka zgrzewana, 100 mm torkretu	33
Kotwie linowe, podwójne (siatka 1,2 × 1,5 m) siatka zgrzewana, 100 mm torkretu, sznurowanie linami	47
Kotwie mechaniczne (gęstość kotwienia 1 kotew/m ²)	1
Kotwie mechaniczne (siatka 1,2 × 1,2 m)	3
Kotwie mechaniczne (siatka 1,2 × 1,2 m), siatka zgrzewana	8
Kotwie mechaniczne (siatka 1,2 × 1,2 m), siatka zgrzewana, torkret	8
Kotwie mechaniczne (siatka 1,2 × 1,2 m), siatka ogrodzeniowa, sznurowanie linami	21

4. Charakterystyka siatek stalowych Tecco

Siatki z rodziny TECCO są wykonane ze stali węglowej o wysokiej wytrzymałości na rozciąganie, równej co najmniej 1770 MPa. Dla ochrony przed korozją są one pokryte warstwą Galfanu (Zn95/Al5) bądź wykonywane ze stali nierdzewnych. Na rysunku 1 oraz w tabeli 3 zawarto podstawowe parametry geometryczne siatek TECCO o średnicy drutu 3 mm i 4 mm, zaprojektowanych do pracy jako element obudowy kotwionej.

Testy statycznej wytrzymałości siatki przeprowadzone przez Torresę [27, 28] i Rueggera [20] wykazały, że wytrzymałość siatki na rozciąganie wynosi 80 kN/mb i 160 kN/mb odpowiednio dla siatek S95/3 i S95/4.



Rys. 1. Parametry geometryczne siatki Tecco [27]

TABELA 3

Parametry geometryczne siatek Tecco o średnicy drutu 3 mm i 4 mm [27]

Parametr	Siatka S95/3 (3 mm)	Siatka S95/4 (4 mm)
d — średnica drutu, mm	3 mm	4 mm
x, y — wielkość oczek	144 mm, 134 mm	150 mm, 129 mm
D_i — średnica kołowego prześwitu	95 mm	100 mm
n_l — ilość oczek w pionie	7,5 sztuk/metr	7,8 sztuk /metr
n_q — ilość oczek w poziomie	7 sztuk/metr	6,7 sztuk /metr
ε - kąt rozwarcia drutu w oczku	90°	90°
h_l — prześwit boczny	5 mm	8 mm
h_{tot} — całkowita grubość siatki	11 mm	16 mm

5. Badania stanowiskowe oraz symulacje numeryczne nośności statycznej i dynamicznej siatki Tecco

Badania stanowiskowe nośności statycznej siatek Tecco zostały zainicjowane w 2004 roku w Australii [30]. Testowano nośność siatki przypiętej do betonowego podłoża za pomocą czterech kotwi. Uzyskano wyniki bardzo zbliżone do wytrzymałości siatki na rozciąganie.

Siatka S95/3 uległa zniszczeniu przy sile 70 kN dla kotwi założonych w odległości 1 m i 80 kN dla kotwi instalowanych w odległości 1,5 m. Z kolei dla siatki S95/4 uzyskano nośności rzędu 180÷200 kN dla kotwi w odległości 1 m.

Bardzo zbliżone wyniki uzyskano w testach przeprowadzonych przez Mortona [12]. Równolegle z badaniami stanowiskowymi podjęto prace nad budową modeli numerycznych pozwalających na symulację różnych konfiguracji testowych. Używano do tego programu metody elementów skończonych FARO opracowanego dla określania odporności różnego typu siatek na uderzenia blokami skalnymi [29]. Na podstawie wyników badań statycznych udało się wykalibrować modele numeryczne tak, aby symulacje odpowiadały wykonanym badaniom stanowiskowym (różnice nie przekraczały 10%). Kolejnym krokiem było przeprowadzenie numerycznych symulacji testów dynamicznych [19]. Rozpatrywano nośność dynamiczną układu 4 kotwi Swellex wraz z różnymi typami siatki Tecco. Okazało się, że siatka Tecco S95/3 wykazała się zdolnością do pochłaniania energii równą 33,6 kJ/m². Siatka Tecco S95/4 osiągnęła z kolei wynik 50 kJ/m².

Obiecujące wyniki obliczeń numerycznych skłoniły autorów pracy [19] do przeprowadzenia dynamicznych testów stanowiskowych. Badania te planuje się wykonać w Australii w WASM (Western Australian School of Mines). Istnieje tam stanowisko do badań nośności dynamicznej różnych typów obudowy [18, 26]. Badania stanowiskowe powinny ostatecznie zweryfikować wyniki obliczeń numerycznych.

Zakładając poprawność wyników obliczeń numerycznych, można przeprowadzić proste obliczenia nośności dynamicznej obudowy złożonej z 4 kotwi Swellex (odległość 1 m) oraz siatki Tecco. Przyjmując nośność każdej z kotwi na poziomie około 20 kN oraz siatki Tecco S95/3 równą 33,6 kN/m², otrzymujemy sumaryczną zdolność pochłaniania energii systemu obudowy równą 113,3 kJ/m². Zastosowanie w tym samym układzie siatki Tecco S95/4 powoduje wzrost nośności do poziomu 130 kJ/m². Nośność ta może wzrastać dodatkowo również przy zastosowaniu sznurowania wyrobiska linami. Taki system obudowy zapewnia zatem pochłonięcie energii stanowiącej zakładany poziom odniesienia (125 kJ).

6. Podsumowanie

Stosowanie kompleksowych systemów obudowy kotwiowej w połączeniu z siatkami i linami w RPA, Kanadzie i Chile powinno zachęcić polskich badaczy dla wypracowania podobnych lub własnych systemów obudowy dostosowanej dla warunków zagrożeń dynamicznych.

Pasywna obudowa złożona z odrzwi stalowych nie jest najlepszym rozwiązaniem dla wyrobisk zlokalizowanych w rejonach zagrożonych wstrząsami i tąpniętami. Obudowa takich wyrobisk powinna aktywnie współpracować z górotworem i być zdolna do pochłaniania znacznych ilości energii kinetycznej pochodzącej od skał wyrzucanych do wyrobiska. Elementami takiej obudowy powinny być zatem kotwie (Swellex, Split Set lub Cone Bolt) wraz z siatką stalową i ewentualnie sznurowaniem wyrobisk linami.

Należy również rozważyć możliwość zastosowania wysokowytrzymałych siatek w wyrobiskach górniczych zagrożonych zjawiskami dynamicznymi. Dotychczasowe wyniki badań stanowiskowych i symulacji numerycznych potwierdziły wysokie zdolności pochłaniania energii przez siatki typu Tecco.

LITERATURA

- [1] *Filcek H.*: Geomechaniczne kryteria zagrożenia tapaniami. Zeszyty Naukowe AGH, Górnictwo, 2, 1980
- [2] *Haile A.T.*: Observations of the dynamic performance of South African tunnel support. Proc. of Rock Support and Reinforcement Practice in Mining (edited by Villaescusa, Windsor & Thompson). Rotterdam, A.A. Balkema 1999, 325–341
- [3] *Kaiser P.K.*: Keynote address: Support of tunnels in burst-prone ground — toward a rational design methodology. Proc. of Int. Conf. Rockburst and Seismicity in Mines (edited by Young). Rotterdam, A.A. Balkema 1993, 13–27
- [4] *Kaiser P.K., Maloney S.M.*: Ground motion determination for rock support design. Proc. of Rock Mechanics (edited by Aubertin, Hassani & Mitri). Rotterdam, A.A. Balkema 1996, 219–224
- [5] *Kaiser P.K., Tannant D.D., McCreath D.R.*: Drift support in burst-prone ground. CIM Bulletin, 85, 962, 1996, 131–138
- [6] *Kidybiński A., Smólka A., Nierobisz A., Rojas E.*: Rozwiązania systemów obudowy kotwiowej stosowane w kopalni El-Teniente dla ochrony wyrobisk przed skutkami tapani. V konferencja Obudowa kotwiowa w kopalniach. Wyd. GIG 1995, 101–125
- [7] *Kirsten H.A.D., Labrum P.R.*: The equivalence of fibre and mesh reinforcement in the shotcrete used in tunnel-support systems. J.S.Afr. Inst. Min. Metall., 90, 7, 1990, 153–171
- [8] *Kirsten H.A.D.*: Comparative efficiency and ultimate strength of mesh- and fibre-reinforced shotcrete as determined from full-scale bending tests. J.S. Afr. Inst. Min. Metall., 92, 11/12, 1992, 303–323
- [9] *Kirsten Z.A.D.*: System ductility of long fibre reinforced shotcrete. The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy, March – April 1998, 93–104
- [10] *Konopko W.*: Raport roczny (2006) o stanie podstawowych zagrożeń naturalnych i technicznych w górnictwie węgla kamiennego. Katowice, Wydawnictwo GIG 2007
- [11] *Kvapil R., Baeza L., Rosenthal J., Flores G.*: Block caving at El Teniente mine, Chile. Trans. Instn. Min. Metal. Sect. A. Min. Industry., 98, 1989, A43–A56
- [12] *Morton E.C., Thompson A.G., Villaescusa E., Roth A.*: Testing and analysis of steel wire mesh for mining applications of rock surface support. 11th ISRM Congress, Lisbon 2007
- [13] *Nierobisz A.*: Zagrożenia tapaniami a obudowa w kopalniach miedzi. VI Konferencja Naukowo-Techniczna — Tapania '99. Wydawnictwo GIG 1999, 123–136
- [14] *Nierobisz A.*: Wyniki badań wpływu symulowanych wstrząsów górotworu na stateczność wyrobiska korytarzowego. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie, 9, 145, 2006, 3–12
- [15] *Ortlepp W.D.*: Grouted rock-studs as rockburst support: a simple design approach and an effective test procedure. J.S. Afr. Inst. Min. Metal., 87, 2, 1994, 47–63
- [16] *Ortlepp W.D., Stacey T.R.*: Technical note: Safety and cost implications in the spacing of supports. J.S. Afr. Inst. Min. Metal., 88, 3, 1995, 97–104
- [17] *Ortlepp W.D., Stacey T.R., Kirsten H.A.D.*: Containment support for large static and dynamic deformations in mines. Proc. of Rock Support and Reinforcement Practice in Mining (edited by Villaescusa, Windsor & Thompson). Rotterdam, A.A. Balkema 1999, 359–364
- [18] *Player J., Villaescusa E., Thompson A.*: Dynamic testing of rock reinforcement Rusing momentum transfer concept. Ground Support Symposium. Perth 2004
- [19] *Roth A., Ranta-Korpi R., Volkwein A., Wendeker C.*: Numerical modeling and dynamic simulation of high-tensile steel wire mesh for ground support under rockburst loading. Proc. Of 1st Canada-US Rock Mechanics Symposium, 2007
- [20] *Ruegger R.*: Penetration tests of the Tecco mesh with 4 plates. Test report. Ruegger Systems Ltd. St. Gallen. 1999
- [21] *Stacey T.R., Ortlepp W.D.*: Rockburst mechanisms and tunnel support In rockburst conditions. Proc. of Int. Conf. Geomechanics '93 (edited by Z.Rakowsky), 1994, 39–46

- [22] *Stacey T. R., Ortlepp W.D., Kirsten H.A.D.*: Energy-absorbing capacity of reinforced shotcrete, with reference to the containment of rockburst damage. *J. S. Afr. Inst. Min. Metal.*, 88, 5–6, 1995, 137–140
- [23] *Tajduś A., Cala M.*: Możliwości zastosowania obudowy kotwiowej w warunkach występowania zagrożenia tąpnięciami. *Materiały XIX Zimowej Szkoły Mechaniki Górniczej. Katedra Geomechaniki, Budownictwa i Geotechniki AGH 1996*, 197–213
- [24] *Tannant D.D., Kaiser P.K., McCreath D.R.*: Rockburst Support Research in Canada. *ISRM News Journal*, 3, 3, 1996, 15–18
- [25] *Tannant D.D., Kaiser P., McCreath D.R.*: Impact tests on shotcrete and implications for design for dynamic loads. *Proc. of the 2nd North American Rock Mechanics Symposium. NARMS'96.* (edited by M. Aubertin, F. Hassani & H. Mitri). Rotterdam, A.A. Balkema 1996, 67–373
- [26] *Thompson A., Player J., Villaescusa E.*: Simulations and analysis of dynamically loaded reinforcement systems. *Ground Support Symposium. Perth 2004*
- [27] *Torres J.A.*: Tecco mesh, evaluation TECCO S-95. Technical report. University of Cantabria. Santander. 2002
- [28] *Torres J.A.*: Tecco mesh, evaluation with the wire cut. Technical report. University of Cantabria. Santander. 2002
- [29] *Volkwein A., Anderheggen E., Grassl H.*: Numerical simulation of highly flexible rockfall protection systems. *5th World Congress on Computational Mechanics. Vienna 2002*
- [30] *Windsor C.R., Roth A., Coxon J., de Vries R.*: Performance assessment of high-tensile steel wire mesh for ground support under seismic conditions. *Proc. Of Ground Support in Mining and Underground Construction* (edited by Villaescusa & Potvin). London, Taylor & Francis Group 2004, 589–594
- [31] *Wojno L.*: Doświadczenia z zakresu obudowy kotwiowej w kopalniach Republiki Południowej Afryki. *Szkoła Eksploatacji Podziemnej '94*, I, 1994, 209–225
- [32] *Wojno L., Jager A.J.*: Spotlight on development In the support of tunnels In South African Mines under high stress conditions. *Proc. Of the 1st North American Rock Mechanics Symposium* (edited by Nelson & Lubach). A.A. Balkema, 1994, 927–934
- [33] *Yi X., Kaiser P. K.*: Impact testing for Rockbolt Design in Rockburst Condition. *Int. J. Rock. Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.*, 31, 6, 1994, 671–685
- [34] *Yi X.*: Characteristics of different types of support systems in rockburst conditions. *Proc. of the 2nd North American Rock Mechanics Symposium*, 1996, 347–355

