http://dx.doi.org/10.7494/miag.2019.3.539.70

MICHAŁ STAWOWIAK ZENON ROŻENEK

### An assessment of the susceptibility of Becorit K-25SB and ModarR3/Mz friction linings

The article presents an assessment of the susceptibility of friction linings from two selected manufacturers. These tests are extremely important when assessing the safety of existing and newly designed shaft lifts and ski cableways. The research was carried out on measuring equipment at the Department of Mining Mechanization and Robotization of the Silesian University of Technology, where this type of research has been conducted for years. A measuring amplifier, road transducers, force transducers and a hydraulic testing machine were used for the tests, thanks to which the pressure was applied to the rope on which the friction lining was applied. The measurements were recorded on a computer, which was a recording and measuring station, after which they were processed, saved in tables and presented to the reader in the form of graphs. The main purpose of these tests was to obtain results giving information about the rope displacement at a specific pressure to the groove of the friction lining. It is also worth mentioning that the factor that has a significant impact on the achieved values of displacements is the time of the test. It is related to the properties of the material of which the friction linings are made that are used as a running track for the ropes.

Key words: rope, pressure, displacement, friction lining

#### 1. INTRODUCTION

In mining, the rope-friction drive is the most widely used drive for hoisting vessels suspended on ropes and driven by a hoisting machine. The hoisting machine itself is usually electrically driven and thus the friction rope drive is not the drive of the hoisting machine.

Very high standards were imposed on the elements of the mining shaft hoist, including hoisting machines, in terms of operational reliability and safety. These requirements also apply to the friction linings used in winding machines.

A loss of frictional coupling between the drive pulley and the carrier rope can result in extremely serious damage, economic losses and a risk to human life. The friction linings are meant to ensure the required minimum friction coefficient between the rope and the driving drum. They should be characterized by high abrasion resistance, low wear and an appropriate frictional coupling coefficient [1–3].

The mechanism of the fatigue process of the contact surface of linings is very complex. In this zone, phenomena occur that are unusual and do not define the basic strength of contact fatigue. These processes include friction, micro-slip, plastic and elastic deformation of the surface layers, heat release, the influence of shaft water and lubricants [3, 4, 5, -6,11, 15, 16].

Compliance testing is one of the many studies performed on drive and impression wheel liners. It is defined as the deformation obtained under the effect of a unit force, i.e. the inverse of the stiffness. It is expressed by the formula [10, 17, 19]:

$$C = \frac{u}{F} \tag{1}$$

$$P = \frac{1}{C} = \frac{F}{u} \tag{2}$$

where:

C – stiffness [mm/N], P – compliance [N/mm], u – displacement [mm],

F – force [N].

The Modar R3/Mz lining is a fully Polish production. It is designed for driving wheels and drums as well as for the contact wheels of mining shaft hoists. They are often used in the drive wheels of other cable transport devices, such as cableways or ski lifts.

The lining is made of a material with a composition of acrylonitrile, chloroprezenic, isoprene polymers and active silica fillers. Modar R3/Mz is characterized by [13]:

- large and stable value of the friction coefficient  $\mu \ge 0.25$ ,
- minimum tensile strength 170 MPa,
- high fatigue life,
- wear resistance,
- resistance to surface pressures.

The Becorit K-25SB liner is a German-made lining (also produced under license in Poland). Made of resin-bonded duroplastic material. Thermosets are hardenable plastics. It is a group of thermo or chemically set polymeric materials, characterized by high abrasion resistance, a stable coefficient of friction, and they do not have a softening range (they pass directly from the temperature of use to the range of decomposition). These materials do not swell and show high resistance to all kinds of greases and oils [8].

Figure 1 shows an exemplary diagram of a device using a rope-friction drive [7].



*Fig. 1. An exemplary diagram of a hoisting device with a friction drive [2, 9]: 1 – driving drum, 2 – contact wheel, 3 – carrying rope, 4 – vessel, 5 – balance rope* 

The linings on the wheels and driving drums cooperate with various lines of the cross-sections shown in Figure 2.



Fig. 2. Selected sections of the lifting ropes [12]: a - single thread, b - double thread, c - double thread, d - Warrington double thread, e - closed structure with one armour of wires, f - closed structure with two armours of z-wire and trapezoidal wires, g - doublestrand with triangular strands, h - double strand with strands, i, j - double strand with seamless strands, k - triple strands with round strands

The aim of this article is to present the methodology of conducting tests on the susceptibility of Becorit K25SB and Modar R3/Mz friction linings and which were carried out at the Department of Mining Mechanization and Robotization of the Silesian University of Technology. The scope of the work carried out included:

- preparation of the test stand with the tested items,
- conducting research,
- processing the obtained results,
- conclusions from the conducted research.

The research was conducted in two stages:

- The first test the initial load was 5 kN, then every 3 minutes it increased by 5 kN until it reached 50 kN – after which the sample was unloaded. The measurements were repeated five times.
- Second test the sample was tested for the following loads: 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50 kN. After reaching the desired load, it was held for 3 minutes, then the sample was unloaded. The measurements were repeated three times.

#### 2. DESCRIPTION OF THE MEASUREMENT STATION, MATERIALS FOR TESTING

The research and measurement stand is located in the technological hall of the Department of Mining Mechanization and Robotization of the Silesian University of Technology. It is equipped with the following elements:

- HBM SPIDER8 strain gauge measuring amplifier (Fig. 3).
- HBM 1-WA/200MM inductive transducer (Fig. 4).
- HBM C2/200kN strain gauge stem force transducer (Fig. 5).
- Measurement signal recorder with CATMAN software. HECKERT ZD 10/90 testing machine (Fig. 6).



Fig. 3. HBM SPIDER8 measuring amplifier prepared for research



Fig. 4. 1-WA/200MM distance converter, before mounting on the test stand



Fig. 5. HBM C2-200kN force transducer



Fig. 6. The HECKERT ZD 10/90 testing machine

A force transducer was placed on the surface of the mounting head of the testing machine, which was to measure the force with which the sample is loaded. In addition, the distance converter was mounted using electromagnetic holders – in line with the axis of force. The sampling frequency of the measurements was 2 Hz. The signal was sent to the recorder through the SPIDER8 measuring amplifier.

The subjects of the research were:

- Modar R3/Mz friction lining (Fig. 7a),
- Becorit K-25SB friction lining (Fig. 7b),
- closed rope (Figs. 8 and 9).



Fig. 7. Friction lining: a) Modar R3/Mz; b) Becorit K-25SB



Fig. 8. Rope used for tests: a) cross-section of the rope used for tests; b) general view of the rope used for tests

#### 3. MEASUREMENT RESULTS

In the first attempt. Figure 9 shows exemplary results of the tests of the friction pair compliance: closed rope – friction lining, carried out for ModarR3/Mz and Becorit K-25SB linings. In the first test, the following measurements were made for both

the Becorit K-25SB and ModarR3/Mz friction linings. Only a part of the extensive database of results is presented.

- a) Graph prepared on the basis of the results of the closed rope Becorit K-25SB lining (Fig. 9a).
- b) A diagram prepared on the basis of the results of the closed rope ModarR3/Mz lining (Fig. 9b).



Fig. 9. Testing of the friction pair susceptibility: a) closed rope – Becorit K-25SB lining; b) closed rope – Modar R3/Mz lining

Second attempt. Figures 10a–11c show the results of the friction pair loading tests: closed rope – friction lining, carried out for the Becorit K-25SB and ModarR3/Mz friction linings. In the second test, both for the Becorit K-25SB and ModarR3/Mz friction linings, the following measurements were made. In turn, Figures 12a and 12b are graphs averaging the results of the first trial, while Figures 13 and 14 are graphs compiling the results of the second trial.

- a) Graphs prepared on the basis of the test results for a pair of closed rope – friction lining Becorit K-25SB. The samples were loaded with a pressing force of 5 kN, 10 kN, 15 kN, 20 kN, 25 kN, 30 kN, 35 kN, 40 kN, 45 kN and 50 kN. Only the graphs of the pressure with the force of 5, 25 and 50 kN and from the first measurement series are presented.
- b) Graphs prepared on the basis of the test results for a pair: closed rope – friction lining ModarR3/Mz. The samples were loaded with a pressing force of 5 kN, 10 kN, 15 kN, 20 kN, 25 kN, 30 kN, 35 kN, 40 kN, 45 kN and 50 kN. Only the graphs of the pressure with the force of 5, 25 and 50 kN and from the first measurement series are presented.

Tables 1 and 2 show the results of the first test for the friction pair: closed rope – Becorit K-25SB friction lining and closed rope – ModarR3/Mz friction lining.

Tables 3 and 4 present the results of the second test for the friction pair: closed rope – Becorit K-25SB friction lining and closed rope – ModarR3/Mz friction lining.



Fig. 10. Loads of friction pairs: a) 5 kN load of friction pair closed rope – Becorit K-25SB lining; b) 25 kN load of friction pair closed rope – Becorit K-25SB lining; c) 50 kN load of friction pair closed rope – Becorit K-25SB car pet



Fig. 11. Loads of friction pairs: a) 5 kN load of friction pair closed rope – ModarR3/Mz lining; b) 25 kN load of friction pair closed rope – ModarR3/Mz lining; c) 50 kN load of friction pair closed rope – ModarR3/Mz



*Fig. 12. Graph averaging the results of the first friction pair test: a) closed rope – Becorit K-25SB lining; b) closed rope – ModarR3/Mz lining* 



Fig. 13. Graph presenting the results of the second friction pair test: closed rope - Becorit K-25SB lining



Fig. 14. Graph presenting the results of the second friction pair test: closed rope - ModarR3/Mz lining

No.	F [kN]	<i>u</i> <sub>01</sub> [mm]	<i>u</i> <sub>02</sub> [mm]	<i>u</i> <sub>03</sub> [mm]	<i>u</i> <sub>04</sub> [mm]	<i>u</i> 05 [mm]	Average u <sub>śr</sub> [mm]	P (susceptibility) [kN/mm]
1	5	1.8	2.1	2.0	1.8	1.8	1.9	2.6
2	10	2.4	2.8	2.8	2.5	2.5	2.6	3.8
3	15	3.0	3.4	3.1	3.0	3.0	3.1	4.8
4	20	3.3	3.6	3.6	3.3	3.7	3.5	5.8
5	25	3.7	3.9	3.9	3.7	3.8	3.8	6.6
6	30	4.0	4.1	4.3	4.0	4.1	4.1	7.3
7	35	4.3	4.4	4.5	4.3	4.5	4.4	8.0
8	40	4.6	4.7	4.8	4.5	4.9	4.7	8.6
9	45	4.9	5.1	5.1	4.8	5.1	5.0	9.0
10	50	5.2	5.4	5.4	5.1	5.4	5.3	9.5

 Table 1

 Results of the measurements of the first test for the friction pair: closed rope – Becorit K-25SB lining

#### Table 2

Results of the measurements of the first test for the friction pair: closed rope - ModarR3/Mz lining

No.	F [kN]	<i>u</i> <sub>01</sub> [mm]	<i>u</i> <sub>02</sub> [mm]	<i>u</i> <sub>03</sub> [mm]	<i>u</i> <sub>04</sub> [mm]	<i>u</i> 05 [mm]	Average u <sub>śr</sub> [mm]	P (susceptibility) [kN/mm]
1	5	1.4	1.7	1.4	1.5	1.5	1.5	3.3
2	10	2.4	2.7	2.4	2.5	2.5	2.5	4.0
3	15	3.1	3.5	3.2	3.3	3.4	3.3	4.6
4	20	3.8	4.1	3.8	3.9	3.9	3.9	5.1
5	25	4.4	4.7	4.5	4.5	4.4	4.5	5.5
6	30	4.9	5.3	5.1	5.1	5.1	5.1	5.9
7	35	5.5	5.8	5.6	5.6	5.5	5.6	6.2
8	40	6.1	6.3	6.2	6.2	6.2	6.2	6.5
9	45	6.7	6.9	6.8	6.7	6.9	6.8	6.6
10	50	7.3	7.4	7.4	7.2	7.2	7.3	6.8

#### Table 3

Results of measurements of the second test for the friction pair: closed rope - friction lining Becorit K-25SB

No.	F [kN]	<i>u</i> <sub>01</sub> [mm]	<i>u</i> <sub>02</sub> [mm]	<i>u</i> <sub>03</sub> [mm]	Average u <sub>śr</sub> [mm]	P (susceptibility) [kN/mm]
1	5	1.7	1.4	1.7	1.6	3.2
2	10	1.9	2.1	2.0	2.0	5.0
3	15	2.5	2.8	2.8	2.7	5.7
4	20	3.1	3.2	3.3	3.2	6.3
5	25	3.4	3.4	3.4	3.4	7.4
6	30	3.8	3.7	3.9	3.8	7.9
7	35	4.1	4.1	4.1	4.1	8.5
8	40	4.3	4.4	4.5	4.4	9.2
9	45	4.4	4.7	4.7	4.6	9.9
10	50	4.9	5.0	5.1	5.0	10.1

No.	F [kN]	<i>u</i> 01 [mm]	<i>u</i> <sub>02</sub> [mm]	<i>u</i> <sub>03</sub> [mm]	Average u <sub>śr</sub> [mm]	P (susceptibility) [kN/mm]
1	5	1.7	1.9	1.8	1.8	2.8
2	10	2.8	2.8	2.8	2.8	3.6
3	15	3.7	3.7	3.7	3.7	4.1
4	20	4.4	4.4	4.4	4.4	4.5
5	25	5.1	5.0	5.2	5.1	5.0
6	30	5.8	5.5	5.8	5.7	5.3
7	35	6.0	6.2	6.1	6.1	5.7
8	40	6.5	6.9	6.7	6.7	6.0
9	45	7.4	7.6	7.5	7.5	6.0
10	50	8.1	8.2	8.3	8.2	6.1

 Table 4

 Results of the measurements of the second test for the friction pair: closed rope – ModarR3/Mz friction lining

#### 4. SUMMARY

The tests carried out on a laboratory stand at the Department of Mining Mechanization and Robotization of the Silesian University of Technology allowed the determination of the measured force valuesand the displacement of selected types of friction pairs rope – lining under the action of a specific pressure force in combination with the rope of a closed structure. The performed tests allowed for the following conclusions:

- 1. The maximum displacement of Becorit K-25SB in the first test was 5.3 mm.
- 2. The greatest displacement of the ModarR3/Mz lining during the first test was equal to 7.3 mm with a load of 50 kN.
- 3. In the second test, the maximum displacements were achieved: 5.0 mm for the Becorit K-25SB lining and 8.2 mm for the ModarR3/Mz lining.
- 4. The ModarR3/Mz lining is characterized by much greater flexibility than the Becorit K-25SB lining.
- 5. As regards the Becorit K-25SB lining, in the first test, the values of the susceptibility *P* were from 2.6 kN mm when loaded with a force *F* of 5 kN, up to 9.5 kN/mm when loaded with a force of 50 kN.
- In the case of the ModarR3/Mz lining, in the first test, the values of *P* compliance were from 3.3 kN/mm when loaded with a force *F* of 5 kN, up to 6.8 kN/mm when loaded with a force of 50 kN.

- As for the Becorit K-25SB lining, in the second trial, the values of the *P* compliance were from 3.2 kN/mm when loaded with a force *F* of 5 kN, up to 10.1 kN/mm when loaded with a force of 50 kN.
- In the case of the ModarR3/Mz lining, in the second trial, the values of *P* compliance were from 2.8 kN/mm when loaded with a force *F* of 5 kN, up to 6.1 kN/mm when loaded with a force of 50 kN.
- 9. The factor that has a significant impact on the achieved values of displacements is the test duration. It is related to the properties of the material of which the friction linings are made, which are used as a running track for the ropes.

Becorit linings are used for the driving wheels of mining hoisting machines. They are characterized by high coefficients of friction ( $\mu \ge 0.25$ ), also in cases of extreme weather conditions on the surface. The chemical properties of Becorit linings make them resistant to swelling in the presence of various oils and greases as well as mine waters. The material from which the linings are made ensures very good machinability when turning rope grooves with turning or milling knives. Becorit cladding is particularly suitable for use in hoisting machines, where the rope base creates a large in-run angle on the grooves of the drive pulley, which causes its lateral wear. Becorit material provides in this case a longer service life compared to other materials.

ModarR3/Mz linings are characterized by high values of friction coefficients (frictional coupling),

they are intended for wheels and propellers of mining shaft hoists, cablewaysand ski lifts, impression wheels of multi-rope mining shaft hoists with machines placed on atower etc.

#### References

- Brodny J., Żołnierz M.: Układ pomiarowy do wyznaczania współczynnika sprzężenia ciernego, Patent nr P.407885, Politechnika Śląska, Gliwice 2014.
- [2] Carbogno A.: Testy współczynnika tarcia między różnymi okładzinami ciernymi, a liną stalową smarowaną smarem Elaskon, Międzynarodowe Seminarium na temat stanu techniki w dziedzinie ochrony przed korozją i smarowania lin stalowych. Materiały na konferencję: Elakson Sachsen, Zabrze 2001, pp. 143–150.
- [3] Carbogno A.: Ocena sprzężenia ciernego podczas eksploatacji w warunkach górniczych, in: Liny wyciągowe w górniczych wyciągach szybowych, Wydawnictwo Centrum Badań i Dozoru Górnictwa Podziemnego, Lędziny 2001, s. 163–175.
- [4] Carbogno A., Mateja S., Pypłacz J.: Dosmarowywanie lin w górniczych w trakcie pracy wyciągu szybowego, Wydawnictwo Centrum Badań i Dozoru Górnictwa Podziemnego, Lędziny 2004.
- [5] Carbogno A.: Wybrane problemy dotyczące sprzężenia ciernego między linami stalowymi, a kołem pędnym, Praca BK. Politechnika Śląska, Gliwice 2006.
- [6] Carbogno A., Slanina F.: Wpływ smarowania lin nośnych na bezpieczeństwo pracy górniczych wyciągów ciernych, Wydawnictwo Centrum Badań i Dozoru Górnictwa Podziemnego, Lędziny 2006, pp. 136–146.
- [7] Carbogno A., Żołnierz M., Adamecki D.: Badanie współczynnika tarcia pary ciernej lina stałowa – wykładzina koła pędnego. Wydawnictwo Centrum Badań i Dozoru Górnictwa Podziemnego, Lędziny 2007, pp. 127–138.
- [8] Carbogno A., Zołnierz M.: Badania laboratoryjne podatności wykładzin ciernych typu Becorit K22 oraz K25SB, Praca BK, Politechnika Śląska, Gliwice 2008.
- [9] Carbogno A., Żołnierz M., Mateja S.: Badania współczynnika tarcia lin o powierzchniowym styku drutów, Wydawnictwo Centrum Badań i Dozoru Górnictwa Podziemnego, Lędziny 2011, pp. 56–62.
- [10] German J.: Podstawy mechaniki pękania, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2011.

- [11] Goris H.: Nyrosten N113 środek konserwujący dla lin wyciągów systemu Koepe, Materiały firmy Nyrosten, 2007.
- [12] Hansel J., Kawecki Z.: *Transport pionowy*, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków 1989.
- [13] Hansel J.: Wykładziny kół i bębnów linowych, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2012.
- [14] Kustra T.: Badania laboratoryjne podatności wykładzin ciernych typu Becorit K-25SB i Modar R3/Mz, Politechnika Śląska, Projekt inżynierski, Gliwice 2016.
- [15] Norma DIN 21258: Schmier und Tränkungsstoffefür Treibscheiben – Förderseileim Bergbau – Sicherheitstechnische Anforderungen Und Prüfung. April 2007.
- [16] Pusch J.: Wtórne smarowanie stalowej liny założenia i możliwości techniczne, Wydawnictwo Centrum Badań i Dozoru Górnictwa Podziemnego, Lędziny 2006, pp. 167–177.
- [17] Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 30 kwietnia 2004 r. w sprawie dopuszczenia produktów do stosowania w zakładach górniczych w Polsce, Dz.U. z 2004 r. nr 99, poz. 1003.
- [18] Różok A.: Badanie współczynnika tarcia okładziny kół pędnych górniczych maszyn wyciągowych, Politechnika Śląska, Projekt inżynierski, Gliwice 2013.
- [19] Technologie zur Nachschmierung von Koepe-Förderseilen mit Elaskon III Star LM, Materiały firmy Elaskon, 2000.
- [20] Zmysłowski T.: Górnicze maszyny wyciągowe. Część mechaniczna, Wydawnictwo Śląsk, Katowice 2004.

MICHAŁ STAWOWIAK, Ph.D., Eng. Department of Mining Mechanization and Robotization Faculty of Mining, Safety Engineering and Industrial Automation Silesian University of Technology ul. Akademicka 2, 44-100 Gliwice, Poland michal.stawowiak@polsl.pl

> ZENON ROŻENEK, Ph.D., Eng. KAZ Serwis Sp. z o.o. ul. Jasna 3B1, 44-122 Gliwic, Poland z.rozenek@kaz-serwis.pl

MICHAŁ STAWOWIAK ZENON ROŻENEK

# Ocena podatności wykładzin ciernych typu Becorit K-25SB i Modar R3/Mz

W artykule przedstawiono ocenę podatności wykładzin ciernych dwóch wybranych producentów tychże wykładzin. Badania te są niezwykle istotne przy ocenie bezpieczeństwa już istniejących i nowo projektowanych wyciągów szybowych oraz narciarskich kolei linowych. Badania przeprowadzono na aparaturze pomiarowej w Katedrze Mechanizacji i Robotyzacji Górnictwa Politechniki Śląskiej, gdzie od lat prowadzone są tego typu badania. Do badań wykorzystano wzmacniacz pomiarowy, przetworniki drogi, przetworniki siły oraz hydrauliczną maszynę wytrzymałościową, dzięki której zadawano nacisk na linę, na którą nałożona była okładzina cierna. Pomiary rejestrowane były na komputerze, stanowiącym stację rejestrująco-pomiarową, po czym zostały one przetworzone, zapisane w tabelach i przedstawione czytelnikowi w formie wykresów. Głównym celem tychże badań było otrzymanie wyników dających informację o przemieszczeniu liny przy określonym jej nacisku do rowka wykładziny ciernej. Warto także wspomnieć, że czynnikiem mającym istotny wpływ na osiągane wartości przemieszczeń jest czas wykonywania próby. Jest to związane z właściwościami materiału, z którego wykonane są wykładziny cierne stosowane jako bieżna dla lin nośnych.

Słowa kluczowe: lina, nacisk, przemieszczenie, wykładzina cierna

#### 1. WPROWADZENIE

W górnictwie napęd linowo-cierny jest najszerzej stosowanym napędem naczyń wyciągowych zawieszonych na linach i napędzanych maszyną wyciągową. Sama maszyna wyciągowa ma najczęściej napęd elektryczny. Tak więc napęd linowo-cierny nie jest napędem maszyny wyciągowej.

Elementom górniczego wyciągu szybowego i elementom maszyn wyciągowych narzucono bardzo wysokie standardy w zakresie niezawodności ich działania oraz bezpieczeństwa. Wymagania te odnoszą się również do stosowanych w maszynach wyciągowych okładzinach ciernych.

Utrata sprzężenia ciernego pomiędzy kołem pędnym a liną nośną może skutkować niezwykle poważnymi uszkodzeniami, stratami ekonomicznymi oraz zagrożeniem życia ludzkiego. Wykładziny cierne mają zapewnić wymagany minimalny współczynnik tarcia pomiędzy liną a bębnem pędnym. Powinny charakteryzować się wysoką odpornością na ścieranie, niskim zużyciem oraz odpowiednim współczynnikiem sprzężenia ciernego [1–3]. Mechanizm procesu zmęczenia powierzchni styku wykładzin jest bardzo złożony. W tej strefie pojawiają się zjawiska, które są nietypowe oraz nie określają podstawowej wytrzymałości zmęczenia stykowego. Są to takie procesy, jak tarcie, mikropoślizgi, plastyczne i sprężyste odkształcenia warstw wierzchni, wydzielanie się ciepła, wpływ wód szybowych oraz smarów [3– 6, 11, 15, 16].

Jednym z wielu badań przeprowadzanych na wykładzinach kół pędnych i odciskowych jest badanie podatności. Jest ona definiowana jako deformacja uzyskana pod wypływem działania jednostkowej siły, czyli odwrotności sztywności. Wyraża się ją wzorem [10, 17, 19]:

$$C = \frac{u}{F} \tag{1}$$

$$P = \frac{1}{C} = \frac{F}{u} \tag{2}$$

gdzie:

C – sztywność [mm/N], P – podatność [N/mm], u – przemieszczenie [mm], F – siła [N]. Wykładzina Modar R3/Mz jest w pełni polskiej produkcji. Jest przeznaczona na koła i bębny pędne oraz koła odciskowe górniczych wyciągów szybowych. Często stosowane są w kołach pędnych innych urządzeń transportu linowego, takich jak koleje linowe czy wyciągi narciarskie.

Wykładzina ta jest wykonana z materiału, w którym zastosowano kompozycję polimerów akrylonitrylowych, chloroprezenowych, izoprenowych oraz aktywnych napełniaczy krzemionkowych. Modar R3/Mz charakteryzuje się [13]:

- dużą i stabilną wartością współczynnika tarcia  $\mu \geq 0,25,$
- wytrzymałością na rozciąganie minimum 170 MPa,
- duża trwałością zmęczeniową,
- trudnościeralnością,
- odpornością na naciski powierzchniowe.

Wykładzina Becorit K-25SB jest produkcji niemieckiej (produkowana na licencji także w Polsce). Wykonana z materiału duroplastycznego związanego żywicą. Duroplasty są tworzywami utwardzalnymi. Jest to grupa tworzyw polimerowych termo- lub chemoutwardzalnych, odznaczających się wysoką odpornością na ścieranie, stabilnym współczynnikiem tarcia, nie posiadają zakresu zmiękczania (przechodzą bezpośrednio od temperatury użytkowania w zakres rozkładu). Materiały te nie ulegają pęcznieniu i wykazują dużą odporność na obecność wszelkiego rodzaju smarów oraz olejów [8].

Na rysunku 1 przedstawiono przykładowy schemat urządzenia wykorzystującego napęd linowocierny [7].



Rys. 1. Przykładowy schemat urządzenia wyciągowego z napędem ciernym [2, 9]: 1 – bęben pędny, 2 – koło odciskowe, 3 – lina nośna, 4 – naczynie, 5 – lina wyrównawcza

Wykładziny na kołach i bębnach pędnych współpracują z różnymi linami nośnymi o przykładowych przekrojach przedstawionych na rysunku 2.



Rys. 2. Wybrane przekroje lin nośnych [12]: a – jednozwita, b – dwuzwita, c – dwuzwitaSeale, d – dwuzwitaWarringtona, e – konstrukcji zamkniętej z jednym pancerzem drutów, f – konstrukcji zamkniętej z dwoma pancerzami drutów zetowych i drutów trapezowych, g – dwuzwita ze splotami o przekroju trójkątnym, h – dwuzwitaowalnosplotowa, i, j – dwuzwita o splotach bezszczelniowych, k – trójzwita o splotach okrągłych

Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie metodologii wykonania badań podatności wykładzin ciernych typu Becorit K25SB oraz Modar R3/Mz, które zostały przeprowadzone w Katedrze Mechanizacji i Robotyzacji Górnictwa Politechniki Śląskiej. Zakres przeprowadzonych prac obejmował:

- przygotowanie stanowiska badawczego wraz z badanymi przedmiotami,
- przeprowadzenie badań,
- opracowanie otrzymanych wyników,
- wnioski z przeprowadzonych badań.

Badania przeprowadzono w dwóch etapach:

- Próba pierwsza początkowe obciążenie wynosiło 5 kN, następnie co 3 minuty zwiększano je o 5 kN, aż do osiągnięcia 50 kN – po których próbka była odciążana. Pomiary były powtarzane pięciokrotnie.
- Próba druga próbka była badana dla obciążeń: 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50 kN. Po osiągnięciu żądanego obciążenia było ono utrzymywane przez 3 minuty, następnie próbka była odciążana. Pomiary były powtarzane trzykrotnie.

#### 2. OPIS STANOWISKA POMIAROWEGO, MATERIAŁY DO BADAŃ

Stanowisko badawczo-pomiarowe zlokalizowane jest na hali technologicznej Katedry Mechanizacji i Robotyzacji Górnictwa Politechniki Śląskiej. Jest ono wyposażone w następujące elementy:

- Tensometryczny wzmacniacz pomiarowy SPIDER8 firmy HBM (rys. 3).
- Indukcyjny przetwornik drogi typu 1-WA/200MM firmy HBM (rys. 4).
- Tensometryczny przetwornik siły tupu C2/200kN firmy HBM (rys. 5).
- Rejestrator sygnałów pomiarowych wraz z oprogramowaniem CATMAN. Maszyna wytrzymałościowa HECKERT ZD 10/90 (rys. 6).



Rys. 3. Wzmacniacz pomiarowy HBM SPIDER8 przygotowany do badań



Rys. 4. Przetwornik drogi 1-WA/200MM, przed zamontowaniem na stanowisku badawczym



Rys. 5. Przetwornik siły HBM C2-200kN



Rys. 6. Maszyna wytrzymałościowa HECKERT ZD 10/90

Na powierzchni głowicy mocującej maszyny wytrzymałościowej został umiejscowiony przetwornik siły, który miał za zadanie zmierzyć siłę, z jaką jest obciążana próbka. Dodatkowo za pomocą uchwytów elektromagnetycznych zamocowano przetwornik drogi – zgodnie z osią działania siły. Częstotliwość próbkowania pomiarów była równa 2 Hz. Sygnał był przekazywany do rejestratora przez wzmacniacz pomiarowy SPIDER8.

Przedmiot badań stanowiły:

- wykładzina cierna typu Modar R3/Mz (rys. 7a),
- wykładzina cierna typu Becorit K-25SB (rys. 7b),
- lina konstrukcji zamkniętej (rys. 8 i 9).



Rys. 7. Wykładzina cierna: a) Modar R3/Mz; b) Becorit K-25SB



Rys. 8. Lina wykorzystana do badań: a) przekrój liny użytej do badań; b) widok ogólny liny użytej do badań

#### 3. WYNIKI POMIARÓW

Próba pierwsza. Na rysunku 9 przestawiono przykładowe wyniki badań pomiaru podatności pary ciernej: lina zamknięta – wykładzina cierna, przeprowadzonych dla wykładzin Modar R3/Mz oraz Becorit K-25SB. W pierwszej próbie zarówno dla wykładziny ciernej Becorit K-25SB oraz Modar R3/Mz, wykonano następujące pomiary. Zaprezentowano tylko część z obszernej bazy wyników. Wykres sporządzony na podstawie wyników badań pary lina zamknięta – wykładzina Becorit K-25SB (rys. 9a). Natomiast wykres sporządzony na podstawie wyników badań pary lina zamknięta – wykładzina Modar R3/Mz (rys. 9b).



Rys. 9. Badanie podatności pary ciernej: a) lina zamknięta – wykładzina Becorit K-25SB; b) lina zamknięta – wykładzina Modar R3/Mz

Próba druga. Rysunki 10 i 11 przedstawiają wyniki badań obciążenia pary ciernej: lina zamknięta – wykładzina cierna, przeprowadzonych dla wykładzin ciernych Becorit K-25SB oraz Modar R3/Mz. W drugiej próbie zarówno dla wykładziny ciernej Becorit K-25SB oraz Modar R3/Mz, wykonano następujące pomiary. Z kolei na rysunku 12 pokazano wykresy uśredniające wyniki pierwszej próby, natomiast rysunki 13 i 14 są wykresami zestawiającymi wyniki drugiej próby.

- a) Wykresy sporządzone na podstawie wyników badań pary lina zamknięta – wykładzina cierna Becorit K-25SB. Próbki zostały obciążone siłą nacisku równą 5 kN, 10 kN, 15 kN, 20 kN, 25 kN, 30 kN, 35 kN, 40 kN, 45 kN i 50 kN. Przedstawiono tylko wykresy dotyczące nacisku z siłą 5, 25 i 50 kN i pochodzące z pierwszej serii pomiarowej.
- b) Wykresy sporządzone na podstawie wyników badań pary lina zamknięta – wykładzina cierna Modar R3/Mz. Próbki zostały obciążone siłą nacisku równą 5 kN, 10 kN, 15 kN, 20 kN, 25 kN, 30 kN, 35 kN, 40 kN, 45 kN i 50 kN. Przedstawiono tylko wykresy dotyczące nacisku z siłą 5, 25 i 50 kN i pochodzące z pierwszej serii pomiarowej.

W tabelach 1 i 2 przedstawiono wyniki próby pierwszej dla pary ciernej: lina zamknięta – wykładzina cierna Becorit K-25SB oraz lina zamknięta – wykładzina cierna Modar R3/Mz.

W tabelach 3 i 4 przedstawiono wyniki próby drugiej dla pary ciernej: lina zamknięta – wykładzina cierna Becorit K-25SB oraz lina zamknięta – wykładzina cierna Modar R3/Mz.



Rys. 10. Obciążania par ciernych: a) obciążenie 5 kN pary ciernej lina zamknięta – wykładzina Becorit K-25SB; b) obciążenie 25 kN pary ciernej lina zamknięta – wykładzina Becorit K-25SB; c) obciążenie 50 kN pary ciernej lina zamknięta – wykładzina Becorit K-25SB



Rys. 11. Obciążania par ciernych: a) obciążenie 5 kN pary ciernej lina zamknięta – wykładzina Modar R3/Mz; b) obciążenie 25 kN pary ciernej lina zamknięta – wykładzina Modar R3/Mz; c) obciążenie 50 kN pary ciernej lina zamknięta – wykładzina Modar R3/Mz



Rys. 12. Wykres uśredniający wyniki pierwszej próby par ciernych: a) lina zamknięta – wykładzina Becorit K-25SB; b) lina zamknięta – wykładzina Modar R3/Mz



Rys. 13. Wykres zestawiający wyniki drugiej próby pary ciernej: lina zamknięta – wykładzina Becorit K-25SB



Rys. 14. Wykres zestawiający wyniki drugiej próby pary ciernej: lina zamknięta – wykładzina Modar R3/Mz

Lp.	F [kN]	<i>u</i> <sub>01</sub> [mm]	<i>u</i> <sub>02</sub> [mm]	<i>u</i> <sub>03</sub> [mm]	<i>u</i> <sub>04</sub> [mm]	<i>u</i> <sub>05</sub> [mm]	Średnia u <sub>śr</sub> [mm]	P (podatność) [kN/mm]		
1	5	1,8	2,1	2,0	1,8	1,8	1,9	2,6		
2	10	2,4	2,8	2,8	2,5	2,5	2,6	3,8		
3	15	3,0	3,4	3,1	3,0	3,0	3,1	4,8		
4	20	3,3	3,6	3,6	3,3	3,7	3,5	5,8		
5	25	3,7	3,9	3,9	3,7	3,8	3,8	6,6		
6	30	4,0	4,1	4,3	4,0	4,1	4,1	7,3		
7	35	4,3	4,4	4,5	4,3	4,5	4,4	8,0		
8	40	4,6	4,7	4,8	4,5	4,9	4,7	8,6		
9	45	4,9	5,1	5,1	4,8	5,1	5,0	9,0		
10	50	5,2	5,4	5,4	5,1	5,4	5,3	9,5		

## Tabela 1Wyniki pomiarów próby pierwszej dla pary ciernej: lina zamknięta – wykładzina Becorit K-25SB

#### Tabela 2

Wyniki pomiarów próby pierwszej dla pary ciernej: lina zamknięta – wykładzina Modar R3/Mz

Lp.	F [kN]	<i>u</i> 01 [mm]	<i>u</i> <sub>02</sub> [mm]	<i>u</i> <sub>03</sub> [mm]	<i>u</i> <sub>04</sub> [mm]	<i>u</i> 05 [mm]	Średnia u <sub>śr</sub> [mm]	P (podatność) [kN/mm]
1	5	1,4	1,7	1,4	1,5	1,5	1,5	3,3
2	10	2,4	2,7	2,4	2,5	2,5	2,5	4,0
3	15	3,1	3,5	3,2	3,3	3,4	3,3	4,6
4	20	3,8	4,1	3,8	3,9	3,9	3,9	5,1
5	25	4,4	4,7	4,5	4,5	4,4	4,5	5,5
6	30	4,9	5,3	5,1	5,1	5,1	5,1	5,9
7	35	5,5	5,8	5,6	5,6	5,5	5,6	6,2
8	40	6,1	6,3	6,2	6,2	6,2	6,2	6,5
9	45	6,7	6,9	6,8	6,7	6,9	6,8	6,6
10	50	7,3	7,4	7,4	7,2	7,2	7,3	6,8

#### Tabela 3

Wyniki pomiarów próby drugiej dla pary ciernej: lina zamknięta – wykładzina cierna Becorit K-25SB

Lp.	F [kN]	<i>u</i> <sub>01</sub> [mm]	<i>u</i> <sub>02</sub> [mm]	<i>u</i> <sub>03</sub> [mm]	Średnia u <sub>śr</sub> [mm]	P (podatność) [kN/mm]
1	5	1,7	1,4	1,7	1,6	3,2
2	10	1,9	2,1	2,0	2,0	5,0
3	15	2,5	2,8	2,8	2,7	5,7
4	20	3,1	3,2	3,3	3,2	6,3
5	25	3,4	3,4	3,4	3,4	7,4
6	30	3,8	3,7	3,9	3,8	7,9
7	35	4,1	4,1	4,1	4,1	8,5
8	40	4,3	4,4	4,5	4,4	9,2
9	45	4,4	4,7	4,7	4,6	9,9
10	50	4,9	5,0	5,1	5,0	10,1

Lp.	F [kN]	<i>u</i> <sub>01</sub> [mm]	<i>u</i> <sub>02</sub> [mm]	<i>u</i> <sub>03</sub> [mm]	Średnia u <sub>śr</sub> [mm]	P podatność [kN/mm]
1	5	1,7	1,9	1,8	1,8	2,8
2	10	2,8	2,8	2,8	2,8	3,6
3	15	3,7	3,7	3,7	3,7	4,1
4	20	4,4	4,4	4,4	4,4	4,5
5	25	5,1	5,0	5,2	5,1	5,0
6	30	5,8	5,5	5,8	5,7	5,3
7	35	6,0	6,2	6,1	6,1	5,7
8	40	6,5	6,9	6,7	6,7	6,0
9	45	7,4	7,6	7,5	7,5	6,0
10	50	8,1	8,2	8,3	8,2	6,1

Tabela 4 Wyniki pomiarów próby drugiej dla pary ciernej: lina zamknięta – wykładzina cierna Modar R3/Mz

#### 4. PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania na stanowisku laboratoryjnym w Katedrze Mechanizacji i Robotyzacji Górnictwa Politechniki Śląskiej pozwoliły na wyznaczenie zmierzonych wartości siły i przemieszczenia wybranych rodzajów par ciernych lina – okładzina pod działaniem określonej siły nacisku w skojarzeniu z liną konstrukcji zamkniętej. Wykonane próby pozwoliły na wysunięcie następujących wniosków:

- 1. Maksymalne przemieszczenie wykładziny Becorit K-25SB w pierwszej próbie wyniosło 5,3 mm.
- Największe przemieszczenie wykładziny Modar R3/Mz podczas pierwszej próby było równe 7,3 mm przy obciążeniu 50 kN.
- W drugiej próbie osiągnięto maksymalne przemieszczenia: 5,0 mm dla wykładziny Becorit K-25SB oraz 8,2 mm dla wykładziny Modar R3/Mz.
- Wykładzina Modar R3/Mz charakteryzuje się znacznie większą podatnością niż wykładzina Becorit K-25SB.
- 5. W odniesieniu do wykładziny Becorit K-25SB, w próbie pierwszej, wartości podatności P wynosiły od 2,6 kN/mm przy obciążeniu siłą F wynoszącą 5 kN, aż do 9,5 kN/mm przy obciążeniu siłą 50 kN.
- W przypadku wykładziny Modar R3/Mz, w próbie pierwszej, wartości podatności *P* wynosiły od 3,3 kN/mm przy obciążeniu siłą *F* wynoszącą 5 kN, aż do 6,8 kN/mm przy obciążeniu siłą 50 kN.
- W odniesieniu do wykładziny Becorit K-25SB, w próbie drugiej, wartości podatności *P* wynosiły od 3,2 kN/mm przy obciążeniu siłą *F* wynoszącą 5 kN, aż do 10,1 kN/mm przy obciążeniu siłą 50 kN.

- W przypadku wykładziny Modar R3/Mz, w próbie drugiej, wartości podatności *P* wynosiły od 2,8 kN/mm przy obciążeniu siłą *F* wynoszącą 5 kN, aż do 6,1 kN/mm przy obciążeniu siłą 50 kN.
- Czynnikiem mającym istotnym wpływ na osiągane wartości przemieszczeń jest czas wykonywania próby. Jest to związane z właściwościami materiału, z którego wykonane są wykładziny cierne stosowane jako bieżna dla lin nośnych.

Wykładziny z tworzywa Becorit stosowane są do kół bębnów pędnych górniczych maszyn wyciągowych. Charakteryzują się wysokimi współczynnikami tarcia ( $\mu \ge 0.25$ ), również w przypadkach ekstremalnych warunków atmosferycznych na powierzchni. Właściwości chemiczne okładzin typu Becorit zapewniają im odporność na pęcznienie w przypadku działania różnych olejów i smarów oraz wód kopalnianych. Materiał, z którego wykonywane są okładziny, zapewnia bardzo dobrą skrawalność podczas przetaczania rowków linowych za pomocą noży tokarskich lub frezerskich. Okładziny z tworzywa Becorit szczególnie nadają się do stosowania w maszynach wyciągowych, gdzie podłoże liny tworzy duży kąt nabiegu na rowkach koła pędnego, co powoduje szybsze jego boczne zużycie. Tworzywo Becorit zapewnia w tym przypadku wyższą żywotność eksploatacji w porównaniu z innymi materiałami.

Wykładziny Modar R3/Mz charakteryzują się dużymi wartościami współczynników tarcia (sprzężenia ciernego), przeznaczone są dla kół i bębnów pędnych górniczych wyciągów szybowych, kolei linowych i wyciągów narciarskich, kół odciskowych wielolinowych górniczych wyciągów szybowych z maszynami umieszczonymi na wieży itd.

#### Literatura

- Brodny J., Żołnierz M.: Układ pomiarowy do wyznaczania współczynnika sprzężenia ciernego, Patent nr P.407885, Politechnika Śląska, Gliwice 2014.
- [2] Carbogno A.: Testy współczynnika tarcia między różnymi okładzinami ciernymi, a liną stalową smarowaną smarem Elaskon, Międzynarodowe Seminarium na temat stanu techniki w dziedzinie ochrony przed korozją i smarowania lin stalowych. Materiały na konferencję: Elakson Sachsen, Zabrze 2001, s. 143–150.
- [3] Carbogno A.: Ocena sprzężenia ciernego podczas eksploatacji w warunkach górniczych, w: Liny wyciągowe w górniczych wyciągach szybowych, Wydawnictwo Centrum Badań i Dozoru Górnictwa Podziemnego, Lędziny 2001, s. 163–175.
- [4] Carbogno A., Mateja S., Pypłacz J.: Dosmarowywanie lin w górniczych w trakcie pracy wyciągu szybowego, Wydawnictwo Centrum Badań i Dozoru Górnictwa Podziemnego, Lędziny 2004.
- [5] Carbogno A.: Wybrane problemy dotyczące sprzężenia ciernego między linami stalowymi, a kołem pędnym, Praca BK. Politechnika Śląska, Gliwice 2006.
- [6] Carbogno A., Slanina F.: Wpływ smarowania lin nośnych na bezpieczeństwo pracy górniczych wyciągów ciernych, Wydawnictwo Centrum Badań i Dozoru Górnictwa Podziemnego, Lędziny 2006, s. 136–146.
- [7] Carbogno A., Żołnierz M., Adamecki D.: Badanie współczynnika tarcia pary ciernej lina stałowa – wykładzina koła pędnego. Wydawnictwo Centrum Badań i Dozoru Górnictwa Podziemnego, Lędziny 2007, s. 127–138.
- [8] Carbogno A., Żołnierz M.: Badania laboratoryjne podatności wykładzin ciernych typu Becorit K22 oraz K25SB, Praca BK, Politechnika Śląska, Gliwice 2008.
- [9] Carbogno A., Żołnierz M., Mateja S.: Badania współczynnika tarcia lin o powierzchniowym styku drutów, Wydawnictwo Centrum Badań i Dozoru Górnictwa Podziemnego, Lędziny 2011, s. 56–62.
- [10] German J.: Podstawy mechaniki pękania, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2011.

- [11] Goris H.: Nyrosten N113 środek konserwujący dla lin wyciągów systemu Koepe, Materiały firmy Nyrosten, 2007.
- [12] Hansel J., Kawecki Z.: *Transport pionowy*, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków 1989.
- [13] Hansel J.: Wykładziny kół i bębnów linowych, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2012.
- [14] Kustra T.: Badania laboratoryjne podatności wykładzin ciernych typu Becorit K-25SB i Modar R3/Mz, Politechnika Śląska, Projekt inżynierski, Gliwice 2016.
- [15] Norma DIN 21258: Schmier und Tränkungsstoffefür Treibscheiben – Förderseileim Bergbau – Sicherheitstechnische Anforderungen Und Prüfung. April 2007.
- [16] Pusch J.: Wtórne smarowanie stalowej liny założenia i możliwości techniczne, Wydawnictwo Centrum Badań i Dozoru Górnictwa Podziemnego, Lędziny 2006, s. 167–177.
- [17] Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 30 kwietnia 2004 r. w sprawie dopuszczenia produktów do stosowania w zakładach górniczych w Polsce, Dz.U. z 2004 r. nr 99, poz. 1003.
- [18] Różok A.: Badanie współczynnika tarcia okładziny kół pędnych górniczych maszyn wyciągowych, Politechnika Śląska, Projekt inżynierski, Gliwice 2013.
- [19] Technologie zur Nachschmierung von Koepe-Förderseilen mit Elaskon III Star LM, Materiały firmy Elaskon, 2000.
- [20] Zmysłowski T.: Górnicze maszyny wyciągowe. Część mechaniczna, Wydawnictwo Śląsk, Katowice 2004.

dr inż. MICHAŁ STAWOWIAK Katedra Mechanizacji i Robotyzacji Górnictwa Wydział Górnictwa, Inżynierii Bezpieczeństwa i Automatyki Przemysłowej Politechnika Śląska ul. Akademicka 2, 44-100 Gliwice michal.stawowiak@polsl.pl

> dr inż. ZENON ROŻENEK KAZ Serwis Sp. z o.o. ul. Jasna 3B1, 44-122 Gliwice z.rozenek@kaz-serwis.pl