



## HEADGEAR WHEEL AND DRUM LININGS MANUFACTURED IN POLAND

### OBLOGE KOTURA I BUBNJA IZVOZNOG TORNJA PROIZVEDENE U POLJSKOJ

Józef HANSEL

AGH University of Science and Technology, Cracow, Poland

**Abstract:** New type headgear wheel and drum linings (the trademark *modar*<sup>®</sup> is copyright protected) were designed and engineered at The AGH University of Science and Technology in Kraków. The exclusive manufacturer of the several available versions of the headgear wheel lining *modar*<sup>®</sup> is the work cooperative SPOIWO in Radom. Three types of linings are available now: Modar R3/Mz, Modar R5/Kk, Modar M7/Wz. The linings *modar*<sup>®</sup> have all the certificates, licences and permits required by the law.

Headgear wheel linings designated as Modar R3/Mz, featuring large and stable values of friction coefficient (frictional contact) are intended for headgear wheels and drums in mine hoists, cable railways, ski lifts and other rope transport installations. Linings designated as Modar R7/Wz are intended for drums and Koepe pulleys operated in the conditions of explosion hazard: for instance in underground mine excavations. Furthermore, apart from the general characteristics, they display most advantageous electrostatic features and are slow-burning. Linings designated as Modar R5/Kk are intended for rope pulleys and might be employed in most rope transport installations. When employed, the fatigue endurance of wire ropes is significantly improved. The linings Modar R5/Kk might be applied to protect the pulleys in hoisting installations with the winders in the headframe or on the shaft level.

**Key words:** Hheadgear Wheel, Friction Coefficient, Hoisting

**Apstrakt:** Novi tip obloga kotura izvoznog tornja i bubnja (robna marka *modar*<sup>®</sup> ima zaštićena autorska prava) projektovan je i izrađen na AGH Univerzitetu nauke i tehnologije u Krakovu. Ekskluzivni proizvođač nekoliko raspoloživih tipova obloga kotura izvoznog tornja *modar*<sup>®</sup> je preduzeće SPOIWO u Radomu. Trenutno su na raspolaganju tri vrste obloga: Modar R3/Mz, Modar R5/Kk, Modar M7/Wz. Obloge *modar*<sup>®</sup> poseduju sve sertifikate, licence i dozvole koje propisuje zakon.

Obloge za kotur izvoznog tornja pod nazivom Modar R3/Mz, koje karakterišu visoke i stabilne vrednosti koeficijenta trenja (frikcioni kontakt) namenjene su za koturove i bubnjeve izvoznog tornja kod jamskih izvoznih mašina, žičara, ski liftova i drugih sličnih izvoznih postrojenja. Obloge pod nazivom Modar R7/Wz namenjene su za bubnjeve i užetnice sistema „Koepe“ u uslovima gde postoji opasnost od eksplozije: na primer u rudnicima sa podzemnom eksploatacijom. Štaviše, osim opštih karakteristika, one pokazuju dobra elektrostatička svojstva i sporo gore. Obloge pod nazivom Modar R5/Kk namenjene su za valjke za užad i mogu se upotrebiti u većini postrojenja za užetni transport. Tamo gde se upotrebe, značajno se poboljšava izdržljivost na zamor materijala žičane užadi. Obloge Modar R5/Kk mogu se primeniti na zaštitu valjaka u postrojenjima za izvoz sa čekrkom u izvoznom tornju ili na nivou okna.

**Ključne reči:** Obloga kotura, koeficijent trenja, izvoz.

## 1 INTRODUCTION

Grooves in headgear wheels and drums are often lined with special lining materials that have the modulus of elasticity less than steel and depending on the intended application, may display the required physical, chemical and mechanical features. For over 40 years now the AGH University of Science and Technology has been engaged in research on various linings. Several types of lining materials with the required parameters adopted for the intended applications have been developed and tested. The newest solutions include the linings Modar R3/Mz, Modar R5/Kk and Modar R7/Wz, all of them copyright protected as the trademark "modar®".

## 2 PARAMETERS OF LININGS "MODAR ®"

### 2.1 General requirements

Headgear and drum linings should be resistant to high and variable pressure loads, abrasive wearing, high and low temperatures, UV radiation, variations of atmospheric conditions, ageing, deterioration from lubricants, salty waters. Besides, they should be workable and easy to shape.

Headgear and drum linings ought to display large and stable values of friction coefficient (frictional contact between the linings and a rope and) " $\mu$ ".

Obviously, a particular lining material need not meet all these requirements. When the linings are operated in open air conditions, they have to be resistant to UV radiation and atmospheric conditions. When installed indoors, these features are of minor importance, instead they have to be temperature-resistant and display the favourable electrostatic features.

Among various synthetic materials, polyamides and vinyl-rubber materials seem to display the most favourable physical, mechanical and chemical parameters.

The technologies of polyamide processing whereby they are injected or progressively pressed into moulds or polymerised seem economically viable. Alternatively, polyamide blocks can be machined.

## 1. UVOD

Žlebovi u koturovima i bubnjevima izvoznog tornja su često obloženi posebnim materijalima za oblaganje čiji je modul elastičnosti manji nego kod čelika i koji zavisi od namene, i mogu pokazati potrebne fizičke, hemijske i mehaničke osobine. Već više od 40 godina, AGH Univerzitet nauke i tehnologije je angažovan na istraživanjima različitih obloga. Izrađeno je i testirano nekoliko vrsta materijala za oblaganje sa traženim parametrima koji su usvojeni za određene namene. Najnovija rešenja uključuju obloge Modar R3/Mz, Modar R5/Kk i Modar R7/Wz, pri čemu sve imaju zaštitu autorskih prava kao robna marka "modar®".

## 2 PARAMETRI OBLOGA "MODAR ®"

### 2.1 Opšti zahtevi

Obloge za izvozni toranj i bubanj bi trebalo da budu otporne na visoki i promenljivi pritisak, abrazivno habanje, visoke i niske temperature, UV zračenje, promene atmosferskih uslova, starenje, propadanje zbog sredstava za mazanje, slane vode. Pored toga, trebalo bi da budu podesne za rad i lake za oblikovanje.

Obloge za izvozni toranj i bubanj treba da pokazuju visoke i stabilne vrednosti koeficijenta trenja (frikcioni kontakt između obloga i užeta) " $\mu$ ".

Očigledno je da određeni materijal za oblaganje ne mora da ispunjava sve ove uslove. Kada se radi sa oblogama u uslovima na otvorenom prostoru, one moraju biti otporne na UV zračenje i atmosferske uslove. Kada su instalirane unutra, ove karakteristike su manje važne, a umesto toga moraju biti otporne na temperaturu i da imaju dobre elektrostatičke osobine.

Među raznim sintetičkim materijalima, izgleda da poliamidski i vinilsko-gumeni materijali imaju najpovoljnije fizičke, mehaničke i hemijske parametre.

Izgleda da su rentabilnije tehnologije obrade poliamida one u kojima se ovi poslednji ubacuju ili postepeno utiskuju u kalupe ili se polimerizuju. Druga mogućnost je da se poliamidski blokovi mašinski obrađuju.

Polyamides display most favourable mechanical, thermal and chemical parameters, as well as tensile, compression and bending strength and the values of Young modulus should range from  $(1,5-3,0) \cdot 10^3$  MPa. They are resistant to abrasive wearing, breaking and temperatures up to  $120^\circ\text{C}$ , hence they are recommended as linings for Koepe pulleys.

Low value of the friction coefficient between the polyamide lining and rope (in most cases  $\mu < 0,1$ ) precludes the use of these linings in drums and on guiding wheels characterised by small angles of contact, particularly in multi-rope hoists installed on the tower. In such cases the lining materials should have the friction coefficient of  $\mu \geq 0,25$ . These requirements are fulfilled by vinyl-rubber materials, though their Young modulus is slightly less than that of polyamides.

## 2.1 Main causes of lining deterioration

The selection of lining materials is determined by cost-effectiveness factor and the required durability of linings.

On account of variable loading of wheel grooves, the range of applications of a particular lining depends on its contact fatigue endurance. In the rope-lining contact zone we encounter friction, slip, elastic and elastic deformations (not only of the outer layers); generation of heat, interactions from lubricants and waters (sometimes highly contaminated with salts).

In case of synthetic materials with the Young modulus around  $1,8 \cdot 10^3$  MPa (i.e. polyamides) surface deterioration due to fatigue is revealed as holes or missing sections.

The contact endurance of synthetic materials is largely affected by the time of stress relaxation, being a function of temperature, degree of crystallisation, and the type of material. Lining materials with the elasticity modulus of  $0,8 \cdot 10^2$  MPa containing polyvinyl chloride exhibit relatively large viscosity and hence they are damaged chiefly through breaking and crushing due to temperature increase.

Premature ageing of linings occurs when arbitrary value of pressure loads between the rope

Poliamidi imaju najpovoljnije mehaničke, termičke i hemijske parametre, kao i čvrstoću na kidanje, snagu kompresije i savijanja a vrednosti Jungovog modula bi trebalo da se kreću od  $(1,5-3,0) \cdot 10^3$  MPa. Oni su otporni na abrazivno habanje, kidanje i temperature do  $120^\circ\text{C}$ , pa se prema tome preporučuju kao obloge za užetnice sistema „Koepe“.

Niska vrednost koeficijenta trenja između poliamidske obloge i užeta (u većini slučajeva  $\mu < 0,1$ ) isključuje upotrebu ovih obloga u bubnjevima i upravljačkim točkovima koje karakterišu mali uglovi dodira, naročito u izvoznim mašinama sa više užadi koje su montirane na tornju. U tim slučajevima materijali za oblaganje treba da imaju koeficijent trenja od  $\mu \geq 0,25$ . Ove uslove ispunjavaju gumeni materijali, iako je kod njih Jangov modul neznatno manji nego kod poliamida.

## 2.1 Glavni uzroci propadanja obloge

Izbor materijala za oblaganje zavisi od faktora rentabilnosti i potrebne trajnosti obloge.

Usled promenljivog opterećenja žlebova kotura, raspon primene određene obloge zavisi od njene izdržljivosti na naprezanje. U području u kome se dodiruju uža i obloga nailazimo na trenje, proklizavanje i elastične deformacije (ne samo kod spoljnih slojeva), stvaranje toplote, interakcije zbog sredstava za mazanje i vode (u kojoj se nalazi visoka koncentracija soli).

Kod sintetičkih materijala gde je Jungov modul oko  $1,8 \cdot 10^3$  MPa (tj. poliamidi) propadanje površine zbog zamora se manifestuje kao rupe ili delovi koji nedostaju.

Na izdržljivost na dodir kod sintetičkih materijala u velikoj meri utiče vreme smanjenja naprezanja, postojeća funkcija temperature, stepen kristalizacije i vrsta materijala. Materijali za oblaganje sa modulom elastičnosti od  $0,8 \cdot 10^2$  MPa koji sadrže polivinil hlorid ispoljavaju relativno veliku viskoznost i time se uglavnom oštećuju putem kidanja i pucanja usled povećanja temperature.

Do prevremenog starenja obloga dolazi kada se prekorači proizvoljna vrednost opterećenja

and the wheel lining are exceeded. These pressure loads are derived from the formula:

$$p_u = \frac{2S}{D \cdot d} \quad [\text{MPa}] \quad (1)$$

where:  $S$  - axial force in rope,  
 $D$  - pulley diameter,  
 $d$  - rope diameter.

Arbitrary (empirical) values of pressure loads in basic ropeway installations are: large mine hoists: 1,3-3,0 MPa, small hoists: 2,0-6,0 MPa, cranes (multiple pulleys, construction cranes): 4,0-16,0 MPa, material and passenger lifts: 4,0-7,0 MPa, hoisting installations used in drilling: 7,0-25 MPa.

As the resistance of polyamide linings to arbitrary pressure loads is about 10 MPa, they can be well used in most ropeway installations. Vinyl-rubber linings widely used to date are capable of bearing much smaller loads, no more than 5,0 MPa.

### 2.3 Operating parameters of linings modar®

The exclusive manufacturer of the several available versions of the headgear wheel lining "modar®", shown in Fig 1, is the work cooperative SPOIWO in Radom. Three types of linings are available now: Modar R3/Mz, Modar R5/Kk, Modar M7/Wz. Each type has different properties and designations.

Headgear wheel linings designated as Modar R3/Mz, featuring large and stable values of friction coefficient (frictional contact) are intended for headgear wheels and drums in mine hoists, cable railways, ski lifts and other rope transport installations and hoisting installations with the winders in the headframe or on the shaft level.

Their main advantages:

- large and stable values of friction coefficient (frictional contact) vastly exceeding the admissible values  $\mu \geq 0,25$ ,
- good durability (high resistance to abrasive wearing),
- adequate hardness and good values of the Poisson ratio.

pritiskom između užeta i obloge kotura. Ova naprezanja pri opterećenju pritiskom se izvode iz sledeće formule:

$$p_u = \frac{2S}{D \cdot d} \quad [\text{MPa}] \quad (1)$$

gde je:  $S$  - aksijalna sila u užetu,  
 $D$  - prečnik valjka,  
 $d$  - prečnik užeta.

Proizvoljne (empirijske) vrednosti naprezanja pri opterećenju pritiskom u osnovnim tipovima žičara su: velike jamske izvozne mašine: 1,3-3,0 MPa, male izvozne mašine: 2,0-6,0 MPa, kranovi (sa više valjaka, građevinski kranovi): 4,0-16,0 MPa, liftovi za materijal i putnike: 4,0-7,0 MPa, izvozna postrojenja koja se koriste za bušenje: 7,0-25 MPa.

Pošto je otpor poliamidskih obloga na proizvoljna opterećenja pritiskom oko 10 MPa, mogu se koristiti na većini užetnih postrojenja. Vinil-gumene obloge koje su uglavnom korišćene do sada, mogu da podnesu mnogo manja opterećenja, ne više od 5,0 MPa.

### 2.3 Radni parametri obloga modar®

Ekskluzivni proizvođač za nekoliko raspoloživih tipova obloga "modar®" za kotur izvoznog tornja, prikazanog na slici 1, je preduzeće SPOIWO u Radomu. Danas se mogu naći tri vrste obloga: Modar R3/Mz, Modar R5/Kk, Modar M7/Wz. Svaka vrsta ima drugačija svojstva i namene.

Obloge za točak izvoznog tornja pod nazivom Modar R3/Mz, koje imaju visoke i stabilne vrednosti koeficijenta trenja (frikcionog kontakta) namenjene su za točkove i bubnjeve izvoznog tornja u janskim izvoznim mašinama, janskim visećim žičarama, ski liftovima i drugim postrojenjima za užetni transport i izvoznim postrojenjima sa čekrcima u izvoznom tornju ili na nivou okna.

Njihove osnovne prednosti:

- Visoke i stabilne vrednosti koeficijenta trenja (frikcioni kontakt) koje u velikoj meri premašuju prihvatljive vrednosti  $\mu \geq 0,25$ ,
- Trajnost (visoka otpornost na abrazivno habanje),
- Adekvatna čvrstoća i povoljne vrednosti koeficijenta poprečnog istezanja.

Linings designated as Modar R5/Kk are intended for drums and Koepe pulleys in most hoisting installations, featuring:

- good durability,
- relatively small values of the Poisson ratio,
- high-resistance to pressure loads,
- friction coefficient ranging from  $\mu \geq 0,15$ .

The influence of the lining **modar**® on fatigue endurance of ropes is discussed in the following sections.

Linings designated as Modar R7/Wz are intended for drums and Koepe pulleys operated in the conditions of explosion hazard: for instance in underground mine excavations. Furthermore, apart from the general characteristics, they display most advantageous electrostatic features and are slow-burning.

The shapes, dimensions, chemical composition and manufacturing technology are the result of long-term research work conducted at the AGH University of Science and Technology in Cracow and in the Work Cooperative "SPOIWO" in Radom. They are patented and protected as know-how solutions. The AGH University of Science and Technology in Kraków is the sole owner of these solutions.

Obloge pod nazivom Modar R5/Kk namenjene su za bubnjeve i užetnice sistema „Koepe“ u većini izvoznih postrojenja, koje karakteriše:

- trajnost,
- relativno male vrednosti koeficijenta poprečnog istezanja,
- velika otpornost na pritisak,
- koeficijent trenja koji se kreće od  $\mu \geq 0,15$ .

Uticaj obloge **modar**® na izdržljivost na zamor užadi razmotren je u narednim odeljcima.

Obloge pod nazivom Modar R7/Wz namenjene su za bubnjeve i užetnice sistema „Koepe“ koji rade u uslovima u kojima vlada opasnost od eksplozije: na primer u otkopima u podzemnim rudnicima. Štaviše, osim opštih karakteristika, one imaju najpovoljnija elektrostatička svojstva i sporo gore. \*

Oblici, dimenzije, hemijski sastav i tehnologija proizvodnje su rezultat dugoročnog istraživačkog rada koji se vrši na AGH Univerzitetu nauke i tehnologije u Krakovu i u preduzeću "SPOIWO" u Radomu. Patentirani su i zaštićeni kao *know-how* rešenja. AGH Univerzitet nauke i tehnologije u Krakovu je isključivi vlasnik ovih rešenja.

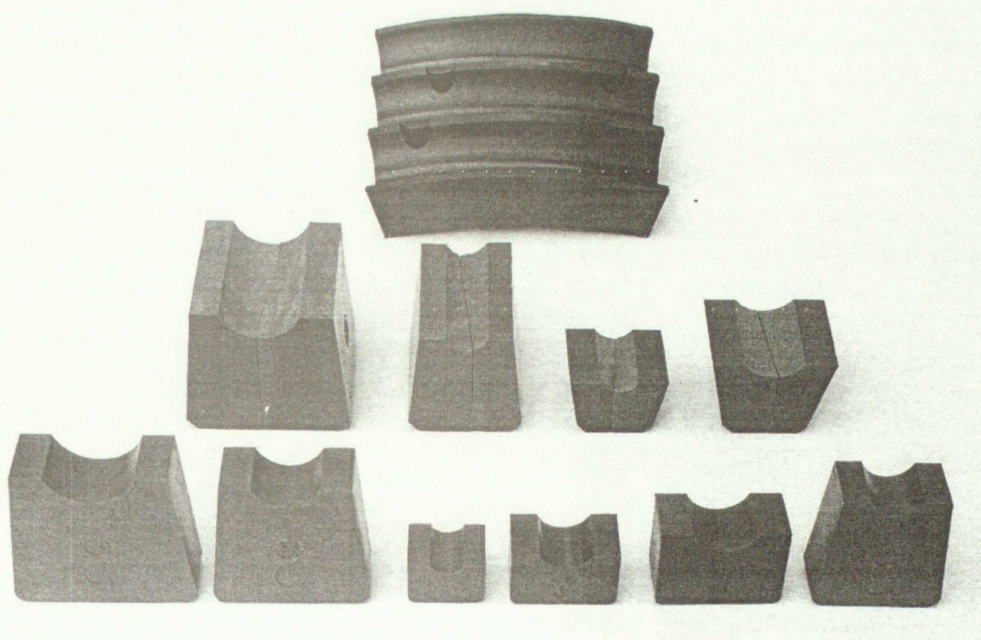


Figure 1 Headgear linings **modar**®: Modar R3/Mz, Modar R5/Kk, Modar R7/Wz  
slika 1 Obloge **modar**® za izvozni toranj: Modar R3/Mz, Modar R5/Kk, Modar R7/Wz

### 3 LININGS MODAR R5/KK

#### 3.1 Properties of the lining material

Steel ropes in ropeway installations are subject to multiple bending on various pulleys, guide wheels, blocks. Steel ropes include hoisting ropes in mine hoists, drilling hoists, construction cranes, load bearing ropes in cableways, hoisting and lifting ropes in cranes and other ropeway installations.

Fatigue endurance of all these ropes, particularly at the point-to-point wire contacts, tends to increase as the value of Young modulus of the groove material decreases [1, 4]. Several years a research team headed by the author undertook a research program aimed to develop lining materials characterised by low values of the Young modulus, at the same time displaying good resistance to high and variable pressure loads. Finally, a material was developed and used to fabricate the lining Modar R5/Kk. The basic components include chloride-vinyl polymer emulsion and nitrile rubber [5].

The material is cured in a hydraulic press. The unit pressure per the mould area approaches 5 MPa. Multi-impression moulds are utilised in the process. The sections inside the mould are put in the press. Then they are heated for 1 minute without any pressure load to soften the material under the influence of temperature, afterwards the press is closed. The curing time is 120 min at temperature 150°C [5].

Designed and real parameters of the lining material are summarised in Table 1.

### OBLOGE MODAR R5/KK

#### Osobine materijala za oblaganje

Čelična užad u žičarama podležu višestrukome savijanju na raznim valjcima, pogonskim točkovima, blokovima. Čelična užad uključuju izvoznu užad u jamskim izvoznim mašinama, izvoznim mašinama za bušenje, građevinskim kranovima, teretnim nosećim užadima u žičarama, izvoznim i dizaličnim užadima u kranovima i ostalim žičanim postrojenjima za transport.

Izdržljivost na zamor sve ove užadi, naročito na mestima od tačke do tačke dodira žice, ima tendenciju da se povećava kako se smanjuje vrednost Jungovog modula materijala sa žlebom [1, 4]. Nekoliko godina istraživački tim sa autorom na čelu vršio je istraživanje koje je imalo za cilj stvaranje materijala za oblaganje koje karakterišu niske vrednosti Jangovog modula i istovremeno visoka otpornost na velika i promenljiva opterećenja pritiskom. Najzad, materijal je osmišljen i upotrebljen za proizvodnju obloge Modar R5/Kk. Osnovne komponente uključuju vinil-hlorid polimersku emulziju i nitro gumu [5].

Materijal se vulkanizuje u hidrauličnoj presi. Jedinični pritisak po području kalupljenja iznosi približno 5 MPa. U procesu se koristi kalupljenje sa više otisaka. Delovi unutar kalupa se stavljaju u presu. Zatim se greju 1 minut bez ikakvog pritiska kako bi se omeškao materijal pod uticajem temperature, zatim se presa zatvara. Vreme vulkanizovanja iznosi 120 min pri temperaturi od 150°C [5].

Projektovani i realni parametri materijala za oblaganje dati su u Tabeli 1.

Table 1. Designed and real parameters of synthetic material of the linings Modar R5/Kk

| Lp. | Parameter                                                                         | Required value    |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| 1.  | Tensile strength MPa (minimum)                                                    | 17,0              |
| 2.  | Elative elongation in % (minimum)                                                 | 150%              |
| 3.  | Permanent elongation in % (maximum)                                               | 20%               |
| 4.  | Hardness ar. 20°C (in Shore's scale, no less than)                                | 95 <sup>±3°</sup> |
| 5.  | Resistance to ageing at. 100°C in 72 hours .(below)                               | 30%               |
| 6.  | Abrasive wearing determined using the Schopper- Schlobach apparatus in w % (max.) | 10                |
| 7.  | Flammability testing Burning + glowing (maximum)                                  | 5 sec             |

Tabela 1. Projektovani i realni parametri sintetičkog materijala obloga Modar R5/Kk

| Lp. | Parametar                                                                      | Potrebna vrednost |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| 8.  | Otpor na kidanje MPa (minimum)                                                 | 17,0              |
| 9.  | Elastičnost pri zatezanju u % (minimum)                                        | 150%              |
| 10. | Stalno zatezanje u % (maksimum)                                                | 20%               |
| 11. | Čvrstoća na pribl. 20°C (po Šorovoj skali, ne manje od)                        | 95 <sup>+3°</sup> |
| 12. | Otpornost na starenje pri 100°C za 72 sati (ispod)                             | 30%               |
| 13. | Abrzivno habanje koje se određuje pomoću Šoper-Šlobahovog aparata u w % (max.) | 10                |
| 14. | Ispitivanje zapaljivosti gorenje + usijanje (maksimum)                         | 5 sek             |

### 3.2 Influence of vinyl-rubber lining on fatigue endurance of wire ropes

Tests were run on double-laid ropes manufactured in Poland and three types of groove materials. In consideration of the experimental setup design, the rope diameter was taken to be  $d = 12 \cdot 10^{-3}$  m. Most ropes with such diameter are ordinary-lay ropes of various construction. Four types of ropes selected for the tests are those most widely used.

A – 6×7+A<sub>0</sub>-Z/s  
 B – T6×19+A<sub>0</sub>-Z/s  
 C – T6×37+A<sub>0</sub>-Z/s  
 D – S6×19+A<sub>0</sub>-Z/s.

The groove materials: cast iron, Young modulus  $E_2 = 1,2 \cdot 10^5$  MPa and Poisson ratio  $\nu \cong 0,25$ ; polyamide linings  $E_2 = 1,8 \cdot 10^3$  MPa and Poisson ratio  $\nu \cong 0,4$ ; vinyl-rubber linings  $E_2 = 0,8 \cdot 10^2$  MPa and Poisson ratio  $\nu \cong 0,5$  [1, 4].

Three levels of certainty are assumed in the tests  $n = 3, 5, 6$  and three ratios  $D/d = 20, 30, 40$ . Most ropes with smaller diameters fall within those intervals in bending. Fatigue life  $N$  is obtained as the arithmetic mean of the number of bends experienced by three rope sections bent in the same conditions, to rupture. Selected results are shown in Fig 2.

Fatigue tests reveal that when grooves are lined with vinyl-rubber linings, fatigue life of ropes is significantly enhanced. This life increase registered in laboratory conditions would be 2-5 – fold, depending on rope construction, the level of certainty  $n$  and the ratio  $D/d$ , see Fig 2 [4].

### 3.2 Uticaj vinilsko gumene obloge na izdržljivost na zamor žičane užadi

Izvršena su ispitivanja na dvoslojnom užadima proizvedenim u Poljskoj i tri tipa materijala sa žlebom. S obzirom na eksperimentalni nacrt podešavanja, za prečnik užeta je predviđena vrednost  $d = 12 \cdot 10^{-3}$  m. Većina užadi sa ovim prečnikom su jednoslojna užad različitog sastava. Četiri vrste užadi koje su izabrane za ispitivanje su one koje se najviše koriste.

A – 6×7+A<sub>0</sub>-Z/s  
 B – T6×19+A<sub>0</sub>-Z/s  
 C – T6×37+A<sub>0</sub>-Z/s  
 D – S6×19+A<sub>0</sub>-Z/s.

Materijali sa žlebom: liveno gvožđe, Jungov modul  $E_2 = 1,2 \cdot 10^5$  MPa i koeficijent poprečnog istezanja  $\nu \cong 0,25$ ; poliamidske obloge  $E_2 = 1,8 \cdot 10^3$  MPa i koeficijent poprečnog istezanja  $\nu \cong 0,4$ ; vinilsko gumene obloge  $E_2 = 0,8 \cdot 10^2$  MPa i koeficijent poprečnog istezanja  $\nu \cong 0,5$  [1, 4].

Pretpostavljena su tri nivoa izvesnosti u ovim ispitivanjima  $n = 3, 5, 6$  i tri koeficijenta  $D/d = 20, 30, 40$ . Većina užadi sa manjim prečnicima ulaze u okvir ovih intervala u savijanju. Izdržljivost do iscrpljenosti  $N$  dobija se kao aritmetička sredina broja savijanja do kojih dolazi na tri dela užeta koje se savija pod istim okolnostima, do kidanja. Izabrani rezultati su prikazani na slici 2.

Ispitivanja zamora pokazuju da su žlebovi obloženi vinilsko gumenim oblogama, a izdržljivost do iscrpljenosti je značajno povećana. Ova opažena povećana izdržljivost u laboratorijskim uslovima bi bila 2-5 puta veća, zavisno od izrade užeta, nivoa izvesnosti  $n$  i koeficijenta  $D/d$ , slika 2 [4].

### 3.3 Frictional contact between Modar R5/Kk and the rope

Frictional contact between the grooves in rope pulleys lined with a lining material and a steel rope does not play such major role as in the case of drums or headgear. All the same, in order to avoid pulley slippage with respect to rope during the start-up or braking (as the rope runs the pulley), the value of this coefficient should not be less than a specified minimal level, determined by:

- reduced mass of the pulley  $\frac{G_k}{g}$ ,
- angle of contact  $\alpha$ ,
- acceleration related to deceleration  $a$ ,
- resistance of the pulley motion.

Slippage with respect to rope shall not occur if the inertia force of the pulley plus its resistance to motion shall be less or equal to the friction force. Taking into account the resistance to motion and transforming the well known Euler-Eytelwein formula, we obtain an equation that yields the required value of friction coefficient [4]:

$$\mu = \frac{1}{\alpha} \ln \frac{S_1}{0,981S_1 - \frac{GD^2}{gD_k^2} a} \quad [\text{MPa}] \quad (2)$$

- where:  $\mu$  - friction coefficient,  
 $\alpha$  - angle of contact,  
 $S_1$  - force in the rope descending from the wheel,  
 $GD^2$  - inertia moment of a pulley with lining,  
 $D_k$  - diameter of the pulley,  
 $a$  - rope acceleration.

### 3.3 Frikcioni kontakt između obloge Modar R5/Kk i užeta

Frikcioni kontakt između žlebova u valjcima za užad obloženim materijalom za oblaganje i čeličnog užeta ne igra tako veliku ulogu kao u slučaju bubnjeva ili izvoznog tornja. Ipak, kako bi se izbeglo proklizavanje valjka u odnosu na uže tokom pokretanja ili kočenja (prilikom delovanja užeta na valjak), vrednost ovog koeficijenta ne bi trebalo da bude manja od preciziranog minimalnog nivoa, koji određuje:

- Smanjena masa valjka  $\frac{G_k}{g}$ ,
- Ugao kontakta  $\alpha$ ,
- Ubrzanje vezano za usporavanje  $a$ ,
- Otpor kretanja valjka.

Proklizavanje u odnosu na uže se neće dogoditi ukoliko sila inercije valjka plus njegov otpor kretanju budu manji od ili jednaki sili trenja. Uzimajući u obzir otpor na kretanje i vršeći pretvaranje dobro poznate Ojler-Ejtelvajnovne formule, dobijamo jednačinu koja donosi traženu vrednost koeficijenta trenja [4]:

$$\mu = \frac{1}{\alpha} \ln \frac{S_1}{0,981S_1 - \frac{GD^2}{gD_k^2} a} \quad [\text{MPa}] \quad (2)$$

- gde je:  $\mu$  - koeficijent trenja,  
 $\alpha$  - ugao kontakta,  
 $S_1$  - sila u užetu koje se spušta sa točka,  
 $GD^2$  - moment inercije valjka sa oblogom,  
 $D_k$  - prečnik valjka,  
 $a$  - ubrzanje užeta.

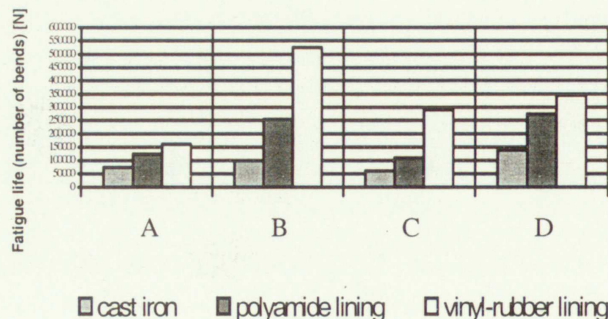


Figure 2 The effects of linings in pulley grooves on fatigue life of various wire ropes – selected results

A - 6×7+A<sub>0</sub>-Z/s, B - T6×19+A<sub>0</sub>-Z/s, C - T6×37+A<sub>0</sub>-Z/s, D - S6×19+A<sub>0</sub>-Z/s

slika 2 Delovanje obloga u žlebovima valjka na izdržljivost do iscrpljenosti u raznim žičanim užadima – izabrani rezultati

A - 6×7+A<sub>0</sub>-Z/s, B - T6×19+A<sub>0</sub>-Z/s, C - T6×37+A<sub>0</sub>-Z/s, D - S6×19+A<sub>0</sub>-Z/s



This formula yields the minimal value of friction coefficient or, when the value of the frictional contact is known, - the minimal angle of contact at which no slip would occur for the given pulley parameters.

The paper [6, 7] summarises the results of measurements of friction coefficient (frictional contact) between the rope and the lining Modar R5/Kk.

Rope surface and lining conditions considered in the tests:

- clean, dry
- clean, wet
- lubricated with Elaskon II Star, dry
- lubricated with Elaskon II Star, wet
- lubricated with Nyrosten N113, dry
- lubricated with Nyrosten N113, wet

The rope used in tests:  $\emptyset$  20 S 6x19+A<sub>0</sub> - Z/s.

Three levels of pressure loads were applied: 1,5 MPa, 2,0 MPa, 2,5 MPa, computed as arithmetic mean derived from formula (1).

The minimal value of the friction coefficient of Modar R5/Kk linings interacting with lubricated ropes at temperatures up to 30°C is about 0,15.

#### 4 MODAR R5/KK PULLEY LININGS IN MINE HOISTS

##### 4.1 Study of feasibility and practicability of Modar R5/Kk linings in hoisting installations with the winders in the headframe or on the shaft level.

Presented below are results of studies reported in [1-7].

1 Modar R5/Kk linings are intended chiefly for use in grooves in pulleys in hoisting installations with the winders in the headframe or on the shaft level.

The minimal value of the friction coefficient of linings Modar R5/Kk interacting with a

Ova formula daje minimalnu vrednost koeficijenta trenja ili, kada je poznata vrednost frikcionog kontakta - minimalni ugao kontakta u kome se neće desiti nikakvo proklizavanje pri datim parametrima valjka.

Ovaj rad [6, 7] daje kratak pregled rezultata merenja koeficijenta trenja (frikcionog kontakta) između užeta i obloge Modar R5/Kk.

U ovim ispitivanjima posmatramo sledeća stanja površine užeta i obloga:

- Čisto, suvo
- Čisto, vlažno
- Podmazani sa Elaskonom II Star, suvi
- Podmazani sa Elaskonom II Star, vlažni
- Podmazani Nyrosten-om N113, suvi
- Podmazani Nyrosten-om N113, vlažni

Uže koje je korišćeno u ispitivanjima:  $\emptyset$  20 S 6x19+A<sub>0</sub> - Z/s.

Bila su upotrebljena tri nivoa pritiska: 1,5 MPa, 2,0 MPa, 2,5 MPa, proračunati kao aritmetička sredina izvedena putem formule (1).

Minimalna vrednost koeficijenta trenja kod obloga Modar R5/Kk koje su u interakciji sa podmazanom užadi pri temperaturi do 30°C iznosi oko 0,15.

#### 4 MODAR R5/KK OBLOGE ZA VALJAK U JAMSKIM IZVOZNYM MAŠINAMA

##### 4.1 Studija izvodljivosti i upotrebljivosti obloga Modar R5/Kk u izvoznim postrojenjima sa pogonima u izvoznom tornju ili na nivou okna.

U daljem tekstu su predstavljeni rezultati pomenutih studija u [1-7].

1 Modar R5/Kk obloge namenjene su uglavnom za upotrebu na žlebovima u valjcima za užad u izvoznim postrojenjima sa pogonima u izvoznom tornju ili na nivou okna.

Minimalna vrednost koeficijenta trenja kod obloga Modar R5/Kk koje su u interakciji sa

lubricated rope equals 0,15 which allows the lined rope pulleys to be operated with the angle of rope contact  $\alpha \geq 30^\circ$ . As in hoisting installations with the winders in the headframe or on the shaft level the angle of contact of rope pulleys are usually in excess of  $120^\circ$ , the pulley lined with Modar R5/Kk will not slip against the rope throughout the whole range of diameters of pulleys operated in Poland, their moments of inertia, conveyance acceleration and deceleration and other parameters of hoisting installations and at any ambient temperature.

2 In Polish mines where the hoisting installations are operated with the winders in the headframe or on the shaft level, load-bearing ropes (in at least 90% of cases) still interact with steel or cast iron crowns of rope pulleys. As the result of steel-steel or steel-iron interactions, these two elements will shortly experience abrasive and fatigue wearing. Application of Modar R5/Kk linings made from materials whose modulus of elasticity is much less than that of steel will reduce the levels of contact stress and stresses due to secondary bending, thus improving the fatigue life of wire ropes.

3 The extractive sector in Poland operates 10 multiple rope hoisting installations with the winders in the headframe or on the shaft level. Modar R5/Kk linings should be applied there in the first place. The number of single-rope hoisting installations with a Keope pulley is much greater and the use of linings is recommended, too.

According to the author's estimates, supported by a thorough analysis of solutions applied in Poland, Modar R5/Kk linings might be well applied in at least 100 hoisting installations with the winders in the headframe or on the shaft level.

In such cases two solutions seem practicable. First, new pulleys with Modar R5/Kk lining should be provided in newly-built, modernised or re-constructed hoisting installations. Alternatively, grooves can be rolled in existing pulley crowns (without disassembling the pulley from the headframe). Groove dimensions have to match the lining sections, whose parameters are compiled in Table 2, 3.

podmazanim užetom iznosi 0,15 što omogućava da obloženi valjci funkcionišu pri uglu kontakta sa užetom od  $\alpha \geq 30^\circ$ . Pošto je u izvoznim postrojenjima sa pogonima u izvoznom tornju ili na nivou okna ugao kontakta valjaka za užad obično preko  $120^\circ$ , bubanj obložen Modar-om R5/Kk neće klizati niz uže kod svih prečnika bubnjeva koji rade u Poljskoj, pri njihovim momentima inercije, ubrzavanju i usporavanju prevoza i drugim parametrima izvoznih postrojenja i pri bilo kojoj drugoj okolnoj temperaturi.

2 U poljskim rudnicima gde izvozna postrojenja rade sa pogonima u izvoznom tornju ili na nivou okna, užad koja su nosioci opterećenja (u najmanje 90% slučajeva) i dalje su u interakciji sa zaštitnim slojevima od čelika ili livenog gvožđa bubnjeva za užad. Kao rezultat interakcija između čelika i čelika ili čelika i gvožđa, ova dva elementa će ubrzo pretrpeti abrazivno habanje i habanje usled zamora materijala. Primena Modar R5/Kk obloga napravljenih od materijala čiji je modul elastičnosti mnogo manji nego kod čelika će smanjiti nivo naprezanja usled kontakta i naprezanja zbog sekundarnog savijanja, i time produžiti izdržljivost na zamor žičane užadi.

3 Primarni industrijski sektor (ekstraktivni sektor) u Poljskoj radi sa 10 izvoznih postrojenja sa više užadi i sa pogonima u izvoznom tornju ili na nivou okna. Tu bi najpre trebalo da se primene Modar R5/Kk obloge. Broj jedno-užetnih izvoznih postrojenja sa užetnicama sistema „Keope“ je mnogo veći a takođe se preporučuje upotreba obloga.

Prema autorovoj proceni, potkrepljenoj temeljnom analizom rešenja koja su primenjena u Poljskoj, Modar R5/Kk obloge bi takođe mogle biti dobro upotrebljene u najmanje 100 izvoznih postrojenja sa pogonima u izvoznom tornju ili na nivou okna.

U takvim slučajevima izgleda da su izvodljiva dva rešenja. Najpre, trebalo bi obezbediti nove bubnjeve sa oblogom Modar R5/Kk u novoizgrađenim, modernizovanim ili renoviranim izvoznim postrojenjima. Druga mogućnost je da se žlebovi umetnu u postojeće zaštitne slojeve bubnja (bez demontiranja valjka sa izvoznog tornja). Dimenzije žleba moraju da se poklapaju sa obloženim delovima, čiji su parametri dati u Tabeli 2 i 3.

**4.2 Dimensions of R5/Kk linings for rope pulleys in hoisting installations**

**4.2. Dimenzije obloga R5/Kk za valjkove za užad u izvoznim postrojenjima**

Modar lining dimensions are provided in table 2 and 3.

Dimenzije Modar obloge date su u tabeli 2 i tabeli 3.

Table 2 Basic parameters of Modar R5/Kk linings [mm]

Tabela 2 Osnovni parametri obloga Modar R5/Kk [mm]

| Segment size | a   | B  | C  | f  | g    | e    | r  | Number of segments per circumference | Mass of the lining set kg | Applicable for diameters |        |       |
|--------------|-----|----|----|----|------|------|----|--------------------------------------|---------------------------|--------------------------|--------|-------|
|              |     |    |    |    |      |      |    |                                      |                           | pulley D                 | Rope D |       |
| T12K         | 55  | 36 | 35 | 70 | 65,8 | 8    | 11 | 40                                   | 5,2                       | 900                      | 16-20  |       |
| T12K         |     |    |    |    |      | 8    | 11 | 56                                   | 7,2                       | 1250                     | 18-20  |       |
| T16K         |     |    |    |    |      | 9    | 13 | 72                                   | 9,2                       | 1600                     | 20-26  |       |
| T20K         | 65  | 44 | 40 |    | 66,8 | 10   | 15 | 90                                   | 16                        | 2000                     | 24-30  |       |
| T25K         |     |    |    |    |      | 11   | 16 | 112                                  | 19,6                      | 2500                     | 28-32  |       |
| T30K         | 75  | 48 | 50 |    | 67,7 | 12   | 18 | 134                                  | 33,4                      | 3000                     | 30-36  |       |
| T40/1K       | 85  | 55 | 55 |    | 70   | 68,0 | 13 | 19                                   | 179                       | 56,4                     | 4000   | 34-38 |
| T40/2K       |     |    |    |    |      |      | 15 | 22                                   |                           | 55,3                     |        | 40-44 |
| T50/1K       | 100 | 68 | 60 |    |      | 68,2 | 16 | 24                                   | 224                       | 89,8                     | 5000   | 42-48 |
| T50/2K       |     |    |    |    |      |      | 19 | 28                                   |                           | 88,7                     |        | 50-56 |
| T63/1K       | 115 | 77 | 70 | 70 |      | 68,4 | 20 | 30                                   | 282                       | 157,8                    | 6300   | 52-60 |
| T63/2K       |     |    |    |    |      |      | 23 | 35                                   |                           | 155,6                    |        | 61-70 |

Specific mass of the Modar R5/Kk material:  $\rho = 1,29\text{g/cm}^3$ .

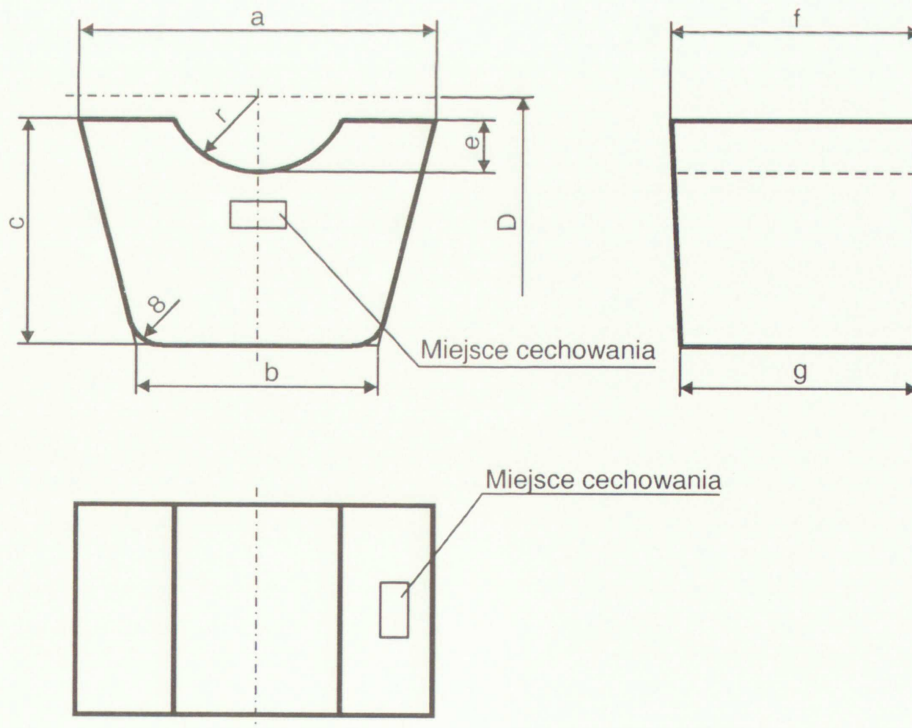


Figure 3 Trapezoidal lining segment [6, 7]  
slika 3. Trapezoidni segment obloge [6, 7]

Table 3 Parameters of wedge-shaped lining sections [mm]

Tabela 3 Parametri klinastih delova obloge [mm]

| Segment size | a   | B  | C  | f    | g    | e  | r    | Number of segments per circumference | Mass of the lining set kg | Applicable for diameters |        |
|--------------|-----|----|----|------|------|----|------|--------------------------------------|---------------------------|--------------------------|--------|
|              |     |    |    |      |      |    |      |                                      |                           | Pulley D                 | rope d |
| T12K         | 55  | 36 | 35 | 70   | 65,8 | 8  | 11   | 40                                   | 5,2                       | 900                      | 16-20  |
| T12K         |     |    |    |      |      | 8  | 11   | 56                                   | 7,2                       | 1250                     | 18-20  |
| T16K         |     |    |    |      |      | 9  | 13   | 72                                   | 9,2                       | 1600                     | 20-26  |
| T20K         | 65  | 44 | 40 |      | 66,8 | 10 | 15   | 90                                   | 16                        | 2000                     | 24-30  |
| T25K         |     |    |    |      |      | 11 | 16   | 112                                  | 19,6                      | 2500                     | 28-32  |
| T30K         | 75  | 48 | 50 |      | 67,7 | 12 | 18   | 134                                  | 33,4                      | 3000                     | 30-36  |
| T40/1K       | 85  | 55 | 55 |      | 68,0 | 13 | 19   | 179                                  | 56,4                      | 4000                     | 34-38  |
| T40/2K       |     |    |    |      |      | 15 | 22   |                                      | 55,3                      |                          | 40-44  |
| T50/1K       | 100 | 68 | 60 |      | 68,2 | 16 | 24   | 224                                  | 89,8                      | 5000                     | 42-48  |
| T50/2K       |     |    |    | 19   |      | 28 | 88,7 |                                      | 50-56                     |                          |        |
| T63/1K       | 115 | 77 | 70 | 68,4 | 20   | 30 | 282  | 157,8                                | 6300                      | 52-60                    |        |
| T63/2K       |     |    |    |      | 23   | 35 |      | 155,6                                |                           | 61-70                    |        |

Specific mass of the Modar R5/Kk material:  $\rho = 1,29 \text{ g/cm}^3$ .

Lining designation: T40/1 Modar R5/Kk.

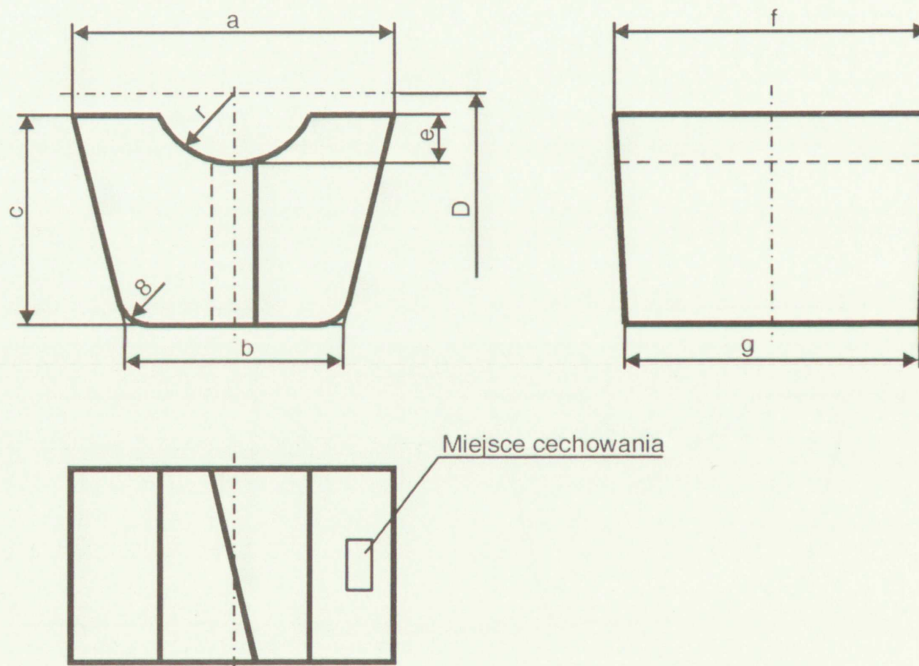


Figure 4 Wedge-shaped lining section in pulley with trapezoidal cross-section [6, 7]  
 slika 4 Klinasti oblik obloge u valjku sa trapezoidnim poprečnim presekom [6, 7]

4.3. Tolerance in lining fabrication

Deviations from values summarised in Tables 2 and 3 should not exceed the levels provided in table 4.

4.3. Tolerancija u izradi obloga

Odstupanja od vrednosti navedenih u tabelama 2 i 3 ne bi trebalo da budu veća od nivoa datih u tabeli 4.

Table 4 Admissible imprecision in lining fabrication

Tabela 4 Prihvatljiva odstupanja u izradi obloga

| Dimension, mm        | a    | b    | a - b | c    | f    | g    | f - g |
|----------------------|------|------|-------|------|------|------|-------|
| Admissible deviation | +0,0 | +0,0 | +0,5  | +0,0 | +1,0 | +1,0 | +0,5  |
| Mm                   | -1,5 | -1,5 | -0,5  | -1,0 | -1,0 | -1,0 | -0,5  |

## 5 CONCLUSION AND FINAL REMARKS

### 5.1 Conclusions

1 Several versions of **modar®** linings: Modar R3/Mz, Modar R5/Kk, Modar R7/Wz developed in recent years in Poland are manufactured by the cooperative SPOIWO in Radom. The linings **modar®** have all the certificates, licences and permits required by the law [4].

Headgear wheel linings designated as Modar R3/Mz. are intended for headgear wheels and drums in mine hoists, cable railways, ski lifts and other ropeway installations. Their main advantages include:

- large and stable values of friction coefficient (frictional contact) vastly exceeding the admissible values  $\mu \geq 0,25$ ,
- good durability (high resistance to abrasive wearing),
- adequate hardness and good values of the Poisson ratio.

Linings designated as Modar R5/Kk are intended for rope pulleys and might be employed in most rope transport installations. When employed, the fatigue endurance of wire ropes improves by hundred to several hundred percent.

Modar R5/Kk features:

- very hard,
- high-resistance to pressure loads,
- friction coefficient ranging from  $\mu \geq 0,15$ .

Linings designated as Modar R7/Wz are intended for drums and Koepe pulleys operated in the conditions of explosion hazard: for instance in underground mine excavations. Furthermore, apart from the general characteristics, they display most advantageous electrostatic features and are slow-burning.

2 Fatigue tests reveal that when cast iron grooves are lined with the vinyl-rubber Modar R5/Kk lining, the fatigue life of wire ropes is vastly enhanced. In laboratory conditions this life would increase 2 – 5 – fold, depending on the rope construction, level of certainty  $n$  and the actual value of the  $D/d$  ratio.

## 5 ZAKLJUČAK I ZAVRŠNE PRIMEDBE

### 5.1 Zaključci

1 Nekoliko tipova **modar®** obloga: Modar R3/Mz, Modar R5/Kk, Modar R7/Wz izrađenih u poslednjih nekoliko godina u Poljskoj proizvelo je preduzeće SPOIWO iz Radoma. Obloge **modar®** imaju sve sertifikate, licence i dozvole koje propisuje zakon. [4].

Obloge za kotur izvoznog tornja pod nazivom Modar R3/Mz namenjene su za koturove i bubnjeve izvoznog tornja u jamskim izvoznim mašinama, jamskim visećim žičarama, ski liftovima i drugim postrojenjima na užetni prevoz. Njihove glavne prednosti su sledeće:

- Visoke i stabilne vrednosti koeficijenta trenja (frikcionog kontakta) koje u velikom meri premašuju minimalne vrednosti  $\mu \geq 0,25$ ,
- trajnost (visoku otpornost na abrazivno habanje),
- adekvatnu čvrstinu i povoljne vrednosti koeficijenta poprečnog istezanja.

Obloge pod nazivom Modar R5/Kk namenjene su za valjke za užad i mogu se primeniti u mnogim sistemima užetnog transporta. Kada se upotrebe, izdržljivost na zamor žičane užadi povećava se od sto do nekoliko stotina procenata.

Modar R5/Kk ima sledeće karakteristike:

- velika čvrstoća,
- visoka otpornost na opterećenja pri pritisku,
- koeficijent trenja koji se kreće od  $\mu \geq 0,15$ .

Obloge pod nazivom Modar R7/Wz namenjene su za bubnjeve i užetnice sistema „Koepe“ koji funkcionišu u uslovima gde postoji opasnost od eksplozije: na primer u podzemnim rudnicima. Štaviše, pored opštih karakteristika, one imaju najpovoljnija elektrostatička svojstva i sporo gore.

2 Ispitivanja zamora materijala pokazuju da kada se žlebovi od livenog gvožđa oblože vinilgumenom oblogom Modar R5/Kk, u velikoj meri se produžava izdržljivost na zamor žičane užadi. U laboratorijskim uslovima ova izdržljivost bi se povećala 2-5 puta, zavisno od izrade užeta, nivoa izvesnosti  $n$  i stvarne vrednosti odnosa  $D/d$ .

3 Minimal values of the friction coefficient (frictional contact) of linings Modar R5/Kk interacting with lubricated ropes at temperature up to 30°C is  $\mu = 0,15$ , which eliminates the rope slipping against the pulley at the angle of contact  $\alpha \geq 30^\circ$ .

As in hoisting installations with the winders in the headframe or on the shaft level the angle of contact of rope pulleys are usually in excess of 120°, the pulley lined with Modar R5/Kk will not slip against the rope throughout the whole range of diameters of pulleys operated in Poland, their moments of inertia, conveyance acceleration and deceleration and other parameters of hoisting installations and at any ambient temperature.

## 5.2 Final remarks

Among the purchasers of the linings **modar**® are well-known companies: ABB, Garaventa, Doppelmayr® as well as Polish Cable Railways in Zakopane, the company "Zgoda" in Świętochłowice, copper mines from the Polish Corporation KGHM Polska Miedź S.A. (copper mines: "Lubin" and "Polkowice-Sieroszowice"); salt mine in Kłodawa and nearly all Polish collieries.

3 Minimalne vrednosti koeficijenta trenja (frikcionog kontakta) obloga Modar R5/Kk koje su u interakciji sa podmazanom užadi pri temperaturi do 30°C iznosi  $\mu = 0,15$ , što eliminiše proklizavanje užeta sa bubnja pri uglu kontakta  $\alpha \geq 30^\circ$ .

Pošto je u izvoznim postrojenjima sa pogonom u izvoznom tornju ili na nivou okna, ugao kontakta valjaka za užad obično preko 120°, bubanj obložen Modar-om R5/Kk neće proklizavati sa užeta kod svih prečnika bubnjeva koji se upotrebljavaju u Poljskoj, pri njihovim momentima inercije, ubrzavanju i usporavanju prevoza i drugim parametrima izvoznih postrojenja i pri bilo kojoj drugoj okolnoj temperaturi.

## 5.2 Završne primedbe

Među kupcima obloga **modar**® su poznate kompanije ABB, Garaventa, Doppelmayr® kao i Poljske žičare u Zakopanama, kompanija "Zgoda" u Śvietoklovcama, rudnicima bakra iz poljske korporacije KGHM Polska Miedź S.A. (rudnici bakra: "Lubin" i "Polkowice-Sieroszowice"); rudnik soli u Kłodavi i skoro svi poljski rudnici kamenog uglja.

## REFERENCES / LITERATURA

- [1] Hansel, J.: *Determining the Influence of Headgear Lining Parameters on Fatigue Life of Wire Ropes by Analysing Stress in Ropes*. Doctor's thesis AGH-UST, Kraków 1972 (in Polish)
- [2] Hansel, J.: *Selected Methods to Improve Safety Features and Reduce the Operating Costs of Hoisting Installations in Mines*. Mining Machines 2 (02), Gliwice 2005 (in Polish)
- [3] Hansel J.: *Mine Hoist Safety – Selected Aspects*. Hoist and Haul 2005. Conference Perth, 5-7, September 2005.
- [4] Hansel J.: *New Headgear Linings for Mine Hoist Installations*. International Conference "Hoisting Installations 2005", Centre for the Mechanisation of Mining KOMAG, Gliwice 2005.
- [5] Manufacturing of Headgear Lining for Hoisting Installations. Patent Application P-366527 of 23.03.3004. Authors: J. Hansel, Z. Maj, M. Blecharz
- [6] Testing the Frictional Contact of Synthetic Material Modar R5/Kk for Headgear Linings. Research project undertaken at the Department of Ropeway Transport AGH-UST, under the supervision of J. Hansel, Kraków 2003.
- [7] Modar R5/Kk Linings for Rope Pulleys i Hoisting Installations. Operational Acceptance Documentation prepared by the Cooperative SPOIWO, Radom, under the supervision of Zbigniew Maj, 2004.

Reviewal / Recenzija: prof. dr Miloš Grujić