Измењено: 2023-10-13 15:38:24

Pouzdanost ležajeva u sklopu sloga transportera sa gumenom trakom

Filip Miletić, Nikola Polovina, Miloš Tanasijević, Predrag Jovančić, Uglješa Bugarić, Veljko Rupar

Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду

[ДР РГФ]

Pouzdanost ležajeva u sklopu sloga transportera sa gumenom trakom | Filip Miletić, Nikola Polovina, Miloš Tanasijević, Predrag Jovančić, Uglješa Bugarić, Veljko Rupar | IX Međunarodna konferencija Ugalj 2019, oktobar 23-26, 2019, Zlatibor, Srbija | 2019 | |

http://dr.rgf.bg.ac.rs/s/repo/item/0007973

Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду омогућава приступ издањима Факултета и радовима запослених доступним у слободном приступу. - Претрага репозиторијума доступна је на www.dr.rgf.bg.ac.rs

The Digital repository of The University of Belgrade Faculty of Mining and Geology archives faculty publications available in open access, as well as the employees' publications. - The Repository is available at: www.dr.rgf.bg.ac.rs

IX MEĐUNARODNA KONFERENCIJA

Zlatibor, 23-26. oktobar 2019.

UGALJ/COAL 2019

9TH INTERNATIONAL CONFERENCE

Zlatibor, 23-26 October 2019

ZBORNIK RADOVA
PROCEEDINGS

Jugoslovenski komitet za površinsku eksploataciju
Yugoslav Opencast Mining Committee

Savez inženjera rudarstva i geologije Srbije
Society of Mining and Geology Engineers of Serbia

IX MEĐUNARODNA KONFERENCIJA
UGALJ 2019

Zlatibor, 23.-26. oktobar 2019.

9th INTERNATIONAL CONFERENCE
COAL 2019

Zlatibor, 23-26 October 2019

ZBORNIK RADOVA

PROCEEDINGS

IX MEĐUNARODNA KONFERENCIJA UGALJ 2019

ZBORNIK RADOVA

9th INTERNATIONAL CONFERENCE COAL 2019

PROCEEDINGS

Izdavač / Publisher
Jugoslovenski komitet za površinsku eksploataciju

Urednik / Editor
Prof. Dr Vladimir Pavlović

Tehnička priprema / Technical preparation
Petar Maksimović
Natalija Pavlović

Grafičko rešenje korica / Graphic design
Petar Maksimović

Tiraž / Number of copies
150 primeraka

Štampa / Printing
FineGraf, Beograd

© Sva prava zadržava izdavač

ISBN 978-86-83497-26-3

IX MEĐUNARODNA KONFERENCIJA
UGALJ 2019

9th INTERNATIONAL CONFERENCE
COAL 2019

ORGANIZATORI

Savez inženjera rudarstva i geologije Srbije, Jugoslovenski komitet za površinsku eksploataciju
Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet
Ring Deutscher Bergingenieure, Germany
Elektroprivreda Srbije
Elektropriveda Srbije - Ogranak Rudarski basen Kolubara
Elektroprivreda Srbije - Ogranak Termoelektrane i kopovi Kostolac

U ORGANIZACIJI UČESTVUJE

Ministarstvo rudarstva i energetike Republike Srbije

MEĐUNARODNI NAUČNI ODBOR

Prof. Dr Vladimir Pavlović, CPE Beograd
Prof. Dr Božo Kolonja, Univerzitet u Beogradu
Prof. Dr Dragan Ignjatović, Univerzitet u Beogradu
Prof. Dr Nikola Lilić, Univerzitet u Beogradu
Prof. Dr Carsten Drebenstedt, TU Bergakademie Freiberg
Prof. Dr Michael Karmis, Virginia Tech University
Prof. Dr Michael Galetakis, Technical University of Crete
Prof. Dr Maria Lazar, University of Petrosani
Prof. Dr Pavol Rybar, Technical University Košice
Prof. Dr Vladislav Kecojević, West Virginia University
Prof. Dr Monika Hardygora, University of Technology, Wroclaw
Prof. Dr Zoran Panov, University Skopje
Prof. Dr George Panagiotou, National Technical University of Athens
Prof. Dr Ljuben Totev University of Mining and Geology, Sofia
Doc. Dr Tomislav Šubaranović, Univerzitet u Beogradu
Dr Larry Thomas, Dargo Associates Ltd
Dr Cvjetko Stojanović, RiTE Ugljevik, Ugljevik
Dr Christos Roumpos, Public Power Corporation of Greece S.A.

Zlatibor, 23-26. oktobar 2019.

SADRŽAJ

Alimpijević S., Đorđević A., Ivković V., Milićević A.
KONCEPCIJA NASTAVKA EKSPLOATACIJE UGLJA U ISTOČNOM DELU KOLUBARSKOG UGLJONOSNOG BASENA POSLE 2020. GODINE
CONCEPT OF CONTINUING COAL MINING IN THE EASTERN PART OF THE KOLUBARA COAL BASIN AFTER 2020 1

Anđelić G., Todorović F.
UNAPREĐENJE PROCESA DNEVNOG RASPOREDA RADA MAŠINA I RUKOVALACA NA POVRŠINSKOM KOPU UGLJA DRMNO UZ PODRŠKU INFORMACIONIH SISTEMA I APLIKACIJA
MACHINES AND OPERATORS DAILY SCHEDULE IMPROVEMENT ON OPEN PIT COAL MINE DRMNO WITH INFORMATION SYSTEMS AND APPLICATIONS SUPPORT 9

Blagojević T., Mitrović A., Minić G., Lukić M.
IZVEDENI ISTRAŽNI RADOVI NA LEŽIŠTU OSTRUŽNJA I NJIHOVA PRIMENA ZA PROCENU I PREKATEGORIZACIJU REZERVI UGLJA
EXPLORATION WORKS CONDUCTED ON THE OSTRUZNJA DEPOSIT AND THEIR APPLICATION FOR THE ASSESSMENT AND PRE-CATEGORIZATION OF THE COAL RESERVES 21

Božić B., Džigumović J., Đurović M., Mitrović M.
POZITIVNI EFEKTI MONITORINGA KOSINA NA BEZBEDAN RAZVOJ POVRŠINSKE EKSPLOATACIJE U RUDNIKU STANARI
THE POSITIVE EFFECTS OF SLOPE MONITORING ON THE STANARI MINE SAFE DEVELOPMENT 33

Čule N., Mitrović S., Dražić D., Brašanac-Bosanac Lj., Veselinović M., Nešić M.
MOGUĆNOST POSTAVLJANJA PLUTAJUĆIH OSTRVA NA JEZERIMA NASTALIM U POSTEKSPLOATACIONOM PERIODU RUDARSKOG BASENA
THE POSSIBILITY OF PLACING FLOATING ISLANDS ON POST-MINING BASIN LAKES 41

Drljević N., Banković M., Kitanović O., Manić M.
OPERATIVNO PLANIRANJE PROIZVODNJE NA TAMNAVSKIM KOPOVIMA U FUNKCIJI KVALITETA UGLJA
TAMNAVA OPENCAST MINES PRODUCTION OPERATIONAL PLANNING FOCUSED ON COAL QUALITY 49

Đenadić S., Damnjanović V., Jovančić P., Ignjatović D., Jovković D., Miletić F.
PRIMENA TERMOGRAFIJE U RUDARSTVU
APPLICATION OF THERMOGRAPHY IN MINING 57

Đurić R., Milošević Z.
SAVREMENI NAČINI ODRŽAVANJA OSNOVNE I POMOĆNE MEHANIZACIJE NA POVRŠINSKIM KOPOVIMA SA OSVRTOM NA PRIMENU PODMAZIVANJA
MODERN WAYS OF MAINTENANCE OF BASIC AND AUXILIARY MECHANIZATION ON SURFACE MINES WITH A BACKGROUND OF APPLICATION 67

Frankland S.
TEHNIČKA PROCENA I VREDNOVANJE PROJEKATA RUDNIKA UGLJA
TECHNICAL EVALUATION AND VALUATION OF COAL MINE PROJECTS 77

Ilić S.
ZNAČAJ UREĐIVANJA I OBNAVLJANJA PROSTORA U VELIKIM LIGNITSKIM BASENIMA
IMPORTANCE OF LANDSCAPING AND AREA RESTORATION IN LARGE LIGNITE BASINS 83

Ječmenica Z., Ječmenica J., Listeš N.
SADRŽAJ CAO U GLAVNOM UGLJENOM SLOJU EKSPLOATACIONOG POLJA UGLJEVIK
CONTENT OF CAO IN THE MAIN COAL SEAM OF THE UGLJEVIK MINING BASIN 87

Jovančić P., Damnjanović V., Ignjatović D., Tanasijević M., Đenadić S.
INDUSTRIJA 4.0 - KONCEPT PREDIKTIVNOG ODRŽAVANJA 4.0 (PdM 4.0) U RUDARSTVU
INDUSTRY 4.0 - CONCEPT OF PREDICTIVE MAINTENANCE 4.0 (PdM 4.0) IN MINING 93

Kezović M.
UGLJONOSNA SERIJA DELA LEŽIŠTA TAMNAVA - ZAPADNO POLJE
COAL-BEARING SERIES OF A PART OF THE DEPOSIT TAMNAVA - WEST FIELD 101

Lazić M., Miletić F., Novaković D., Đenadić S., Rupar V.
OCENA EFIKASNOSTI RADA ROTORNIH BAGERA SRS 2000.32/5+VR ANGAŽOVANIH NA POVRŠINSKIM KOPOVIMA TAMNAVA ZAPAD I DRMNO PRIMENOM METODA VIŠEKRITERIJUMSKOG ODLUČIVANJA
PERFORMANCE EVALUATION OF THE SRS 2000.32/5+VR BUCKET WHEEL EXCAVATORS ENGAGED IN THE SURFACE MINES TAMNAVA WEST AND DRMNO USING THE MULTI-CRITERIA DECISION METHOD 117

Lončar S., Starčević Ž., Miljanović M.
PRESELJENJE I REKONSTRUKCIJA BAGERA - DREGLAJN EŠ 6/45
EXCAVATOR RELOCATION AND RECONSTRUCTION - DRAGLINE ES 6/45 129

Malić N., Matko U., Lončar S.
METODOLOGIJA I REZULTATI TRAJNE REKULTIVACIJE SPOLJAŠNJEG ODLAGALIŠTA POVRŠINSKOG KOPA RAŠKOVAC-STANARI
METHODOLOGY AND RESULTS OF PERMANENT RECLAMATION OF EXTERNAL OVERBURDEN DUMP SITE AT OPEN PIT RAŠKOVAC-STANARI 137

Miletić F., Lazić M., Simić B., Radojičić R., Đenadić S., Radičević B.
EFEKTIVNOST RADA RUDARSKIH SISTEMA NA POVRŠINSKOM KOPU POLJE G
WORK EFFICIENCY OF MINING SYSTEMS ON THE OPEN CAST LIGNITE MINE FIELD G 145

Miletić F., Polovina N., Tanasijević M., Jovančić P., Bugarić U., Rupar V.
POUZDANOST LEŽAJEVA U SKLOPU SLOGA TRANSPORTERASA GUMENOM TRAKOM
RELIABILITY OF BEARINGS IN THE COMPOSITION OF THE BELT CONVEYORS 157

Milijanović D., Jevtić D.
UGLJONOSNI BASENI EPS - BEZBEDNOSNI I ODRŽIVI RAZVOJNI POTENCIJAL REPUBLIKE SRBIJE U SKLADU SA SVETSKOM ENERGETSKOM PERSPEKTIVOM
COAL BASINS OF EPS - SAFETY AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT POTENTIAL OF THE REPUBLIC OF SERBIA IN ACCORDANCE WITH THE WORLD ENERGY PERSPECTIVE 169

Mišković M., Nikolić M., Ljušić N., Petković V., Kitanović B.
UPRAVLJANJE PROJEKTOM OTVARANJA I RAZVOJA DO POSTIZANJA PROJEKTOVANOG KAPACITETA POVRŠINSKOG KOPA RADLJEVO SEVER
MANAGEMENT OF THE RADLJEVO NORTH OPENCAST MINE OPENING AND DEVELOPMENT PROJECT UNTIL REACHING THE PLANNED CAPACITY 183

Pavloudakis F., Roumpos C., Karlopoulos E., Koukouzas N., Sachanidis C., Pyrtses S
EKONOMSKA I SOCIJALNA PROCENA UTICAJA DEKARBONIZACIJE NA PODRUČJU RUDARSKOG BASENA LIGNITA PTOLEMAIS
ECONOMIC AND SOCIAL IMPACT ASSESSMENT OF DECARBONISATION IN PTOLEMAIS LIGNITE MINING AREA 195

Pavlović N.
KVANTITATIVNA ANALIZA RIZIKA ZAŠTITE I BEZBEDNOSTI NA RADU U RUDARSTVU
QUANTITATIVE ANALYSIS OF HEALTH AND SAFETY RISKS IN MINING 209

Petrović M., Pantelić M., Tomić G., Milovanović A.
ANALIZA DISLOKACIJE KONTINUALNOG SISTEMA SA POVRŠINSKOG KOPA POLJE D NA POVRŠINSKI KOP RADLJEVO-SEVER U FUNKCIJI KONTINUITETA PROIZVODNJE U KOLUBARSKOM UGLJENOM BASENU
ANALYSIS OF CONTINUOUS SYSTEM RELOCATION FROM OPENCAST MINE FIELD D TO OPENCAST MINE RADLJEVO-NORTH IN FUNCTION OF PRODUCTION CONTINUITY ON KOLUBARA COAL BASIN 217

Petrović B., Šubaranović T., Milošević D.
ODREĐIVANJE VISINA I UGLOVA NAGIBA KOSINA UNUTRAŠNJEG ODLAGALIŠTA POVRŠINSKOG KOPA TAMNAVA-ZAPADNO POLJE
DEFINING THE ANGLES AND HEIGHTS OF OPENCAST MINE TAMNAVA - WEST FIELD INSIDE DUMP SLOPES 223

Pijunović R., Lončar S., Ilić M.
UPRAVLJANJE ZALIHAMA I KVALITETOM UGLJA NA DEPONIJI TERMOELEKTRANE STANARI
INVENTORY AND COAL QUALITY MANAGEMENT ON THERMAL POWER PLANT STANARI STOCKYARD 229

Polomčić D., Šubaranović T., Stojićević Z.
HIDRODINAMIČKI PRORAČUN ZAŠTITE POVRŠINSKOG KOPA DRMNO OD PODZEMNIH VODA U PERIODU 2018-2022. GODINA
HYDRODINAMIC CALCULATION FOR OPENCAST MINE DRMNO UNDERGROUND WATER DRENAGE IN THE 2018-2022 PERIOD 237

Rybar P.
RUDARSKI TURIZAM - KONVERZIJA LEŽIŠTA MINERALA ZA POTREBE RUDARSKOG TURIZAMA
MINING TOURISM - MINERAL DEPOSIT CONVERSION ON MINING TOURISM PURPOSES 245

Savanović N., Stanojević Ž.
ANALIZA OTKAZA I REKONSTRUKCIJA POGONSKIH JEDINICA ZA PRETOVAR U CILJU FUNKCIONALNOSTI
FAILURE ANALYSIS AND RECONSTRUCTION OF DISCHARGE DRIVE UNITS FOR FUNCTIONALITY 251

Savkovic S., Dimitrijevic B., Majstorovic J.
TEHNO-EKONOMSKA ANALIZA RADNOG ŽIVOTNOG VEKA KAMIONA NA POVRŠINSKIM KOPOVIMA
TECHNO-ECONOMIC ANALYSIS OF TRUCKS OPERATING LIFE CYCLE ON OPENCAST MINES 263

Slavković D., Zdravković J., Milošević S.
PRIMENA SISTEMA DRENAŽNIH KANALA ZA STABILNIJE UNUTRAŠNJE ODLAGALIŠTE NA POVRŠINSKOM KOPU DRMNO U TOKU 2019. GODINE
THE APPLICATION OF A DRAINAGE CHANNELS SYSTEM FOR A MORE STABLE INSIDE DUMP ON OPENCAST MINE DRMNO IN 2019 269

Stevanović D., Dobrosavljević M., Stojanović M., Pešić Georgiadis M., Daničić D.
ALGORITAM ZA KREIRANJE DIGITALNOG MODELA POVRŠINA ETAŽA
ALGORITHM FOR CREATION OF DIGITAL BENCH SURFACES MODEL 273

Stojanović C., Borović B.
REGIONALNA INDUSTRIJA UGLJA U USLOVIMA ENERGETSKE TRANZICIJE
REGIONAL COAL INDUSTRY IN A TIME OF ENERGY TRANSITION 281

Stojanović C., Malović Z.
OGRANIČENJA EMISIJA ZAGAĐUJUĆIH MATERIJA I NJIHOV UTICAJ NA DALJI RAD TERMOENERGETSKIH POSTROJENJA U BOSNI I HERCEGOVINI
LIMITATIONS OF POLLUTING MATERIAL EMISSIONS AND THEIR IMPACT ON THE FURTHER OPERATION OF THERMAL POWER FACILITIES IN BOSNIA AND HERZEGOVINA 293

Šubaranović T., Polomčić D., Pavlović V.
ANALIZA SISTEMA ODVODNJAVANJA POVRŠINSKOG KOPA DRMNO OD PODZEMNIH VODA SA SEVERNIM SAVRŠENIM EKRANOM
OPENCAST MINE DRMNO UNDERGROUND WATER DRAINAGE SYSTEM ANALYSIS WITH A PERFECT SCREEN IN THE NORTH 297

Tomašević G., Nedeljković N.
METODOLOGIJA UPRAVLJANJA PROJEKTOM RAZVOJA INTEGRALNOG INFORMACIONOG SISTEMA PROIZVODNJE UGLJA U ELEKTROPRIVREDI SRBIJE
PROJECT MANAGEMENT METHODOLOGY FOR THE DEVELOPMENT OF AN INTEGRATED INFORMATION COAL PRODUCTION SYSTEM IN ELECTRIC POWER INDUSTRY OF SERBIA 307

Tošović R.
ASPEKTI PRIMENE GEOLOŠKO-EKONOMSKE OCENE U POVEĆANJU KONKURENTNOSTI GEOLOŠKIH ISTRAŽIVANJA MINERALNIH RESURSA
ASPECTS OF APPLICATION OF GEOLOGICAL-ECONOMIC EVALUATION IN INCREASING COMPETITIVENESS OF GEOLOGICAL EXPLORATION OF MINERAL RESOURCES 315

Tošović R.
SPECIFIČNOSTI KONTROLE KAO FUNKCIJE MENADŽMENTA U MINERALNOM SEKTORU
SPECIFICITY OF CONTROL AS MANAGEMENT FUNCTIONS IN THE MINERAL SECTOR 323

Trifunović M., Marinković Lj., Vojnić M.
PRIKAZ TEHNIČKOG REŠENJA IZMEŠTANJA TRASE DELA KORITA DUNAVCA
DEMONSTRATION OF THE TECHNICAL SOLUTION FOR THE DUNAVAC RIVERBED ROUTE RELOCATION 331

Vučković B., Životić D., Radovanović B., Stojković H.
85 GODINA GEOLOŠKIH ISTRAŽIVANJA LIGNITA U KOLUBARSKOM UGLJONOSNOM BASENU, DEKADE RADA I REZULTATI, PREGLEDNI PRIKAZ
85 YEARS OF GEOLOGICAL EXPLORATION OF LIGNITE IN THE KOLUBARA COAL BASIN, DECADES OF WORK AND RESULTS, OVERVIEW 337

Žebeljan B.
AUTOMATSKI RAD ROTORNOG BAGERA
AUTOMATIC OPERATION OF A BUCKET WHEEL EXCAVATOR 347

POUZDANOST LEŽAJEVA U SKLOPU SLOGA TRANSPORTERA SA GUMENOM TRAKOM

RELIABILITY OF BEARINGS IN THE COMPOSITION OF THE BELT CONVEYORS

Miletić F.[1], Polovina N.[2], Tanasijević M.[3], Jovančić P.[4], Bugarić U.[5], Rupar V.[6]

Apstrakt

Transporteri sa gumenom trakom na površinskim kopovima rade u izuzetno teškim radnim uslovima. Razlog tome je izražen uticaj radnog okruženja na normalan i nesmetan rad. Kiša, blato, veliki raspon radnih temperatura samo dodatno otežava dostizanje planiranih kapaciteta. Povećana prašina i vlaga stvaraju velike probleme obrtnim delovima transportera; valjcima i bubnjevima. Usled dužeg perioda rada u takvim uslovima, dolazi do problema sa zaptivanjem, pa ulazak prašine i vode često znatno smanjuje radni vek ležaja, što neminovno utiče na pouzdanost sistema. Cilj analize vršene kroz ovaj rad je da ukaže koji tip ležajeva se najbolje pokazao na valjcima u nosećem i povratnom kraku za odgovarajuće pozicije rolne u slogu i opterećenja u radu.

Ključne reči: *transporter sa gumenom trakom, valjci, ležajevi, pouzdanost*

Abstract

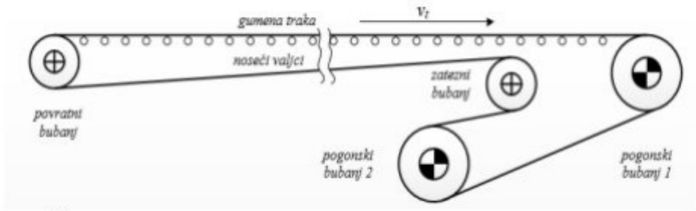
Belt conveyors on open cast mines work in extremely difficult working conditions. The reason for this is the significant impact of atmospheric conditions on normal and smooth operation. Rain, mud, a large range of operating temperatures only makes it more difficult to reaching the planned capacity. Increased dust and moisture often create major problems with the rotary parts of the conveyor; rollers and drums. Due to prolonged periods of operation under such conditions, there is a sealing problem, and the ingress of dust and wate often greatly reduces the lifespan of the bearing, which inevitably affects the reliability of the system. The aim of the analysis carried out by this paper is to indicate which series of bearings have best shown on the rollers in the carrier and the return arm for the respective roll position and work load.

[1] Miletić Filip, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet
[2] Polovina Nikola, PD PRO TENT d.o.o
[3] Prof. Dr Tanasijević Miloš, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet
[4] Prof. Dr Jovančić Predrag, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet
[5] Prof. Dr Bugarić Uglješa, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet
[6] Rupar Veljko, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet

Key words: *belt conveyors, rollers, bearings, reliability*

1. Uvod

Transporteri sa gumenom trakom predstavljaju mašine koje se u rudarstvu koriste za transport korisne mineralne sirovine i jalovine. Mogu da budu samostalne mašine ili sastavni delovi bagera i odlagača. Praćenjem napredovanja otkopnih i odlagališnih frontova, transporteri sa trakom stalno menjaju svoj položaj, pomeraju se, produžavaju ili skraćuju, u zavisnosti od potrebe. Osnovni delovi transportera su: gumena traka, noseća konstrukcija koja nosi slogove valjaka, pogonski, povratni i zatezni bubanj, elektromotor i reduktor. Šema transportera sa trakom prikazana je na Slici 1.

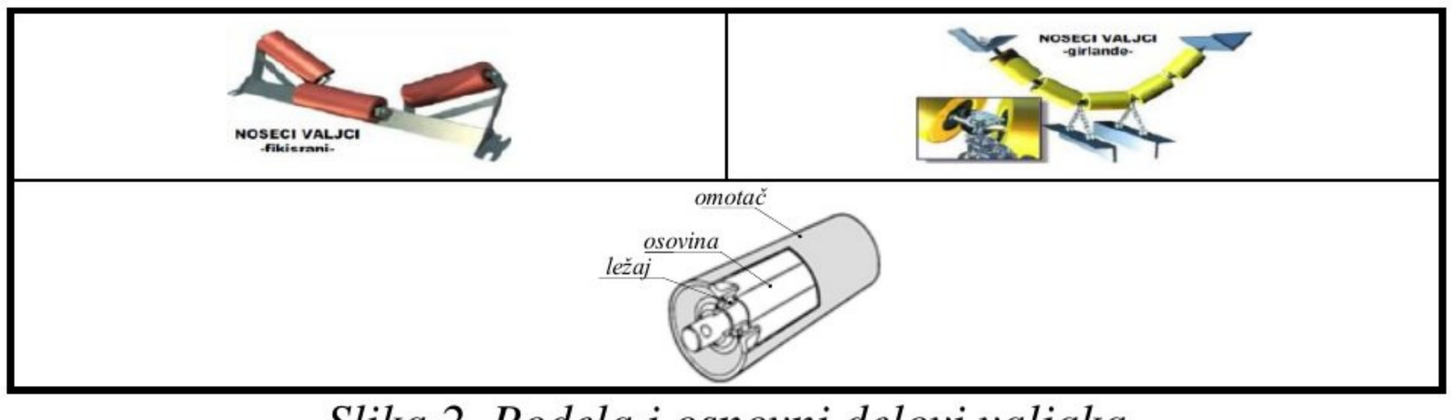


Slika 1. Šema transportera sa gumenom trakom

2. Uloga i konstrukcija valjaka

Valjci su delovi transportera koji služe za nošenje trake po čitavoj njenoj dužini, sa teretom ili bez njega, kao i za usmeravanje pravca njenog kretanja. Prema nameni podela je izvršena na: obične (noseće) i specijalne valjke. Prema broju nosećih valjaka u slogu trake se dele na: ravne, kod kojih jedan valjak nosi celu širinu trake i oslanja se na dva krajnja ležaja; dok se za trake većih širina, koriste dva, tri i pet valjaka u slogu (Slika 2). Traka naleže na sve valjke i svi nose traku zajedno sa teretom. Za izradu valjaka se koriste čelik, liveno gvožđe, guma, plastična masa, itd. Kod sloga sa tri valjka, najčešće su svi iste dužine. Radi ravnomernog opterećenja, srednji valjak u slogu može biti malo kraći ili pomeren napred u odnosu na bočne valjke.

U zavisnosti od načina učvršćivanja za noseću konstrukciju sve vrste valjaka se dele na fiksirane i elastične. U pogledu konstrukcije kod fiksiranog učvršćivanja preovlađuju dve vrste, prva je sa učvršćenom osovinom oko koje se okreće valjak i druga, sa okretnim cilindričnim rukavcem i učvršćenim ležajem. Prvi tip ima određene prednosti, koje su pre svega vezane za neznatan otpor pri okretanju, manje prodiranje prašine i vlage zbog malog prečnika otvora za ležaj, koji se može lakše i bolje zatvoriti primenom lavirintskih zaptivača, kod traka većih brzina, kao i lakšom zamenom prilikom oštećenja. Sa druge strane, prednost valjaka sa rukavcem ogleda se u tome što imaju manju masu, a samim tim i manju nabavnu cenu. Međutim, veliki nedostatak predstavlja potreba za tačnom izradom i postavljanjem ležajeva.



Slika 2. Podela i osnovni delovi valjaka

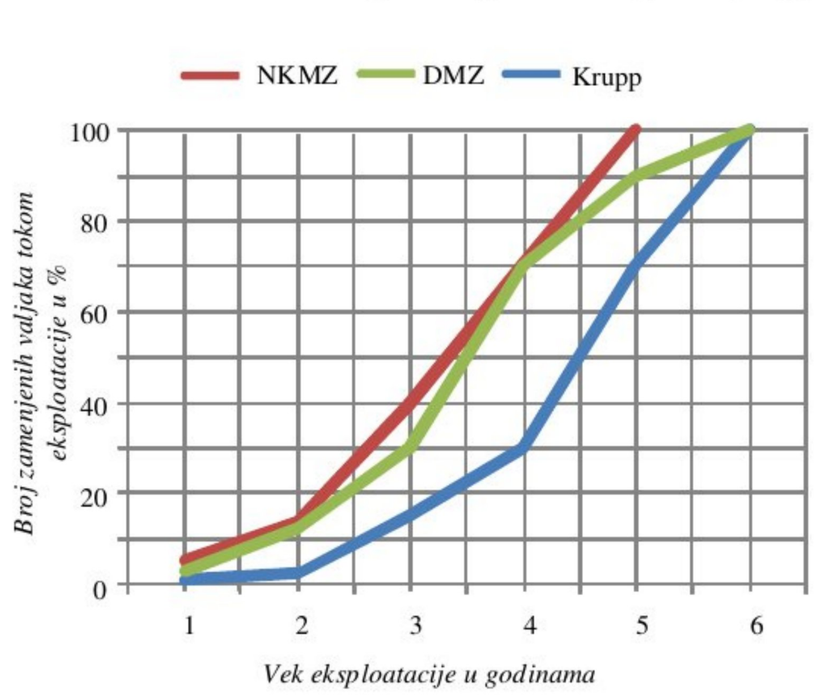
2.1. Slogovi valjaka na transporteru sa gumenom trakom

Valjci na tračnim transporterima povezani su u slogove. Slogovi valjaka služe za nošenje gumene trake (pune i prazne) i usmeravanje njenog hoda. Slogovi nosećih valjaka mogu biti: normalni (linijski) i specijalni. Normalni slogovi mogu se podeliti na: gornje noseće slogove koji nose punu stranu trake i donje povratne slogove koji nose praznu stranu. Specijalni slogovi valjaka mogu biti prelazni - za vođenje trake iz koritastog u ravan oblik za prelazak preko bubnjeva, centrirajući - za dovođenje trake u pravac i amortizacioni, koji se postavljaju na utovarnim mestima, a imaju za cilj da amortizuju udare teških komada materijala, štiteći tako traku.

Noseći valjci predstavljaju delove transportera sa trakom koji prihvataju sva opterećenja od težine transportovanog materijala i sopstvene težine trake. Ležajevi trpe opterećenje još i od težine okretljivog dela valjka. Osim ovih redovnih opterećenja, valjak trpi i dopunska opterećenja usled: netačnosti postavljanja valjaka po visini, lepljenja transportovanog materijala na valjak, iskošenja ose valjka prema pravilnom položaju, ekscentričnosti omotača valjka u odnosu na obrtnu osu. U normalnim uslovima ova dopunska opterećenja manja su od redovnih i njihov intenzitet je nedovoljno istražen.

2.2. Oštećenja valjaka

Oštećenja valjaka (nosećih, povratnih, amortizacionih) na transporterima sa trakom izazivaju brojne zastoje u radu rudnika sa ovim vidom transporta. Kod povratnih i amortizacionih valjaka postoje gumeni prstenovi koji se znatno habaju a kod nosećih habanje je znatno manje, izuzev u slučaju kada se valjak zaustavi a traka nastavi da se kreće. Ovaj zastoj nastaje kada otkaže ležaj na valjku. Valjci se povlače najviše iz upotrebe zbog oštećenja ležaja izazvanog prodorom vode i prljavštine kroz zaptivni sistem. Ovaj otkaz čini 75-85% svih otkaza. Kvalitet zaptivnog sistema i trajnost maziva ostvaruju najveći uticaj na dužinu životnog veka valjaka. Na Slici 3. dat je prikaz dužine veka upotrebe prve generacije ugrađenih valjaka na jednom površinskom kopu. Sa grafika se vidi da svi valjci budu zamenjeni za najviše 6 godina. Polovina valjaka bude zamenjena u proseku za 3,5 do 4,5 godina, zavisno od proizvođača. Valjci transportera na bagerima i odlagačima imaju dva do tri puta kraći vek nego valjci samostalnih transportera, zbog većeg opterećenja od vibracija i veće komadnosti otkopanog materijala (koja se umanjuje presipanjem).



Slika 3. Broj zamenjenih valjaka na površinskom kopu

Valjke koji se ne okreću treba zameniti; kao i one koji proizvode povišenu buku kao nagoveštaj otkaza. Ukočeni valjci se greju usled trenja trake po njemu, čak do usijanja. Ako se transporter, odnosno traka tada zaustavi, neodložno dolazi do paljenja gumene trake. Intenzitet požara raste znajući da je mašina obično zamašćena. Primer je rotorni bager SRs 1200 24/4, interne oznaka G-2, koji je radio na površinskom kopu Polje D. Nakon požara koji je izazvan otkazom prevojnog bubnja na pretovarnom uređaju bager je bio potpuno havarisan. Tokom 2002. i 2003. godine izvršena je njegova kompletna revitalizacija, pri čemu je u potpunosti zamenjena gornja gradnja bagera (Slika 4). Ukupna investicija iznosila je oko 7 miliona evra, odnosno oko 60% cene novog bagera. Bageri su mašine sa visokim rizikom. Ukupno višedecenijsko iskustvo u korišćenju bagera stvorilo je uslove da se rad i održavanje bagera odvijaju na vrlo visokom nivou. I pored svega, događaju se ovakve havarije.

SRs 1200, pre i posle havarije 1995.

Revitalizovani SRs 1201, 2004. godina

Slika 4. Havarija i revitalizacija bagera SRs 1200

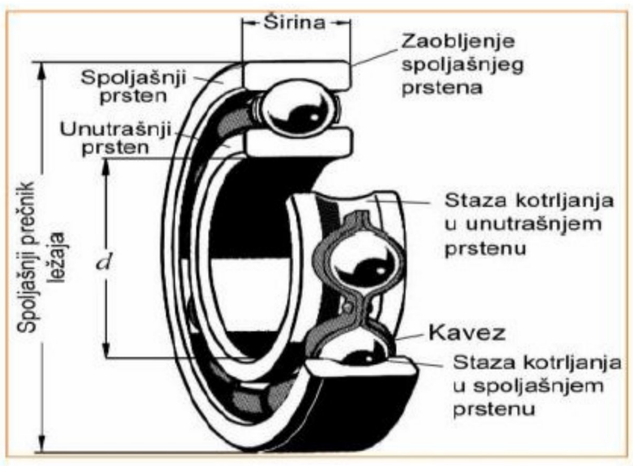
2.3. Kotrljajni ležajevi na valjcima transportera

Ležajevi su mašinski elementi koji obezbeđuju relativno kretanje obrtnih delova mašina u odnosu na one koji miruju i pri tome prenose opterećenje sa pokretnih delova na one koji miruju i obrnuto. U slučaju valjaka, ležajevi prenose opterećenje sa omotača valjka koji se okreće na osovinu koja miruje. Pri kotrljanju delova koji čine kotrljajni ležaj dolazi do zamora materijala i pojave inicijalnih prslina i sitnih ljuspica. U najvećem broju slučaja kod ležaja se okreće unutrašnji prsten a spoljašnji miruje. U slučaju valjka okreće se spoljašnji prsten. Uslovi rada su tada pogoršani s obzirom da je spoljašnji prsten većeg obima, odnosno u toku jednog obrtaja ležaja ostvari se veći broj obrtaja kotrljajnih tela. U ovom slučaju, zbog navedenog, pri određivanju ekvivalentnog opterećenja radijalna sila se dodatno uvećava za 20%. Vek ležaja je vreme rada tj. broj obrtaja koji ležaj izdrži do pojave prvih znakova zamora materijala. Rasipanje stvarnog oko računskog veka je između 1:20 i 1:40. Dinamička moć nošenja ležaja C je sila F konstantnog pravca i intenziteta koju ležaj može da izdrži u toku 106 obrtaja, odnosno silu koju može da izdrži ležaj u radu od $L_0 = 500$ h pri broju obrtaja od $n_0 = 33{,}333$ o/min, a da se pri tome ne razori više od 10% od ispitivanog

skupa ležaja. Definicija dinamičke moći nošenja ukazuje da je to statistička vrednost, odnosno jedan broj ležaja (do 10%) će otkazati nešto ranije u odnosu na L_0, a više od 90% će otkazati kasnije. Na osnovu dinamičke moći nošenja može da se izračuna vek ležaja za bilo koje druge radne parametre sa ograničenjem da će taj radni vek da izdrže 90% ležaja, dok će 10% otkazati pre isteka tog veka. Povećanjem kvaliteta izrade korišćenjem materijala homogenije strukture, praktično se povećava pouzdanost ležaja, što se odražava na povećanje kataloških vrednosti dinamičke moći nošenja ležaja iz godine u godinu.

2.4. Oštećenja ležajeva

Konstrukcija kotrljajnih ležajeva sastoji se od četiri elementa: spoljašnje i unutrašnje kotrljajne staze, kotrljajnih elemenata i kaveza (Slika 5). Prva tri elementa učestvuju u prenosu opterećenja, dok četvrti obezbeđuje pravilnu međusobnu poziciju kotrljajnih elemenata.



Slika 5. Konstrukcija kotrljajnih ležajeva

Kada je reč o dijagnostici ležajeva, vizuelni pregled je bio jedan od osnovnih, jeftinih alata za procenu stanja. Većina proaktivnih metoda za održavanje još uvek koristi vizuelni pregled kao deo rutinskih aktivnosti koje se pri tome sprovode. Metoda merenja udarnog impulsa može da otkrije odsustvo ili prisustvo maziva, stanje površina kotrljajnih elemenata, unutrašnje i spoljašnje staze kotrljanja kugličnih ležajeva, kao i druge uzroke koji dovode do pojave udarnih opterećenja kotrljajnih ležajeva. Praćenje vibracija pruža direktnu korelaciju sa stanjem mašine.

Svi uzroci otkaza ležaja proizvode karakteristična oštećenja. Takva oštećenja, poznata kao primarna, dovode do sekundarnih oštećenja kao što su ljuspanje i lom ležaja. Čak i primarna oštećenja mogu zahtevati zamenu ležaja zbog povećanja unutrašnjeg zazora, vibracija, buke i slično. Oštećen ležaj često pokazuje kombinaciju primarnog i sekundarnog oštećenja. Dakle, sva oštećenja ležaja mogu se podeliti u dve grupe, što je prikazano u Tabeli 1.

Tabela 1. Vrste oštećenja ležajeva

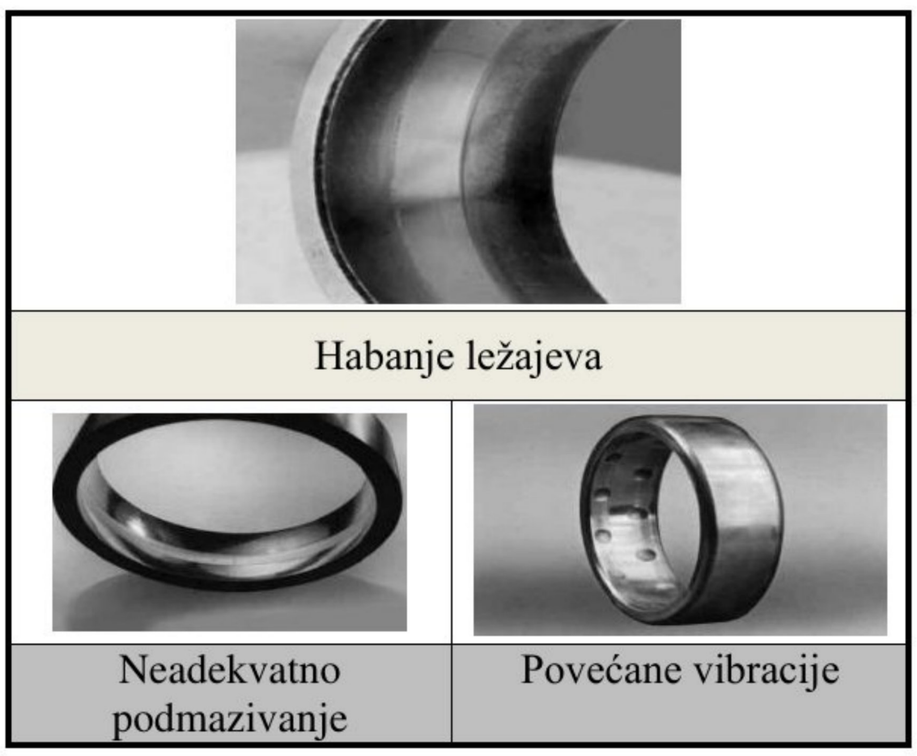
OŠTEĆENJE LEŽAJEVA	
PRIMARNO	**SEKUNDARNO**
Habanje	Ljuspanje Prsline
Utiskivanje	
Razmazivanje (smearing)	
Površinska oštećenja	
Korozija	
Oštećenja strujom	

2.4.1. Habanje ležajeva

Najčešći vid habanja ležajeva dešava se kada male abrazivne čestice peska ili strugotine prodru u ležaj. One uzrokuju habanje kotrljajne staze, kotrljajnih elemenata i kaveza. Stepen oštećenja površine zavisi od tvrdoće, količine i prirode čestica. Ponekad, istrošene mesingane čestice kaveza prelaze u bazni acetat bakra i daju mazivu zelenkastu boju. Količina abrazivnih čestica vremenom se povećava što ceo proces habanja ubrzava, a kao krajni rezultat dolazi do habanja kontaktnih površina do mere kod koje ležaj postaje neupotrebljiv. Abrazivne čestice mogu da prodru u ležaj usled lošeg zaptivanja, ukoliko je samo mazivo zaprljano ili u toku montaže.

Habanja ležajeva može nastati i kada ležaj nema dovoljnu količinu maziva ili ukoliko je mazivo izgubilo svojstva podmazivanja (Slika 6). U tom slučaju ne postoje uslovi za formiranje uljnog filma koji bi obezbedio dovoljnu moć nošenja i sprečio kontakt metalnih površina kotrljajnih staza i kotrljajnih elemenata. U početnoj fazi, rezultat habanja je sličan kao i kod „preklapanja“ (lapping). Vrhovi mikroskopskih neravnina, zaostalih nakon procesa izrade, ovim se izravnaju što daje efekat poliranja površine. U ovoj fazi dolazi i do povećanog površinskog naprezanja. Ukoliko je mazivo potpuno potrošeno, dolazi i do brzog porasta temperature, okaljeni materijal omekšava a površina menja boju od plavih do smeđih nijansi. Temperatura može postati toliko visoka da izazove i stapanje materijala.

Do habanja ležajeva može doći i usled uticaja prekomernih vibracija (Slika 6). Ležajevi sa ovom vrstom oštećenja obično se susreću na mašinama koje nisu u pokretu, a nalaze se u neposrednoj blizini mašina koje generišu vibracije. Čak i kod ležajeva kod kojih postoji dovoljna količina maziva, a nisu u pokretu doći će do kontakta kotrljajnih elemenata i staze kotrljanja. Odsustvo kretanja dovodi do gubitka uljnog filma i do metalnog kontakta dva elementa. Ukoliko je takav ležaj izložen vibracijama, doći će do relativnog kretanja kotrljajnih elemenata i prstenova. Kao rezultat ovih malih pomeranja dolazi do odvajanja malih delića sa staze kotrljanja i formiranja malih ulegnuća na samoj stazi. Kuglice formiraju sferična ulegnuća, a valjčići žljebove.



Slika 6. Različiti uzroci nastanka habanja ležajeva

Generalno, kotrljajni ležajevi ne mogu da traju večno. Čak i ako su opterećenja kojim su izloženi u projektovanim granicama, pre ili kasnije doći će do zamora materijala i zaustavljanja ležaja. Vremenski period do pojave prvih znakova zamora je u funkciji broja obrtaja/ciklusa i magnitude opterećenja. Zamor je rezultat cikličnog naprezanja materijala pod dejstvom

opterećenja. Vremenom, naprezanja uzrokuju naprsline koje se postepeno povećavaju. Kako u radu ležaja kotrljajni elementi prelaze preko naprslina, one se vremenom povećavaju što dovodi i do odvajanja materijala (ljuspice). Ta pojava se naziva ljuspanje.

3. Teorija pouzdanosti i definisanje ulaznih parametara

Pouzdanost se može definisati na više načina, ali je bitno da je suština njenog tumačenja u verovatnoći da će sistem uspešno vršiti svoju funkciju, bez otkaza. Takođe, bitno je napomenuti da je to jedna od najvažnijih karakteristika tehničkog sistema u bilo kojoj oblasti rada. Pouzdanost je u funkciji vremena rada i otkaza.

Otkaz ili kvar je prestanak sposobnosti elementa da obavlja svoju funkciju. Otkaz elementa ne znači da će doći i do otkaza čitavog sistema. Samo u slučaju da je element od značaja za samo funkcionisanje sistema, doći će i do prestanka funkcionalnog rada sistema. Još jedan bitan parametar je učestalost otkaza, koja se definiše kao očekivan broj otkaza u određenom vremenskom intervalu. Pouzdanost se dobija eksperimentom koji se vrši nad N jednakih elemenata, pod istim uslovima. Posle vremena t u otkazu će biti N_1 elemenata, dok će u radu ostati još $N_2 = N - N_1$.

Funkcija pouzdanosti u slučaju sistema sa rednom vezom elemenata:

$$R = R_1 \cdot R_2 \cdot R_3 \cdot \ldots \cdot R_n$$

Funkcija otkaza:

$$F_{(t)} = \frac{N_1(t)}{N}$$

$$R_{(t)} + F_{(t)} = 1$$

Struktura sistema sa rednom vezom elemenata predstavlja najprostiji model sistema, koji se najčešće koristi u mašinstvu. Redna veza ima veoma nepovoljne osobine sa stanovišta uticaja pouzdanosti sastavnih elemenata na pouzdanost sistema. Ovakav sistem se zove i prost sistem. Otkaz jednog elementa izaziva otkaz sistema, odnosno ispravnost sistema je uslovljena ispravnošću svih sastavnih elemenata.

Povratna girlanda predstavlja tipičan primer redne veze sistema. Tehnički sistemi predstavljaju skupove elemenata i relaciju između njih i njihovih karakteristika, međusobno povezanih u celinu, na način pogodan za vršenje funkcije. To znači da je za funkcionisanje sistema, pored kvaliteta elemenata u celini, neophodno određenost veze između njih. Kod povratne girlande imamo 4 ležaja u rednoj vezi. Ukupna pouzdanost sistema je:

$$R = R_1 \cdot \ldots \cdot R_4 = 0{,}9 \cdot 0{,}9 \cdot 0{,}9 \cdot 0{,}9$$

$$R = 0{,}6561$$

gde je: 0,9 - minimalna pouzdanost jednog ležaja.

Kod noseće girlande transportera sa gumenom trakom imamo 3 valjka u slogu, odnosno, 6 ležajeva, pa je ukupna pouzdanost sistema:

$$R = 0{,}531$$

U daljoj analizi biće razmatrane rolne sa noseće, odnosno, povratne strane transportera sledećih karakteristika, datih u Tabeli 2.

Tabela 2. Karakteristike transportera

Osnovne karakteristike transportera			
Širina trake, mm	2000		
Kapacitet, m^3/h	6000		
Brzina trake, m/s	6		
Primenjeni ležajevi	6306	6307	6308
Korak sloga, m	noseći	1.25	
	povratni	3.5	

Ukupna dužina trase transportera iznosi L = 5.000 m, broj rolni u slogu sa noseće strane je 3, dok je sa povratne 2. Zbog povećanih otpora u nosećem kraku trake, usled težine materijala koji se transportuje i sopstvene težine trake, korak između sloga sa noseće strane iznosi 1,25 a sa povratne 3,5 m. S obzirom da ležajevi predstavljaju oslonce osovine i na svakoj rolni ih ima po dva, jasno je da u jednom nosećem slogu valjaka ima 6 ležajeva, a na povratnom 4. Osnovne tehničke karakteristike ležajeva date su u Tabeli 3, a preuzete su iz SKF kataloga.

Tabela 3. Tehničke karakteristike ležaja

Ležaj	***d*, mm**	***D*, mm**	***B*, mm**	***C*, kN**	***n*, o/min**	**Cena, €**
6306	30	72	19	30,5	523	7,54
6307	35	80	21	35,5	523	8,28
6308	40	90	23	45,5	523	13,8

Analiza će biti izvršena za ležajeve iz serije 63 i to za srednju i bočnu rolnu sa noseće strane, kao i za rolnu sa povratne strane. Transportne rolne na transporterima sa gumenom trakom su fiksne ili kao girlande (dvodelne i trodelne). Fiksne rolne su u primeni kod stacionarnih transportera, dok su girlande primenjene na pomerljivim transporterima.

Cilj analize je da se ukaže na to koji tip ležajeva je optimalan za rolne na transporterima sa trakom za odgovarajuće radne uslove i pozicije rolni u slogu. Radni vek ležaja je računat za maksimalni kapacitet Q_{max} = 10.800 t/h. U realnom vremenu Q se kreće od Q_{min} do Q_{max}, što zavisi od više faktora i predstavlja promenljivu sliku opterećenja. U Tabeli 4, dati su podaci preuzeti iz Rulmeca kataloga.

Tabela 4. Opterećenje srednje rolne

Ugao korita trake	**Koeficijent λ**	**Opterećenje po m, q_1**	**Proizvod λ i opterećenja**	**Opterećenje srednje rolne za korak 1.25**
30	0,65	500	310	387
35	0,67	500	335	420
45	0,72	500	360	450

Ukupno opterećenje ležajeva srednje rolne u nosećem slogu predstavlja zbir opterećenja koje izaziva materijal koji se transportuje, gumena traka koja naleže na rolne i opterećenje od obrtnog dela rolne. Prema podacima predstavljenim u Tabeli 4 za ugao korita trake od 45° koji se najčešće

koristi jer se tim uglom nagiba ostvaruje najveća površina poprečnog preseka transportovanog materijala, a samim tim i najveći teoretski kapacitet, ukupno opterećenje ležaja se može napisati kao:

$$q_u = (q_m + q_t + q_r) \cdot l_g$$

Za korak od 1,25 m sa noseće strane, ukupno opterećenje srednje rolne u slogu u nosećem kraku transportera, iznosi:

$$q_u = (450 + 68 + 18) \cdot 1{,}25$$

q_u = 670 kg odnosno 335 kg po ležaju

gde je: opterećenje koje izaziva materijal, 450 kg; opterećenje od gumene trake, 68 kg; opterećenje obrtnog dela rolne, 68 kg.

Analiza opterećenja ležajeva srednje rolne u nosećem slogu transportera sa gumenom trakom izvršena je na osnovu dinamičke moći nošenja (C) i ekvivalentnog opterećenja (Fe) izraženog u kN, primenjenih ležajeva iz serije 63 (Tabela 5).

Tabela 5. Ulazni parametri za analizu

Ležaj	C, kN	F_e	C/F_e	Radni vek ležaja, h	Radni vek rolne, h
6306	30,5	3,35	9,1	18518	14150
6307	35,5	3,35	10,6	27546	22312
6308	45,5	3,35	13,58	57998	46980

U Tabeli 6 prikazana je nabavna cena ležajeva za rolne na transporteru sa gumenom trakom. U odnosu na ostvarene radne sate rolni formirana je cena ležajeva za 1000 sati rada, tačnije, formirani su specifični troškovi.

Tabela 6. Specifični troškovi

Ležaj	Cena jednog ležaja, €	Cena ležajeva po rolni, €	Radni vek rolne, h	Specifični troškovi, h
6306	7,54	15,08	14150	1,07
6307	8,28	16,56	22312	0,74
6308	13,8	27,6	46980	0,59

Po istoj analogiji izvršena je analiza i za bočne rolne u nosećem slogu transportera sa gumenom trakom, odnosno, za rolne u povratnom kraku. Glavna razlika je što su valjci, odnosno ležajevi sa povratne strane transportera opterećeni manjom ekvivalentnom silom. U zaključku ovog rada biće dat komentar o tome koji tip ležajeva se najbolje pokazao na rolnama transportera sa trakom, za odgovarajuće radne uslove, sa aspekta ostvarenih sati rada.

4. Rezultati analize

Cilj analize vršene kroz ovaj rad je da ukaže koja serija ležajeva je optimalna za rolne na transporterima sa trakom, primenjenim u uslovima naših površinskih kopova, za odgovarajuća radna opterećenja i za odgovarajuću poziciju rolni. Podaci o ležajevima koji su bili podvrgnuti analizi preuzeti su iz SKF kataloga. Sa druge strane, podaci o ostvarenim radnim satima

analiziranih ležajeva u nosećem, odnosno, povratnom slogu transportera dobijeni su od službe održavanja koja je nadležna za praćenje stanja ležajeva.

Rezultati analize su prikazani u Tabeli 7. Ležajevi iz serije 63, unutrašnjeg prečnika 30 mm ostvarili su najduži radni vek na rolnama u povratnom slogu transportera, što je i očekivano, s obzirom na najmanje ekvivalentno opterećenje u povratnom kraku, jer je rolna opterećena samo težinom gumene trake; dok je ležaj pored toga opterećen još i težinom obrtnog dela rolne. Ležajevi većeg prečnika iz serije 63 imali su značajno bolje rezultate kod primene u nosećem kraku transportera, u odnosu na ležajeve manjeg prečnika iz iste serije. Pa tako, ležaj iz serije 63, unutrašnjeg prečnika 35 mm pokazao se kao najbolje rešenje za primenu na bočnim rolnama u nosećem kraku, dok se ležaj iz iste serije, prečnika 40 mm kao najpogodniji nametnuo za primenu pri najvećim opterećenjima, na srednjim rolnama, u nosećem kraku.

Tabela 7. Optimalni tipovi ležajeva

Rolna/girlanda	Ležaj	Radni vek rolne, h
Noseća–srednja rolna	6308	46980
Bočne noseće	6307	22312
Povratne	6306	14150

Slika 7. Grafički prikaz dobijenih rezultata

5. Zaključak

Očigledno je da primenjeni ležajevi imaju uticaj na pouzdanost rolni i girlandi. Pravilnim izborom istih moguće je obezbediti adekvatan radni vek, kako samih ležajeva, tako i rolni na transporterima sa gumenom trakom. Često otežani uslovi rada znatno utiču na smanjenje očekivanog radnog veka ležajeva, što se direktno odražava na pouzdanost sistema. Preporuke su da se u nosećem kraku transportera koriste ležajevi koji mogu da izdrže veća opterećenja, iz razloga što se ukupno opterećenje koje prima ležaj sastoji iz nekoliko parcijalnih; kako opterećenja transportovanog materijala, tako i gumene trake i obrtnog dela rolne. Sa druge strane, u povratnom kraku transportera, opterećenje koje trpi ležaj je znatno manje, s obzirom da se traka kreće prazna, bez dodatnog opterećenja indukovanog materijalom koji se transportuje, pa se hipotetički mogu koristiti ležajevi iz nižih serija, koji imaju manju dinamičku moć nošenja.

Razmatranjem preporuka stečenih na osnovu iskustva ljudstva angažovanog u mašinskoj službi rudnika, radni vek ležaja, odnosno rolni bi se povećao, čime bi pouzdanost sistema bila na višem nivou, što za direktni benefit ima smanjenje troškova usled stajanja sistema radi otklanjanja kvarova.

Zahvalnica
Ovaj članak je doprinos projektu TR33025 koji finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

Literatura

[1] Ignjatović D., *Rudarske mašine*, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, 2013.
[2] Tanasijević M., Ivković S. *Elementi rudarskih mašina,* Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, 2017.
[3] Ivković S., *Otkazi elemenata rudarskih mašina*, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, 1997.
[4] Miletić M., *Uticaj redne, kombinovane i pasivno paralelne veze na pouzdanost mašinskih sistema, 2014*.
[5] Rolling bearings - SKF katalog
[6] Rulmeca - katalog