



DEVELOPMENT OF A MODEL FOR SELECTING RATIONAL PARAMETERS OF CONTINUOUS HAULAGE SYSTEMS

RAZVOJ MODELA ZA IZBOR RACIONALNIH PARAMETARA TRANSPORTNOG SISTEMA

Ivica RISTOVIĆ

Faculty of Mining and Geology, Belgrade, Serbia

Abstract: Determining optimal parameters of continuous haulage systems out of a great number of possible versions, by defining all expenses per each version, is related to a large quantity of data and mathematical operations. Methodology of optimization of haulage systems parameters requires the implementation of specialized software packages and applications.

All earlier researches with a view to resolve the issue of optimization of continuous haulage systems in our country, mostly came up to some study and project solutions for optimization of particular system elements: to the optimization of bunker parameters, feeders, crushers, belt conveyors, loading, reloading and unloading points, etc. This Paper presents a review of the model which systematically includes all above elements of the haulage system, dealt by software package OpTrans.

Key words: haulage systems, optimal parameters, software package.

Apstrakt: Utvrđivanje optimalnih parametara kontinualnih transportnih sistema iz velikog broja mogućih varijanti, određivanjem svih troškova po svakoj varijanti povezano je sa velikim obimom podataka i računskih operacija. Metodologija optimizacije parametara transportnih sistema zahteva primenu specijalizovanih programskih paketa i softvera.

Sva dosadašnja istraživanja u cilju rešavanja problema optimizacije kontinualnih transportnih sistema kod nas, svodila su se uglavnom na studijska i projektna rešenja optimizacije pojedinih elemenata sistema: optimizaciju parametara bunkera, dodavača, drobilica, transporterera sa trakom, utovarnih, presipnih i istovarnih mesta itd. U ovom radu dat je prikaz modela kojim su sistematski obuhvaćeni svi nabrojani elementi transportnog sistema, i obrađeni softverskim paketom OpTrans.

Ključne reči: transportni system, optimalni parametri, softverski paket.

1 INTRODUCTION

In the last few years, continuous haulage systems are used for the transportation of mineral raw materials in countries with highly developed exploitation technologies. Within this transportation type, the most used one is belt conveyor system, by which the mined out material is transported through horizontal and

1 UVOD

U zemljama sa visoko razvijenim tehnologijama eksploatacije, zadnjih godina se za transport mineralnih sirovina koriste kontinualni transportni sistemi. Kod ovog načina transporta, najzastupljeniji je prevoz transporterima sa trakom, kojima se otkopane mase transportuju horizontalnim i kosim prostorijama od otkopa do

inclined galleries from the face to the ore preparation plant or to the waste dump. Continuous haulage systems are automated and controlled from one place – a control desk.

As there is a tendency toward mass exploitation and modernization of the exploitation of these raw materials, and therefore toward more efficient, cheaper and more reliable transportation, we can clearly see the need for and justifiability of making a model for optimization of continuous haulage systems parameters in underground mines. A similar model is made at the Faculty of Mining and Geology in Belgrade and will be presented in this Paper.

2 A MODEL FOR SELECTING RATIONAL PARAMETERS OF A HAULAGE SYSTEM

Optimization of parameters of continuous haulage systems for underground mining of mineral raw materials is made through a techno-economic analysis of system parameters. Namely, in order to select properly a haulage system in an underground mine, it is necessary to analyze technical and economic parameters of the whole system, that is, technical and economic parameters of all sub-systems. Development of the model for optimization of parameters of continuous haulage systems is defined through three phases:

1. Development of the model for selecting rational parameters of the haulage system.
2. Development of the model for economic analysis of parameters of the haulage system.
3. Development of the model for economic assessment of the selected optimal haulage system.

Such a model development caused the development of three sub-models:

1. A sub-model for technical analysis and selection of rational technical system parameters.
2. A sub-model for economic analysis of the selected rational system parameters.
3. A sub-model for economic assessment of the selected haulage system.

postrojenja za pripremu mineralnih sirovina ili odlagališta. Kontinualni transportni sistemi su automatizovani i kontrolisani sa jednog mesta – komandnog pulta.

Kako se sve više teži masovnoj eksploataciji i osavremenjavanju eksploatacije ovih mineralnih sirovina, samim tim i efektivnijem, jeftinijem i pouzdanijem transportu, uzimajući u obzir sve napred navedene razloge, jasna je potreba i opravdanost izrade modela za optimizaciju parametara kontinualnih transportnih sistema u podzemnim rudnicima. Ovakav model izrađen je na Rudarsko-geološkom fakultetu u Beogradu i biće prezentovan u ovom radu.

2 MODEL ZA IZBOR RACIONALNIH PARAMETARA TRANSPORTNOG SISTEMA

Optimizacija parametara kontinualnih transportnih sistema za rudnike sa podzemnom eksploatacijom mineralnih sirovina izvršena je tehnno-ekonomskom analizom parametara sistema. Naime, da bi se izvršio pravilan izbor jednog transportnog sistema u rudniku sa podzemnom eksplotacijom, potrebno je analizirati tehničke i ekonomske parametre celog sistema, tj. tehničke i ekonomske parametre svih podistema. Razvoj modela za optimizaciju parametara kontinualnih transportnih sistema definisan je kroz tri faze:

1. Razvoj modela za izbor racionalnih parametara transportnog sistema.
2. Razvoj modela za ekonomsku analizu parametara transportnog sistema.
3. Razvoj modela za ekonomsku ocenu izabranog optimalnog transportnog sistema.

Ovakav razvoj modela uslovio je razvoj tri podmodela:

1. Podmodel za tehničku analizu i izbor racionalnih tehničkih parametara sistema.
2. Podmodel za ekonomsku analizu izabranih racionalnih parametara sistema.
3. Podmodel za ekonomsku ocenu izabranog transportnog sistema.

3 TECHNO-ECONOMIC ANALYSIS OF CONTINUOUS HAULAGE SYSTEMS

Techno-economic analysis of continuous belt conveyor systems is made through a single-criterion optimization method, while linear programming methods are used in the whole model, wherein the single-criterion optimization did not have a good and reliable outcome. The objective of the techno-economic analysis of a belt conveyor system represents defining minimal specific transportation costs per unit of the transported mineral raw material. The optimal alternative in this model represents the alternative with the lowest transportation costs.

A model for economic assessment of continuous haulage systems is developed through the implementation of DCF analysis according to the criterion of discount expenses and the write-down to their present value. Considering this is about the selection of a system as per minimal costs criterion, the optimal alternative would be the one with the lowest expenses in the given period of the operation of the haulage system.

A general aim function of the model for techno-economic analysis of belt conveyor systems represents defining minimal specific transportation costs:

$$C_{ij} = \frac{A_g + A_{ig} + A_n + A_{io} + A_e + A_o + A_{id}}{Q_g} \rightarrow \min \quad (1)$$

A general aim function of the model for economic assessment of the selected haulage system represents defining minimal specific transportation costs:

$$C_{ij} = \frac{I_u + A_g + A_{ig} + A_n + A_{io} + A_e + A_o + A_{id}}{Q_g} \rightarrow \min \quad (2)$$

With the following limitations:

$$Q_{2ij} \geq Q_1; \quad (3)$$

$$P_{ij} \geq Q_1; \quad (4)$$

$$k_{ij} \geq 10 \quad (5)$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, n; \quad j = 1, 2, 3, \dots, m$$

Where: I_u – the amount of investments in the system,
 A_g – annual amortization of the system,

3 TEHNO-EKONOMSKA ANALIZA KONTINUALNIH TRANSPORTNIH SISTEMA

Tehno-ekonomska analiza kontinualnih transportnih sistema sa trakama obavljena je metodom jednokriterijumske optimizacije, dok su u celom modelu korišćene i metode linarnog programiranja gde jednokriterijumska optimizacija nije davala dobre i pouzdane rezultate. Funkcija cilja kod tehno-ekonomske analize transportnog sistema sa trakama predstavlja određivanje minimalnih specifičnih troškova transporta po jedinici prevezene mineralne sirovine. Optimalna varijanta u ovom modelu predstavlja varijanta sa najnižim troškovima transporta.

Model za ekonomsku ocenu kontinualnih transportnih sistema razvijen je primenom DCF analize prema kriterijumu diskontovanih troškova i njihovo svodenje na sadašnju vrednost. S obzirom da se radi o izboru sistema prema kriterijumu minimalnih troškova, optimalna varijanta će biti varijanta sa najnižim troškovima u posmatranom periodu rada transportnog sistema.

Opšta funkcija cilja modela za tehno-ekonomsku analizu transportnih sistema sa trakama predstavlja određivanje minimalnih specifičnih troškova transporta:

$$C_{ij} = \frac{A_g + A_{ig} + A_n + A_{io} + A_e + A_o + A_{id}}{Q_g} \rightarrow \min \quad (1)$$

Opšta funkcija cilja modela za ekonomsku ocenu izabranog transportnog sistema predstavlja određivanje minimalnih specifičnih troškova transporta:

$$C_{ij} = \frac{I_u + A_g + A_{ig} + A_n + A_{io} + A_e + A_o + A_{id}}{Q_g} \rightarrow \min \quad (2)$$

sa sledećim ograničenjima:

$$Q_{2ij} \geq Q_1; \quad (3)$$

$$P_{ij} \geq Q_1; \quad (4)$$

$$k_{ij} \geq 10 \quad (5)$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, n; \quad j = 1, 2, 3, \dots, m$$

gde su: I_u – visina investicionih ulaganja u sistem,
 A_g – godišnja amortizacija sistema,

A_{ig} – costs of investment maintenance,
 A_n – annuity costs,
 A_{to} – costs of running maintenance,
 A_e – electricity costs,
 A_o – other material expenses (fuel, oil, lubricants etc.),
 A_{ld} – annual cost of salaries,
 Q_{2ij} – hour capacity of the conveyor,
 Q_1 – amount of mineral raw material coming on the conveyor in 1 hour,
 P_{ij} – maximum throughput of the haulage system calculated through the adopted readiness coefficient,
 k_{ij} – safety coefficient of the n^{th} conveyor in the system,

A_{ig} – troškovi investicionog održavanja,
 A_n – godišnji iznos anuiteta,
 A_{to} – troškovi tekućeg održavanja,
 A_e – troškovi električne energije,
 A_o – ostali materijalni troškovi (gorivo, ulje, mazivo itd.),
 A_{ld} – godišnji troškovi za lične dohotke,
 Q_{2ij} – časovni kapacitet transportera,
 Q_1 – količina mineralne sirovine koja dolazi na transporter za 1 h,
 P_{ij} – maksimalna propusna moć transportnog sistema računata preko usvojenog koeficijenta spremnosti,
 k_{ij} – koeficijent sigurnosti n – tog transportera u sistemu,

The Figure 1 shows the model block for the selection, techno-economic analysis and economic assessment of an optimal haulage system in terms of techno-economic parameters in underground mines for metallic and non metallic mineral raw materials. A general model for selecting the optimal system consists of three blocks:

Na slici 1 prikazan je opšti blok model za izbor, tehno-ekonomsku analizu i ekonomsku ocenu optimalnog transportnog sistema u funkciji tehno - ekonomskih parametara u podzemnim rudnicima metaličnih i nemetaličnih mineralnih sirovina. Opšti model za izbor optimalnog sistema sastoji se iz tri bloka:

BLOCK A – block for calculating and selecting rational parameters of the haulage system.
 BLOCK B – block for techno-economic analysis and selection of an optimal belt conveyance.
 BLOCK C – block for economic assessment of the selected haulage system.

BLOK A – blok za proračun i izbor racionalnih parametara transportnog sistema.
 BLOK B – blok za tehno-ekonomsku analizu i izbor optimalnog sistema sa trakama.
 BLOK C – blok za ekonomsku ocenu izabranog transportnog sistema.

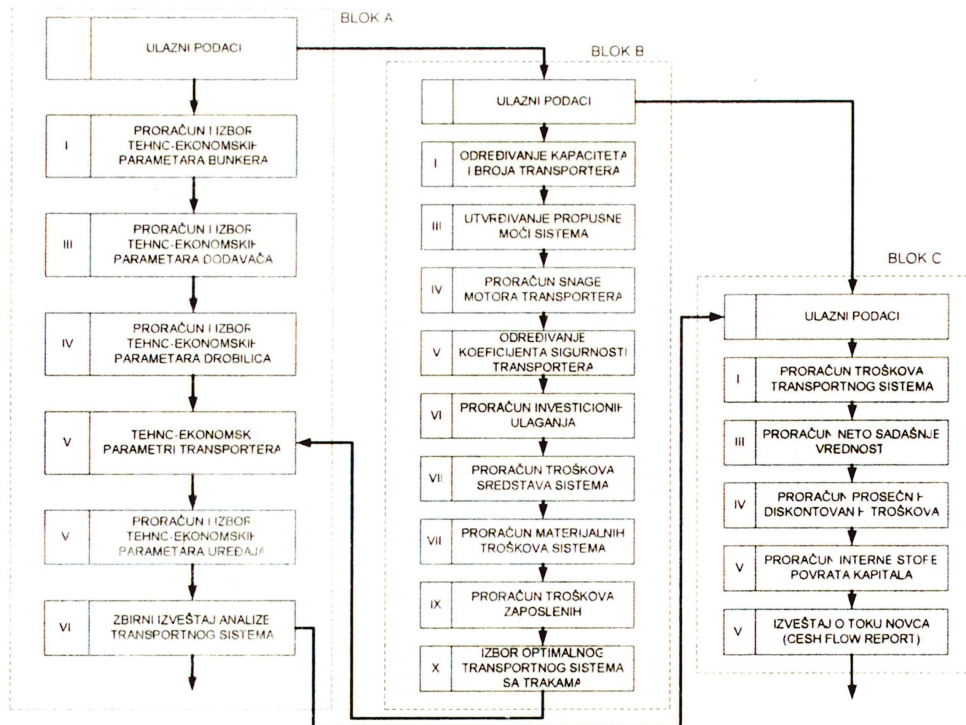


Figure1 General block model of the model for selecting optimal parameters of continuous haulage systems
 slika 1 Opšti blok model modela za izbor optimalnih parametara kontinualnih transportnih sistema

4 REVIEW OF THE SOFTWARE OPTRANS

Using the above model for the techno-economic analysis and the selection of optimal parameters of continuous haulage systems, for the purposes of quicker, more efficient and more reliable data processing, the software OPTRANS was developed. By means of this software, it is possible to make a techno-economic analysis and a selection of an optimal haulage system, in respect of optimal technical, technological and economic parameters of the system. The software was developed in Microsoft Visual C# 2005 computer language.

The main feature of the software is that it enables forming and analyzing the system with the unlimited number of units and their varied composition - sub-systems. Namely, as specific operating conditions prevail in mines with underground exploitation of mineral raw materials and as there are frequent changes in length and angle of haulage lines, face advance, changes in the number of elements in the system etc, very flexible software was developed, adaptable to fast changes of conditions in underground mines.

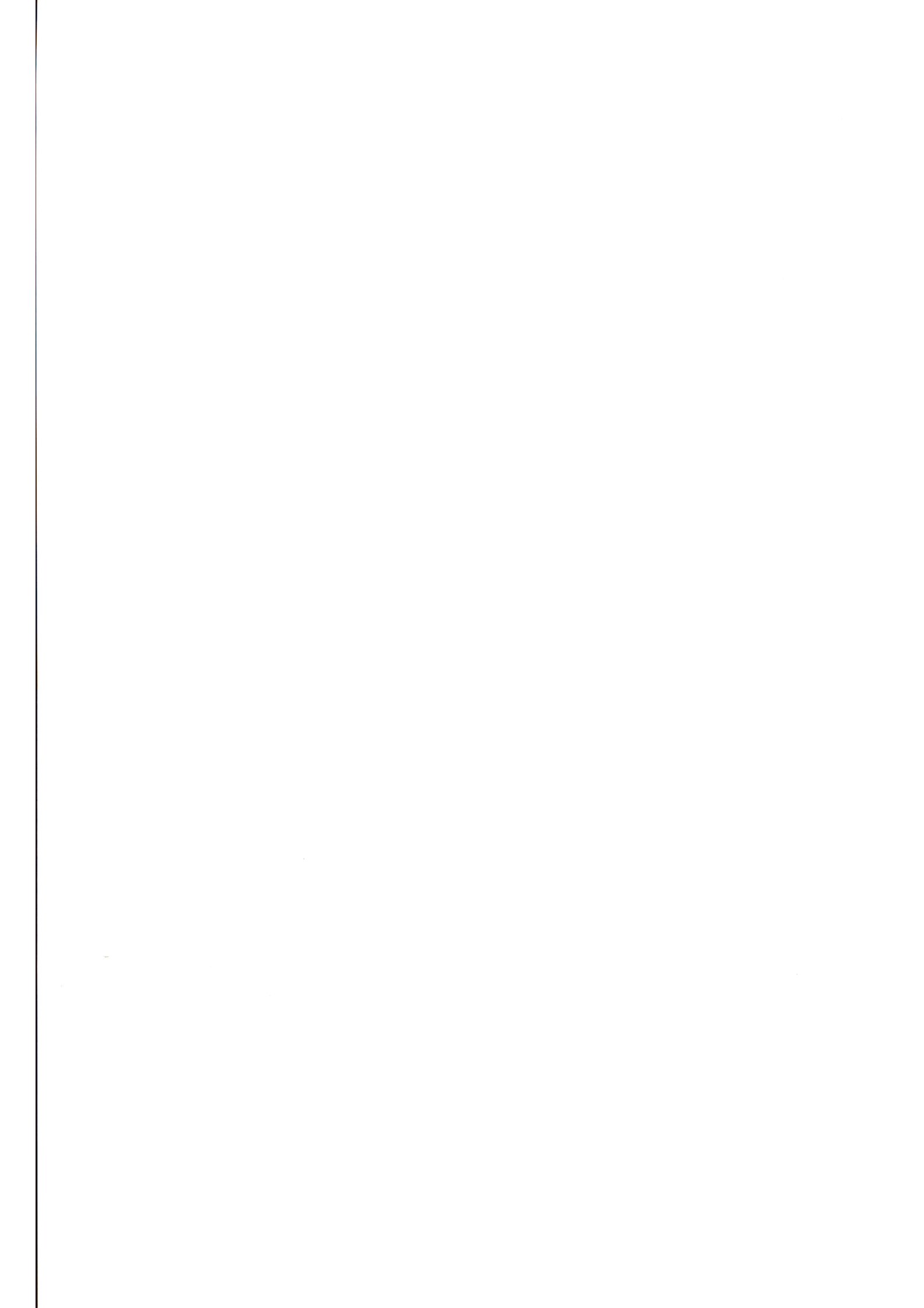
The basic panel of the software consists of sub-systems - structures, which are necessary for the creation of a system: faces, bunkers (bins), feeders, belt conveyors, reloading points etc. A system may have a large number of levels of any structure. Each sub-system is represented by a structure which includes its relevant characteristics. In creating the system we copy all relevant system characteristics into the structures which are visually shown through the software. By means of a combination of input parameters it is possible to analyze a large number of belt conveyors in different transportation conditions. For example, for the purposes of an analysis of a single capacity and one haulage length, the program can calculate 3600 combinations of the belt conveyor. Depending on the optimal number of belt conveyors at the given length and capacity, the obtained data of the techno-economic analysis are imported back to the software OPTRANS. The layout of the created system with all its elements-subsystems-structures is shown in the Figure 2.

4 PRIKAZ SOFTVERA OPTRANS

Koristeći navedeni model za tehnno-ekonomsku analizu i izbor optimalanih parametara kontinualnih transportnih, a u cilju brže, efikasnije i pouzdanije obrade podataka, razvijen je softver OPTRANS. Ovim softverom je moguće izvršiti tehnno-ekonomsku analizu i izbor optimalnog transportnog sistema, sa aspekta optimalnih tehničko-tehnoloških i ekonomskih parametre sistema. Softver je izrađen u programskom jeziku Microsoft Visual C# 2005.

Osnovna odlika softvera je u tome što je pomoću njega moguće formirati i izvršiti analizu sistema sa neograničenim brojem i različitim sastavom jedinica – podsistema. Naime, kako u rudnicima sa podzemnom eksploatacijom mineralnih sirovina, vladaju specifični uslovi rada i dolazi do čestih promena dužina i uglova transportnih trasa, napredovanja otkopa, promena broja elemenata u sistemu itd., razvijen je veoma fleksibilan softver, prilagodljiv brzim promenama uslova u podzemnim rudnicima.

Osnovni panel softvera sadrži podsisteme – objekte potrebne za formiranje jednog sistema: otkopi, bunker, dodavači, transporter sa trakom, presipna mesta itd. Sistem može da sadrži veći broj instanci bilo kog objekta. Svaki podsistem je predstavljen objektom koji sadrži njegove relevantne karakteristike. Pri kreiranju sistema vršimo preslikavanje svih relevantnih karakteristika sistema u objekte koji su vizuelno prikazani softverom. Kombinacijom ulaznih parametara moguće je analizirati veliki broj transportera sa trakom za razne uslove tranporta. Primera radi, za analizu samo jednog kapaciteta i jedne dužine transporta program može proračunati 3600 kombinacija transportera sa trakom. U zavisnosti od optimalnog broja transportera sa trakom na datoj dužini i zadatom kapacitetu, dobijeni podaci tehnno-ekonomske analize, importuju se nazad u program OPTRANS. Izgled formiranog sistema sa svim elementima-podsistemima-objektima prikazan je na slici 2.



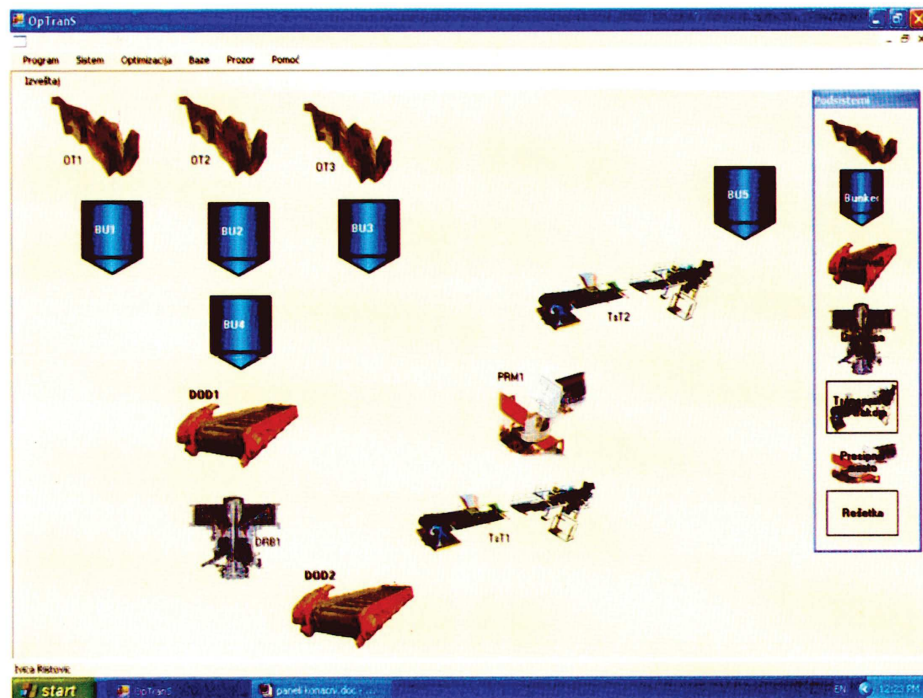


Figure 2 The layout of the panel with created haulage system with 2 conveyors
 slika 2 Izgled panela sa formiranim transportnim sistemom sa 2 transporterera

After it is verified, the system is saved and sent out to printing of recorded data. A report on the analysis of the haulage system, with the obtained output parameters is given in the form shown in Figure 3.

Obtained printed results of the analysis represent input data for the economic assessment of the selected system. The economic assessment of the whole haulage system is made through the above mentioned model for economic assessment of the haulage system.

Printed report includes:

- ✓ Data on material to be transported
- ✓ Face data
- ✓ Data on receiving, storage and forwarding bunkers
- ✓ Crusher data
- ✓ Feeder data
- ✓ Conveyors data
- ✓ Data on reloading points
- ✓ TOTAL COST OF THE HAULAGE SYSTEM

Kada se verifikuje, sistem se snimi i pošalje na štampanje snimljenih podataka. Izveštaj o analizi transportnog sistema, sa dobijenim izlaznim parametrima dat je u formi prikazanoj na slici 3.

Dobijeni štampani rezultati analize predstavljaju ulazne podatke za ekonomsku ocenu izabranog sistema. Ekonomska ocena celog transportnog sistema se vrši kroz model za ekonomsku ocenu transportnog sistema prethodno prezentovan.

Štampani izveštaj sadrži:

- ✓ Podatke o materijalu koji se transportuje
- ✓ Podatke o otkopima
- ✓ Podatke o prijemnim, akumulacionim i otpremnim bunkerima
- ✓ Podatke o drobilici
- ✓ Podatke o dodavačima
- ✓ Podatke o transporterima
- ✓ Podatke o presipnim mestima
- ✓ UKUPNU CENU TRANSPORTNOG SISTEMA

Zbirni izveštaj proračuna tehničko-tehnoloških parametara SISTEM I



Podaci o transportovanom materijalu		Podaci o dodavaču DOD2	
Vrsta materijala		Proizvođač i tip	
Nas. zap. masa	kg/m	Kapacitet	t/h
Zap. masa	kg/m	Dužina	mm
Granulacija materijala	mm	Širina	mm
Podaci o Otkopima		Snaga motora	kW
Kapacitet Otkopa 1	t/h	Cena	\$
Kapacitet Otkop 2	t/h	Podaci o transporteru TsT1	
Kapacitet Otkop 3	t/h	Projektovani kapacitet	t/h
Podaci o prijemnim bunkerima BU 1, 2 i		Širina trake	mm
Zapremina	m ³	Brzina trake	m/s
Cena izrade	\$	Dužina transportera	m
Podaci o akumulacionom bunkeru BU 4		Ugao nagiba transportera	0
Zapremina	m ³	Tip trake	
Materijal	Okolne stene	Snaga motora	kW
Cena izrade	\$	Cena transportera	\$
Podaci o dodavaču DOD1		Cena trake	\$/m
Proizvođač i tip		Podaci o presipnim mestima	
Kapacitet	t/h	Materijal	
Dužina	mm	Masa	kg
Širina	mm	Cena	\$
Snaga motora	kW	Podaci o transporteru TsT2	
Cena	\$	Projektovani kapacitet	t/h
Podaci o drobilici DRB1		Širina trake	mm
Proizvođač i oznaka		Brzina trake	m/s
Tip		Dužina transportera	m
Dimenzije ulaza	mm	Ugao nagiba transportera	0
Dimenzije izlaza	mm	Tip trake	
Dužina	mm	Snaga motora	kW
Širina	mm	Cena transportera	\$/m
Visina	mm	Cena trake	\$/m
Snaga motora	kW	Podaci o otpremnom bunkeru BU 5	
Kapacitet	t/h	Zapremina	m ³
Cena	\$	Cena izrade	\$
UKUPNA CENA SISTEMA			\$

5 CONCLUSION

From all above, we may conclude that the process of techno-economic analysis and the selection of an optimal haulage system represent a very complex and responsible task which is set to the contemporary mining management with a view to making correct business decisions in a timely manner. With the new conditions in market economy and fast development of information technologies, such detailed, quick and efficient planning and decision-making encourage and stimulate to a great extent the productivity and economic efficiency of mining production, which represents a particularly significant attitude, having in mind the complexity of mining production systems, and thereby haulage systems as well.

Also, the application of software solutions for selecting the optimal transport equipment and new technologies in this area, would resolve the issues of long-term planning in terms of exploitation development in the real time. This would enable more efficient resolving and selecting elements for haulage systems with different equipment structure. Today, fast computer development created preconditions for wide application of one of modern computer methods and techniques for fast and high-quality resolving of these problems through the implementation of information systems.

5 ZAKLJUČAK

Iz svega navedenog u ovom radu, može se zaključiti da proces tehnno-ekonomske analize i izbor optimalnog transportnog sistema predstavlja veoma složen i odgovoran zadatak koji se nameće savremenom rudarskom menadžmentu u cilju donošenja blagovremenih i ispravnih poslovnih odluka. Sa novim uslovima tržišnog privređivanja i brzim razvojem informacionih tehnologija, upravo ovakvo detaljno, brzo i efikasno planiranje i odlučivanje daje veoma veliki podsticaj produktivnosti i ekonomičnosti rudarske proizvodnje, što predstavlja posebno značajan stav ako se ima u vidu složenost rudarskih proizvodnih sistema, a samim tim i transportnih sistema.

Takode, korišćenjem softverskih rešenja za izbor optimalne opreme za transport i novih tehnologija u ovoj oblasti, rešila bi se problematika dugoročnog planiranja u funkciji razvoja eksploatacije u realnom vremenu. Time bi se omogućilo efikasnije rešavanje i izbor elemenata transportnih sistema sa različitom strukturom opreme. Danas, sa snažnim razvojem računara, stvoreni su uslovi za široku primenu jedne od savremenih informatičkih metoda i tehnike kvalitetnog i brzog rešavanja ovakvih problema korišćenjem informacionih sistema.

REFERENCES / LITERATURA

- [1] Bindzár, P., Fedorko, G.: *Propertie of conveyor belts*. In: Workshop 2003 – Exchange of Experiences of Design Department's Pedagogues, Ostrava, p.p. 18–22, ISBN 80–248–0526–X, Ostrava, 2003.
- [2] Brazil, M., Lee, D., Rubinstein, J.H., Thomas, D.A., Weng, J.F. Wormald, N.C.: *Optimisation in the Desing of Underground Mine Access*. Spectrum Series, Vol 14, Australija, 2001.
- [3] Grujić, M., Kolonja, B., Ristović, I., Jacović, J.: *Istraživanje mogućnosti primene savremenih rešenja transporta i izvoza uglja u rudnicima Srbije*, Poglavlje u monografiji Unapređenje tehnoloških procesa podzemne eksploatacije uglja, ISBN 86-7352-097-5, p.p.99-146, RGF, Beograd, 2002.
- [4] Grujić, M., Ristović, I., Jacović, J.: *The Use of Belt Conveyors for the Transportation of Workers*. LOADO 2003, p.p. , High Tatras, Slovakia, 2003.
- [5] Ristović I.: *Primena računara za praćenje pojava kvarova u cilju otklanjanja slabih mesta na mašinama*. YU INFO 2000, Kopaonik, 2000.
- [6] Ristović, I., Vasiljević, N.: *Programski paket za praćenje pojave kvarova na mašinama*. RINT 2001, p.p. 164-165, Računarski integrisane tehnologije u industriji minerala, Prijedor, BiH, 2001.
- [7] Ristović, I., Jacović, J.: *Definisanje osnovnih uslova primene kontinualnog transporta u rudnicima metaličnih mineralnih sirovina*. V internacionalni simpozijum o transportu i izvozu, p.p. 105-109, Vrdnik, 2002.
- [8] Ristović, I., Jacović, J.: *Nove tehnologije otprašivanja na presipnim mestima transporterera sa trakom*. p.p. 183-186, VI internacionalni simpozijum o transportu i izvozu, Budva, 2005.

Reviewal / Recenzija: prof. dr Miloš Grujić